

**Förderprogramm für Modellvorhaben
zum nachhaltigen und bezahlbaren Bau von Variowohnungen**

Endbericht

Stand: 14.02.2020

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

**Wuppertal, Neubau Wohnheim
für Studierende**

Aktenzeichen: Stab ZIP – 20.30.08-01

Antragsteller: Hochschul-Sozialwerk Wuppertal
Herr Fritz Berger
Max-Horkheimer-Straße 15, 42119 Wuppertal

Forschung: Hochschule Bochum, FB Architektur,
Prof. Dipl.-Ing. Christian Schlüter
Julia Hartmann M.Sc. / Rebecca Bechem M.Sc.
Nachhaltigkeit MNP Ingenieure (S. Perschau)

Projektlaufzeit: 2017-2020

Inhalt

1	Gebäudesteckbrief	3
2	Kurzfassung des Endberichts	5
3	Aufbau und Methodik der durchgeführten Forschungsleistungen	15
4	Ergebnisse und Bewertung	17
4.a.	Bauweise/Baukonstruktion	17
4.a_1.	Vorfertigungssysteme	17
4.a_1.1	Elementierter Rohbau	21
4.a_1.2	Bäder	68
4.a_1.1	Holztafelelemente	85
4.a_2.	Vergleich Terminplanung mit tatsächlicher Bauzeit	115
4.b.	Gemischte Nutzung und flexible Nachnutzung, räumliche und gestalterische Qualitäten	122
4.c.	Nachhaltigkeit	131
4.c_1	Nachhaltigkeit	131
4.c_2	Zertifizierung DGNB	150
4.d.	Kosten	155
5	Literatur und Quellen	169
6	Anlagen	173

1 Gebäudesteckbrief

Projekt, Standort und Akteure

Projektstandort	42119 Wuppertal
Bauherr	Hochschul-Sozialwerk Wuppertal A. ö. R (Herr Berger)
Architekt	ACMS Architekten GmbH (Dipl.-Ing. Michael Müller)
Forschungseinrichtung	Hochschule Bochum, FB Architektur (Prof. C. Schlüter)
Art der Maßnahme	Neubau
Innovative Maßnahmen/ Förderkriterien	Erhebliche Bauzeitverkürzung Nutzung innerstädtische Grundstücke, besondere städte- bauliche Gestaltung Umsetzung eines flexiblen Nachnutzungskonzepts Besondere Aufwendung zur Senkung der Betriebskosten Gestaltung gemeinschaftlicher Flächen, innovative Kon- zepte des Zusammenwohnens Ökologische Freiraumgestaltung Ausbau des Erdgeschosses mit höheren Geschosshöhen Umsetzung des Konzepts "ready" bzw. "ready Plus" für eine vorbereitete Barrierefreiheit

Gebäudekennwerte

Anzahl Wohneinheiten	69 WE
Anzahl Wohnplätze	132 WP
Gebäudetyp	Cluster
Anzahl der Gebäude	5 Gebäude
Anzahl der Geschosse	3 – 6
BRI (DIN 277, Stand 06/2018)	16.846,57 m ³
BGF	5.465,44 m ²
NUF	3.754,80 m ²
NE	s.o. + 2 Gemeinschaftsbereiche im SG
Gesamte Wohnfläche nach WoFIV (Wohn + Gemeinschaftsfläche)	3.710,43 m ²
Gesamte Wohnfläche abzgl. Gemeinschaftsfläche nach WoFIV	3.548,45 m ²
Gesamte Gemeinschaftsfläche nach WoFIV	161,98 m ²
Gemeinschaftsfläche je Wohnplatz	1,23 m ²

Konstruktion/Bauprozess

Bauweise	Schottenbauweise mit Stahlbetonfertigteilen, Bodenplatten/ Fundamente in Ortbeton, Fassade aus nicht tragenden vorgehängten Holztafelelementen
Tragsystem	Kombiniertes Tragwerk
Baustoff	Stahlbeton, Holz, Trockenbau
Grad der Vorfertigung	47,5 %
Bauzeit (von – bis)	01.02.2018 - 31.03.2020
Dauer des Baus (in Monaten)	26 Monate

Wirtschaftlichkeit

Gesamtkosten Bau netto (KG 200 – 700, ohne 710/720/760) (nur für den Vario-Anteil)	14.990.685,02 €
Baukosten netto* (KG 300 + 400)	9.195.278,38 €
Baukosten netto* (KG 300+400) / BRI	545,82 €
Baukosten netto* (KG 300+400) / BGF	1.682,44 €
Baukosten netto* (KG 300+400) / NUJ	2.448,94 €
Baukosten netto* (KG 300+400) / WP	69.661,20 €
Warmmiete pro Wohnplatz	274,00 €
Möblierungszuschlag pro Wohnplatz	20,00 €

Ökologie

Nachhaltigkeitszertifizierungen	DGNB
Ergebnis der Nachhaltigkeitszertifizierungen	Gold
Ready-Standard	Nicht geplant, jedoch in Teilen ready / ready plus
Voraussichtlicher Primärenergiebedarf	19.888,70 kWh/a (H168)
	5.672,40 kWh/a (H 160-166)
Voraussichtlicher Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	19.888,70 kWh/a (H168)
	5.672,40 kWh/a (H 160-166)
Voraussichtlicher Primärenergiebedarf erneuerbar	19.888,70 kWh/a (H168)
	5.672,40 kWh/a (H 160-166)
Voraussichtlicher Endenergiebedarf	89.959,04 kWh/a (H168)
	26.565,41 kWh/a (H 160-166)
Lebenszykluskosten (gemäß Nachhaltigkeitszertifizierung)	1.827,00 €/m ²

* ohne Möblierung

2 Kurzfassung des Endberichts

Kurzfassung des Bauvorhabens und der Forschung

Die fünf Gebäude sind als **Baukastensystem** konzipiert. Verschiedene vorgefertigte Elemente sind in einem System derart organisiert, dass eine variable Gestaltung der einzelnen Gebäude sowie eine flexible Nachnutzung möglich sind. Im vorgegebenen Raster werden reduzierte Trag- und Versorgungsbauteile als feste Elemente des Gebäudes installiert. Leichte, nichttragende Innenwände, vorgefertigte Stahlleichtbau-Sanitärzellen, die vorelementierte Gebäudehülle, sowie die Erschließungselemente können variabel in dieses System eingefügt werden. Die Wohnungsgrößen sind damit flexibel.

Die Rohbaukonstruktion der Gebäude besteht aus Stahlbetonfertigteilelementen. Vorwiegend bilden Wandschotten aus Stahlbeton-Fertigteilwänden in Kombination mit Spannbeton-Hohlplattendecken das Tragwerk. Vereinzelt gibt es zusätzlich in den Flurbereichen Fertigteilstützen, Stahlverbundträger und Fertigteilunterzüge. In Haus 1 (6-geschossig) gibt es zusätzlich einen tragenden Treppenhaukern aus Fertigteilwänden, der quer zu den Wandschotten liegt. Die raumabschließende Gebäudehülle wird als nichttragende, hochwärmegedämmte und luftdichte Außenwand in Form von vorgefertigten Holzbauerelementen mit einer hinterlüfteten Aluminium-Blechfassade vor die Rohbaukonstruktion montiert. Die Gebäude sind nicht unterkellert und für die Gründung wurde eine Mischung aus Einzel-, Streifen- und Plattenfundamenten konventionell in Ortbeton ausgeführt.



Abbildung 1: Fassaden Bochum, [Steinprinz, S]

Durch den Einsatz von verschiedenen Vorfertigungssystemen ist es beabsichtigt, den Neubau der fünf Wohngebäude für Studierende innerhalb einer verkürzten Bauzeit in einer hohen Bauqualität zu realisieren. Der Rohbau besteht daher aus vorgefertigten Stahlbetonfertigteilelementen mit eingestellten, im Stahlleichtbau vorgefertigten Sanitärzellen. Vor die Rohbaukonstruktion werden großflächige, vorgefertigte Holztafelelemente mit vollständig eingesetzten Fenstern und größtenteils vormontierter Fassade als vertikale Gebäudehülle gehängt bzw. gestellt.

Innerhalb des Forschungsschwerpunkts wissenschaftliche Untersuchung der Bauweise/Baukonstruktion werden die drei Vorfertigungssysteme Elementierter Rohbau, Bäder und Holztafelelemente als Themenschwerpunkt detailliert betrachtet. Die Analyse erfolgt hierbei jeweils nach der Gliederungsstruktur **RELEVANZ, HINTERGRUND, AUSWIRKUNG** und **FAZIT**. Einführend wird zunächst die **RELEVANZ** des Themas in Bezug auf die allgemeine Bedeutung im Bauprozess betrachtet. Unter dem Begriff **HINTERGRUND** werden die Erkenntnisse aus dem Planungsprozess bis zur Ausschreibung (LP 3-6) beschrieben. Die während der Planungsphase betrachteten Möglichkeiten inklusive den Entscheidungsfindungen und Erwartungshaltungen der Planer werden hierdurch dokumentiert. Dabei werden die einzelnen Abschnitte nach den fünf Aspekten - **Qualität, Flexibilität, Zeit, Kosten und Ökologie**, die sich aus der Erwartungshaltung des Förderantrages und den Zielsetzungen des Forschungsprogramms ergeben, mit der folgenden inhaltlichen Ausrichtung gegliedert. Das Thema Qualität beschreibt die Qualitätssicherung bzw. Qualitätssteigerung bezogen auf Energie, Dauerhaftigkeit, Kosten, Zeit, soziale Qualität und Gestaltung. Bei der Flexibilität werden Umnutzungspotentiale kurzfristig, mittelfristig und langfristig betrachtet. Der Unterpunkt Zeit wird unterteilt in Planungs- und Bauzeit (Montage) sowie die bei der Vorfertigung zwischengeschaltete Produktionszeit. Im Bereich Kosten werden die Herstellungskosten (Planungs- und Baukosten) und Betriebskosten näher betrachtet. Im Bereich Ökologie werden die einzelnen Themen hinsichtlich Umweltbelastungen bei der Herstellung und Montage sowie der Rezyklierbarkeit untersucht.

Für die Ausarbeitung der Forschungsthemen wurde zunächst die Organisationsstruktur in die Online Datenbank übertragen. Neben dem Wissensmanagement erfolgt über die Software auch die allgemeine Organisation des Forschungsprojektes. Dazu gehört das Aufgabenmanagement, die Erstellung eines Terminplanes, das Festhalten von Protokollen, Projektunterlagen und ähnlichem. So wird inhaltlich und organisatorisch das Forschungsprojekt ausschließlich in der Confluence Software bearbeitet. Um die Zusammenarbeit zwischen dem Forscherteam der Hochschule Bochum und ACMS Architekten zu vereinfachen und zu verstärken, haben auch die Architekten Zugriff auf die Confluence Software.

Die Forschungsbegleitung erfolgte durch das Forscherteam parallel für 2 Forschungsprojekte (Wuppertal und Bochum) die durch dasselbe Architekturbüro und dieselben TGA Ingenieure bearbeitet wurden. Das übrige Planungsteam war unterschiedlich besetzt. Die Forschungsberichte wurden in den Grundsätzen parallel und zeitgleich als gemeinsamer Bericht erstellt. Die jeweiligen projektspezifischen Besonderheiten durch farbliche Codierung kenntlich gemacht. So konnten auch Querbezüge genutzt werden. Die Endberichte wurden dann projektspezifisch geteilt, wobei für das Verständnis hilfreiche Querbezüge zwischen den Projekten erhalten wurden.

Kurzfassung der Ergebnisse und Bewertungen

In der Realisierung der Bauvorhaben Wuppertal und Bochum konnte bestätigt werden, dass mittels der Verwendung von Fertigteilen die Bauabläufe vor Ort wesentlich verkürzt werden können. Ebenfalls konnte zumindest in Teilbereichen nachgewiesen werden, dass bei detaillierter Planung und sorgfältiger Ausführung mit Fertigteilen in „Industrie-Fertigoberfläche“ Bauteile erstellt werden können, welche auch im Wohnungsbau ohne weitere Ausbaumaßnahmen als Fertigoberfläche verwendet werden können. Somit ist unter bestimmten Umständen die Grundlage für kostengünstiges Bauen gegeben.

Die Erfahrungen aus den beiden Bauvorhaben zeigen jedoch auch, dass hinsichtlich dieser Bauweise diverse Sonderumstände berücksichtigt werden müssen bzw. auf Verordnungs- und Gesetzgebungsseite noch zu regeln sind, damit die Vorteile des elementierten Roh- und Ausbaus auch umfänglich greifen können. Im Einzelnen werden diese Belange nochmals nachstehend zusammengefasst:

Vor allem im Bereich des statisch relevanten Rohbaus existieren zahlreiche Systemanbieter zu unterschiedlichsten Fertigteilensystemen. Jeder Fertigteilhersteller hat seine eigenen Zulassungen und herstellerspezifischen Verwendungsvorschriften. Dem zur Folge kann eine Fertigteilplanung nicht systemunabhängig erfolgen. Allgemeingültige statische Berechnungen, wie sie der Tragwerksplaner in einer konventionellen Rohbauplanung fertigt, sind so nicht möglich. Daraus entstehen insbesondere für Bauvorhaben, welche nach öffentlichem Vergaberecht vergeben werden müssen, erhebliche Erschwernisse in der Schnittstellenbewältigung. Wird die Planung und entsprechende Ausschreibung herstellerbezogen erbracht, verstößt dies gegen das zurzeit gültige Vergaberecht. Muss die in einer konventionellen Bauweise geplante Ausführungsplanung vom beauftragten Auftragnehmer herstellereinspezifisch angepasst werden, kann dies zu erheblichen Zeitverzögerungen in der technischen Vorbereitung

der Baustelle führen. Insbesondere wenn in einem Bauvorhaben mehrere Fertigteilssysteme verwendet werden, ist der Abstimmungsbedarf und Planungsvorlauf erheblich. Zum Bauvorhaben in Wuppertal wurden die Folgen einer beauftragten, jedoch mangelhaft erbrachten Koordinationstätigkeit des Auftragnehmers zur Fertigteilplanung und zum Schnittstellenmanagement dokumentiert. Insbesondere in kleineren Bauvorhaben kann nicht davon ausgegangen werden, dass das Rohbauunternehmen eine aufwändigere Fertigteilplanung erbringt / erbringen kann.

Zur Nutzung der Potentiale des elementierten Rohbaus ist daher zu empfehlen im Vergaberecht besondere Kooperationsverfahren unter gemeinsamer Beteiligung von Planern und Fertigteilherstellern zu zulassen. Gleichzeitig werden zur Vereinfachung der Planung allgemeine Berechnungsverfahren benötigt, mittels derer eine herstellerunabhängige Planung von Fertigteilen notwendig wird.

Für die elementierten Holzrahmenaußenwände bestehen diese Schwierigkeiten nicht, da diese mit den üblichen ingenieurtechnischen Regelwerken projektspezifisch geplant und produziert werden.

Der Bauablauf in beiden Bauvorhaben zeigt, dass die Just-in-time-Produktion der Fertigteile risikobehaftet ist gerade unter Berücksichtigung der derzeit überlasteten Baubranche. Insbesondere bei der Verwendung mehrerer Systeme in einem Bauvorhaben sind Verzögerungen im geplanten Bauablauf fast unvermeidbar. Aus diesem Grund wird empfohlen einen entsprechenden Fertigungsvorlauf der Elemente mit ausreichendem Zeitpuffer im Bauzeitenplan einzuplanen. Eine Zwischenlagerung der Fertigteile im Werk oder vor Ort auf geplanten Baustelleneinrichtungsflächen wird als notwendig erachtet.

Ein zeitlicher Vorteil im elementierten Rohbau gegenüber der konventionellen Bauweise kann nur realisiert werden, wenn der örtliche Verguss und Monierarbeiten minimiert werden. Auf die diesbezüglichen Schwierigkeiten in der verwendeten Bauweise wird in den einzelnen Kapiteln detailliert hingewiesen. Durch die Verwendung von Vollfertigteilen aus Stahl anstelle von Verbundträgern, wäre eine schneller Bauzeit möglich (ca. 10-15 %). Allerdings würden durch die erforderlichen Schweißverbindungen der Stahlträger höhere Kosten entstehen. Eine Alternative zu der klassischen Spannbetonhohlplattendecke bieten schlaff bewerte Systeme mit trockenem Deckenstoß mittels Verwendung besonderer Deckenschlösser.

Zu den betrachteten Systemen und Aspekten kann im Einzelnen folgendes angemerkt werden:

Elementierter Rohbau

Die Baukosten von Spannbetonhohlplatten sind mit ca. 60€/m² inkl. Vergussarbeiten günstig und im Vergleich niedriger als die Baukosten von Ortbetondecken und Elementdecken. Die Erwartungshaltung bezüglich der Baukosten hat sich somit bestätigt. Besonders zu beachten ist jedoch, dass die Art der Verwendung bzw. Verlegung der Elemente erhebliche Folgekosten verursachen kann, welche diesen Kostenvorteil maßgebend beeinflussen. Bei der Verwendung von Spannbetonhohlplattendecken sind insbesondere die Gebäudegeometrie, die Spannrichtung, die Lage der Durchbrüche und notwendige Nacharbeiten zu berücksichtigen. Wegen der systembedingten festgelegten Elementbreiten und Kammerabstände, ist nur eine relativ unflexible Grundgeometrie verfügbar. Schräge Plattenanschnitte an den Enden sind nicht möglich. Aussparungen im System unterliegen stark reglementierten Vorgaben, insbesondere quer zur Spannrichtung liegende Deckendurchbrüche sind nur eingeschränkt möglich. Bauvorhabenspezifische Nacharbeiten an den Grundplatten sind zurzeit immer Sonderanfertigungen, welche neben den Mehrkosten auch besondere Planungsaufwendungen zum Brand- und Schallschutz verursachen. Bei Verwendung der Unterseiten als fertige Sichtfläche ist erhöhte Sorgfalt bei der Kantenausbildung, bei der Berücksichtigung von Elementtoleranzen und der Festlegung zur Lage von notwendigen Passfeldern notwendig. In Wuppertal konnte dies gut umgesetzt werden. In Bochum hat dieser Sachverhalt zu Ausführungsschwierigkeiten geführt. Eine Besonderheit stellt die bisher empfohlene Ausführung von Entwässerungslöchern dar. Mittels dieser soll Wasser, welches während der Bauzeit in die Hohlkammern gelangt ist, wieder ablaufen können. Die Löcher werden bisher im Werk unregelmäßig und nur teilausgeführt an der Unterseite geprägt. Die werkseitige Ausführung ist für eine Fertigoberfläche nicht geeignet und in den untersuchten Bauvorhaben auch mehrfach mangelhaft ausgeführt worden. Hier sollten die Hersteller neue Möglichkeiten des werksseitigen Schutzes der Kammern überdenken oder generell auf eine Auslieferung mit geordnet vorgestanzten Entwässerungslöchern hinwirken. Seitens des Systemherstellers wurde entsprechende Optimierungen zugesagt. Eine weitere Aufgabe an die Hersteller ist die Integration der TGA-Durchführung unter Berücksichtigung der Brandschutzanforderungen. Hierzu sollten Systemlösungen mit Zulassungen erarbeitet werden.

Um die Bauzeit gegenüber einer Ortbetondecke beziehungsweise einer Elementdecke deutlich zu reduzieren, wäre eine trockene Verbindungsherstellung erforderlich, damit die örtlich zeitaufwendigen Restarbeiten durch die Bewehrungseinlage und Vergussarbeiten entfallen können. Diese Vorteile existieren beispielsweise auch bei den o. a. schlaff bewehrten Systemen.

Die in den Bauvorhaben verwendeten Peikko-Träger haben den Vorteil, dass diese als deckengleicher Unterzug einen Leitungsverzug der TGA direkt unter der Rohdecke sehr flexibel ermöglichen und damit die Geschosshöhen verringert werden können. Die Besonderheiten hinsichtlich der Durchlaufwirkung der Lasten in den Decken wurde in den entsprechenden Kapiteln des Berichtes detailliert beschrieben. Bei eingeschränktem Anbieterkreis ist dieses System jedoch eher teuer. Die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems Spannbetonhohlplatten kann projektspezifisch über den Einsatz einer großen Anzahl von Verbundträgern maßgebend beeinflusst werden. In Wuppertal wurde daher zwecks Kostenreduzierung der Einsatz dieser Konstruktion zu Gunsten herkömmlicher Auflagersysteme in gestapelter Weise wesentlich reduziert.

Konstruktiv und gestalterisch wäre eine Änderung des Trägerquerschnittes sinnvoll, sodass die Oberkante des Peikko-Trägers bündig zu der Oberkante der Spannbetonhohlplatten liegt und so eine ebene Fläche auf der Rohdeckenoberseite existiert. Derzeit entsteht bei einem Deckensystem aus Spannbetonhohlplatten mit Verbundträgern auf Grund der Stärke des Auflagerbleches und des Auflagerstreifens ein Höhenversatz von ca. 20 mm zwischen Verbundträger und Spannbetonhohlplatte, was aufwendige Nacharbeiten zur Folge hat. Weiteres Optimierungspotential wurde in den Bauvorhaben hinsichtlich der Systemanschlüsse Peikko-Stützenschuhen und Peikko-Ankerbolzen aufgezeigt. Die entstandenen Schwierigkeiten sollten über einfache Baukastensysteme verbessert werden.

Der wesentliche Vorteil der Fertigwänden gegenüber einer Ortbetonwand ist die deutlich reduzierte Trocknungszeit. Bei trockenen Elementstößen wird weitere Optimierung ermöglicht. Die Verlegung wird jedoch auch maßgeblich von den bauvorhabenspezifischen Besonderheiten bedingt. Bei der Verwendung von Fertigwänden ist ein möglichst geringer Anteil von Einbauteilen innerhalb der Fertigwänden empfehlenswert, um so die Schnittstellen zu anderen Fachplanern und Gewerken und damit einhergehende Fehlerpotentiale zu reduzieren. Im Wuppertaler Projekt wurde zu diesem Thema und hinsichtlich einer möglichen Revisionierbarkeit der TGA-Trasse erfolgreich eine Sonderlösung realisiert. Über eine Medienleiste, die sich in dem Zimmer vor der Fertigwand befindet, wurden die Beleuchtung, Lichtschalter, Steckdosen und die EDV-Anschlüsse, sowie teilweise Lüftungskanäle in den Individualräumen verlegt. Eine Leerrohrinstallation oder die Montage von Einbauelementen im Rohbau konnte so entfallen. Neben der funktionalen Optimierung konnte ebenfalls eine gut gestaltete Ausbauvariante realisiert werden.

Bäder

Zum Thema Bäder ist die Grundidee diese in Form von Fertignasszellen herzustellen positiv zu werten. Die Qualitätsverbesserung und verkürzte Baustellenabläufe bringen maßgebliche Vorteile. Finanzielle Vorteile sind in der zurzeit praktizierten Umsetzung schwer und in den meisten Fällen erst ab einer Stückzahl von ca. 100 Einheiten realisierbar.

Das Potential dieses Konzepts ist in der momentan praktizierten Weise jedoch noch nicht ausgeschöpft. Durch den hohen Bauvorhaben spezifischen Planungsaufwand zwischen Planern und Herstellern kommt es nur zu Verschiebungen zwischen Planungs- und Bauzeit, jedoch zu keinen ganzheitlichen Ablaufverkürzungen. Die Vorlaufzeiten sind sehr hoch und die Erstellung einer Musterzelle bedeutet zusätzlichen Zeitverlust und ist daher kritisch zu sehen. Es ist zu empfehlen Bautypen als ganzheitliche Lösung zu finden, da im kosten- und raumsparenden Bauen nur geringe Grundrissvarianten möglich sind. Vorstellbar ist eine Art Katalog zu entwickeln aus welchem die Fertignasszelle auf vorgegebenen Plattformen zusammengesetzt werden kann. So werden Kosten im Herstellungsprozess eingespart und ebenfalls der Planungs- und Zeitaufwand reduziert. Ähnlich einem bei den Fahrzeugherstellern verwendeten Konfigurator können dann für die Bauvorhaben individuell gestaltete Typenbäder abgerufen werden. So könnte auch die immer wieder erneute Herstellung einer Musterzelle entfallen, da diese bereits beim Hersteller als Prototyp gefertigt wurde.

Außerdem sollte die Vorfertigung des Schachtes integriert werden, um hier Schnittstellen zu reduzieren und den Geräuschenstehungsfaktor im Schacht besser zu regulieren. So könnten auch die zurzeit noch notwendigen vielfältigen projektspezifischen Anpassungen zur Erreichung eines hochwertigen Schallschutzes ggf. reduziert werden.

Ökologisch betrachtet ist die Systemauswahl Stahl zu hinterfragen, da Stahl zwar sehr gut recycelbar jedoch in Zusammenhang mit den verklebten Verbindungen und der Füllung im Nachgang schwer trennbar ist. Hier wäre es sinnvoll ein Recyclingkonzept durch den Hersteller zu erreichen um die Materialien wieder an seinen Ursprung zu bringen und weiter zu verwerten. Hier bieten aktuell sich in der Entwicklung befindliche Holzbausystemlösungen grundsätzliche Vorteile, jedoch geht dies meist mit größeren Wandstärken und damit einem größeren Platzmehrabbedarf einher.

Beim Transport der Zelle können Vorteile in unterschiedlichen Ansätzen gesehen werden. Zum einen die Segmentfertigung um den Transport zu reduzieren, da eine Vollfertigung gleichzeitig den Transport von Luft bedeutet und mehr LKW-Ladungen benötigt werden. Zum anderen die Vollfertigung, da gerade kleine, bereits fix und fertig ausgebaute Einheiten für den Modulbau geeignet sind, bei welchen sehr wenig Luft transportiert und deutlich an Verpackung gespart wird, da alles durch die Zelle sicher verpackt ist. Aufgrund der geringen Raumgröße wird diesem Ansatz - im Gegensatz bei der Erstellung kompletter Wohnräume - ein größeres Potential zugeschrieben.

Holztafelemente

Betrachtet man die Holztafelemente hinsichtlich ihrer Qualität, Flexibilität und der Ökologie kann man zusammenfassend sagen, dass die Thesen der Planer weitestgehend erfüllt wurden. Das vorgefertigte Element weist eine sehr gute Qualität auf und bietet vielseitige Gestaltungsmöglichkeiten. Die geplante Bauzeit bzw. Montagezeit kann ebenfalls bestätigt werden, da eine schnelle Herstellung der wetterfesten Hülle und somit die Voraussetzungen für den Beginn Innenausbau erreicht wurde. Zu beachten ist jedoch, dass unbedingt in der Planungsphase auf Toleranzen zum Rohbau geachtet werden muss und diese mit eingeplant werden sollten um einen gestörten Bauablauf und zusätzliche Kosten zu vermeiden.

Wichtiger Faktor bei der Planung ist die Art der Fassadenbekleidung. Ein unempfindliches und robustes Material ist hierfür sehr geeignet da es keine Schwierigkeiten beim Transport aufweist und weniger schadensanfällig ist. Transportmöglichkeiten und effiziente Auslastung des LKWs haben einen entscheidenden Einfluss auf den Vorfertigungsgrad der Elemente mit Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion. Empfindlichere Materialien wie zum Beispiel Bleche müssen gesondert transportiert und nachträglich montiert werden, dieses wiederum stört den Bauablauf der Außenanlagen aufgrund der dann benötigten Gerüst Stellung. Fassadenbekleidungen aus Holz sind für die Hersteller sehr einfach umzusetzen, da sie mit dem Material vertraut sind. Hier gibt es aber baurechtliche Grenzen bezüglich der Ausführung vor allem ab Gebäudeklasse 4 (i.d.Regel 4-geschossig und höher). Die neuen Regelungen in den Bauordnungen begünstigen zwar meist die Holzverwendung sind aber baurechtlich oft noch nicht ausreichend klar definiert. Die Schweizer Richtlinie ([Bart, B. et al.] kann hier als Handlungsempfehlung dienen. Es bedarf jedoch für jedes Projekt ab Gebäudeklasse 4 einer erneuten Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden mit hohem Zeitaufwand und ungewissem Ausgang. Dies ist deshalb bedauerlich, als dass dadurch die Hürden für den Einsatz sehr hoch sind und das Nutzen von erheblichen ökologischen und vor allem auch finanziellen Vorteilen maßgeblich erschwert wird. (Holzfassade Bochum 46,80/m²; Vergleich Faser-Beton-Platten 99,26; Vergleich verzinkte Stahlbleche 203,31 Euro jeweils netto). Ein großes Optimierungspotential für die Reduzierung von CO₂ Emissionen bleibt ebenso durch die aktuellen baurechtlichen Vorschriften meist unerreichbar. Die Beplankungen der wirtschaftlichen Holzrahmenbauweise sowie der eingesetzte Dämmstoff lassen die Verwendungen von Holzwerkstoffen oder alternativ für die Dämmung von Recyclingmaterial wie Zellulosefasern nicht zu. Dies ist unverständlich das die primären Schutzziele hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer damit problemlos erreichbar sind.

Verbesserungspotential sehen die Verfasser dieses Berichts in der Produktionskette und Planungsphase. Für spätere Anpassung des 3D Modells, zum Beispiel nach Erstellung eines Muster Elements, wäre es empfehlenswert die 3D Planung zu parametrisieren. So können zum Beispiel Abständen im Bereich der Fenster eine gewisse Intelligenz zugeordnet werden und nachträgliche Änderungen für alle betreffenden Bauteile erleichtern o-

der gar möglich machen. Die BIM Methode bietet hierfür sicherlich ein entsprechendes Potential soweit die Programme eine solche Parametrisierung zulassen. Dabei ergeben sich jedoch deutliche Leistungsverschiebungen zwischen Planer und ausführenden Unternehmen die auf Basis der HOAI nur schwierig abzubilden und im öffentlichen Vergabeverfahren in vielen Belangen konträr geregelt sind.

Empfehlenswert ist daher ein kooperatives Ausschreibungsverfahren um innovative Ansätze frühzeitig mit den ausführenden Unternehmen abstimmen zu können. Hierzu existieren in der Veröffentlichung "Lean Wood" bereits Handlungsempfehlungen.

Bauzeiten

Um besser auf den Baustellenablauf und eventuelle Verschiebungen im Terminplan reagieren zu können ist eine Just-in-time Produktion zu hinterfragen. Nur wenn keine zusätzlichen Lagerplätze bei innerstädtischen Grundstücken zur Verfügung stehen, sollte dies angedacht werden. Ansonsten ist es vorteilhaft die Zwischenlagerung auf der Baustelle in Betracht ziehen, um Terminverschiebungen auffangen zu können. Entsprechende Transportlösungen mittels Transportbrücken stehen hierfür zur Verfügung.

Mit der Vorfertigung von Fassaden werden traditionell getrennte Gewerke in neue Vergabeeinheiten zusammengefasst. Zurzeit existiert nur ein begrenzter Anbieterkreis von Fertigteilunternehmen, die hybride Angebotsstrukturen vorhalten. Eine Erweiterung dieses Anbieterkreises wird in den nächsten Jahren sicherlich erfolgen. Die zurzeit sehr große Auslastung in der gesamten Baubranche steht jedoch der innovativen Weiterentwicklung entgegen. Derzeit werden vorrangig bestehende Strukturen bedient, Innovation (insbesondere auch ökonomisch optimierte) werden aufgrund der angespannten Wirtschaftslage nur verhalten weiterentwickelt.

Betrachtet man die vorgenannten Themen hinsichtlich der gewonnenen Erkenntnisse zur Terminplanung wird deutlich, dass sich die Vorfertigung bisweilen auf die Rohbau- und Außenwandkonstruktion sowie den Einsatz von Fertignasszellen beschränkt. Der Innenausbau und die technische Gebäudeausrüstung werden weiterhin meist konventionell ausgeführt. Bei dem Forschungsprojekt wurde ca. 35 % der Bauzeit für die Gewerke mit hohem Vorfertigungsgrad benötigt. Die restlichen 65 % der Bauzeit wurden für Gewerke vor Ort in konventioneller Bauweise benötigt.

Zu den drei Vorfertigungsthemen "elementierter Rohbau", "Nasszellen" und "Holztafelbau" wurde in der Realisierung grundsätzlich bestätigt, dass die konventionelle Ausführung auf der Baustelle deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als die vorgefertigte Bauweise. Die tatsächlichen Bauzeiten wurden bzgl. der projektspezifischen Besonderheiten bereinigt und mit der in der Projektierung der Baumaßnahme prognostizierten Bauzeiten gegenübergestellt. Hieraus ergibt sich die nachstehend erzielte Bauzeitverkürzung:

Für den elementierten Rohbau werden **"Konventionell" 35 Wochen gegenüber bereinigt "Vorgefertigt" 23 Wochen benötigt, welches 12 Wochen Verkürzung entspricht**. Für die Bäder werden **"Konventionell" 36 Wochen gegenüber bereinigt "Vorgefertigt" 18 Wochen benötigt, welches 18 Wochen Verkürzung entspricht**. Für die Holztafelelemente werden **"Konventionell" 18 Wochen gegenüber bereinigt "Vorgefertigt" 9 Wochen benötigt, welches 9 Wochen Verkürzung entspricht**.

Maßgebende Bauzeitverkürzungen konnten also bei den Nasszellen und den Fassadenelementen erzielt werden. Die Bauzeitverkürzungen im Rohbau sind erheblich von den projektspezifischen Gegebenheiten abhängig. Die für den elementierten Rohbau noch notwendigen Optimierungen wurden im Kapitel zur Vorfertigung entsprechend detailliert erläutert.

Entscheidend für den Gesamtablauf der Baumaßnahme ist, dass die Verkürzungen in der Bauzeit mit entsprechenden Vorlaufzeiten verbunden sind. So wird die Planungszeit vor Ausschreibung und die technische Klärung und Vorfertigungszeit der Auftragnehmer nach Vergabe maßgebend verlängert. Es findet also eine Zeitverschiebung von der Ausführung zur Planung und Arbeitsvorbereitung statt. Die Bauzeitverkürzung führt ausdrücklich nicht zur Verkürzung der gesamten Projektierung der Baumaßnahme. Der verlängerte Vorlauf und teilweise maßgebende Ablaufveränderungen in der Planung und Ausschreibung sind besonders zu berücksichtigen. Beispielsweise mussten im realisierten Projekt die Sanitärzellen als erste Ausschreibung veröffentlicht werden, noch vor den Erd- und Gründungsarbeiten.

Die elementierte Bauweise hat also teilweise eigene Strukturen, welche von Beginn an berücksichtigt werden müssen. Die Anforderungen an eine zeitlich und inhaltlich gut organisierte Planung sowie ein Bauablaufmanagement mit entsprechenden Zwischenlagerungen von vorgefertigten Bauteilen sind sehr hoch, die Abläufe auf der Baustelle können bei guter Vorplanung wesentlich verkürzt werden.

Nachnutzung

Ein weiteres Ziel des Förderprogramms VarioWohnen ist die Analyse der Nutzungsmöglichkeiten und die Untersuchung verschiedener Nachnutzungsszenarien. Der gemischten Nutzung sowie der Nachnutzung von Gebäuden werden bei dem Forschungsprojekt hohe Stellenwerte beigemessen. Wohnen sollte auf sich verändernde Gesellschaftsstrukturen reagieren können und für den jeweiligen Nutzermix eine angemessene, reduzierte Wohn-/Lebens-Fläche bereitstellen. Hierauf basiert die Idee der variablen Grundrissstrukturen.

Mittels der hier realisierten Rohbaustuktur mit weit gespannten Deckentragwerken und der Reduzierung tragender Bauteile im Gebäudeinneren wird für die Umsetzung dieser Idee die maßgebende Grundlage gebildet. Es entsteht ein frei beispielbares „Wohnregal“ mit gut organisierten Trag- und Technikstrukturen. Über die so entstandene Freiheit der Grundrissgestaltung wird eine Vielzahl von Raumzuschnitten ermöglicht und weiterführend auch Nutzungen, die heute noch nicht absehbar sind. Bereits in der Erstbelegung zeigt sich in Wuppertal die Vielfalt, mit der die Wohneinheiten organisiert werden können. Die Reduzierung auf einen nur 14m² großen Individualraum bietet in Verbindung mit einem unterschiedlich strukturierten Gemeinschaftsbereich keine Einschränkung beim Wohnkomfort. Ergänzend wird eine Erschließungsstruktur für die Gebäude gewählt, welche ein Schalten der einzelnen Grundmodule zu verschiedenen Wohneinheiten ermöglicht. Es wird aufgezeigt, dass die Reduzierung der Wohnfläche pro Bewohner mit geeigneten konzeptionellen Maßnahmen ohne Verluste in der Wohnqualität und mit großer Variabilität hinsichtlich der Nachnutzung möglich ist.

So sind nicht nur Studierendenwohnungen in dem Projekt denkbar, sondern auch eine Wohnnutzung außerhalb der Zielgruppe. Das Projekt bietet durch mehrere Gebäude ebenfalls die Möglichkeit eine Mischnutzung anzubieten, bei welcher unterschiedliche Wohnformen voneinander profitieren können.

Es ist darüber hinaus denkbar eine zur Wohnnutzung divergente Nutzergruppe anzusprechen und die Wohnräume in Bürostrukturen zu ändern. Auch hier wäre eine Kombination denkbar, da sich die Bedürfnisse an den Arbeitsplatz wandeln.

Die in der Grundrissorganisation eingeräumte Variabilität setzt sich in der Gestaltung der Außenanlagen fort. Die vorgeschalteten Freiräume und privaten Außenräume können ebenfalls mit wenigen Maßnahmen für eine geänderte Nutzerstruktur hergerichtet werden.

Die elementierten und nicht tragenden Fassaden ermöglichen grundsätzlich eine beliebige Anpassung der Gebäudehülle. Die Fassadenelemente können in Teilen oder komplett ohne bedeutende Eingriffe in die übrige Bausubstanz abgenommen werden, Waren in den vergangenen Jahren energetische Sanierungen im Fassadenbereich der Wohngebäude maßgebende Auslöser für umfangreiche Umbaumaßnahmen, werden hierfür zukünftig die Funktionserweiterungen bzgl. der Gebäudehüllen maßgebend sein. Fassaden werden neben Wetterschutz beispielsweise auch als Energieerzeuger, vertikale Gärten oder Luftreiniger dienen. Eine Integration unterschiedlicher Zusatzbausteine ist in der elementierten, nicht tragenden Konstruktion denkbar.

Nachhaltigkeit

Im Rahmen der Förderung VarioWohnen sollen die Projekte durch ein Nachhaltigkeitssystem, zur Auswahl standen hier NaWoh und DGNB, zertifiziert werden. Vor dem Hintergrund der aktuellen gesellschaftlichen - und von der Wissenschaft gestützten - Diskussion zum Klimawandel ist zu erwarten, dass das Treibhauspotential von Gebäuden einer immer größeren Bedeutung bei der Bewertung zugemessen wird. Die Berechnungen haben gezeigt, dass bei verbesserten Energiestandards (EnEV) hierbei zunehmend die Baukonstruktion für weiteres Reduktionspotential ausschlaggebend ist. Außerhalb von Zertifizierungssystemen bestehen hierzu jedoch auf ordnungsrechtlicher Seite unverständlichweise noch keinerlei Vorgaben. Dies und die Komplexität der zur Bewertung notwendigen Ökobilanzberechnungen führt zu einer im üblichen Planungsablauf nicht Beachtung dieses Optimierungspotentials obwohl die notwendigen Daten hierzu frei verfügbar sind. Das Holz als nachwachsender und

damit CO₂ speichernder Baustoff grundsätzlich vorteilhaft ist, ist zwar bekannt, die exakten quantitativen Auswirkungen jedoch meist nicht. Hier können die weiteren Ausbaustoffe, vor allem die im Fassadenbereich, die erhofften Vorteile schnell zunichtemachen. Für Planungsentscheidungen im Sinne einer für die Nachhaltigkeit wichtigen Ausgewogenheit zwischen Ökonomie und Ökologie sind Kenntnisse und Daten zu beiden Bereichen notwendig. In den meisten Datenquellen überwiegen jedoch die ökonomischen Daten, so dass diese die Entscheidung stark dominieren.

Bereits heute sind Bauweisen vorhanden die gleichermaßen ökologische als auch ökonomische Vorteile aufweisen (z.B. Holzfassaden). Für die anderen Fälle wären aufgrund auch ökonomisch begrenzter Ressourcen Werte zu Kosten von CO₂-Einsparung hilfreich. Aus anderweitigen Forschungsprojekten (+++Haus, DBU Förderung AZ. 31718) ist bekannt das Holzmassivbauweisen mit ca. 2,50 Euro / Tonne eingespartes CO₂äqv. eher teuer sind im Vergleich zu alternativen Dämmstoffen aus Holzfaser oder Zellulose mit ca. 0,4 Euro/ Tonne eingespartes CO₂äqv.

Es bleibt zu hoffen, dass die angestrebte weitere Digitalisierung der Planungs- und Bauprozesse diese Zusammenhänge durch zur Verfügung Stellung entsprechender Datenbanken besser anwendbar macht.

Angesichts der großen zusätzlichen Einsparpotentiale können auch die aktuellen Benchmarks der bestehenden Zertifizierungssysteme kritisch betrachtet werden bei denen auch mit klassischen schweren und damit meist CO₂ intensiven Bauweisen höchste Zertifizierungsstufen gut erreichbar sind. Bei einer deutlich größeren Wichtung der ökologischen Belange (zurzeit 22,5% nach DGNB) würden die Materialfrage und das damit einhergehende Einsparpotential sich vermutlich schneller erschließen lassen.

Nach Abschluss der Baumaßnahme wird für das Projekt ein finales Projektaudit erstellt und zur Konformitätsprüfung bei der DGNB eingereicht.

Zum Zeitpunkt der durchgeführten Pre-Checks der Planung lag diese bereits im Stadium einer Genehmigungsplanung vor. Grundsatzentscheidungen konnten daher durch die Erkenntnisse nicht beeinflusst werden. Der Pre-Check ergab aber direkt eine hohe und auch angestrebte Erfüllungsquote. Es wurden im Pre-Check keine wesentlichen Problemfelder aufgezeigt, die bei frühzeitiger Anwendung des Systems zu anderen Entscheidungen geführt hätten. Ausschlaggebend hierfür war neben der Entscheidung zum Bau eines Passivhauses vor allem auch die frühzeitige Festlegung zum großflächigen Einsatz von Holzbaustoffen vor allem im Bereich der Außenwandbauteile.

Die Erreichung eines noch höheren Standards (Stufe Platin) wurde vom beauftragten Auditor für Wohngebäude als sehr schwierig erachtet. Ziel der weiteren Abstimmung war daher den Goldstandard möglichst gesichert zu erreichen. Um Platin zu erreichen müssten die Kosten noch weiter gesenkt werden und der soziologische Teil vertieft werden, zum Beispiel durch Gestaltung der Außenanlagen mit Bänken und Raucherinseln, Stärkung der E-Mobilität und Verbesserung des Lebensraumes von Tieren wie Insekten. Außerdem wird durch die Schaffung von einer barrierefreien R-Wohnungen auf 8 Wohnungen, die DIN 118040 zwar übererfüllt aber bessere Voraussetzungen für Platin geschaffen.

In der begleitenden Planungs- und Bauphase wurde vor allem die Baustoffauswahl im Hinblick auf die zu erreichende geringe Schadstoffbelastung intensiv zwischen dem Planungsteam abgestimmt. Alle zu verbauenden Materialien wurden überprüft. Aufgrund der Anforderung nach Produktneutralität im Rahmen der öffentlichen Ausschreibung wurden die möglichen Grenzwerte bzw. Umwelteinstufungen als Grenzwerte mit ins Leistungsverzeichnis aufgenommen. Alle auf der Baustelle eingesetzten Produkte benötigten im Vorfeld eine nochmalige gesonderte Freigabe. Dieser Prozess erfordert eine frühzeitige Abstimmung hat aber nicht zu wesentlichen Beeinträchtigungen geführt. Fast immer konnten entsprechende Produkte aufgezeigt werden, welche die Anforderungen erfüllen.

Aus Sicht der Planer kann die angestrebte Zertifizierung gegenüber den ausführenden Firmen als zusätzliche Begründung dienen, die geforderten Produktdatenblätter rechtzeitig vorzulegen.

Die Zertifizierung konnte zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen werden, da sich das Studentenwohnheim noch im Bau befindet. Für das finale Projektaudit sind Unterlagen und Nachweise erforderlich, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorliegen. Hierzu zählen unter anderem die Kostenfeststellung, Messergebnisse der Innenraumluftmessung und die Fotos vom fertiggestellten Gebäude.

Für die Zertifizierung werden die benötigten Nachweise von den Fachplanern angefordert, sortiert und aufbereitet. Pro Kriterium wird ein Erläuterungsbericht geschrieben, der die wichtigsten Informationen, Ausschnitte der Nachweisunterlagen sowie die angestrebte Bewertung enthält.

Nach Hochladen und Übermitteln der Nachweise an die DGNB findet eine Konformitätsprüfung statt welche das Ergebnis bestätigt oder es werden ggf. weitere Erläuterungen und Nachweise nachgefordert.

Nach Abschluss der Prüfung wird das DGNB- Zertifikat sowie die Urkunde ausgehändigt.

In den Bauherrengesprächen wurde durch diesen aufgezeigt eine solche für zukünftige Projekte eher nicht anzuwenden. Es fehlt daher an einer Verdeutlichung der mit der Zertifizierung zu erreichenden Mehrwerte. Dieser fehlenden Erkenntnis stehen relativ hohe Kosten für den Zertifizierungsprozess gegenüber so dass die Bereitschaft hierdurch weiter negativ beeinflusst wird.

Die innerhalb der Zertifizierungssysteme angesprochenen Qualitätskriterien sollte jedoch eigentlich eine planerische Selbstverständlichkeit abbilden, so dass die gesonderte Beauftragung von Nachhaltigkeitsexperten in einem qualifizierten Planungsteam nicht zwingend erforderlich sein sollte. Dies kann in der Zukunft nur über eine entsprechende Aus- und Weiterbildung der Verantwortlichen erreicht werden.

Weiterhin wäre ein stärkerer ökonomischer Anreiz für eine lebenszyklusweite Betrachtung wünschenswert. Beispielsweise könnte die Vergabe von KfW Krediten und Tilgungszuschüssen nicht weiterhin nur an die Betriebsphase gekoppelt werden.

Die Erfüllung der richtigerweise breit aufgestellten vielfältigen Kriterien der Nachhaltigkeit kann aber auch nur gelingen, wenn dies bereits in den ersten Projektierungsphasen eine tragende Rolle spielt. In diesem Sinne kann auch ein ordnungspolitischer Rahmen - anlehnend an die EnEV - die Nachhaltigkeit des Gebäude Bestandes positiv beeinflussen.

Kosten

Die Qualitätsvorgaben aus dem Forschungsvorhaben VarioWohnen sind überdurchschnittlich hoch. Es wird neuer Wohnraum erstellt, der gemäß der drei Säulen der Nachhaltigkeit "ökonomische", "ökologische" sowie "soziokulturelle und funktionale" Qualitäten in herausragender Weise aufzeigt. Für beide Standorte, Bochum und Wuppertal wird prognostiziert, dass die DGNB-Zertifizierung Gold erreicht wird. Dass diese Bauvorhaben hinsichtlich der Baukosten unter dem durchschnittlichen Baukostenindex BKI liegen, ist zunächst einmal eine Bestätigung, dass hohe Wohnqualität auch kostengünstig realisierbar ist. In Wuppertal liegt der Wohnheimplatz mit 82.896,83€ ca. 15 % und in Bochum mit 76.033,41€ ca. 23% unter BKI (Mittelwert pro Wohnplatz + 10 % Aufschlag für Passivhausstandard nach BKI → 98.065,00 €).

Dies bedarf besonderer Erwähnung, da die angespannte Konjunkturlage alles andere als günstig für die Projektrealisierung zu werten ist. Die seit Beginn der Planung eingesetzte Überhitzung der Bauwirtschaft mit entsprechenden Unterkapazitäten auf Seiten der Unternehmen hat zunächst grundsätzlich zu Preissteigerungen geführt. Darüber hinaus resultierten hieraus unterschiedliche Auswirkungen auf die in diesen Bauvorhaben ja ausdrücklich gewünschten Innovationen im Bereich Vorfertigung:

Bzgl. der Fertignasszellen waren die Auswirkungen relativ gering, da für diese bereits auch auf den Wohnungsmarkt ausgerichteten Spezialanbieter keine wesentlich neuen Produktionsabläufe zu kalkulieren waren. Vielleicht war die sehr frühe Vergabe, jeweils die erste in beiden Bauvorhaben, auch noch weniger von der angezogenen Konjunkturlage beeinflusst. Ab einer gewissen Größe (Richtwert>50 Stück) kann die Vorfertigung günstiger sein als die konventionelle Bauweise.

Deutlich negativer hat sich die Lage der Bauwirtschaft im Bereich der konsequenten Vorfertigung im Rohbau wiederspiegelt. Hier war eine deutlich geringere Bereitschaft der Bieter zu vermerken sich im Vorfeld eines Auftrages in innovative Bauprozesse umfangreich einzuarbeiten. Hierzu ist bei der konsequenten Verwendung von Fertigteilen der Rohbauer in der Regel auf Zulieferer angewiesen. Bei den meisten Bietern existiert hierfür nicht die gleiche Kalkulationssicherheit wie bei eigenen Leistungen oder routinemäßig zugestellten Fremdleistungen. Die eingekauften, in diesem Bauvorhaben für den Wohnungsbau sicherlich teilweise besonderen Fremdleistungen

bergen ein gewisses Kalkulationsrisiko. Entsprechend wird dieses im Angebot an den Auftraggeber weitergegeben bzw. kein Angebot abgegeben, wenn die Baumaßnahme eine gewisse Größe unterschreitet. Im größeren Bauvorhaben, in Bochum waren diese Auswirkungen wegen des größeren Bauvolumens abgeschwächer wahrnehmbar. In Wuppertal hat dies zur Aufhebung des 1. Ausschreibungsverfahrens geführt. Auch im 2. Verfahren konnte eine wesentliche Preissteigerung nicht verhindert werden. Grundsätzlich kann keine allgemeine Bewertung zum Kostenvergleich "Fertigteil/konventionelle Herstellung vor Ort" erfolgen. Der Kostenvorteil ist jeweils von Einsatzort und von den entsprechenden Neben- und Nacharbeiten abhängig. Fertigteile können in besonderen Fällen auch im Wohnungsbau kostengünstiger sein. Im Vergleich zum Industriebau ist hier jedoch noch ein erhöhter Abstimmungsbedarf notwendig. Im öffentlichen Vergabeverfahren werden hierzu Hemmnisse gesetzt, siehe nachfolgender Abschnitt.

Für die vorgefertigten Fassadenelemente sind neue gewerkeübergreifende Vergabeeinheiten notwendig, hierzu hat sich auf dem Markt bereits eine begrenzte Anzahl von Unternehmen etabliert. Weiterführende Innovationen, welche teilweise auch neuer Produktionsabläufe bedürfen, benötigen jedoch auch besondere Bauvorhaben spezifische Abstimmungen zwischen Planung und Ausführung. Im öffentlichen Vergabeverfahren sind hierzu jedoch keine Kooperationen zwischen Planer und ausführendem Unternehmen vor Auftragserteilung möglich. Dies führte in Wuppertal zur notwendigen Ausschreibungswiederholung. Die Holztafelelemente wurden hinsichtlich ihrer Kosten pro qm Wandfläche untersucht und verglichen mit der konventionellen Ausführung laut BKI. Zusammenfassend zu der Kostenauswertung nichttragende Außenwand ist zu sagen, dass die Ausschreibungsergebnisse ca. 35 % besser sind als der Vergleichswert BKI. Die äußere Beplankung erzielte im direkten Vergleich zum BKI ebenfalls zufriedenstellende Ergebnisse. Je nach Ausführung bzw. Materialität sind hier Einsparungen von bis zu 75 % möglich.

In der Summe hat dies in Wuppertal zu einer Kostensteigerung von 14 % geführt. In Bochum sind die Baukosten gem. Kostenberechnung nahezu eingehalten worden, hier kam es nur zu Verschiebungen innerhalb des Budgets. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Bauen mit vorgefertigten Bauteilen die Vorteile zunächst vornehmlich in der Bauzeitverkürzung und der Qualitätssicherung liegen. Kostenvorteile können unter bestimmten, gut abgestimmten Bedingungen erzielt werden. Dies bedarf jedoch noch einer gewissen Routine in den für den Wohnungsbau noch neuen Abläufen. Diese kann sich jedoch erst einstellen, wenn die Baukonjunktur wieder ein wenig beruhigt ist und Zeit zum Erarbeiten von und Einarbeiten in neue Ausführungsabläufe zur Verfügung steht.

3 Aufbau und Methodik der durchgeführten Forschungsleistungen

In einem anfänglichen Brainstorming mit Forschungs- und Planungsbeteiligten des Projektes wurden zu den vier Themenbereichen der Forschungsleistungen Stichpunkte erarbeitet, welche in dem Forschungsbericht detaillierter ausgearbeitet werden sollen. Als Grundlage für die Überlegungen dienten die beschriebenen Forschungsschwerpunkte aus dem Zuwendungsantrag und dem Zuwendungsbescheid. Da mit Beginn der Forschungsleistungen die Planungsphase des Projektes schon größtenteils abgeschlossen war und der Baubeginn kurz bevorstand, konnten Erfahrungen und erste Erkenntnisse aus der Ausführungsplanung mit aufgenommen werden. Bezugnehmend auf die gesammelten Stichpunkte wurde in dem nächsten Schritt eine klassische Gliederungsstruktur für die Forschungsthemen angelegt.

Im Projektvorlauf hat sich gezeigt, dass eine Gliederungsstruktur, die sich an den Forschungsleistungen orientiert, schnell unübersichtlich wird und sich häufig Themendopplungen ergeben. Um die Struktur des Forschungsberichtes zu verbessern, wurde anhand der Kontextanalyse n. G. Löhnert ein neuer strategischer Ansatz für die Gliederungsstruktur gewählt. Die Forschungsthemen sollen unter den Begriffen **RELEVANZ**, **HINTERGRUND**, **AUSWIRKUNG** und **FAZIT** strukturiert und bearbeitet werden.

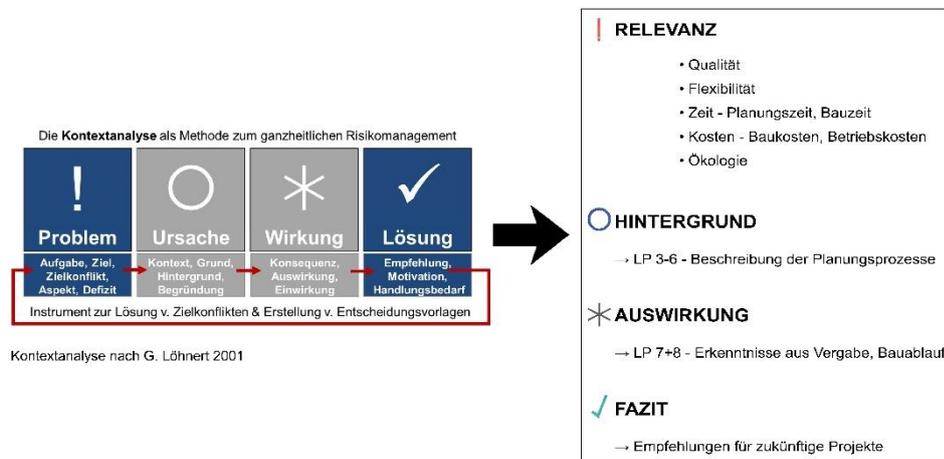


Abbildung 2: strategischer Ansatz Gliederung anhand Kontextanalyse n.G. Löhnert, [Hochschule Bochum]

Bei dem Forschungsschwerpunkt wissenschaftliche Untersuchung der Bauweise/Baukonstruktion wird die Vorfertigung als Themenschwerpunkt des Projektes in die drei Themen elementierter Rohbau, Bäder und Holztafelelemente unterteilt und analysiert. Einführend wird zunächst die RELEVANZ des Themas kurz beschrieben. Die inhaltliche Ausrichtung bezieht sich hierbei auf die fünf Aspekte - Qualität, Flexibilität, Zeit, Kosten, Ökologie - welche sich aus der Zielsetzung der Forschungsprogramms Variowohnen und der Erwartungshaltung des Förderantrags ergeben. Die folgenden Inhalte werden unter diesen fünf Aspekten betrachtet:

- **Qualität:** Qualitätssicherung bzw. Qualitätssteigerung bezogen auf Energie, Dauerhaftigkeit, Kosten, Zeit, soziale Qualität und Gestaltung
- **Flexibilität:** Umnutzungspotentiale kurzfristig, mittelfristig und langfristig betrachtet
- **Zeit:** unterteilt in Planungs- und Bauzeit (Montage), bei der Vorfertigung wird die zwischengeschaltete Produktionszeit ebenfalls betrachtet
- **Kosten:** unterteilt in Herstellungskosten (Planungs- und Baukosten) und Betriebskosten
- **Ökologie:** Umweltbelastungen bei der Herstellung und Montage, Rezyklierbarkeit

Unter dem Begriff HINTERGRUND werden Erkenntnisse aus dem Planungsprozess bis zur Ausschreibung (LP 3-6) beschrieben. Erkenntnisse aus dem Vergabeverfahren und dem Bauablauf (LP 7+8) werden anschließend unter AUSWIRKUNG betrachtet und nach den hierfür relevanten Aspekten gegliedert. Im FAZIT werden abschließend Erkenntnisse zusammengefasst und wenn möglich Empfehlungen für zukünftige Projekte formuliert. Diese Gliederungsstruktur lässt sich weitestgehend auf die weiteren Forschungsthemen zur wissenschaftlichen Untersuchung der Bauweise/Baukonstruktion, wie die Betrachtung der geplanten Bauzeitverkürzung mit der tatsächlichen Bauzeit, die Auswirkungen auf den Bauablauf und die Wirtschaftlichkeit, sowie Nachnutzung, gut

übertragen. Hier werden die Themen jedoch nur hinsichtlich ihrer Relevanz und ihrer Auswirkung beschrieben. Die im Fazit gezogenen Erkenntnisse und Empfehlungen fließen in die Kurzfassung des Berichtes mit ein.

Um einen möglichst großen Wissensaustausch zu erzielen, werden die Forschungsthemen online mit Hilfe einer Wissensmanagement und Kolaborations-Software (Confluence von Atlassian) bearbeitet. Von der Hochschule Bochum werden insgesamt zwei "Modellvorhaben zum nachhaltigen und bezahlbaren Bau von Variowohnungen" als Forschungseinrichtung begleitet. Da es Gemeinsamkeiten in der Organisationsstruktur und auch projektübergreifende Themen gibt, werden beide Projekte in einem Bereich der Datenbank zusammengefasst.

Für die Ausarbeitung der Forschungsthemen wurde zunächst die Organisationsstruktur in die Online Datenbank übertragen. Neben dem Wissensmanagement erfolgt über die Software auch die allgemeine Organisation des Forschungsprojektes. Dazu gehört das Aufgabenmanagement, die Erstellung eines Terminplanes, das Festhalten von Protokollen, Projektunterlagen und ähnlichem. So wird inhaltlich und organisatorisch das Forschungsprojekt ausschließlich in der Confluence Software bearbeitet. Um die Zusammenarbeit zwischen dem Forscherteam der Hochschule Bochum und ACMS Architekten zu vereinfachen und zu verstärken, haben auch die Architekten Zugriff auf die Confluence Software.

Notiz-Struktur

Damit forschungsrelevanten Themen, Schwierigkeiten und Probleme, die während des laufenden Planungs- und Bauprozesses auftreten, fortlaufend notiert und für die spätere Ausarbeitung gesammelt werden können, wurde eine Notiz-Struktur ausgearbeitet und in die Online Datenbank übertragen. Auf der Startseite des Forschungsprojektes befindet sich ein Bereich mit drei plakativ dargestellten Bildern von Notizzetteln. Es gibt jeweils einen Notizzettel für die projektspezifischen Themen der beiden Forschungsprojekte und einen für gemeinsame und allgemeine Themen. Klickt man einen Notizzettel an, erscheint eine vom Forschungsteam erarbeitete Vorlage zum Eintragen der Notiz. Auf einer übergeordneten Seite werden die einzelnen angelegten Notiz-Seiten jeweils für die drei Bereiche (804_Allgemein - 178_Forschungsprojekt Wuppertal - 184_Forschungsprojekt Bochum) automatisch tabellarisch zusammengefasst dargestellt. So haben alle Benutzer die Möglichkeit einen Überblick über den Bearbeitungsstand der Notiz-Seiten zu erlangen und können die Themen inhaltlich verfolgen. Die gesammelten Themen werden anschließend von dem Forschungsteam ausgewertet und in die Gliederungsstruktur des Forschungsberichtes zur weiteren Bearbeitung integriert.

Änderungen des Arbeits- und Zeitplans gegenüber dem Antrag

Die Forschung zum Projekt wurde wie bei der Antragsstellung geplant, projektbegleitend durchgeführt. Durch Verschiebungen im Bauablauf - nähere Erläuterungen zu Terminverschiebungen im folgenden Bericht - wurde der Forschungszeitraum angepasst, um alle Erkenntnisse evaluieren zu können. Durch die enge Zusammenarbeit mit ACMS Architekten wurde der Forschung die Möglichkeit gegeben, Einblicke in die Planungsphase vor Forschungsbeginn zu erlangen und somit die Themen ganzheitlich betrachten zu können. Hieraus resultierte die oben beschriebene Gliederungsstruktur zur Bearbeitung der Themenschwerpunkte. Es gibt keine Änderungen bezüglich der Zielsetzung der Forschung gegenüber dem ursprünglichen Antrag.

4 Ergebnisse und Bewertung

4.a. Bauweise/Baukonstruktion

4.a_1. Vorfertigungssysteme

Durch den Einsatz von verschiedenen Vorfertigungssystemen ist es beabsichtigt, den Neubau der fünf drei Wohngebäude für Studierende innerhalb einer verkürzten Bauzeit in einer hohen Bauqualität zu realisieren. Der Rohbau besteht daher aus vorgefertigten Stahlbetonfertigteilelementen mit eingestellten, im Stahleleichtbau vorgefertigten Sanitärzellen. Vor die Rohbaukonstruktion werden großflächige, vorgefertigte Holztafelelemente mit vollständig eingesetzten Fenstern und größtenteils vormontierter Fassade als vertikale Gebäudehülle gehängt bzw. gestellt.

Innerhalb des Forschungsschwerpunkts wissenschaftliche Untersuchung der Bauweise/Baukonstruktion werden diese drei Vorfertigungssysteme als Themenschwerpunkt detailliert betrachtet:

1. **Elementierter Rohbau**
2. **Bäder**
3. **Holztafelelemente**

Die Analyse erfolgt hierbei jeweils nach der bereits beschriebenen Gliederungsstruktur **RELEVANZ, HINTERGRUND, AUSWIRKUNG** und **FAZIT**. Einführend wird zunächst die **RELEVANZ** des Themas in Bezug auf die allgemeine Bedeutung im Bauprozess betrachtet. Unter dem Begriff **HINTERGRUND** werden die Erkenntnisse aus dem Planungsprozess bis zur Ausschreibung (LP 3-6) beschrieben. Die während der Planungsphase betrachteten Möglichkeiten inklusive den Entscheidungsfindungen und Erwartungshaltungen der Planer werden hierdurch dokumentiert. Dabei werden die einzelnen Abschnitte nach den fünf Aspekten - **Qualität, Flexibilität, Zeit, Kosten und Ökologie**, die sich aus der Erwartungshaltung des Förderantrages und den Zielsetzungen des Forschungsprogramms ergeben, mit der folgenden inhaltlichen Ausrichtung gegliedert.

Qualität Die Zielvorstellung der Planer ist es, durch den Einsatz von vorgefertigten Systemen eine Qualitätssicherung bzw. sogar eine Qualitätssteigerung hinsichtlich energetischer Aspekte, der Dauerhaftigkeit, den Kosten, der Zeit, sozialer Qualität und der Gestaltung zu erlangen. Die überwiegende Zahl der Vorfertigungssysteme sind jedoch nicht langjährig evaluiert. Dadurch gibt es derzeit nur eine begrenzte Auswahl von bekannten Systemen auf dem Markt. Fachplaner sowie ausführende Firmen verfügen oft nur über eingeschränkte Erfahrungen mit Vorfertigungssystemen. Durch diesen Aspekt könnte wiederum ein nachteiliger Einfluss auf die Qualität entstehen.

Flexibilität Bezüglich der Flexibilität ergibt sich die Fragestellung welche Umnutzungspotenziale eine Bauweise mit vorgefertigten Elementen bietet - kurzfristig, mittelfristig und langfristig betrachtet.

Zeit Dieser Aspekt wird in die Planungs- und Bauzeit (Montage) unterteilt. Durch die Vorfertigung wird zwar eine kürzere Bauzeit, durch eine kürzere Montagezeit gegenüber der konventionellen Bauweise erwartet, allerdings auch mit einem größeren Planungsaufwand gerechnet. Aus diesem Grund sollte eine mögliche Zeiteinsparung durch eine verkürzte Bauzeit mit der erforderlichen Planungszeit im Zusammenhang betrachtet werden. Bei der Vorfertigung gibt es zusätzlich eine zwischengeschaltete Produktionszeit.

Planungszeit Durch den Einsatz von vorgefertigten Systemen ist eine Umstrukturierung der Planungsprozesse und Ausschreibungsprozesse notwendig. Die Planung der vorgefertigten Systeme inklusive aller Schnittstellen muss bis zu deren Produktion vollständig abgeschlossen sein, weswegen anfänglich ein größerer Planungsaufwand und Abstimmungsbedarf zwischen Architekten, Fachplanern und Hersteller besteht. Durch die Vielzahl der Planungsbeteiligten entstehen folglich längere Planungszeiten, wodurch ein frühzeitiger Planungs-

vorlauf erforderlich ist, damit die Planung inklusive der erforderlichen Schnittstellen vor Werksfertigung abgeschlossen ist. Bei der Terminplanung des Gesamtablaufes ist somit zusätzlich die Koordinierung des Planungsvorlaufs und der Montageablaufplanung inklusive der Anlieferung der Fertigteile zu berücksichtigen.

Bauzeit Die durch die Vorfertigung entstehenden Umstrukturierungen des Bauablaufes sind ebenfalls zu beachten. Ein wichtiger Aspekt, der bei der Vorfertigung von relevanter Bedeutung ist, ist die Just-in-time-Produktion. Die Fertigungstermine und Anlieferung der vorgefertigten Elemente richten sich nach den zuvor festgelegten Montageterminen im Gesamtablaufterminplan, um eine längere Zwischenlagerung werksseitig zu vermeiden. Dadurch besteht wenig Toleranz für Verzögerungen und zeitlichen Änderungen. Die Problematik nimmt zu, je später ein vorgefertigtes System im Bauablauf vorgesehen ist. So ist eine Zwischenlagerung von vorgefertigten Rohbauelementen eher unkritisch, da diese auf der Baustelle möglich ist, wenn der erforderliche Platzbedarf vorhanden ist. Fertignasszellen hingegen sind auf Grund des großen Platzbedarfs und der fortgeschrittenen Baustelle schon schwieriger zwischen zu lagern.

Kosten Kosten, die für ein Gebäude relevant sind, unterteilen sich in Herstellungskosten, bestehend aus Planungs- und Baukosten sowie den Betriebskosten. Bei dem Aspekt der Kosten soll deswegen der Einfluss von vorgefertigten Systemen zum einen im Hinblick auf die Baukosten und zum anderen im Hinblick auf die Betriebskosten analysiert werden.

Planungskosten Die Planung von Fertigteilen gehört gemäß der HOAI zu den Sonderleistungen der Fachplaner.

Baukosten Bei der Betrachtung der Baukosten ist die zentrale Fragestellung, ob eine Kostenreduzierung durch die Vorfertigung erzielt werden kann oder ob höhere Kosten im Vergleich zur konventionellen Bauweise entstehen. Durch die Werkfertigung von vorgefertigten Elementen gibt es verschiedene Aspekte, die zunächst ein Potenzial für eine mögliche Kostenreduzierung bieten. Hierzu zählt ein effizienterer Ressourceneinsatz, der größere Einsatz von Maschinenteknik und die Automatisierung der Fertigungsprozesse. Eine verkürzte Bauzeit bedeutet auch eine frühere Nutzungsmöglichkeit und somit schnellere Refinanzierung.

Betriebskosten Es stellt sich die Fragen ob der Einsatz von vorgefertigten Systemen Auswirkungen auf die Betriebskosten des Gebäudes hat.

Ökologie Bei diesem Aspekt geht es um die Umweltbelastungen, die bei der Herstellung, Montage und Entsorgung anfallen (Ökobilanz). Dabei hat die Rezyklierbarkeit von Produkten und die damit verbundene Ressourcenschonung im Sinne der Nachhaltigkeit einen entscheidenden Einfluss. Allgemein betrachtet bietet die Nutzung von vorgefertigten Systemen das Potenzial weniger Umweltbelastungen wie Lärm und Staub, sowie eine sauberere Baustelle als Ort der Endmontage zu erreichen. Durch die kontrollierten Fertigungsprozesse im Werk ist dort eine Reststoffvermeidung und eine Reduzierung der Abfallproduktion möglich, was sich wiederum positiv auf die Menge an Baustellenabfall auswirkt. Zusätzlich ist eine Mülltrennung im Werk besser durchführ- und kontrollierbar. Die folgende Grafik verdeutlicht vorab zur Übersicht die prozentualen Anteile der Ökobilanz im Bereich des Treibhauspotentials. Die Werte beziehen sich auf die im Bauvorhaben verwendeten Vorfertigungsmethoden und werden in den dazugehörigen Themengebieten näher erläutert.

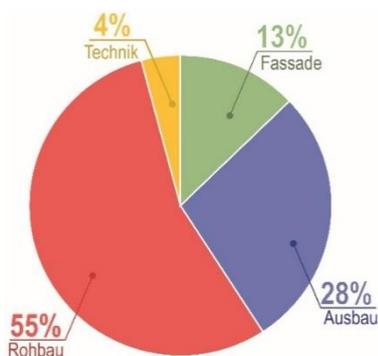


Abbildung 3: Diagramm Anteil Treibhauspotential nach Berechnungen MNP, [Hochschule Bochum]

Die Erkenntnisse aus dem Vergabeverfahren und dem Bauablauf (LP 7+8) werden anschließend unter **AUSWIRKUNG** betrachtet und nach den hierfür relevanten Aspekten gegliedert. Im **FAZIT** werden abschließend Empfehlungen für zukünftige Projekte formuliert.

Beschreibung der Bauweise / Baukonstruktion

Die fünf Gebäude sind als **Baukastensystem** konzipiert. Verschiedene vorgefertigte Elemente sind in einem System derart organisiert, dass eine variable Gestaltung der einzelnen Gebäude sowie eine flexible Nachnutzung möglich sind. Im vorgegebenen Raster werden reduzierte Trag- und Versorgungsbauteile als feste Elemente des Gebäudes installiert. Leichte, nichttragende Innenwände, vorgefertigte Stahlleichtbau-Sanitärzellen, die vorelementierte Gebäudehülle, sowie die Erschließungselemente können variabel in dieses System eingefügt werden. Die Wohnungsgrößen sind damit flexibel.

Die Rohbaukonstruktion der Gebäude besteht aus Stahlbetonfertigteilelementen. Vorwiegend bilden Wandschotten aus Stahlbeton-Fertigteilwänden in Kombination mit Spannbeton-Hohlplattendecken das Tragwerk. Vereinzelnd gibt es zusätzlich in den Flurbereichen Fertigteilstützen, Stahlverbundträger und Fertigteilunterzüge. In Haus 1 (6-geschossig) gibt es zusätzlich einen tragenden Treppenhauskern aus Fertigteilwänden, der quer zu den Wandschotten liegt. Die raumabschließende Gebäudehülle wird als nichttragende, hochwärmegeämmte und luftdichte Außenwand in Form von vorgefertigten Holzbau-elementen mit einer hinterlüfteten Aluminium-Blechfassade vor die Rohbaukonstruktion montiert. Die Gebäude sind nicht unterkellert und für die Gründung wurde eine Mischung aus Einzel-, Streifen- und Plattenfundamenten konventionell in Ortbeton ausgeführt.

Grundrissprinzip Haus 1

Elementierter Rohbau
Fertignasszellen
Holztafelelemente



Abbildung 4: SG, System Vorfertigung, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 5: EG, System Vorfertigung, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 6: 1.-2.OG, System Vorfertigung, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 7: 3.-4.OG, System Vorfertigung, [ACMS Architekten GmbH]

Grundrissprinzip Haus 2-5

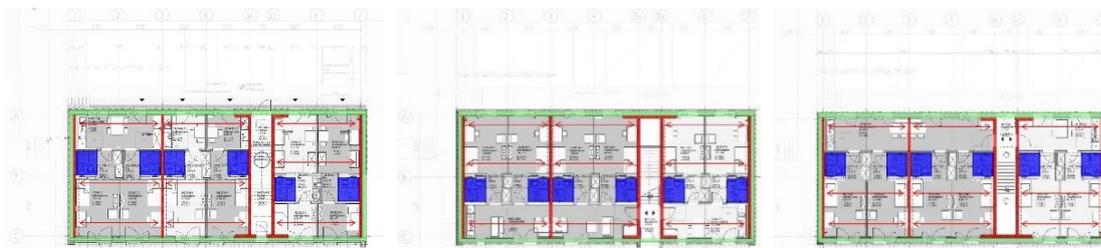


Abbildung 8: EG, System Vorfertigung, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 9: 1.OG, System Vorfertigung, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 10: 2.OG, System Vorfertigung, [ACMS Architekten GmbH]

4.a_1.1 Elementierter Rohbau



RELEVANZ - konventioneller Rohbau

Qualität

Die Qualität der Rohbaukonstruktion wird insbesondere durch die Maßhaltigkeit bestimmt. Da im Rohbau geringfügige Maßabweichungen unvermeidbar sind, müssen Toleranzen und bei Abhängigkeiten zu anderen Gewerken mögliche Maßnahmen zum Ausgleich von den zulässigen Rohbautoleranzen berücksichtigt werden. Die DIN 18202 - Toleranzen im Hochbau - Bauwerke legt die zulässigen Maßtoleranzen für den Hochbau fest. „Die Einhaltung von Toleranzen ist erforderlich, um trotz unvermeidlicher Ungenauigkeiten beim Messen, bei der Fertigung und bei der Montage die vorgesehene Funktion zu erfüllen und das funktionsgerechte Zusammenfügen von Bauwerken und Bauteilen des Roh- und Ausbaus ohne Anpass- und Nacharbeiten zu ermöglichen.“ (DIN 18202, S.7)

Ein weiteres Qualitätsmerkmal bietet die Oberflächenqualität der Rohbauelemente. Betonoberflächen von Wänden und Decken können als Gestaltungsaspekt in Sichtqualität ausgeführt werden. Die Qualitätsanforderungen an Sichtbeton-Oberflächen können hinsichtlich Textur, Porenbildung, Farbton und Farbgleichheit sowie Anordnung von Schalhautfugen (insbesondere auch aus Berücksichtigung von Betonierabschnitten und Betonmischungen) nicht über die technischen Anforderungen (DIN 1045-2, DIN EN 206, DIN 18217 (1981)) beschrieben werden. Dafür gibt das „Merkblatt Sichtbeton“ des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins die Verknüpfung von Sichtbetonklassen mit den technischen Anforderungen an. Das Merkblatt beschreibt Sichtbetonklassen von SB1 - SB4 mit den zugeordneten Anforderungen an Textur, Porigkeit, Farbton, Arbeits- und Schalhautfugen, Ebenheit, Probeflächenempfehlung und Schalhautklassen (Vgl. DBV, 2004). Zu berücksichtigen ist, dass eine Ausführung mit Sichtbetonoberflächen, insbesondere mit steigender Sichtbetonklasse, kostenintensiv ist. Zusätzlich entsteht ein größerer Planungsaufwand durch die Planung des Schalbildes einschließlich der Lage der Fugen, der Schalhaut und der Anker. Eine Ausführung mit Sichtbetonoberflächen reduziert allerdings den weiteren Ausbau, was wiederum zu einer Kostenreduzierung und Zeiteinsparung bei anderen Gewerken führt.

Flexibilität

Das Tragsystem der Rohbaukonstruktion bestimmt die Grundrissflexibilität eines Gebäudes und damit auch die möglichen Umnutzungspotenziale. Von daher hat die gewählte Rohbaukonstruktion einen entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeiten, die bei einem eventuellen späteren Umbau bestehen.

Zeit

Planungszeit

Bereits während der Entwurfsplanung (LP 3) eines Gebäudes erfolgt frühzeitig eine Abstimmung mit dem Tragwerksplaner, um das Tragsystem und damit auch die Rohbaukonstruktion mit ihren Bauteilen, Baustoffen und einer ersten Vorbemessung für den Entwurf und die anschließende Ausführungsplanung fest zu legen. Im Zuge der Ausführungsplanung werden detaillierte und vollständige statische Vorgaben für die Ausführung durch den Statiker ergänzt. Relevante Veränderungen des Tragsystems sind üblicherweise nur in der frühen Planungsphase möglich. Die Planung von konventionellen Betonbauteilen in Ortbeton erfolgt ausschließlich über den Architekten, den Tragwerksplaner und dem TGA-Planer. Es entsteht eine Vielzahl von Plänen, nach denen gebaut werden muss. Für die ausführenden Rohbaufirmen sind für die bauliche Umsetzung vor allem die Schal- und Bewehrungspläne des Tragwerksplaners wichtig, in denen auch die für die TGA-Leitungen erforderlichen Wand- und Deckendurchbrüche dargestellt sind.

Bauzeit

Der konventionelle Rohbau macht insgesamt ca. 33% der Bauzeit aus. Der Grund für den hohen zeitlichen Aufwand sind die vielen händischen Arbeiten - insbesondere die Schalungsarbeiten und Bewehrungsverlegung, die im konventionellen Rohbau erforderlich sind.

Kosten

Baukosten

Der elementierte Rohbau macht ca. 30% Baukosten der Kostengruppe 300+ 400 aus. Laut BKI liegt der prozentuale Anteil der Kosten Rohbau an der Kostengruppe 300 und 400 bei ca. 40 %. (Vgl. [BKI, 2019]) Hier ist allerdings anzumerken, dass hier weitere Leistungsbereiche wie zum Beispiel Dachdeckungs-, Dachabdichtungs- und Klempnerarbeiten mit einbezogen werden. Außerdem sind die Mauerarbeiten mit 6 % nicht vergleichbar, da die Außenhülle bei dem Forschungsprojekt nur zu einem geringen Teil dem elementierten Rohbau zugeordnet werden kann, da die Außenwände zum größten Teil aus Holztafelementen besteht.

Betriebskosten

Der Rohbau von Wohngebäuden hat kaum einen relevanten Einfluss auf die Betriebskosten. Deswegen wird dieser Aspekt in dem Abschnitt „elementierter Rohbau“ nicht betrachtet.

Ökologie

Der elementierte Rohbau ist laut Berechnungen von MNP Ingenieure für ca. 55% der Ökobilanz maßgeblich, wofür vor allem der hohe Zementanteil in Betonbauteilen verantwortlich ist.

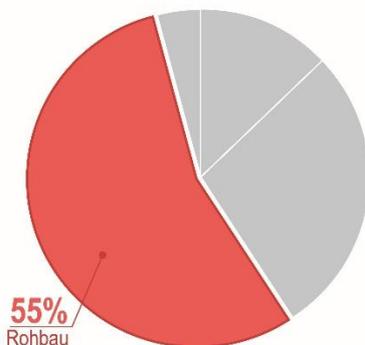


Abbildung 11: Diagramm Anteil Treibhauspotential der Rohbau nach Berechnungen MNP, [Hochschule Bochum]

Allgemein zum Thema Rohbau ist hinzuzufügen, dass insbesondere die Decken und Außenwände mit einem Anteil von ca. 60 - 70 % den größten Einfluss auf die Ökobilanz im Vergleich zu den anderen Rohbaubauteilen eines Gebäudes - Gründung, Innenwände, Dächer und Bauwerke für technische Anlagen. (Siehe Abbildungen unten). Hier ist jedoch zu beachten dass der Rohbau als Ganzes betrachtet wird, d.h. als Gebäude mit wetterfester Hülle ohne Innenausbau.

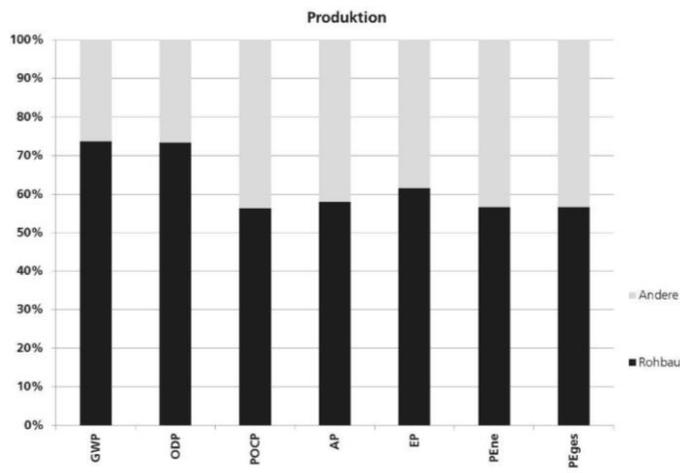


Abbildung 12: Einfluss Rohbau auf Ökobilanz, [Gantner], S. 12

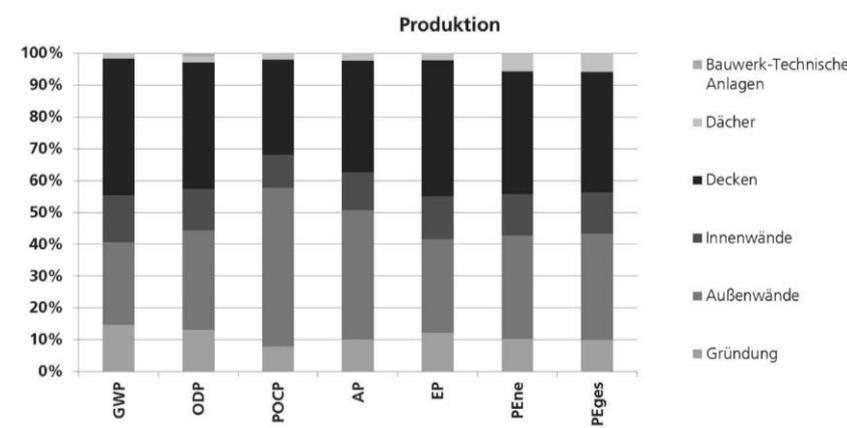


Abbildung 13: Einfluss Rohbau auf Ökobilanz, [Gantner], S. 11



HINTERGRUND

Ausgangspunkt für die Überlegungen zum Tragwerkskonzept waren die Erkenntnisse des Architekturbüros ACMS aus verschiedenen bereits gebauten Studentenwohnheimprojekten. Die in letzter Zeit gebauten Studentenwohnheime des Architekturbüros ACMS wurden überwiegend in einer Ortbeton-Skelettbauweise mit massiven Treppenhaukernen erstellt, da sich diese Bauweise sowohl im Hinblick auf die Flexibilität als auch im Hinblick auf die Kosten als äußerst leistungsfähig erwiesen hat. Ziel des neuen Bauvorhabens im Rahmen des Forschungsprogramms Variowohnen war es nun, die bekannten Prinzipien auf einen vorgefertigten, elementierten Rohbau zu übertragen und ggf. mögliche Optimierungspotentiale zu bewerten. Dafür gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Möglichkeiten und Systemen. Eine Elementierung der Rohbaukonstruktion in vorgefertigte Elemente ist aus Holzbauteilen, Betonbauteilen, Stahlbauteilen oder aus einer Kombination der Baustoffe möglich. In dem Forschungsbericht werden nur die Systeme näher betrachtet, die während der Planung zur Auswahl standen. So soll der Entscheidungsprozess der während der Entwurfs- und Ausführungsplanung stattgefunden hat und Änderungen, die auf Grund von Ausschreibungsergebnissen erfolgten, dokumentiert werden.

Die folgenden Systeme wurden von den Planern diskutiert und werden in den folgenden Abschnitten beschrieben:

Horizontale Systeme

Deckenvarianten:

- Ortbetondecke / Elementdecke (Filigrandecke) - als Standardbauweise
- Brettsperrholzdecke
- Spannbetonhohlplattendecke

Varianten zur Deckenauflagerung der Spannbetonhohlplatten:

- deckengleicher Stahlverbundträger (Peikko-Träger)
- nicht deckengleicher Unterzug aus Stahlbeton-Fertigteilträger
- Wand (s.u.)

Vertikale Systeme

Wandvarianten / Auflagerung der Träger:

- Ortbetonwand und Ortbetonstütze - als Standardbauweise
- Stahlbeton-Fertigteilwände
 - Vollfertigteilwand
 - Halffertigteilwand (Elementwand / Doppelwand)
 - Fertigteilstütze

Horizontale Systeme

Die Deckenkonstruktion als horizontales Tragelement hat die folgenden Funktionen. Die vertikalen Eigen- und Nutzlasten sind von der Decke aufzunehmen und an die vertikalen Tragelemente weiterzuleiten. Außerdem sind sie für die Aussteifung der Gebäudestruktur mitverantwortlich. Die Deckenkonstruktion muss den baurechtlich vorgegebenen baulichen Brandschutz sicherstellen und die Anforderungen an den Schall- (Luft- und Trittschallschutz) und Wärmeschutz (insbesondere bei der Dachdeckenkonstruktion), die sich aus der Nutzung eines Gebäudes beziehungsweise der Räume ergeben, erfüllen.

Das Deckentragwerk besteht aus biegesteifen Flächen- (Platten) und gegebenenfalls stabförmigen Tragelementen (Träger, Unterzüge). Es kann linienförmig auf Wänden, Unterzügen und deckengleichen Trägern sowie punktförmig auf Stützen aufgelagert sein. Die Deckenspannrichtung kann in Abhängigkeit zu der gewählten Deckenkonstruktion und der Anordnung von den Trägern beziehungsweise Unterzügen und den tragenden Wänden und Stützen ein- oder zweiachsig gespannt sein. „Für Deckentragwerke werden überwiegend Bauteile aus Stahlbeton eingesetzt.“ ([Fouad, 2013], S. 239)

Bei der Planung der Deckenkonstruktion sind die notwendigen horizontalen und vertikalen Leitungsführungen zur haustechnischen Ver- und Entsorgung (Wasser, Energie, Heizung sowie Information und Kommunikation) mit zu berücksichtigen. An den hierfür erforderlichen Bauteildurchdringungen sind zugelassene Abschottungen zur Vermeidung von Brand- und Rauchgasübertragung oder von Körperschallbrücken vorzusehen. (Vgl. [Fouad, 2013], S. 221 ff.)

Ortbetondecke / Elementdecke (Filigrandecke)

Grundsätzlich können Stahlbetonbauteile in Ortbeton, als Fertigteil oder in einer Mischkonstruktion als Halbfertigteil hergestellt werden. Standardmäßig wird im Wohnungsbau eine Ortbetondecke ausgeführt. Vor Ort wird zunächst die Schalung - vorwiegend wiederverwendbare Schalungselemente - für die Deckenplatte hergestellt, woraufhin die Bewehrung verlegt und der Ortbeton aufgebracht wird.

Eine übliche Alternative zur Ortbetondecke ist die Elementdecke als Halbfertigteilbauweise. Bei dieser Deckenkonstruktion werden werkseitig vorgefertigte Elemente aus Stahlbeton durch eine bewehrte Ortbetonschicht ergänzt. Die Elementplatten sind ca. 5-7 cm dick und enthalten bereits die untere Feldbewehrung. Oberseitig werden werkseitig parallel zueinander liegende Gitterträger mit einbetoniert, und eine kraftschlüssige Verbindung mit der Ortbetonerfüllung herzustellen (Vgl. [Peck, 2013], S. 52). Die Herstellungsbreite von Elementplatten beträgt im Allgemeinen bis zu 3 m. Auf der Baustelle werden die vorgefertigten Elemente nach einem Verlegeplan als verlorene Schalung verlegt und in einem reduzierteren Maß gegenüber einer Ortbetondecke abgestützt. Bauseits sind vor dem Aufbringen der Ortbetonerfüllung die seitliche Abschalung und die obere Bewehrungslage sowie die notwendige Querbewehrung im Bereich der Fugen anzubringen, um eine durchlaufene Scheibenwirkung zu erlangen. Üblicherweise erfolgt bei Elementdecken ein einachsiger Lastabtrag. „Ein planmäßig zweiachsiger Lastabtrag ist möglich, aufgrund des hohen inneren Hebelarms der Querbewehrung im Bereich der Fugen jedoch vergleichsweise ungünstig umzusetzen.“ ([Fouad, 2013], S. 247)

Da viele Eigenschaften der Ortbetondecke mit einer Elementdecke vergleichbar sind und die Kosten beider Konstruktionen nahezu identisch sind, werden diese beiden Varianten nachfolgend zusammengefasst und den weiteren Möglichkeiten gegenübergestellt.

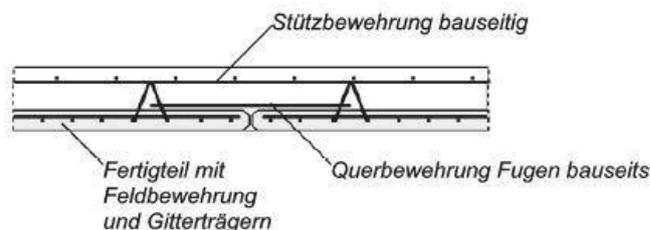


Abbildung 14: Querschnitt Elementdecke mit Ortbetonerfüllung, [Fouad, 2013], S. 247

Qualität

Bei der Ortbetonbauweise besteht ein großer gestalterischer Freiraum bezüglich der geometrischen Formen. Die Bauteilgeometrie kann problemlos an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Die Elementdecke hat ebenfalls eine große Anpassungsfähigkeit, da die Abmessungen und geometrischen Formen der Platten fast beliebig wählbar sind. Hierbei sind nur die durch die Fertigung und Transportmöglichkeiten vorgegebenen Parameter zu berücksichtigen. Nachteilig ist, dass bei der Ortbetonbauweise mit größeren Toleranzen zu rechnen ist und diese einzuplanen sind. Die Maßabweichungen sollten innerhalb der zulässigen Rohbautoleranzen liegen. (Vgl. "RELEVANZ - konventioneller Rohbau")

Bei der Tragkonstruktion der Ortbetonbauweise mit monolithischen Bauteilübergängen entstehen in der Regel statisch unbestimmte Tragsysteme mit vorteilhaften Tragverhalten. „Das Deckentragwerk kann in den geometrisch vorgegebenen Grenzen nahezu frei gestaltet werden.“ ([Fouad, 2013], S. 240) Ein zweiachsiger Lastabtrag ist bei einer Ortbeton-Deckenkonstruktion ohne Mehraufwand erreichbar, was gegenüber einem einachsigen gespannten Einfeldträger statische Vorteile hat - gleichmäßigere Biegemomentverläufe, geringere Durchbiegungen und größere Traglastreserven im Brandfall.

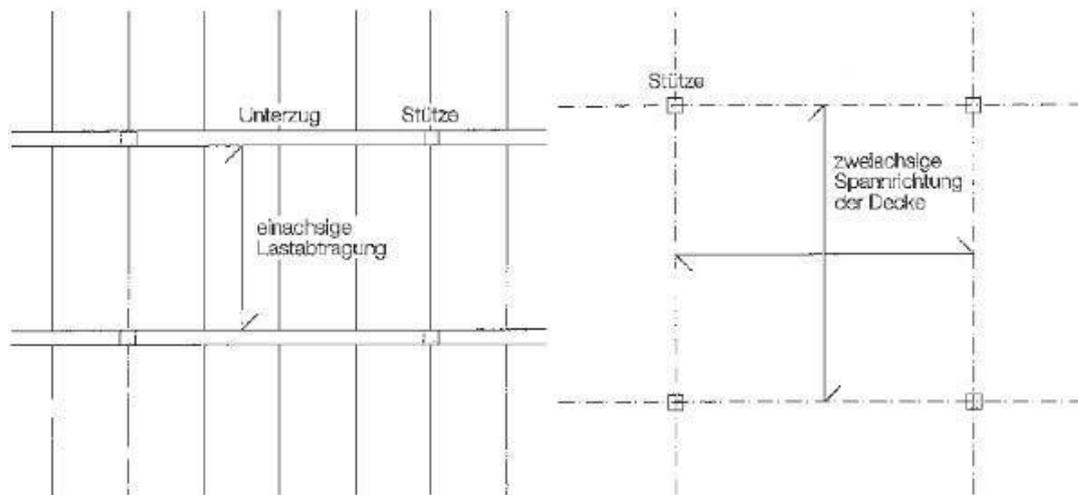


Abbildung 15: zweiachsiger und einachsiger Lastabtrag, [Peck, 2013], S. 80

Ein entscheidender Vorteil von Ortbetondecken ist, dass die Qualität sich langjährig bewährt hat. Planer- und Ausführungsseite haben bereits viel Erfahrung vor und hinsichtlich den Befestigungsmöglichkeiten und bezüglich der Rohrdurchführungen gibt es viele bekannte Systeme, die gut auf den weiteren Ausbau angepasst sind. Diese Merkmale wirken sich positiv auf den Planungs- und Bauablauf aus.

Die Deckenunterseite einer Ortbetondecke hat standardmäßig keine definierte Oberflächenqualität und muss daher durch Folgegewerke wie z.B. Maler, Trockenbau weiterbearbeitet werden. Liegt der Anspruch an eine gute Oberflächenqualität der Deckenunterseite vor, besteht die Möglichkeit eine kostenintensivere Sichtbetonklasse von SB1 bis SB4 auszuschreiben. Allerdings ist die Sichtbetonqualität von Ortbetonbauteilen im Vergleich zu Betonfertigteilen erfahrungsgemäß geringer. Die Elementdecke hat durch die werkseitige Produktion eine glatte und ebene Deckenunterseite, jedoch folgt hier eine Nachbearbeitung der Elementstöße, da die Fugen eine geringe optische Qualität besitzen.

Eine massive Stahlbetondecke hat durch das hohe Flächengewicht gute Eigenschaften bezüglich der Wärmespeicherfähigkeit und des Luftschallschutzes. Der Luftschallschutz ist für den Wohnungsbau besonders relevant.

Bei Filigrandecken wird für die untere Schicht eine besseren Zementklasse mit einer höheren Anfangsabbindezeit verwendet, wodurch eine Qualitätssteigerung gegenüber Ortbeton erzielt wird.

Flexibilität

Ortbetondecken haben im Vergleich zu Holzdecken eine größere Deckenspannweite. Die Stützweite von einer Stahlbetondeckenplatte mit einer Dicke von 24 cm beträgt ca. 6 - 6,5 m in Abhängigkeit zur Lagerung (vgl. beiliegende Grafik). Nach der Angabe von einem Statiker sind bei Stahlbetondeckenplatten auch Spannweiten über 7 m möglich.

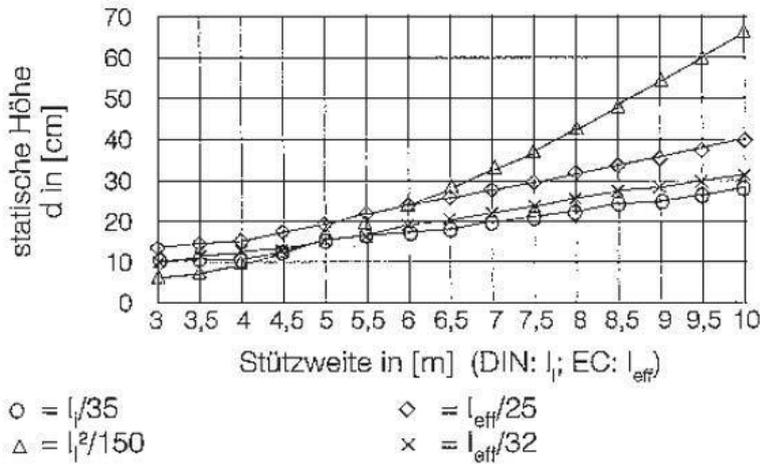


Abbildung 16: Richtwerte statischer Höhen einer Stahlbetondeckenplatte in Abhängigkeit zur Stützweite und Lagerung, [Kind-Barkauskas et al., 2009], S. 11

Zeit

Planungszeit

In Abstimmung zwischen Architekt und Tragwerksplaner werden anhand der Entwurfspläne des Architekten die Schal- und Bewehrungspläne für die Ortbetondecken erstellt. Darin sind in Abstimmung mit dem TGA-Planer die erforderlichen Deckendurchbrüche für die Leitungsführung enthalten. Nachträgliche Veränderungen in einer konventionellen Stahlbetondecke, wie zum Beispiel das Ergänzen eines Durchbruches, sind nach statischer Abstimmung meistens unproblematisch und können örtlich durch eine Kernbohrung während der Rohbauarbeiten ergänzt werden.

Bauzeit

Gegenüber einer Bauweise mit Fertigteilen ist bei einer Deckenkonstruktion aus Ortbeton mit einem langsameren Bauablauf zu rechnen. Grund dafür sind die vielen händischen Vorarbeiten, wie z.B. die Herstellung der Schalung und Verlegung der Bewehrung. Im Geschosswohnungsbau wird überschlägig für die Herstellung einer konventionellen Stahlbetondecke einschließlich den erforderlichen Vorarbeiten ca. 3 Wochen pro Geschoss benötigt. Bei einer Deckenkonstruktion mit Elementplatten ist die Bauzeit für die Herstellung der Deckenplatte gegenüber einer reinen Ortbetondecke etwas kürzer, da der Verschalungsaufwand geringer ist.

Bei einer Konstruktion aus Ortbetonbauteilen ist zu beachten, dass bei der Ausführung von Betonierarbeiten eine Witterungsabhängigkeit besteht, da es insbesondere in kalten Wintermonaten witterungsbedingt häufig zu längeren Bauunterbrechungen kommen kann. (Detaillierte Beschreibung der Witterungsabhängigkeit von Betonierarbeiten / DIN 1045-3 "Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Bauausführung" siehe Gliederungspunkt "AUSWIRKUNG, Spannbetonhohlplattendecke - Bauzeit")

Baukosten

Die Baukosten einer Stahlbetondecke aus Ortbeton, mit einer Stärke von 20-22 cm (130 €/m²) in Kombination mit Trittschalldämmung und Zementestrich mit einer Stärke von 40-95 mm (39 €/m²), liegen bei 169 €/m² (Mittelwert [BKI, 2019])

Ökologie

Der ökologische Vergleich der verschiedenen Deckensysteme - Ortbetondecke, Spannbetonhohlplattendecke und Brettsperrholzdecke wird zusammenfassend unter dem Gliederungspunkt "HINTERGRUND - Spannbetonhohlplattendecke, Ökologie" erläutert, weswegen hier auf diesen Abschnitt verwiesen wird.

Brettsperrholzdecke

Brettsperrholz besteht aus mehreren Holzbrettlagen, die jeweils zwischen 19 und 45 mm dick sind. Um das Tragverhalten sowie das Quell- und Schwindverhalten der Brettsperrholzelemente zu homogenisieren, werden die einzelnen Brettlagen um jeweils 90° versetzt flächenhaft mit zulässigen Klebstoffen verklebt. So ergeben sich Elementdicken zwischen 57 mm und 400 mm in Abhängigkeit zu der Anzahl und der Dicke der Lagen. Brettsperrholzelemente können für tragende Massivwände oder Massivdecken verwendet werden. Typische Dicken für Brettsperrholzdecken liegen zwischen 140 und 200 mm und bestehen aus 5 oder 7 Brettlagen. Die Plattenabmessungen sind von den Transportmöglichkeiten sowie den Produktionsmöglichkeiten der einzelnen Produzenten abhängig. Standardmäßig haben die Platten eine Breite von 2,40 m bis 3 m und eine Länge von 12 m bis 20 m. (Vgl. [Teibinger et al.,2013], S. 3)

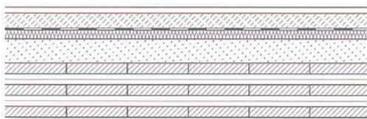
Deckenkonstruktion	Aufbau	Spannweite [m]	Stärke Tragkonstruktion [mm] (Trägerquerschnitte)	Gesamtstärke Decke [mm]
	Bodenbelag 20 mm	4	140	320
	Zement- oder Anhydridestrich 50 mm, Trennlage	5	180	360
	Trittschalldämmung Mineralfaser 30 mm Splittbeschwerung 80 mm Brettsperrholz C24 140–220 mm	6	220	400

Abbildung 17: Brettsperrholzdecke, [Kaufmann et al., 2011], S. 69



Abbildung 18: Brettsperrholz, [informationsdienst-holz]

Abbildung 19: Verlegung einer Brettsperrholz-Deckenplatte, [informationsdienst-holz]

Qualität

Bei der Verwendung einer Brettsperrholzdecke ist als Gestaltungsaspekt eine sichtbare Deckenunterseite wünschenswert. Grundsätzlich können Brettsperrholzdecken mit einer sichtbaren Deckenunterseite, mit einer direkten Bekleidung oder mit einer unterseitigen Abhängung ausgeführt werden. Baurechtlich ist nach der LBO NRW zu berücksichtigen, dass eine sichtbare Holzdeckenunterseite im Geschosswohnungsbau mit Ausnahmeregelungen verbunden ist. Außerdem sind Konstruktionen aus Massivholzdecken hinsichtlich des Schallschutzes (vor allem in Bezug auf den Trittschall) den massiven, mineralischen Konstruktionen unterlegen. Um die Schallschutzanforderungen im Hochbau, geregelt in der DIN 4109, zu erfüllen sind schallschutztechnische Maßnahmen bei

einer Brettsperrholzdecke zu berücksichtigen. Zum einen ist, um eine Schallweiterleitung direkt über das Trennbauteil (Zwischendecke) einzuschränken, beim konstruktiven Deckenaufbau eine ausreichende Schalldämpfung (Splittschüttung) durch entsprechende Dämpfungsschichten herzustellen. Zum anderen sind geeignete Maßnahmen vorzusehen, um eine Schallübertragung durch flankierende Wände oder über Luftschallnebenwege wie Kabelkanäle zu unterbinden. Bei nebeneinander liegenden unterschiedlichen Nutzungseinheiten auf einem Geschoss ist zusätzlich die Schallübertragung von Luft- bzw. Körperschall über die Deckenplatte zu beachten. Um die Schallübertragung zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten zu reduzieren, ist bei einer Durchlaufdecke eine schallschutztechnische Deckenabhängung erforderlich. Alternativ ist die Deckenplatte im Bereich der Trennwand zu unterteilen.

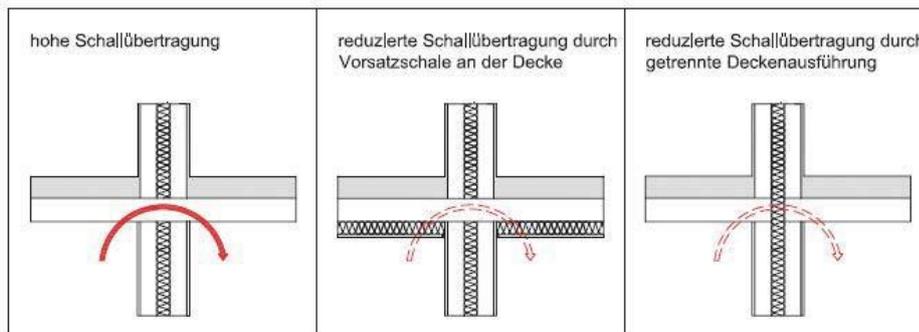


Abbildung 20: Vergleich Schallübertragung verschiedener Deckenaufbauten, [Teibinger et al.,2013], S. 67

Die gewählte Deckenuntersicht - sichtbar, bekleidet oder abgehängt - hat einen Einfluss auf den erforderlichen Konstruktionsaufbau der Zwischendecke, um die Anforderungen an den Trittschallschutz zu erfüllen. Um diesen zu gewährleisten, ist oberhalb der Brettsperrholzplatte eine Schüttung vorzusehen. Schallschutztechnisch hat eine ungebundene lose Schüttung mit einer Mindestdichte von 1.300 kg/m^3 eine bessere Wirkung gegenüber einer gebundenen Schüttung. „Bei Einbau einer starr gebundenen Schüttung anstelle der losen Schüttung verschlechtert sich der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ je nach Aufbau um 3 - 6 dB.“ (s. [Teibinger et al.,2013], S. 63) Bei einer Brettsperrholzdecke mit einer schallschutztechnischen Abhängung ist bei Verwendung einer ungebundenen Schüttung eine Mindestdicke von 5 cm ausreichend. Bei einer sichtbaren Deckenuntersicht beziehungsweise bei einer direkt bekleideten Unterseite ist die Dicke der Schüttung auf mindestens 10 cm zu erhöhen.

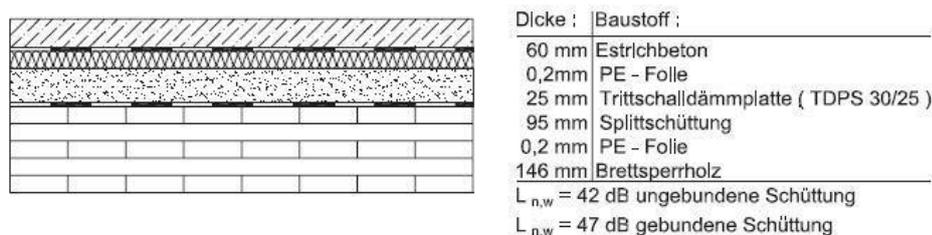


Abbildung 21: Beispiel einer Brettsperrholzdecke, [Teibinger et al.,2013], S. 63

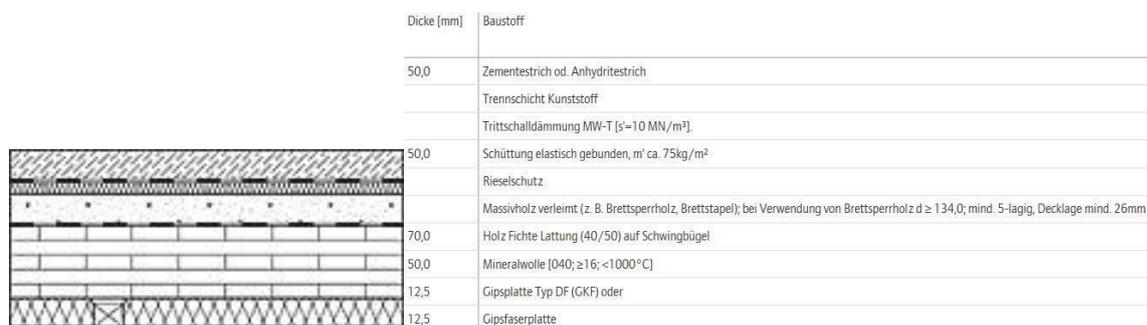


Abbildung 22: Beispiel einer Brettsperrholzdecke mit schallschutztechnischer Abhängung, [dataholz.eu] - gdmnx01a

Die Ausführung mit einer sichtbaren Holzdeckenunterseite hat neben dem Gestaltungsaspekt die weiteren Vorteile, dass Kosten und Zeit bei den Folgegewerken eingespart werden kann, da eine weitere Bearbeitung entfällt. Zusätzlich ist durch die unbehandelte Holzoberfläche an der Innenseite eine Verbesserung des Raumklimas möglich. Die Speichermasse von massiven Holzdecken ist gegenüber Stahlbetondecken schlechter, sodass die Innenraumtemperatur über den Tagesverlauf weniger konstant gehalten werden kann. Dieser Aspekt ist aber weniger für den Wohnungsbau relevant, sondern für Bürogebäude entscheidend.

Flexibilität

Die wirtschaftliche Spannweite von Brettsper Holzdecken liegt bei ca. 5 m (siehe beiliegende Grafik) und hat somit eine geringere Deckenspannweite als Stahlbetondecken.

Bauweise	wirtschaftliche Spannweite [m]
Holzrahmendecke	bis 4
Brettsper Holzdecke	bis 5
Brettsper Holzdecke als Durchlaufträger	bis 6
Rippendecke (Plattenbalken) Brettsper Holzelement mit aufgeklebten Rippen	bis 10
Holz-Beton-Verbunddecken	bis 10

Abbildung 23: Richtwerte freier Spannweiten für Holzdecken, [Teibinger et al.,2013], S. 4

Zeit

Planungszeit

Die Planung einer Brettsper Holzdecke erfordert einen größeren Planungsaufwand. Das ist zum einen dadurch bedingt, dass es wenig realisierte Gebäude im mehrgeschossigen Wohnungsbau mit Holzdecken gibt sowie generell wenig Praxiserfahrungen vorliegen. Zum anderen ist die Planung von einer Brettsper Holzdecke im Geschosswohnungsbau mit baurechtlichen Ausnahmeregelungen und Sonderlösungen hinsichtlich Brand- und Schallschutz verbunden, dessen Abstimmung und Planung verhältnismäßig viel Zeit in Anspruch nehmen. Eine zeitintensive Planung von innovativen Ansätzen steht im Widerspruch zur zeitlichen Limitierung des Förderprogramms Variowohnen. Von den Planern des Studentenwohnheimes ist deswegen frühzeitig zu entscheiden, ob eine Umsetzung der Brettsper Holzdecke im Zuge der vorgegebenen Bauzeit durch das Förderprogramm realistisch ist.

Bei dem Wuppertaler Projekt wurde eine mögliche Umsetzung einer Brettsper Holzdecke untersucht und somit Planungszeit für eine Machbarkeitsprüfung investiert. Mit den Fachplanern und dem Bauamt wurden hierzu Abstimmungen und Möglichkeiten hinsichtlich der baurechtlichen Genehmigung, der Statik, des Brand- und Schallschutzes diskutiert. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die fünf Gebäude aus statischer, brandschutztechnischer und genehmigungstechnischer Sicht mit einer Brettsper Holzdecke umsetzbar sind. Allerdings besteht aus Brandschutzgründen die Unsicherheit, ob die Deckenunterseite sichtbar gelassen werden kann, da nicht abschließend geklärt werden konnte, ob eine Kapselung für den Brandschutz erforderlich ist. Die baurechtliche Genehmigung wäre nach Musterbauordnung möglich und wurde mit dem Bauamt abgestimmt. Recherchen der Planer zum Schallschutz ergaben, dass die erforderlichen Maßnahmen für eine sichtbare Brettsper Holzdecke für das Forschungsprojekt aufwendig herzustellen und somit kostenaufwendig sind, und infolgedessen nicht wirtschaftlich.

Bauzeit

Gegenüber einer Ortbetondecke beziehungsweise Elementdecke ist mit einer kürzeren Montagezeit zurechnen, da die aufwendigen Schal-, Monier- und Betonierarbeiten entfallen. Gestalterisch ist eine sichtbare Holzdeckenunterseite geplant, dessen mögliche Umsetzung neben der statischen und baurechtlichen Machbarkeit auch schallschutztechnisch und brandschutztechnisch abgeklärt werden muss. Neben den gestalterischen Aspekt bietet eine sichtbare Deckenunterseite den Vorteil, dass Kosten und Zeit durch geringere Leistungen bei den Folgegewerken eingespart werden können - zum Beispiel durch Entfall Gewerk Putzarbeiten.

Baukosten

Die planerische Ausgangssituation bezüglich den Baukosten ist, dass bei einer Brettsperrholzdecke mit ca. 100 €/m² Mehrkosten gegenüber einer konventionellen Stahlbetondecke zu kalkulieren ist. Eine überschlägige Berechnung der Planer ergab, dass die Kosten einer Brettsperrholzdecke bei insgesamt ca. 250 €/m² und einer Stahlbetondecke inklusive Zementestrich bei 150 €/m² liegen. Zu beachten sind jedoch aufwendig herstellbare Schallschutzmaßnahmen und damit verbundene Kosten.

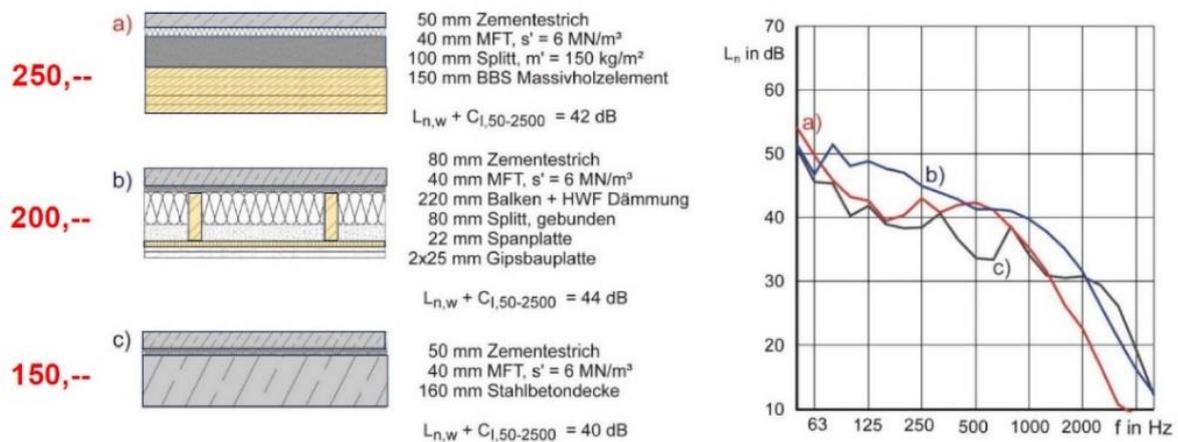


Abbildung 24: Messwerte optimierter Holzdecken durch Erhöhung der Masse im Vergleich zu Stahlbetondecken, in Anlehnung an: [Dr. Rabold, Andreas, 2015], S.13

Ökologie

Holz ist ein nachhaltiger und nachwachsender Rohstoff, der recycelbar ist. Gegenüber Stahlbeton hat Holz eine gute Ökobilanz. Der Vergleich des CO₂-Speicherpotentials von verschiedenen Holzdeckenvarianten zeigt, dass die Brettsperrholzdecke einen hohen CO₂-Speicher auf Grund des hohen Materialbedarfs hat.

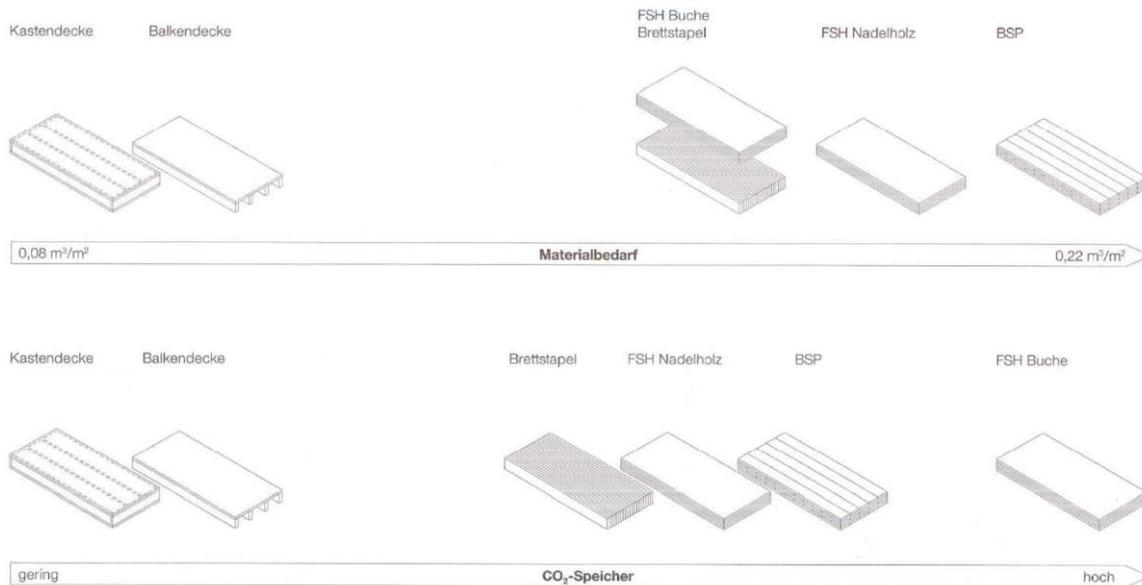


Abbildung 25: Vergleich Materialbedarf und CO₂-Speicher von Holzdecken, [Kaufmann et al., 2017], S. 67

Der ökologische Vergleich der verschiedenen Deckensysteme - Ortbetondecke, Spannbetonhohlplattendecke und Brettsperrholzdecke wird zusammenfassend unter dem Gliederungspunkt "HINTERGRUND - Spannbetonhohlplattendecke, Ökologie" erläutert, weswegen hier auf diesen Abschnitt verwiesen wird.

Entscheidung Planer

Die Entwurfstypologie hat einen entscheidenden Einfluss auf die Bauweise und somit auch auf die möglichen Systeme, die für ein Projekt in Frage kommen. Das Wuppertaler und Bochumer Projekt haben unterschiedliche Entwurfsansätze.

Bei dem Projekt kam entwurfsbedingt eine Brettsperrholzdecke in Betracht, weswegen eine Ausführung mit einer Holzdecke untersucht wurde. Brandschutztechnisch ist nach der Musterbauordnung (Stand der Entwurfsplanung) die Ausführung einer Brettsperrholzdecke möglich, da Haus 1 zwei gebaute Rettungswege hat und somit die baurechtliche Voraussetzung für eine Holzdecke der Gebäudeklasse erfüllt.

Die Erkenntnisse aus dem weiteren Planungsfortschritt ergeben, dass unter den gegebenen Voraussetzungen eine Brettsperrholzdecke nicht wirtschaftlich ausführbar ist. Sonderlösungen, die durch die allgemein mangelnden Kenntnissen bei der Ausführung von Brettsperrholzdecken im Geschosswohnungsbau erforderlich sind, verursachen weitere Mehrkosten. Gegebenenfalls müssten diese durch Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden, was wiederum zeitaufwendig ist. Genehmigungstechnische Unsicherheiten - wie die sichtbare Holzdeckenunterseite - und die erforderliche Sonderlösungen verursachen weiterhin einen großen Planungsaufwand, der für eine Umsetzung erforderlich wäre. Dieser zeitliche Aufwand steht mit dem Fertigstellungstermin aus dem Förderprogramm - Fertigstellung bis 2018 - im Widerspruch. Ergänzend zu erwähnen ist, dass ein Auftrag an die Industrie und Nachweisstellen besteht, Umsetzungsmöglichkeiten zu erarbeiten eine Brettsperrholzdecke auch im Geschosswohnungsbau wirtschaftlich und machbar auszuführen.

Als neues mögliches Deckensystem wird, wie bei dem parallel laufenden Bochumer Forschungsprojekt eine Spannbetonhohlplattendecke untersucht.

Spannbetonhohlplattendecke

Wie zuvor erwähnt, können Stahlbetonbauteile aus Ortbeton, Halbfertigteilen oder Fertigteilen hergestellt werden. Bei einer Deckenkonstruktion in der Fertigteilbauweise wird das Deckentragwerk in einzelne Bauteile aufgelöst, die im Werk produziert und möglichst ohne längere Zwischenlagerung auf die Baustelle transportiert und montiert werden. Die möglichen Abmessungen der vorgefertigten Elemente werden neben den fertigungsbedingten Vorgaben vor allem durch die Transport- und Montagemöglichkeiten (z.B. die Kranlast) vorgegeben. Systembedingt sind Decken in der Fertigteilbauweise überwiegend statisch bestimmte Deckentragwerke. „Die einzelnen Fertigteilteile wirken jeweils als Einfeldsystem ohne Ausgleich oder Umlagerung der maximalen Biegemomente in Feldmitte. Zur Begrenzung der Durchbiegungen wird aus diesem Grund im Vergleich zu statisch unbestimmten Deckentragwerken mit Durchlaufwirkung bei gleicher Baustoffwahl eine größere Biegesteifigkeit und Konstruktionshöhe notwendig.“ ([Fouad, 2013], S. 240) Neben den vorgefertigten Stahlbeton-Deckenelemente aus Vollplatten können zur Verringerung des Eigengewichtes Hohlplatten aus Spannbeton eingesetzt werden.

Die Spannbeton-Fertigdecke ist eine zusammengesetzte Decke aus vorgefertigten Stahlbeton-Hohlplatten, welche mit Spannritzen im sofortigen Verbund vorgespannt werden. Herstellerunabhängig werden die Spannbetonhohlplatten ausschließlich mit einer Elementbreite von 1,20 m hergestellt. Herstellerabhängig werden verschiedene Plattentypen in unterschiedlichen Dicken (von ca. 150 mm bis 400 mm) und mit einer variierenden Anzahl an Hohlkammern angeboten und können vorwiegend in der Feuerwiderstandsklasse F90 ausgeführt werden. In der Breite können die Elemente nur im Bereich der Hohlkammern gekürzt werden. Diese Passplatten werden werkseitig hergestellt und haben eine gefaste sowie geritzte bruchraue Kante an der Schnittstelle. In der Länge können die Elementplatten im Prinzip beliebig, entsprechend der Montageplanung, zugeschnitten werden. Spannbetonhohlplattendecken können durch ihre Rechtwinkligkeit nur bei orthogonalen Gebäudeformen verwendet werden.

Die einachsig gespannten Plattenstreifen können auf tragende Wände aus Mauerwerk oder Stahlbeton und auf Stahl- oder Stahlbeton-Trägern aufgelagert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit durch einen deckengleichen Unterzug aus einem Stahl-Hohlkastenprofil eine ebene Deckenfläche ohne hervorstehende Unterzüge zu erlangen, indem der tragende Verbundquerschnitt innerhalb der zur Verfügung stehenden Deckenhöhe integriert wird. An der Deckenunterseite ist bei dieser Konstruktion nur der breitere Stahlträgeruntergurt sichtbar. Damit eine Decke aus Spannbetonhohlplatten ihre Scheibenwirkung erhält, müssen nach der Plattenverlegung die Fugen der einzelnen Platten und ein umlaufender Ringanker örtlich aus Stahlbeton vergossen werden.

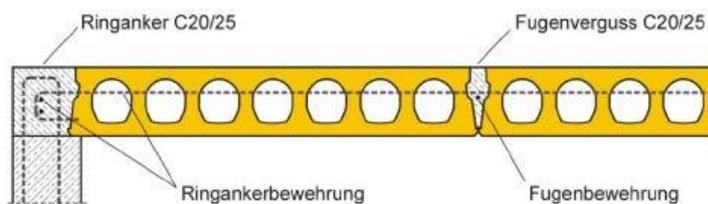


Abbildung 26: Ringanker- und Fugenbewehrung, [BVSF(c), 2016], S.1

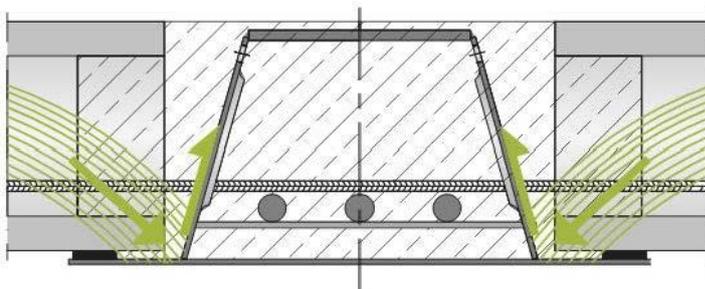


Abbildung 27: Flachdeckensystem - Stahlverbundträger mit Spannbetonhohlplatten, Delta Beam Verbundträger, [Peikko 02/2007], abgerufen am 03.08.2018

Die Plattenunterseite der Hohlplatten hat durch die maschinelle Fertigung auf glatten Stahlschalungen eine glatte streich- und tapezierfähige Oberfläche, wenn vor dem Verguss ein Höhenausgleich der einzelnen Platten erfolgt. In Abhängigkeit zu dem optischen Anspruch und der planerischen Gestaltung ist die Ausführung einer sichtbaren Deckenunterseite daher möglich. Allerdings ist zu beachten, dass die Unterseite der Hohlplatten zwar glatt, der Beton aber nicht in einer bestimmten Sichtbetonklasse ausgeführt ist. Zusätzlich ergibt sich durch die Plattenstöße eine sichtbare Fugenstruktur, die im Vergleich zu einer Deckenschalung von Ortbetondecken in der Regel gleichmäßiger und großflächiger ist.

Bei einer Spannbetonhohlplattendecke deren Deckenunterseite verputzt werden soll, sind folgende Hinweise zu beachten. Putz bedeutet einen zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand, der durch das Gewerk Putzarbeiten anfällt. Damit eine Spannbetonhohlplattendecke verputzt werden kann, ist zuvor ein Kontaktmittel-Anstrich erforderlich, der kostenintensiv ist. Außerdem müssen die Fugen vorab mit einer Bewehrungseinlage, die weitere Kosten verursacht, geschlossen werden, um mögliche Rissbildungen im Fugenbereich zu reduzieren. Eine Rissbildung kann aber nicht in Gänze ausgeschlossen werden. Bei der Ausführung von Putzarbeiten ist allgemein ein hoher Schutzbedarf der anderen Bauteile erforderlich, da diese Arbeiten Schmutz auf der Baustelle verursachen. Ist bei einem Projekt neben einer verputzten Deckenunterseite gleichzeitig eine Ausführung mit Fertignasszellen geplant, hat dies bauablauftechnische Auswirkungen, die aufwendig sind. Bauablauftechnisch müssen die Fertignasszellen während der Ausführung der Putzarbeiten bereits im Gebäude eingebracht sein. Damit die Decke vollflächig verputzt werden kann, ist ein mehrfaches Verschieben der Nasszellen erforderlich, wodurch neben dem Zeitaufwand zusätzlich die Gefahr von Beschädigungen besteht. Diese können an den Fertignasszellen entstehen oder durch das Verschieben der Fertignasszellen verursacht werden, wie zum Beispiel eine Beschädigung der Bodenabdichtung.

Qualität

Spannbetonhohlplatten haben geometrisch eine geringe Anpassbarkeit, da sie ausschließlich in einer Standardbreite von 1,20 hergestellt werden und in der Breite nur im Bereich der Hohlkammern, dessen Größe und Lage wiederum plattenspezifisch und somit herstellerabhängig ist, kürzbar sind. Die sich dadurch ergebende Breitenbeschränkungen und Maßabhängigkeiten können bei einer frühzeitigen Festlegung auf ein Deckensystem mit Spannbetonhohlplatten vorzugsweise bereits während der frühen Planungsphase berücksichtigt werden. Ansonsten sind Streifen mit Ortbetonergänzungen zum Ausgleich erforderlich.

Ein Vorteil der Hohlplatte ist, dass sie produktionsbedingt eine schalungsglatte und streichfähige Plattenunterseite mit einer guten Sichtqualität hat, somit kann die Deckenunterseite sichtbar ohne Nacharbeiten ausgeführt werden. Bei einer sichtbaren Deckenunterseite ist das Fugenbild der Plattenstöße zu berücksichtigen, eine Abstimmung des Ausbaus auf das Fugenbild ist jedoch nicht wirtschaftlich. In Abhängigkeit zu der gewünschten Oberflächenqualität und den damit erforderlichen Nacharbeiten (z.B. nur Streichen der Deckenunterseite) können Kosten und Zeit bei den Folgegewerken gegenüber einer Ortbetondecke eingespart werden, da die vorherigen Putzarbeiten an der Deckenunterseite entfallen können.

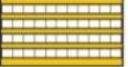
Die Verwendung von Fertigteilen bietet aus Planersicht allgemein das Potential, die Bautoleranzen, die insbesondere im Rohbau groß sind, zu reduzieren. Bei den Spannbetonhohlplatten kann es produktionsbedingt zu einem geringen Höhenversatz im Plattenlängsstoß kommen. Es ist damit zu rechnen, dass im Gegensatz zu Ortbetondecken die tiefsten Punkte am Auflager sind, da die Platten vorgespannt und möglicherweise überhöht geliefert werden. Neben der Vorspannung können aber auch andere Abhängigkeiten zu einer möglichen Überhöhung in der Plattenmitte führen, wie zum Beispiel der Produktionszeitpunkt - Sommer oder Winter, die Lagerung der Hohlplatten im Werk und auf der Baustelle und die Plattenlänge. Durch die Lasteinwirkung im eingebauten Zustand kann sich die Überhöhung verringern, es ist aber damit zu rechnen, dass die Decken in der Feldmitte ca. 1 cm höher liegen als am Auflager. Dieser Höhenversatz ist allerdings nicht bei jeder Platte gleich und ein eventuell erforderlicher oberseitiger Ausgleich sollte bei den Folgegewerken berücksichtigt werden.

Trotz der großen freien Spannweiten ist es auch bei Spannbeton-Hohlplatten möglich, die maximale nachträgliche Durchbiegung auf unter 10 mm zu begrenzen, um den kostentechnisch aufwendigen gleitenden Deckenan-schluss von Trockenbauwände zu vermeiden.

Flexibilität

Durch die Vorspannung mit Spannritzten im sofortigen Verbund erhalten die Hohlplatten eine höhere Steifigkeit und Tragfähigkeit und haben im Vergleich zu einer Vollbetondecke (Ortbeton, Fertigteile), die ein deutlich höheres Eigengewicht hat, eine größere Spannweite bei geringerer Deckendicke. Die Spannweite von Spannbetonhohlplattendecke mit einer Plattendicke von 20 bzw. 26 cm beträgt ca. 7,5 - 8,5 m (siehe beiliegende Grafik). Bei Spannbetonhohlplattendecken gibt es bei der Auflagerung zwei Ausführungsmöglichkeiten, die die mögliche Deckenspannweite beeinflussen. Zum einen können die Hohlplatten steif auf massive Wandscheiben aufgelagert werden, wodurch eine volle Auslastung angenommen werden kann und im Verhältnis größere Deckenspannweiten erzielt werden können. Bei der zweiten Ausführungsmöglichkeit werden die Hohlplatten biegeweich auf Träger gelagert, wodurch nur ca. 50 % der Auslastung angenommen werden können. Eine Kombination aus massiven Stahlbetonwänden und tragenden Stützen mit innenliegenden Leichtbauwänden ist aus statischer Sicht vorteilhaft, da eine reine Ausführung mit Massivwänden zu hohen Deckenlasten führen würde, die wiederum große Deckenstärken verursachen.

In Abhängigkeit von dem Hohlraumanteil einer Spannbeton-Hohlplatte wird das Deckeneigengewicht gegenüber einer Massivdecke um bis zu 50 % reduziert. Die größeren Spannweiten der Spannbeton-Fertigdecken ermöglichen einen größeren Stützenabstand und somit mehr Flexibilität in der Grundrissgestaltung, die auch im Hinblick auf eine eventuellen Umnutzung im Sinne der Nachhaltigkeit von Vorteil ist. Nachteilig bei dem Umnutzungspotential von Spannbetonhohlplattendecken ist, dass nachträgliche Deckendurchbrüche für die vertikale Leitungsführung schwierig zu ergänzen sind, da die Durchbrüche in Spannbetonplatten vor allem aus statischen und brandschutztechnischen Gründen eine Planung erfordern und nicht beliebig in die Platten gesetzt werden können (detaillierte Erläuterung siehe Gliederungspunkt "AUSWIRKUNG, Spannbetonhohlplattendecke - Planungszeit"). Insbesondere bei einer verputzten Deckenunterseite ist es nachträglich schwer die Lage der Hohlkammern zu erkennen.

Anwendungsgebiet					
Expositionsklasse XC1	Dächer ¹⁾	Wohngebäude ²⁾	Bürogebäude ¹⁾	Industriebau ¹⁾	
Ausbaulast	$g_{s1} = 1,50 \text{ kN/m}^2$				
Verkehrslast	$q_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$	$q_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$	$q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$	$q_k = 10,00 \text{ kN/m}^2$	
Deckentyp	Richtwert der Spannweite				
h = 15 - 16 cm 	6,00	-	5,50 ³⁾	5,50 ⁴⁾	-
h = 20 cm 	8,00	7,50	7,00 ³⁾	7,50 ⁴⁾	5,00
h = 26 - 27 cm 	12,00	10,00	8,50 ³⁾	10,00 ⁴⁾	6,50
h = 32 cm 	14,50	12,00	10,00 ³⁾	12,00 ⁴⁾	8,00
h = 40 cm 	16,50	14,50	12,00 ³⁾	14,50 ⁴⁾	10,00

¹⁾ Feuerwiderstandsklasse F90, ²⁾ Feuerwiderstandsklasse F30, ³⁾ ohne abgehängte Decke, ⁴⁾ mit abgehängter Decke

Abbildung 28: Richtwerte der Spannweite für den Entwurf, [BVSF, 2016], S.1

Anmerkung zur Abbildung: Bei abgehängten Decken sind größere Spannweiten bzw. schmalere Hohlplatten möglich als bei Spannbeton-Fertigdecken mit sichtbarer Deckenunterseite, da es durch die größeren Spannweiten bzw. Schlankheiten zu ungleichmäßigen Überhöhungen kommen kann. Durch die Abhängung sind diese Unebenheiten nicht sichtbar.

Zeit

Planungszeit

Bei einer Konstruktion aus Fertigteilen ist generell ein größerer Planungsaufwand erforderlich, da vor Beginn der Fertigung im Werk alle Festlegungen und Abstimmungen zur Montageplanung zwischen den Fachplanern und dem Hersteller abzustimmen und freizugeben sind. Die verschiedenen Aspekte, die sich teilweise erst nachträglich mit der Montageplanung des Herstellers ergeben haben, jedoch schon frühzeitig bei der Planung einer Spannbetonhohlplattendecke berücksichtigt werden sollten, werden unter dem Gliederungspunkt "Auswirkung" detailliert erläutert. Die Erfahrungen aus den beiden Forschungsprojekten Wuppertal und Bochum zeigen, dass während der Planungsphase beide Möglichkeiten der Verlegerichtung - quer oder längs zur Gebäudelängsachse - auf ihre Vor- und Nachteile überprüft werden sollten, da die Frage der Plattenausrichtung eine hohe Komplexität mit sich bringt. Beispielsweise hat die Verlegerichtung einen Einfluss auf das unterseitige Fugenbild der Deckenplatte und die mögliche Lage von Deckendurchbrüchen bei Spannbetonhohlplatten. Insbesondere die Planung der Deckendurchbrüche inklusive den Brandschutzanforderungen ist sehr aufwendig. Die einzelnen Schwierigkeiten, die von der Ausrichtung der Hohlplatten abhängig sind, sind unter dem folgenden Gliederungspunkt "Auswirkung" detailliert dargestellt.

Gemäß der Leistungsbeschreibung in der HOAI - Honorarordnung für Architekten und Ingenieure gehört für den Statiker das Zeichnen und Berechnen von Fertigteilen zu den besonderen Leistungen und ist demnach eine Leistung, die zusätzlich zu vergüten wäre. Allerdings entfällt für den Statiker die Erstellung von Bewehrungsplänen, die bei einer konventionellen Bauweise erforderlich sind und zu den Standardleistungen des Statikers gehören, sodass sich ein Ausgleich ergibt. Es zeigt sich, dass bei der Planung einer Konstruktion mit Fertigteilen die Leistungsschnittstellen zwischen Planern und Unternehmern zurzeit nicht eindeutig geklärt sind. Es besteht ein allgemeiner Regelungsbedarf, was bei einer Konstruktion aus Fertigteilen zu den Planungsaufgaben der Planer und dem ausführenden Unternehmen gehört.

Erschwerend kommt hinzu, dass im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung ein Fabrikat für die Hohlplatten nicht festgelegt werden kann. Unterschiedliche Hersteller fertigen jedoch hinsichtlich der Aufteilung und Größe der Hohlkammern und Lage der Spannritzen völlig unterschiedliche Platten. Insofern muss die Planungsarbeit nach der Ausschreibung und Vergabe ggf. nochmals auf das angebotene Fabrikat angepasst werden. Die Abstimmung muss so im Vorfeld zwischen möglichst großer Variabilität zur Aufrechterhaltung des Marktes und der notwendigen technischen Einschränkungen zur Ermöglichung der planerischen Konzeption abgewogen werden. Die Wahl eines öffentlichen Vergabeverfahrens ist eventuell hinderlich.

Bauzeit

Ein Vorteil der von einer Deckenkonstruktion aus Spannbetonhohlplatten gegenüber einer Ortbetondecke von den Planern erwartet wird, ist die kürzere Montagezeit auf der Baustelle. Allerdings sind bei einer Spannbeton-Fertigdecke nach der Plattenverlegung trotzdem weiterhin in einem geringeren Maß örtliche Monier- und Betonierarbeiten nötig. Die Fugen der einzelnen Platten und ein umlaufender Ringanker müssen örtlich aus Stahlbeton vergossen werden, damit die Decke ihre Scheibenwirkung erhält. Vorteilhaft ist, dass die Decke bereits nach der Verlegung der Platten vor dem örtlichen Betonverguss betretbar ist. Die auszuführenden Betonarbeiten sind vergleichbar zur Ortbeton- oder Elementdecke vom Umfang zwar gering, trotzdem besteht durch den örtlichen Betonverguss weiterhin eine Witterungsabhängigkeit bei der Montage.

Bei einer sichtbaren Deckenunterseite einer Spannbetonhohlplattendecke ist, in Abhängigkeit zu dem optischen Anspruch, Zeit für unterschiedliche Nacharbeiten an der Deckenunterseite einzuplanen. Möglicherweise kann die Gewerkeanzahl generell für das Bauvorhaben reduziert werden, wenn zum Beispiel die massiven Wänden ebenfalls aus Fertigteilen bestehen und mit einer sichtbaren Betonoberfläche belassen werden sollen.

Baukosten

Spannbetonhohlplatten sind mit einem Vergabepreis von ca. 60€/m² inkl. Vergussarbeiten in aller Regel kostengünstiger als eine vergleichbare Ortbetondecke oder auch Ortbeton-Halfertigteildecke (Elementdecken), hier liegt der Mittelwert laut BKI bei 120 €/m². Die glatte streichfähige Oberfläche der Spannbeton-Fertigdecke kann bei einer sichtbaren Deckenunterseite, wie bereits erwähnt, neben der Zeiteinsparung auch zu Kosteneinsparungen bei den Folgegewerken führen. Außerdem kann durch das niedrigere Eigengewicht und die höhere Steifigkeit sowie Tragfähigkeit der vorgespannten Spannbeton-Fertigdecken bei gleicher Spannweite kleinere Stützen- und Trägerquerschnitte ausgewählt werden.

Ökologie

Bei herkömmlichen Stahlbetondeckenplatten aus Ortbeton werden 2 Lagen Bewehrungsstahl kreuzweise verlegt benötigt. Durch die Verwendung von Spannstahl mit einer höheren Qualitätsklasse in Spannbetonhohlplatten kann der Stahlanteil reduziert werden. So soll bei einer Spannbeton-Fertigdecke im Vergleich zu einer Vollbetonplatte gleicher Tragfähigkeit die Stahlmengen um bis zu 80 % reduziert werden. (Vgl. [bauforumstahl, 2013], S.1). Die Ökobilanz von Spann- und Baustahl unterscheiden sich nicht wesentlich.

Durch die Hohlplatten wird der Betonanteil reduziert, sodass bei der Herstellung gegenüber Vollbetonplatten Materialien und Energie eingespart werden. In Abhängigkeit zu dem Plattentyp und dem spezifischen Hohlraumanteil können zwischen 15 und 52 % Beton eingespart werden ([DW Systembau, 2014], S.1).

Hinzuzufügen ist, dass durch die Anlieferung der bereits im Werk produzierten Spannbeton-Hohlplatten die Prozesse auf der Baustelle optimiert werden. Die Verwendung von vorgefertigten Elementen können zu einer abfall- und emissionsarmen Baustelle führen. Die Massenreduktion verringert vor allem auch die - für Beton aufgrund des hohen Zementanteils - negativen Umweltwirkungen, die in der Ökobilanz ausgewiesen werden. Dies gilt vor allem für den Wirkungspfad des Treibhauspotentials (GWP Global Warming Potential).

Weitere Erkenntnisse zur Ökobilanz sind im Themenabschnitt "4.c Nachhaltigkeit" beschrieben.

Entscheidung / Erwartungshaltung Planer

Die Deckenkonstruktionen einschließlich des Daches des Forschungsprojektes sollen aus Spannbetonhohlplatten ausgeführt werden, da der Vergleich zu einer Ortbetondecke beziehungsweise Elementdecke Vorteile hinsichtlich der Bauzeit, den Baukosten und der Flexibilität verspricht. Neben der kurzen Montagezeit der Platten bietet die größere Spannweite und die Ausführungsmöglichkeit einer sichtbaren Deckenunterseite und das damit verbundene Potential zur Kosten- und Zeiteinsparung einen besonderen Vorteil für die Planer. Die Deckenunterseite soll deswegen bei dem Forschungsprojekt sichtbar gelassen werden. Die Erwartungshaltung der Planer ist, dass die Oberfläche der Plattenunterseite ohne Nacharbeiten belassen werden kann. Gegebenenfalls ist nur ein nachträgliches streichen erforderlich. Das Fugenbild der Deckenunterseite bleibt somit ebenfalls sichtbar. Bei dem Wuppertaler Projekt werden die Deckenplatten parallel zur Gebäudelängsachse verlegt. Durch diese Verlegerichtung liegen die Fugen der Hohlplatten quer zu den Trennwänden (Ausbauraster), wodurch keine optische Abhängigkeit zwischen den Deckenfugen und den innenliegenden Trennwänden besteht.

Bei einer Konstruktion in Kombination mit deckengleichen Stahlverbundträgern (siehe "horizontale Systeme - Varianten zur Deckenauflagerung für Spannbetonhohlplatten") ist eine Flachdeckenkonstruktion möglich, in der die Stahlverbundträger vollständig in die Deckenkonstruktion integriert sind und somit die Spannbetonhohlplattendecke ohne hervorstehende Unterzüge ausgeführt werden kann. So ist eine bei Umnutzung gegebenenfalls geänderte Leitungsführung unterhalb der Deckenplatte nicht eingeschränkt. Die größere Spannweite der Spannbetonhohlplatten ermöglicht es, die vertikalen Tragelemente auf ein Minimum zu reduzieren, sodass hohe Grundrissvariabilitäten entstehen. Die ursprüngliche Planung im Wuppertaler Projekt sah eine Ausführung der Spannbetonhohlplattendecken als Flachdeckenkonstruktion mit Stahlverbundträgern, die auf Fertigteilstützen aufliegen vor. Die Ausführungsplanung und die erste Rohbauausschreibung wurden mit diesem System ausgearbeitet. Die Ergebnisse und Auswertung der ersten Rohbauausschreibung haben allerdings gezeigt, dass diese Konstruktion

mit den projektspezifischen Vorgaben insbesondere im Kontext der aktuellen Baukonjunktur vergleichsweise kostenintensiv ist. Aus Kostengründen musste folglich die Rohbaukonstruktion geändert werden, überwiegend liegen die Hohlplatten nun auf innenliegenden Wandschotten auf.

Damit keine gleitenden Wandanschlüsse zwischen den Spannbetonhohlplattendecken und Wänden erforderlich sind, wurde bei dem Projekt eine maximale nachträgliche Durchbiegung von 10 mm für die Berechnung und Planung der Deckenplatte dem Statiker vorgegeben. Die Einhaltung dieser maximalen Durchbiegung war bei beiden Projekten auch mit einer Spannbetonhohlplattendecke möglich. Die Spannbetonhohlplattendecken besitzen einen permanenten Vorsprung und somit einen reduzierten Kriechanteil gegenüber einer herkömmlichen Stahlbetondeckenplatte, welches für eine geringe nachträgliche Durchbiegung vorteilhaft ist.

Ausführungsplanung Spannbetonhohlplattendecke

Die Erfahrungen aus dem Bochumer Projekt mit einer Deckenspannrichtung, die quer zur Fassade und Gebäudelängsachse verläuft, haben gezeigt, dass die Anordnung der für die Steigstränge der Fertignasszellen erforderlichen Deckendurchbrüche quer zur Deckenspannrichtung zu nicht unerheblichen Abstimmungsproblemen führt. Deswegen entschied man sich beim Wuppertaler Projekt hierzu abweichend für eine parallel zur Hauptfassade und Gebäudelängsachse orientierte Deckenspannrichtung, wodurch sich eine Deckenspannweite von ca. 6,65 m für alle fünf Gebäude ergibt. Aus wirtschaftlichen Gründen werden die Hohlplatten vorwiegend auf Stahlbetonfertigwänden aufgelagert.

Montageplanung (ausgeführtes Produkt: DW Systembau GmbH, Brespa-Decken, Plattentyp A20Q):

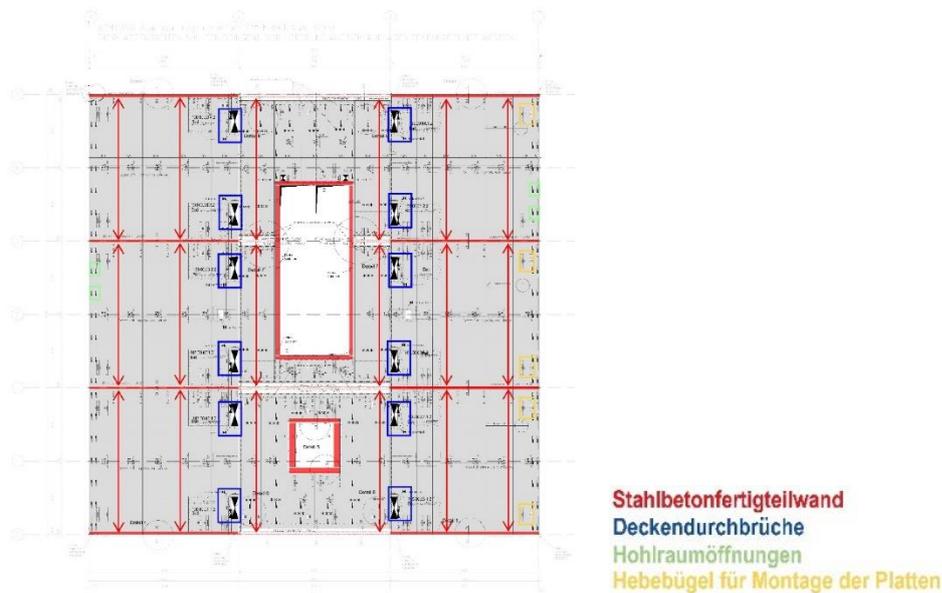


Abbildung 29: Montageplanung der Spannbeton-Hohlplatten Haus 1 - Decke über EG, [DW Systembau GmbH]

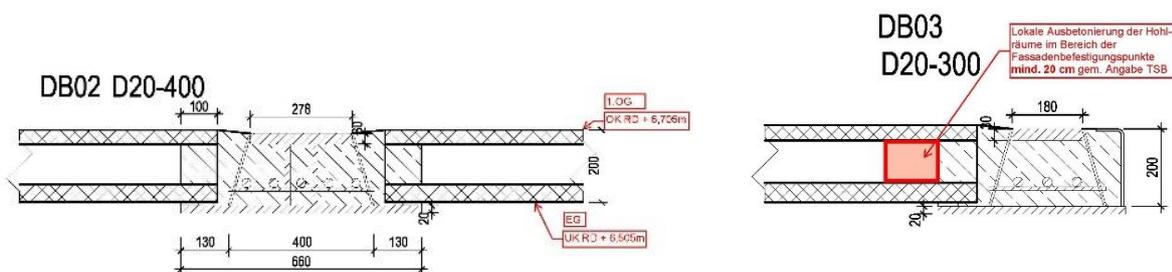


Abbildung 30: Montageplanung der Spannbeton-Hohlplatten - Details, [DW Systembau GmbH]



Abbildung 31: Montageplanung der Spannbeton-Hohlplatten Haus 2-5 - Decke über EG von Haus 5, [DW Systembau GmbH]

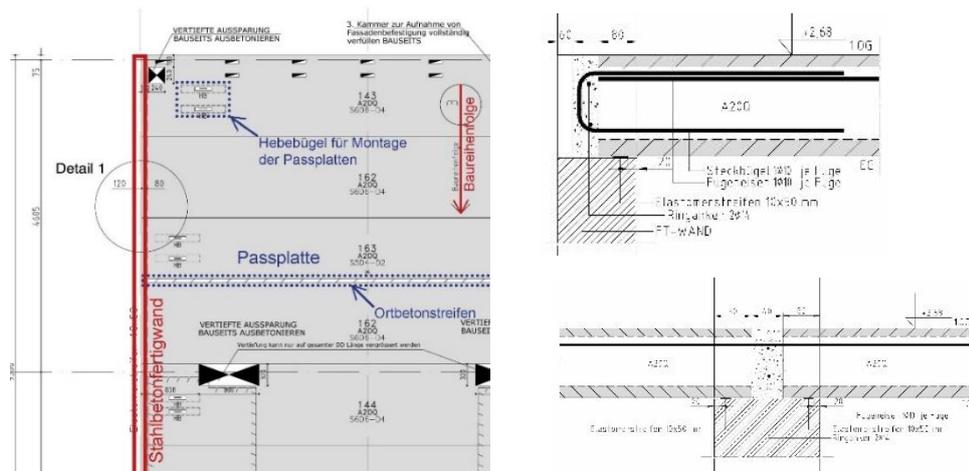


Abbildung 32: Montageplanung der Spannbeton-Hohlplatten - Details, [DW Systembau GmbH]

Varianten zur Deckenauflagerung für Spannbetonhohlplatten

Für die Deckenauflagerung der Spannbetonhohlplatten wurden für das Projekt die drei Varianten - Flachdeckensystem mit deckengleichen Stahlverbundträgern auf Stützen, nicht deckengleiche Stahlbetonfertigteilträger auf Stützen und alternativ eine Auflagerung auf Wänden - gegenübergestellt, deren Vor- und Nachteile nachfolgend beschrieben sind.

Stahlverbundträger

Ein Stahlverbundträger besteht aus einem trapezförmigen, geschweißten Stahlprofil (Hohlkastenprofil) auf dem Element-, Ortbeton- und Hohlplattendecken aufgelagert werden können. Der Träger wird fast vollständig in die Rohdecke integriert, lediglich der Untergurt verbleibt unterhalb der Decke sichtbar. Im Wesentlichen besteht der Verbundträger aus drei wichtigen Bestandteilen, dem Untergurtflansch, dem Hohlprofil und der Brandschutzbewehrung. Der Untergurtflansch des trapezförmigen Hohlprofils dient dazu, das deckengleiche Auflager zu gewährleisten. Je nach Position des Trägers krägt der Untergurtflansch zu einer (Randbereich) oder beiden Seiten (Mittelträger) als Auflagerflansch aus. Zusätzlich verfügt der Stahlverbundträger über eine werkseitig integrierte Brandschutzbewehrung innerhalb des Trägers, welche nach dem Verguss durch Beton geschützt ist. Im Falle eines Brandes lässt die Festigkeit des Untergurtes nach und der Brandschutz wird durch die zusätzliche Bewehrungseinbringung in F90 Qualität gesichert. An dem seitlichen Stegblech sind regelmäßige Stegöffnungen entlang des Trägers für die Durchführung von Querbewehrungen angeordnet, sodass mit dem Betonverguss eine Verbundwirkung entsteht und das Deckensystem eine tragende Scheibenwirkung erhält.

Bei Auflasten oder Trägerstützweiten, die einen höheren Verbundträger erfordern, kann der Verbundträger in den Deckenplattenquerschnitt auch teilintegriert werden oder mit einem kleinen Überstand unterhalb oder oberhalb

der Rohdecke ausgeführt werden. Dafür werden werksseitig Höhenausgleichprofile auf dem Untergurt aufgeschweißt, die den Höhenunterschied zwischen Deckenunterseite und Flanschoberseite ausgleichen. (Vgl. [Peikko, DW Systembau, 2013] und [Peikko, 2007])

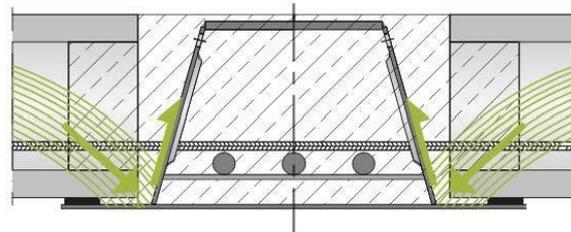
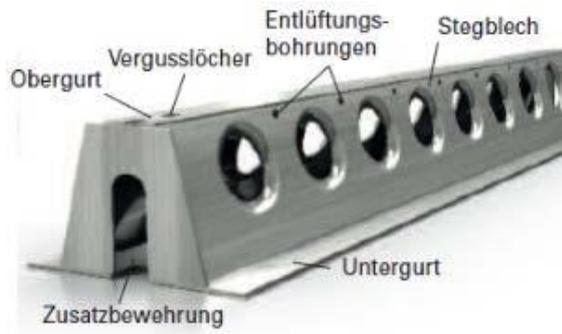


Abbildung 33: Deltabeam Verbundträger, [Peikko, 2007], S.3

Abbildung 34: Flachdeckensystem - Stahlverbundträger mit Spannbetonhohlplatten [Peikko 02/2007], S.3



Abbildung 35: Deltabeam Verbundträger, [Peikko, 2007], S.4

Da eine Deckenkonstruktion aus Verbundträgern und Spannbetonhohlplatten ein Deckensystem bildet, gibt es Abhängigkeiten, weswegen sie im Zusammenhang zu betrachten sind. Die folgende Systembetrachtung des Verbundträgers bezieht sich somit auf ein Flachdeckensystem mit Spannbetonhohlplatten. Anzumerken ist außerdem, dass es bisher nur einen Anbieter auf dem Markt für den Verbundträger gibt.

Qualität

Durch die integrierte Zusatzbewehrung (Brandschutzbewehrung) in dem Verbundträger und dem örtlichen Betonverguss kann das Deckensystem beziehungsweise der Träger ohne Brandschutzverkleidung in F90 ausgeführt werden. Allgemein hat der Stahlbau beziehungsweise Stahlbauteile eine hohe Präzision und somit wenig Toleranzen. Dieser Vorteil wird daher ebenfalls für Stahlverbundträger von den Planern angenommen.

Bei der Fassadengestaltung ist es mit einem Flachdeckensystem möglich, die Fenster ohne Sturz bis zur Deckenunterseite zu führen, wodurch ein größerer Lichteinfall und resultierend daraus bessere Belichtung der Innenräume erzielt wird.

Flexibilität

Durch die Integration der Träger in die Konstruktionsdicke der Spannbetonhohlplatten entsteht eine Deckenunterseite ohne Unterzüge (Flachdeckensystem), weswegen eine horizontale Leitungsführung zur haustechnischen Ver- und Entsorgung direkt unterhalb der Decke einfach möglich ist. Zusätzlich können spätere Änderungen der horizontalen Leitungsführung unterhalb der Decke einfach ausgeführt werden, was im Hinblick auf eine eventuell spätere Umnutzung vorteilhaft ist. Gegenüber einer Bauweise mit Wänden bietet das Flachdeckensystem eine größere Grundrissflexibilität und Steigerung der Nachnutzungspotenziale.

„Das übliche Planungsraaster von Flachdecken liegt im Bereich zwischen 6,0 m und 8,5 m bei annähernd quadratischen Deckenfeldern.“ ([Peikko, DW Systembau, 2013], S.3)

Zeit

Planungszeit

Bei der Planungszeit ist ein Zusatzaufwand für die Planer aufgrund des nicht bekannten Systems zu erwarten. Außerdem besteht durch das konkurrenzlose Produkt eine starke Herstellerabhängigkeit. Die statische Berechnung ist planungsaufwendiger, da der Brandschutznachweis von dem Statiker projektweise berechnet werden muss.

Bauzeit

Ein Deckensystem mit Fertigteilelementen lässt eine schnelle Bauweise mit einer hohen Verlegeleistung erwarten, da die aufwendigen Schalungsarbeiten entfallen. Der Produkthersteller wirbt damit, dass bei einer geeigneten Auflagerausbildung eine unterstützungsfreie Montage des Flachdeckensystems möglich ist. Hierfür müssen die Verbundträger vollflächig inklusive dem Untergurtflansch auf den Stützenquerschnitten aufliegen. Beim Bochumer Projekt sind die Stützen im Querschnitt schmaler, weswegen eine zusätzliche Unterstützung während der Montage erforderlich ist. Der geringere zeitliche Vorteil durch eine unterstützungsfreie Montage ist folglich gegenüber eventuell höheren Kosten und den Ausführungsmöglichkeiten mit einem größeren Stützenquerschnitt abzuwiegen.

Baukosten

Zum Planungszeitpunkt ist die Wirtschaftlichkeit von Verbundträgern fraglich, da durch die Alleinstellung des Produktes und der konkurrenzlosen Herstellerabhängigkeit zur Zeit ein Kostenrisiko besteht. Generell ist die Wirtschaftlichkeit der Verbundträger nur im Gesamtsystem mit den Spannbetonhohlplatten betrachtbar. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte die Deckenstützweite der Spannbetonhohlplatten im Idealfall etwas größer als die Stützweite der Verbundträger sein. Gemäß den Herstellerangaben der Firma Peikko und DW Systembau ist das System am wirtschaftlichsten bei einem Verhältnis von Trägerstützweite zu Deckenstützweite zwischen 1:1 und 1:1,5. (Vgl. [Peikko, DW Systembau, 2013], S. 2)

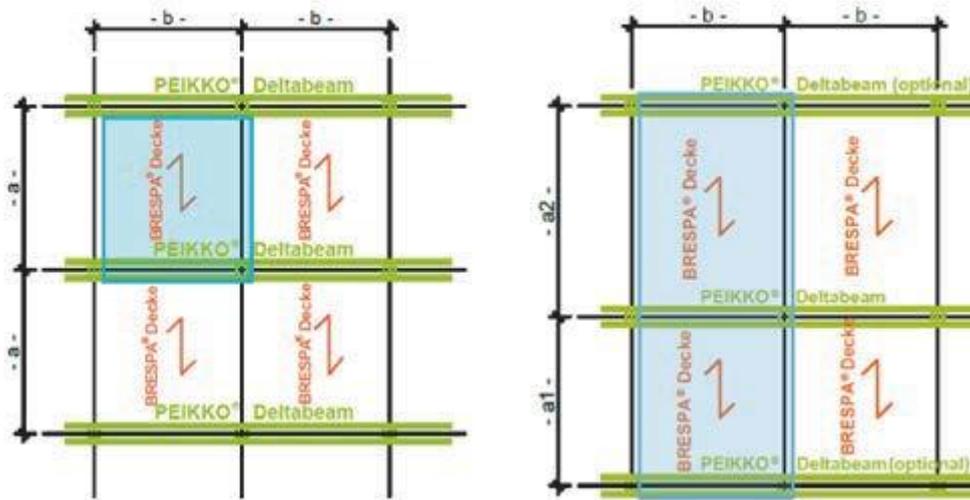


Abbildung 36: Flachdeckensystem, [Peikko, DW Systembau, 2013], S. 3, 4

Der Verbundträger hat eine Zulassung für die Brandschutzanforderung F90. Aus diesem Grund ist keine Brandschutzverkleidung, die weitere Kosten verursachen würde, erforderlich. Stattdessen ist eine zusätzlich integrierte Brandschutzbewehrung im Verbundträger erforderlich, die sich auf den Produktpreis auswirkt.

Ökologie

Die Recyclierbarkeit des Stahlprofils ist durch den Betonverbund schlecht, da Beton und Stahl schwierig zu trennen sind. Ein nicht vergossener Stahlträger wäre vorteilhaft.

Im Themenabschnitt "4.c Nachhaltigkeit" wird das Thema hinsichtlich der Ökobilanz näher betrachtet.

Stahlbeton-Fertigteilträger

Die Spannbetonhohlplatten können alternativ auf einen nicht deckengleichen Träger - Stahlbeton- oder Stahlträger - aufgelegt werden. Für die Deckenunterseite entsteht hierdurch eine unterbrochene, strukturierte Ansicht. Als alternative Möglichkeit wurde für das Forschungsprojekt ein Stahlbeton-Fertigteilträger analysiert.

Da die Eigenschaften von Betonfertigteilen im Allgemeinen identisch sind, werden sie zusammengefasst und unter dem nachstehenden Gliederungspunkt "**Fertigwand**" hinsichtlich Qualität, Zeit, Kosten und Ökologie analysiert.



Abbildung 37: Foto Baustelle Wuppertal- Stahlträger, [ACMS Architekten GmbH], 12.10.2018

Flexibilität

Ein Deckensystem mit nicht deckengleichen Trägern hat gegenüber einem System mit integrierten Verbundträgern keine ebene Deckenunterseite, was sich insbesondere auf die Flexibilität und das Umnutzungspotenzial auswirkt. Neben dem optischen Einfluss durch die hervorstehenden Träger, die bei der Grundriss- und Fassadengestaltung zu berücksichtigen sind, ist eine horizontale Leitungsführung direkt unterhalb der Decke nicht möglich. Aussparungen in einem Stahlbeton-Fertigteilträger für die Leitungsführung können aufgrund der oberen Bewehrungseinlage erst in Trägermitte ausgeführt werden. Gegebenenfalls ist für den zusätzlichen Platzbedarf an der Deckenunterseite folglich eine größere Raumhöhe erforderlich.

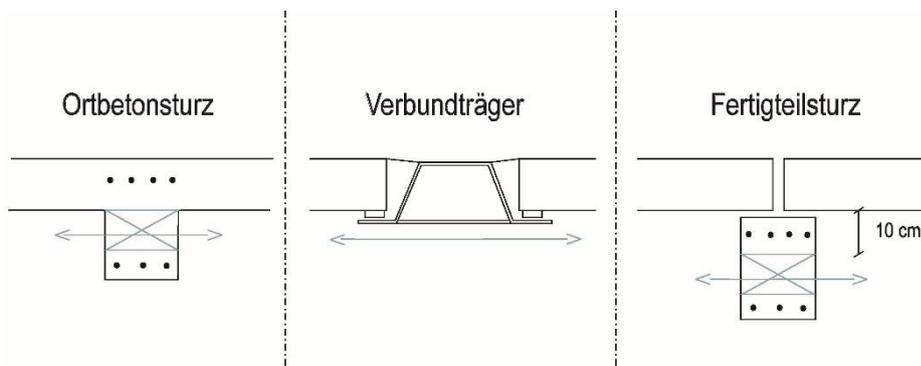


Abbildung 38: Vergleich Aussparungen / horizontale Leitungsführung, [ACMS Architekten GmbH]

Wand

Als weitere Möglichkeit können die Spannbetonhohlplatten auf Wänden - Stahlbeton oder Mauerwerk - aufgelagert werden. Der Vergleich von Wandvarianten und deren Merkmale erfolgt nachstehend unter "vertikale Systeme - Wandvarianten". Eine Deckenauflagerung auf Wände schränkt allerdings immer gegenüber der Auflagerung auf Trägern die Grundrissflexibilität und somit auch die möglichen Umnutzungspotenziale ein.

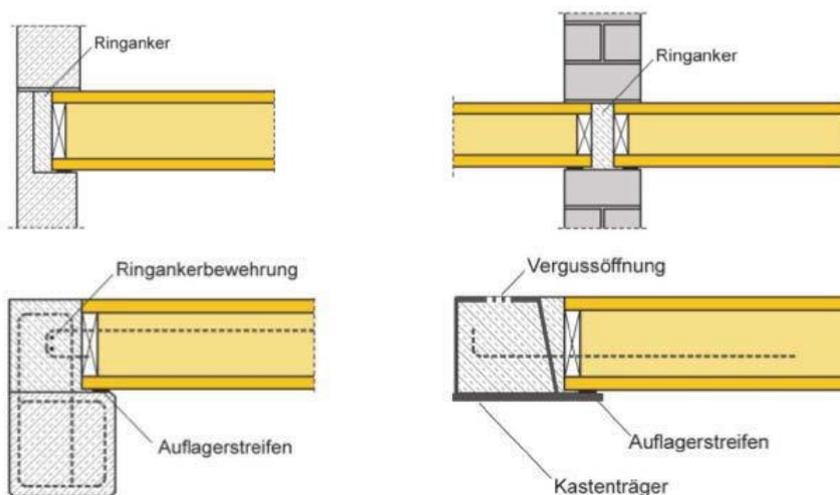


Abbildung 39: Varianten Auflagerung der Spannbetonhohlplatten, [BVSF(c), 2016], S.2

Entscheidung / Ausführungsplanung

Die Entwurfs- und Genehmigungsplanung sieht für das Wuppertaler Projekt eine Konstruktion mit teilweise innen liegenden massiven Wandscheiben vor.

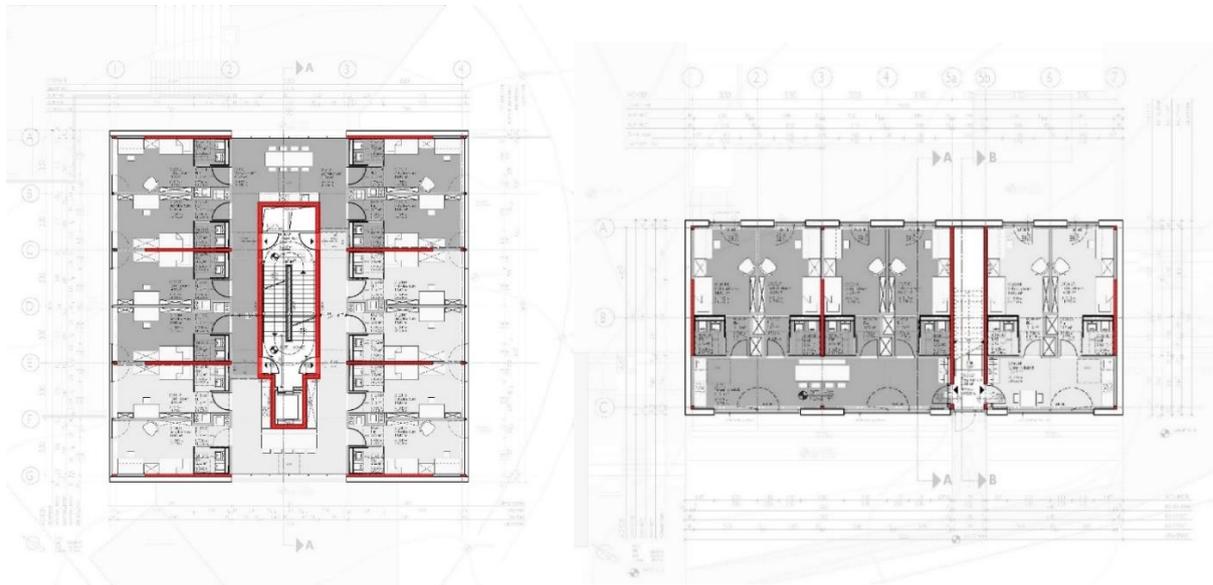


Abbildung 40: Planungsstand Oktober 2016 Haus 168 (Genehmigungsplanung), [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 41: Planungsstand Oktober 2016 Haus (Genehmigungsplanung), [ACMS Architekten GmbH]

Mit der vorangeschrittenen Planung wurde, aus den zuvor beschriebenen Gründen, für die Deckenkonstruktion ein System aus Spannbetonhohlplatten gewählt. Dadurch ist für das Deckensystem eine Kombination mit Verbundträgern möglich. Um im Sinne des Variogedankens eine möglichst große Flexibilität in der Grundrissgestaltung zu erlangen und das Umnutzungspotenzial zu steigern, ergibt sich folglich die Frage, ob das Tragwerkkonzept der Genehmigungsplanung noch weiter in eine Skelettbauweise aufgelöst werden kann, um die Flexibilität einer möglicherweise späteren Umnutzung zu vergrößern. Von dem Tragwerksplaner wurden hierfür zwei Varianten mit einem System aus Verbundträgern und Spannbetonhohlplatten untersucht.

Deckenspannrichtung parallel zur Hauptfassade



Abbildung 42: Skizze Tragwerkkonzept, 1. Variante - auf Grundlage von TSB Ingenieurgesellschaft mbH - Deckenspannrichtung parallel zur Hauptfassade, Haus 168 und 164 [ACMS Architekten GmbH]

Deckenspannrichtung quer zur Hauptfassade



Abbildung 43: Skizze Tragwerkkonzept, 2. Variante - auf Grundlage von TSB Ingenieurgesellschaft mbH - Deckenspannrichtung quer zur Hauptfassade, Haus 168 und Haus 164 [ACMS Architekten GmbH]

Aus statischer Sicht ist insbesondere bei Haus 1 eine Deckenspannrichtung parallel zur Hauptfassade aus den folgenden Gründen vorteilhaft. Bei der 2. Variante von Haus 1 müssen aus statischen Gründen in den Feldern Achse 2-3/A-B und Achse 2-3/F-G jeweils zwei Wechselträger eingebaut werden. Der Anschluss des Wechselträgers an die Randträger ist aus statischer Sicht kompliziert und an der anderen Seite - Stützung an der Ecke des Treppenhauskerns - problematisch. Zusätzlich sind die möglichen Deckenaussparungen aus statischen Gründen auf ein Stück 20 x 40 cm pro 1,20 m für alle 5 Häuser bei der 2. Variante begrenzt.

Die Erfahrungen aus dem Bochumer Projekt mit einer Deckenspannrichtung, die quer zur Fassade und Gebäudelängsachse verläuft, haben außerdem gezeigt, dass die Anordnung der für die Steigstränge der Fertignasszellen erforderlichen Deckendurchbrüche quer zur Deckenspannrichtung zu nicht unerheblichen Abstimmungsproblemen führt.

Die beschriebenen Gründe führen dazu, dass für die Ausführungsplanung eine Deckenkonstruktion aus Verbundträgern mit Spannbetonhohlplatten, deren Spannrichtung parallel zur Hauptfassade beziehungsweise Gebäudelängsachse verläuft, umgesetzt wird. In Abstimmung mit dem Tragwerksplaner ist es folglich gelungen, die inneren Tragachsen zu deckengleichen Stahlverbundträgern und Stahlbeton-Fertigteilstützen weiter aufzulösen. Das folgende Vergabeverfahren zeigt allerdings, dass diese Konstruktion insbesondere im Kontext der aktuellen Baukonjunktur kostenintensiv ist. Die detaillierte Erläuterung und die daraus folgenden Konsequenzen auf die Ausführungsplanung sind nachfolgend unter dem Gliederungspunkt "AUSWIRKUNG - horizontale Systeme - Stahlverbundträger" beschrieben.



Abbildung 44: Planungsstand April 2017 Haus 168 3. OG und 164 1. OG (Ausführungsplanung)- auf Grundlage von TSB Ingenieuresellschaft mbH- Rohbaukonstruktion mit Stützen / Verbundträgern, [ACMS Architekten GmbH]

vertikale Systeme - Wandvarianten

Tragende Wände oder Stützen bilden die vertikalen Tragelemente eines Gebäudes welche horizontale Kräfte wie zum Beispiel Windkraft, sowie vertikalen Lasten aus der Deckenkonstruktion aufnehmen und für die Aussteifung der Gebäudestruktur mitverantwortlich sind. Neben den Anforderungen an die Tragfähigkeit müssen die tragenden Wände den baurechtlich vorgegebenen baulichen Brandschutz sicherstellen und zusätzlich gegebenenfalls bauphysikalische Anforderungen wie Schall- und Wärmeschutz erfüllen.

Wand- beziehungsweise Stützenkonstruktionen können aus den verschiedensten Baustoffen bestehen - Mauerwerk, Holz, Beton beziehungsweise Stahlbeton und Stahl. Aus den Erfahrungen des Architekturbüros aus vorherigen Projekten stand für die Konstruktion der tragenden Wände beziehungsweise Stützen frühzeitig eine Konstruktion aus Stahlbeton fest, da die gebäudeabschließende vertikale Außenhülle aus nicht tragenden vorgefertigten Holztafelelementen bestehen soll. Standardmäßig werden Stahlbetonwände und -stützen aus Ortbeton hergestellt. Die Eigenschaften der Ortbetonbauweise werden im Abschnitt "Horizontale Systeme - Ortbetondecke" beschrieben.

Alternativ zur Ortbetonbauweise können Stahlbetonwände und -stützen aus Stahlbetonfertigteilen beziehungsweise Halfertigteilen hergestellt werden. In dem folgenden Abschnitt werden zunächst zusammenfassend die allgemeinen Merkmale von Fertigwänden, die anschließend in Vollfertigteilmwand, Halfertigteilmwand und Fertigteilstütze gegliedert werden, dargestellt und der Vergleich zu Ortbetonwänden und Ortbetonstützen gezogen. Im Anschluss daran werden die Besonderheiten der einzelnen Systeme ergänzend zu den allgemeinen Eigenschaften aufgezeigt.

Fertigwand - Vollfertigteilmwand / Halfertigteilmwand / Fertigteilstütze

Qualität

Fertigteilmwände haben durch die werkseitige Produktion eine porenarme und schalungsglatte Oberfläche, weswegen sie sich als Sichtoberfläche eignet. Dieser Vorteil der Oberflächenqualität kann folglich genutzt werden, um Kosten- und Zeiteinsparungen bei den Folgegewerken zu erzielen. In Abhängigkeit zu der gewünschten Oberflächenqualität können erforderliche Nacharbeiten, wie zum Beispiel die Putzarbeiten, an der Wandoberfläche entfallen, wodurch gegenüber einer Ortbetondecke Kosten und Zeit bei dem Folgegewerk Putz eingespart wird. Je nach Anforderungen reicht ein örtliches Schließen der Stoßfugen aus. In Kombination mit einer Fertigteildecke (zum Beispiel Spannbetonhohlplattendecke) kann das Gewerk Putz gegebenenfalls vollständig entfallen, wodurch die Gewerkeanzahl für das Bauvorhaben reduziert werden kann.

Die Verwendung von Fertigteilen bietet aus Planersicht allgemein das Potential, die Bautoleranzen, die insbesondere im Rohbau groß sind, zu reduzieren. Bei den Elementabmessungen der einzelnen Fertigteile gibt es Maßabhängigkeiten, die sich aus der Fertigung, den Transportmöglichkeiten und der möglichen Kranlast ergeben. „Ohne Sondergenehmigung liegen die zulässigen maximalen Abmessungen für den Straßentransport bei 2,55 m Breite, 4,00 m Höhe, 15,50 m Länge und einem Gesamtgewicht inklusive Fahrzeug von 40 t.“ (Peck, 2013, S.79) Die Elementfugen wirken sich bei einer Sichtoberfläche folglich auf die optische Qualität aus, sodass die Planung der Elementstöße gegebenenfalls gestalterisch zu berücksichtigen ist.

Flexibilität

Tragende Wandscheiben schränken das Umnutzungspotential eines Gebäudes mit deren Grundrissgestaltung ein, da Änderungen von tragenden Wänden einen höheren Aufwand erfordern und eventuell nur schwierig umsetzbar sind.

Zeit

Planungszeit

Bei einer Konstruktion aus Fertigteilen ist, wie oben bereits genannt, ein größerer Planungsaufwand zwischen den Fachplanern und dem Hersteller nötig und somit ein frühzeitiger Planungsvorlauf erforderlich. Insbesondere müssen die Verbindungsanschlüsse zu den weiteren statischen Systemen (Decke und Träger) abgestimmt werden, wodurch weitere Hersteller als Planungsbeteiligte im Planungsprozess mitagieren. Die Vielzahl der Planungsbeteiligten führt insbesondere bei den Schnittstellen zu Abstimmungsschwierigkeiten. Wie bereits unter "horizontale Systeme - Spannbetonhohlplattendecke" beschrieben, kommt zu der Schnittstellenproblematik hinzu, dass die Leistungsschnittstellen zwischen Planern und Unternehmer nicht eindeutig geklärt sind. Es besteht ein allgemeiner Regelungsbedarf, indem die Planungsaufgaben und Zuständigkeiten bei der Planung von Fertigteilen allgemein geregelt sind. Zurzeit führt der fehlende Regelungsbedarf insbesondere bei einer öffentlichen Ausschreibung zu Schwierigkeiten.

Ein größerer Planungsaufwand und Abstimmungsbedarf erfordert bei Fertigwänden zusätzlich die Planung von Aussparungen für Leitungsführungen in oder durch die Fertigwände sowie für Einbauteile, damit die Aussparungen für Öffnungen (Fenster, Türen, TGA-Leitungen und Einbauteile) werkseitig an den festgelegten Stellen entsprechend vorgesehen werden können. Im Fertigteilwerk können die Leerrohre für Elektroleitungen sowie die Dosen für Schalter und Steckdosen bereits in die Fertigwände integriert werden.

Bauzeit

Ein Vorteil von Fertigwänden, der von den Planern erwartet wird, ist die kürzere Montagezeit auf der Baustelle, da eine hohe Verlegeleistung ohne Arbeitsunterbrechung für Betonage und Trocknungszeiten zu erwarten ist und die örtlichen Verschalungs- und Monierarbeiten entfallen. Wie zuvor unter Qualität beschrieben kann durch eine Sichtoberfläche Zeit bei den Folgegewerken eingespart werden.

Baukosten

Neben der Zeiteinsparung kann durch eine Sichtoberfläche ebenfalls eine Kosteneinsparung bei den Folgegewerken erzielt werden.

Ökologie

Betonbauteile haben allgemein auf Grund des hohen Zementanteils eine schlechte Ökobilanz. Die Ökobilanz von Betonfertigteilen zu Ortbetonbauteilen haben keinen relevanten Unterschied und sind ähnlich.

Stahlbeton-Fertigteilwand

Nachfolgend werden nur die Besonderheiten von Stahlbetonfertigteilwänden ergänzend zu den bereits unter Fertigwand erläuterten Merkmalen beschrieben.

Betonfertigteilwände werden als Vollfertigteil an die Baustelle geliefert, örtlich wird anschließend der Fugenvergruss der Stoßfugen hergestellt.



Abbildung 45: Baustelle WU - Stahlbeton-Fertigteilwand Haus 164, [ACMS Architekten GmbH], 05.06.2018

Qualität

Bezüglich der Anschlusspunkte ist zu beachten, dass bei Vollfertigteilwänden zunächst keine biegesteifen Verbindungen möglich sind. Eine biegesteife Verbindung bei Vollfertigteilwänden würde eine Anschweißplatte an der Fertigwand erfordern, weswegen biegesteife Verbindungen bei einer Vollfertigteilwand im Vergleich zu einer Halbfertigteilwand aufwendiger herzustellen sind.

Am Anschlusspunkt zur Bodenplatte kann außerdem kein Fugenblech beziehungsweise Dichtband miteinbetoniert werden. Mit einer anderen Abdichtungsausführung am Plattenstoß zur Bodendecke ist theoretisch eine Ausführung als wasserundurchlässige Betonkonstruktion mit Vollfertigteilwänden möglich. In der Praxis ist die Ausführung von Vollfertigteilwänden als wasserundurchlässiger Beton allerdings keine gängige Praxis. Die vertikalen Plattenlängsstöße könnten mit einem Kompriband abgedichtet werden. Die horizontalen Plattenstöße zur Bodenplatte eventuell ebenfalls mit einem Kompriband oder einer außenseitigen Hohlkehle, die allerdings anfälliger für Beschädigungen sind. Somit ist die Ausführung von Vollfertigteilwänden als wasserundurchlässigen Beton mit hohen Risiken verbunden. Außerdem ist das höhere Eigengewicht der Vollfertigteilwände gegenüber Halbfertigteilwänden für eine wasserundurchlässige Betonkonstruktion gegebenenfalls nachteilig. Aus Gewichtsgründen (maximale Transport- und Kranlast) sind gegebenenfalls kleinere Elemente erforderlich. Eine kleinere Elementierung der Fertigteile bedeutet eine größere Anzahl an Stoßfugen, wodurch wiederum mehr Schwachstellen entstehen und die Kosten steigen.

Bei der Elementplanung von Fertigteilwänden hat insbesondere das vergleichsweise hohe Eigengewicht der Vollfertigteilwände einen entscheidenden Einfluss. So bestimmt die maximal mögliche Kranlast für den Transport und die Montage das maximale Elementgewicht und folglich die mögliche Elementabmessung, die gegenüber Halbfertigteilwänden aus Gewichtsgründen somit kleiner sein kann.

Zeit

Bauzeit

Vollfertigteilwände haben den größten zeitlichen Vorteil, da lediglich die Stoßfugen örtlich mit Mörtel verfüllt werden müssen.

Stahlbeton-Halfertigteilwand (Elementwand / Filigranwand / Doppelwand)

Nachfolgend werden nur die Besonderheiten von Stahlbetonhalfertigteilwänden ergänzend zu den bereits unter Fertigwand erläuterten Merkmalen beschrieben.

Halfertigteilwände bestehen aus zwei dünnen Fertigteilscheiben, die jeweils ca. 5 - 7 cm dick sind. Werkseitig werden die beiden Wandscheiben durch Gitterträger zu einem Doppелеlement mit verbleibendem Zwischenraum verbunden. Die beiden Wandscheiben übernehmen im Baubetrieb nach der Elementverlegung und Abstützung die Funktion einer verlorenen Schalung. Nach der örtlichen Betonage des Zwischenraumes der Doppelwandelemente verbinden sich die Wandelemente und die Ortbetonergänzung durch die Gitterträger zu einem monolithischen Gesamtbau teil. (Vgl. [Peck, 2013], S.52)

„Übliche Maße sind Höhen bis 3 m und Längen bis 6 m. Möglich sind Längen bis 14 m und Höhen bis 3,99 m. Die üblichen Wanddicken sind 18, 20, 24, 25, 30, 36, 40 und 42 cm.“ ([IZB]) Allerdings sind die möglichen maximalen Abmessungen firmenspezifisch, weswegen sie je nach Hersteller unterschiedlich sein können.

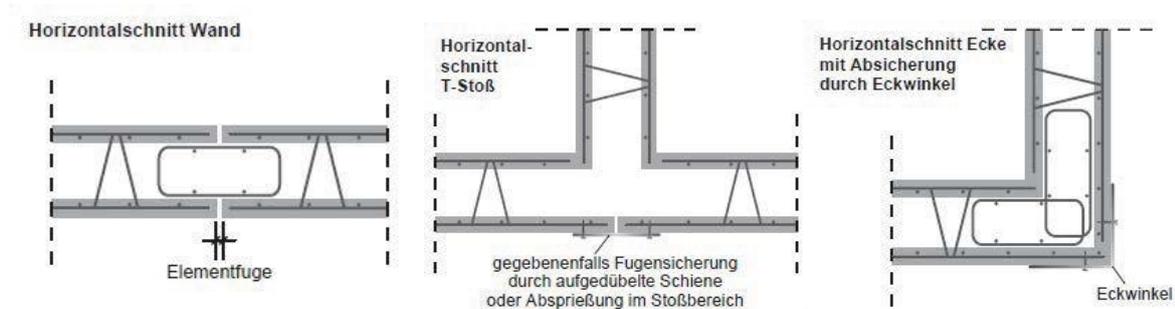


Abbildung 46: Elementstöße Doppelwand, [Fachvereinigung Betonbauteile, 2009], S.5

Qualität

Halfertigteilwände können als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WU-Beton) ausgeführt werden. Dafür sind die gesonderten Bauregeln und Anforderungen gemäß der WU-Richtlinie anzuwenden. Im Gegensatz zu Vollfertigwänden kann am Anschluss der Bodenplatte ein Fugenblech beziehungsweise Dichtband eingefügt hierzu ist jedoch mindestens eine Wanddicke von 30 cm erforderlich.

Für die Ausführung einer Ortbetonwand als wasserundurchlässigen Beton ist hingegen eine Wanddicke von mindestens 25 cm ausreichend. Außerdem besteht bei einer Ortbetonwand genügend Platz im Anschlussbereich sodass ein Fugenband zwischen Wand und Bodenplatte gut anbetoniert werden kann. Ebenso ist eine gute Rissbehebung bei Ortbeton möglich.

Die Umsetzung von Halfertigteilwänden als wasserundurchlässigen Beton erfordert eine große Sorgfalt, da für die Abdichtung und Betonage nur wenig Platz im Anschlussbereich besteht, wodurch die Ausführung von Halfertigteilwänden als WU-Beton gegenüber Ortbeton mit einem höheren Risiko verbunden ist. Die vertikalen Elementstöße werden mit einem Dichtungsrohr abgedichtet. Durch die Elementierung der Halfertigteile ergibt sich gegenüber einer Ortbetonwand eine größere Anzahl an vertikalen Stoßpunkten, die abzudichten sind. Dadurch ist die Konstruktion aus Halfertigteilwänden als wasserundurchlässigen Beton gegenüber Ortbetonwänden aufwendiger und mit höherer Kosten für die Stoßabdichtung verbunden. Dem gegenüber besteht ein zeitlicher Vorteil durch die Teilvorfertigung der Halfertigteilwände.

Aus statischer Sicht haben Doppelwandelemente gegenüber Vollfertigteilen den Vorteil, dass an den Anschlüssen Momente übertragen werden können, somit flexibler sind und keine Anschweißplatten benötigen. Gegenüber

Vollfertigwänden haben die Doppelwandelemente bis zum Verfüllen ein geringeres Eigengewicht. Die Gewichtseinsparung kann sich folglich auf die maximal möglichen Elementabmessungen auswirken, da sie eine geringere Transport- und Kranlast haben.

Bauzeit

Im Vergleich zu Vollfertigteilwänden ist die Montage langsamer, da noch örtliche Arbeiten anfallen. Hierzu gehört das Einbringen von Bewehrungseinlagen an den Elementstößen, gegebenenfalls erforderliche Fugensicherungen an den Eckwinkeln und T-Stößen für die Betonage und das abschließende Verfüllen des Zwischenraumes mit Ortbeton. Vorteilhaft für die Verlegung der Wände ist gegebenenfalls, dass die Doppelwandelemente aufgrund des geringeren Gewichtes größer lieferbar als Vollfertigteilwände sind.

Stahlbeton-Fertigteilstütze

Eine tragende Wandscheibe kann in eine Konstruktion aus Träger und Stützen aufgelöst werden. Die Fertigteilstütze ist deswegen als Sonderform zur Fertigteilwand zugeordnet. Nachfolgend werden nur die Besonderheiten von Stahlbetonfertigteilstützen ergänzend zu den bereits unter Fertigwand erläuterten Merkmalen beschrieben, sowie die Besonderheiten im Vergleich zu einer Ortbetonstütze.

Flexibilität

Eine Konstruktion aus Stützen führt im Vergleich zu tragenden Wänden zu einer Reduzierung der tragenden vertikalen Fläche. Für die Gestaltung des Grundrisses ergibt sich somit eine größere Flexibilität. Leichte, nichttragende Innenwände können beliebig angeordnet werden. Zusätzlich ergibt sich ein besseres Umnutzungspotential, da nichttragende Wände bei einem eventuellen nachträglichen Umbau aus statischer Sicht problemlos geändert werden können.

Zeit

Planungszeit

Der Brandschutznachweis von tragenden Betonstützen muss projektweise vom Statiker berechnet und nachgewiesen werden, wodurch für den Statiker ein größerer Aufwand entsteht.

Bauzeit

Im Vergleich zu einer Ortbetonstütze ist wie bei den anderen Betonfertigteilen eine kürzere Bauzeit zu erwarten.

Baukosten

Die Kostenrelevanz war zum Zeitpunkt der Planungsphase für die Konstruktionswahl nicht relevant. Vermutlich ist mit ähnlichen Kosten, wie bei einer Ortbetonstütze zu rechnen.

Ökologie

Die Ökobilanz von einer Betonfertigteilstütze und einer Ortbetonstütze ist ähnlich, sodass bei diesem Aspekt keine Variante gegenüber der anderen einen Vorteil hat. Generell hat die Ökobilanz der Stützen aufgrund des geringen Massenanteils insgesamt auch nur wenig Auswirkung auf die Gesamtbilanz.

Entscheidung / Ausführungsplanung

Der Entwurfsansatz des Wuppertaler Projektes sieht an den Giebelseiten geschlossene tragende Wandscheiben und einen massiven Treppenhauskern zur Gebäudeaussteifung vor. Da mit einer Konstruktion aus Vollfertigteilwänden die kürzeste Bauzeit erzielt werden kann, sollen die massiven Wandscheiben aus Betonfertigteilwänden gebaut werden. Ebenso sollen die Stützen aus Betonfertigteilen bestehen.

Im Zuge der voran geschilderten Ausführungsplanung ergab sich zusätzlich, dass im Eingangsbereich des Sockelgeschosses ein Teilstück als Ortbetonwand ausgeführt werden muss.

Wie zuvor schon erwähnt führt das Submissionsergebnis der ersten Rohbauausschreibung dazu, dass die Tragkonstruktion aus Kostengründen im weiteren Projektfortschritt geändert werden muss. Die inneren Tragachsen werden in eine Schottenbauweise aus massiven Fertigteilwänden analog zu den Giebelwänden geändert.



Abbildung 47: Rohbaukonstruktion mit Stützen / Verbundträgern Haus 168 4.OG, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 48: tragende Wandschotten in jeder zweiten Raumentrennung Haus 168 4.OG, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 49: Rohbaukonstruktion mit Stützen / Verbundträgern Haus 162 2.OG, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 50: tragende Wandschotten in jeder zweiten Raumentrennung Haus 162 2.OG, [ACMS Architekten GmbH]



Elementierter Rohbau allgemein

Die notwendigen Umstrukturierungen im Planungsvorlauf und Bauablauf, die sich durch eine Konstruktion mit Fertigteilen ergibt, erfordert Kooperation und Mitwirken der beauftragten Rohbaufirma und somit auch Fachkenntnis und Erfahrung im Baubetrieb mit Fertigteilen. Insbesondere ist das Schnittstellenmanagement der verschiedenen Fertigteile, welche von unterschiedlichen Zulieferern/Nachunternehmern durch den beauftragten Rohbauer bezogen werden (Decke, Träger, Wand und Stütze) aufwendig. Da diese Leistungen im vorgegebenen öffentlichen Vergabeverfahren fabrikatsneutral ausgeschrieben werden müssen, kann im Rahmen des zurzeit gültigen Vergaberechts eine Auswahl der Fertigteilsysteme und dementsprechende Montageplanung erst durch das beauftragte Unternehmen erfolgen. Das heißt, dass fertigteilbezogene Planungsleistungen nicht im Zuständigkeitsbereich der Architekten und Fachplaner des Bauherrn erbracht werden können, sondern als besondere Planungsleistung in den Zuständigkeitsbereich des ausführenden Gewerks verschoben werden müssen. Die Kompetenz und Kapazität bei klassischen Rohbauunternehmen ist in diesem Bereich sehr unterschiedlich. Durch die Vielfalt der Beteiligten - Fachplaner, Hersteller der Fertigteile und ausführende Firmen - liegt hier ein erhöhtes Störrisiko.

Hierzu wurden in den beiden durch die Forschung betrachteten Bauvorhaben zwei unterschiedliche Vorgehensweisen verfolgt:

Im Bochumer Projekt wurden seitens des Tragwerkplaners des Bauherrn Schalpläne für ein exemplarisch ausgewähltes Fertigteilsystem als Vergabegrundlage erstellt. Das beauftragte Rohbauunternehmen hatte auf dieser exemplarischen Fertigteilplanung eine eigene Montageplanung mit statischen Berechnungen und Dokumentation der Verwendungsnachweise zu erbringen. Hier war es vorteilhaft, dass ein bestehendes System - Spannbetonhohlplatten mit Peikko-Trägern, Peikko-Stützenschuh und Peikko-Ankerbolzen - benutzt wurde, sodass zusätzlich nur noch der Fertigteilhersteller der Doppelwandelemente hinzukam. Die sachkundigen Kompetenzen der Rohbaufirma beziehungsweise des Bauleiters führten zusätzlich dazu, dass die Schnittstellenplanung beim Bochumer Projekt gut funktioniert hat. Es ist aber anzumerken, dass trotz der Verwendung eines bestehenden Systems teilweise Unstimmigkeiten in der Detailplanung zwischen den zwei Fertigteilherstellern - Peikko und DW Systembau - vorlagen.

Hierzu zählten zum Beispiel die erforderliche Betonklasse im Bereich des Stützenanschlusses

Im Wuppertaler Projekt wurde eine geprüfte statische Berechnung mit Positionsplänen, inklusive der Angabe von Durchbrüchen und gestalterische Vorgaben für die Elementierung als Leistungsbeschreibung vorgegeben. Hier erschien eine Festlegung aufgrund von vier Fertigteilsystemen im Vorfeld der Vergabe nicht zielführend, da die Übernahme einer seitens der Planer exemplarisch getroffenen Systemherstellerauswahl durch den beauftragten Unternehmer eher unwahrscheinlich erschien. Die Montageplanung der frei zu wählenden Fertigteilsysteme mit statischen Berechnungen und Nachweis der Verwendungsnachweise wurden als besondere Teilleistung beim ausführenden Unternehmen beauftragt. Diese beauftragten Planungs- und Koordinationsleistungen zu den Fertigteilsystemen wurden von der ausführenden Firma leider sehr mangelhaft erbracht. Dies hat in der Fertigteilplanung und im Bauablauf zu erheblichen Störungen und Verzügen geführt. Neben den mangelhaften Kapazitäten und Kompetenzen des Auftraggebers in dieser Baumaßnahme muss generell kritisch hinterfragt werden, ob eine exemplarische Fertigteilplanung durch den Auftraggeber nicht grundsätzlich vorgegeben werden sollte, mit der Option ein Angebot durch den Auftragnehmer hinsichtlich einer alternativen Ausführung gleichwertiger Art zu zulassen.

Horizontale Systeme

Spannbetonhohlplattendecke

Qualität

Herstellerabhängigkeit

Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Plattentypen mit einer spezifischen Anzahl und Größe der Hohlkammern, sodass es Herstellerabhängigkeiten bzw. Produktabhängigkeiten diesbezüglich gibt. Planungsbedingt ist eine frühzeitige Festlegung auf einen Plattentyp beziehungsweise auf die Hohlkammeranzahl erforderlich, da vor allem die Deckendurchbruchplanung auf die Hohlkammern abgestimmt werden muss. Insbesondere bei einer queren Ausrichtung bezogen auf die Schächte müssen die Durchbrüche bei der Anfertigung der Positions- und Schalpläne durch den Statiker auf ein Hohlkammerraster abgestimmt werden. Zusätzlich muss für die statische Berechnung und für den Schallschutznachweis das Eigengewicht der Hohlplatten festgelegt werden. Auch durch die erforderliche Planung der Anschlussdetails von den einzelnen Rohbauelementen vor der Ausschreibung sind teilweise frühzeitige Herstellerfestlegungen nötig.

Durch die frühe Festlegung von bestimmten Eigenschaften, die für die weitere Ausführungsplanung und Ausschreibung erforderlich sind, ergibt sich bei der Ausschreibung die Schwierigkeit produktneutral auszuschreiben. Insbesondere bei der öffentlichen Ausschreibung kann das zu Problemen führen.

Es zeigt sich, dass Herstellerabhängigkeiten und Probleme im Planungsvorlauf nicht immer ausreichend berücksichtigt werden können. Nach durchgeführten Recherchen zeigt sich, dass die Ausführung einer Spannbeton-Hohlplatte mit 7 Hohlkammern selten ist und anscheinend nur von Consolis DW Systembau hergestellt werden. Hingegen werden Platten mit 6 und 11 Hohlkammern von vielen Herstellern produziert. (Vgl. Anlage Recherche Typen-/Herstellervergleich Spannbetonhohlplatten)

Passplatten / Schnittkanten / Ortbetonstreifen

Bei dem Forschungsprojekt soll der Vorteil einer glatten streichfähigen Deckenunterseite der Hohlplatten durch die werkseitige Produktion genutzt werden, indem die Deckenunterseite sichtbar ausgeführt wird. Während der Abstimmung mit dem Hersteller wurde deutlich, dass Spannbetonhohlplattendecken nur in den Hohlbereichen geschnitten werden können. Folglich ergibt sich in Abhängigkeit zu dem verwendeten Plattentyp und Hersteller mit unterschiedlicher Anzahl und Größe der Hohlkammern sowie der Gebäudegeometrie eine Restfläche, die mit einem Ortbetonstreifen verfüllt werden muss und somit sichtbar ist. Die Schnittkanten der Passplatten haben eine geritzte bruchraue Kante, dies sollte aus optischen Gründen bei der Planung beachtet werden.

Beim Wuppertaler Projekt konnten die Schnittkanten der Passplatten und die Ortbetonstreifen, die sich aus der Restfläche ergeben, bei den dreigeschossigen Gebäuden (Haus 2-5) im Zuge der Montageplanung in den abgehängten Deckenbereich der Flurzonen vor den Bädern integriert werden. Bei Haus 1 ist dieses im Bereich der abgehängten Decken vor den Bädern der Individualräume ebenfalls möglich. Im Bereich der Flurzone und den Gemeinschaftsflächen zwischen der Achse 2 und 3 war hingegen ein größerer Planungs- und Abstimmungsbedarf im Zuge der Montageplanung mit dem Hersteller notwendig, um ein zufriedenstellendes Fugenbild der Sichtdecke zu erzielen.

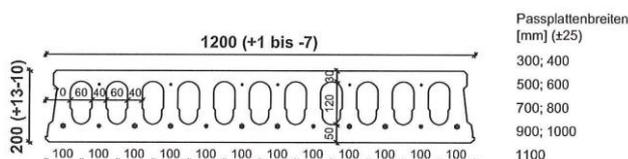


Abbildung 51: Plattentyp A20Q, [DW Systembau, 2015], S.18

Entwässerungslöcher

Um zu verhindern, dass sich während der Bauzeit Wasser in den Hohlkammern ansammelt und es dadurch zu Schäden an den Spannbetonhohlplatten kommen kann, können unterseitig Entwässerungslöcher werkseitig vorgesehen werden. Die Ausführung von Entwässerungsöffnungen ist nicht zwingend seitens des Herstellers vorgegeben und in der Zulassung des Produktes nicht gefordert. Da die Spannbeton-Hohlplattendecke als Sichtdecke ausgeführt wird, wurden die Hohlplatten ohne Entwässerungslöcher ausgeschrieben, mit dem Auftrag an die ausführende Rohbaufirma, dass die Deckenflächen bis zum Fugenverguss mit geeigneten Mitteln gegen eindringendes Wasser zu schützen sind.

Im Wuppertaler Projekt wurde eine Ausführung ohne Entwässerungsöffnungen beauftragt, da die werkseitig ausgeführten Stanzungen sehr unsauber ausgeführt werden und unregelmäßige und ungeordnete Abständen zueinander haben. Auf Basis der damaligen Erfahrungen aus dem Bochumer Projekt wurde entschieden, dass zunächst keine Entwässerungslöcher im Werk vorgestochen werden. Im Zuge der Bauphase werden im Bereich der abgehängten Decken Probebohrungen durchgeführt, um eine Erfordernis von Entwässerungslöchern zu prüfen und sie ggf. in einem geordneten Abstand örtlich ausführen zu können. Die Probebohrungen haben ergeben, dass bei den Häusern 2-5, deren Rohbau im Sommer erstellt wurde, keine großen Wasseransammlungen entstanden sind, weswegen keine nachträglichen Bohrungen erforderlich waren. Bei Haus 1, dessen Rohbau im Winter errichtet wurde, gab es hingegen große Wasseransammlungen in den Hohlkammern, die zu Frostschäden an der Deckenoberseite - Abplatzungen und Rissbildungen - führten. Ein Produktionsfehler im Werk verursachte vorwiegend die großen Wasseransammlungen und daraus folgenden Frostschäden. Mehrere Hohlplattenelemente von Haus 1 hatten unzulässige oberseitige kleine Öffnungen, die im Zuge der Montage und örtlichen Vergussarbeiten auf der Deckenplatte einen verstärkten Wassereintritt in die Hohlkammern verursachten. Um die Standfestigkeit, den Brand- und Schallschutz der Spannbetonhohlplattendecke sicherzustellen, mussten alle Frostschäden saniert werden. Für die nachträglich ausgeführten Entwässerungsbohrungen mit Hilfe einer Bohrschablone bei Haus 1 ergaben sich Mehrkosten in Höhe von ca. 18.000 € netto.



Abbildung 52: Foto Baustelle Wuppertal - Probebohrungen im Bereich der abgehängten Decken, [ACMS Architekten GmbH], 05.02.2019

Abbildung 53: Foto Baustelle Wuppertal - Bohrungen mit Wasseraustritt, [ACMS Architekten GmbH], 21.03.2019

Aufgrund der Erfahrungen aus beiden Bauvorhaben muss von einer Ausführung ohne Entwässerungen abgeraten werden. Der Hersteller hat die Verwendungsnachweise zum Produkt bereits geändert und gibt jetzt Entwässerungsöffnungen vor. Hier sollten jedoch Verfahren bzgl. eines geordneten Lochbildes herstellereitig entwickelt werden.

Fugenausbildung / Fugenansicht

Bei dem Wuppertaler Projekt ist die unterseitige Fugenausbildung an den Plattenstößen optisch annehmbar und konnten so belassen werden. Es gibt nur vereinzelt Kantenausbrüche und zu breite Fugen an den Plattenstößen, die punktuell ausgebessert werden.

Oberflächenqualität

Die entstandene Oberflächenqualität an der Deckenunterseite ist optisch annehmbar, sodass keine nachträglichen großflächigen Nachbesserungen an der Deckenunterseite erforderlich sind und die Unterseite der Spannbetonhohlplattendecke wie geplant sichtbar gelassen werden kann. Anzumerken ist, dass für die Deckenunterseite keine Sichtbetonklasse gemäß dem „Merkblatt Sichtbeton“ des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins ausgeschrieben wurde und dementsprechend diese Anforderungen an die Sichtqualität nicht zu erwarten sind. Vereinzelt gibt es an der Deckenunterseite Verfärbungen, Lagerabdrücke, eine Deckenoberfläche mit sichtbaren Poren oder ungewollte werkseitig hergestellte Entwässerungslöcher.

Bei dem Wuppertaler Projekt wurden die Decken dennoch durch den Maler geschliffen um eine bessere optische Qualität zu erreichen. Dieses verursachte Zusatzkosten von insgesamt ca. 15.000€, bei einem Einheitspreis von 3,90 €/m² + 1,00 €/m² für Schliff und Reinigung.

Leerrohrverlegung in oberster Geschossdecke (Dach)

In den Regelgeschossen erfolgt die Leerrohrverlegung der Elektroleitungen auf der Rohdecke mit einer Kernbohrung nach unten durch die Decke, für beispielsweise die Montage der Deckenleuchten (vgl. Gliederungspunkt Auswirkung - Deckendurchbrüche). Auf der obersten Dachdecke ist diese Verlegung wegen der Dachabdichtung nicht möglich.



Abbildung 54: Bohrschablone für Kernbohrungen im Bereich der Hohlkammern, [ACMS Architekten GmbH], 28.03.2018

Auf Basis der Erfahrungen im Bochumer Projekt konnte die Leerrohrverlegung in der oberen Geschossdecke frühzeitig berücksichtigt und geplant werden. Dabei muss die Elektroplanung auf die Deckenverlegepläne beziehungsweise auf die Achsen der Hohlkammern abgestimmt werden. Die Lage der Deckenleuchten muss beispielsweise unter einer Hohlkammer, in der die Leitungsführung erfolgt, verlaufen. Um oberseitige Aussparungen für die Leerrohrverlegung in den Hohlkammern schon werkseitig herstellen zu können, wurden die Leerrohrverlegung im Zuge der Montageplanung der Spannbetonhohlplatten seitens des Elektroplaners geplant und festgelegt.

Die Planung sah vor, dass der Rohbau durch die werkseitig hergestellten oberen Öffnungen bereits vor dem Verguss Leerrohre inklusive Zugdraht in die Hohlkammern für die Leitungsführung Elektro einlegt. Allerdings wurden die werkseitig hergestellten Öffnungen vorzeitig verschlossen, sodass die Ausführung nicht wie geplant erfolgen konnte. Aus diesem Grund wurden im Zuge der Ausführung der Elektroarbeiten die Hohlkammern in den Bereichen wo Deckenauslässe nötig sind, unterseitig mittels Kernbohrung geöffnet. Um sicherzustellen, dass keine

Spannlitzen beschädigt werden, erfolgten die Kernbohrungen mittels Bohrschablone. Anschließend wurden die Elektroleitungen direkt durch die Hohlkammern verlegt, was ohne Schwierigkeiten funktioniert hat.

Befestigungen / Verankerungen in Spannbeton-Hohlplatten

In den Zulassungen sind Verankerungen ausschließlich in den Hohlkammern erlaubt, um eine Beschädigung der Spannlitzen auszuschließen. Eine Befestigung, zum Beispiel durch die Ausbaugewerke, außerhalb dieses Bereichs bedarf einer gesonderten Zulassung. Alternativ wäre die Befestigung mittels Bohrschablone ausschließlich in den Hohlkammern möglich, birgt jedoch ein Risikopotential von Fehlbohrungen und daraus resultierenden Beschädigungen der Spannlitzen.

Bei dem Bochumer und Wuppertaler Projekt wurde für die Befestigung der Leichtbauwände eine Befestigung mit Hilti-Kompaktdübeln HKD oder Fischer Einschlaganker EA II abgestimmt, die auch außerhalb der Hohlkammern benutzt werden können, wenn die Betonüberdeckung zu den Spannlitzen mindestens 30 mm beträgt, sodass eine Beschädigung der Spannlitzen ausgeschlossen ist. Hierfür bedarf es einer schriftlichen Freigabe des Herstellers der Spannbetonhohlplatten für die Verwendung der Produkte.

Üblicherweise werden Trockenbauprofile an Stahlbetonkonstruktionen geschossen, was eine schnelle Montage ermöglicht. Bei Spannbetonhohlplattendecken ist diese Befestigungsmöglichkeit aus den oben genannten Gründen nicht möglich.

Zeit

Planungszeit

Die beschriebenen Aspekte und Schwierigkeiten zeigen, dass im Vorfeld ein sehr großer Planungs- und Abstimmungsaufwand für die Ausführung einer Spannbeton-Hohlplattendecke erforderlich ist, der größer ist als zunächst gedacht. Aus den gesammelten Erkenntnissen und Schwierigkeiten, die während der Ausführung aufgetreten sind, ergeben sich die folgenden Punkte, die bei der Planung einer Spannbetondecke beachtet und bereits im Vorfeld geplant werden sollten.

- Lage und Größe der Platten, der Fugenaufteilung und Lage von Passplatten
- Ausbildung von Ortbetonergänzungen
- unterseitige Fugenausbildung
- Ausführung von Entwässerungslöchern
- Lage und Größe von Aussparungen und Kernbohrungen einschließlich der Ausführungszuständigkeiten
- Lage und Größe von Stahlwechselkonstruktionen inklusive Brandschutzertüchtigung
- horizontale Leitungsführung bei der obersten Geschossdecke (Dach)

Deckendurchbrüche / Brandschutz TGA-Durchführungen

Die Deckendurchbrüche sind im Bereich der Hohlkammern ohne Beschädigung der Spannlitzen theoretisch in jeder Hohlkammerachse möglich. Die Lage und Größe der Durchbrüche ist somit von dem verwendeten Plattentyp mit der spezifischen Anzahl und Größe der Hohlkammern abhängig. Aus Brandschutzgründen ist eine ausreichende Betonstärke zwischen den Durchbrüchen beziehungsweise zur nächsten Hohlkammer von mindestens 5 cm erforderlich, weswegen im Bereich der TGA-Durchführungen Betonblomben vorzusehen sind, die eine ausreichende Betonüberdeckung sicherstellen.

Größere Durchbrüche, die eine Durchtrennung der Spannlitze erfordern, sind bei dem Plattentyp mit 7 Hohlkammern maximal zweimal pro Hohlplatte möglich, da insgesamt nur zwei Spannlitzen pro Hohlplatte bei diesem Typ aus statischen Gründen durchtrennt werden dürfen.

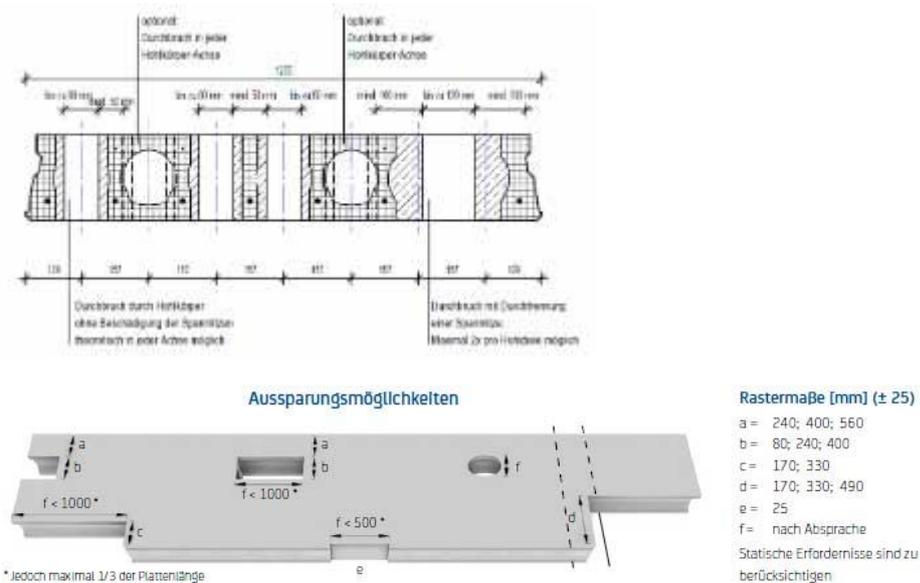


Abbildung 55: Schema mögliche Durchbrüche in einer Spannbeton-Hohlplatte mit 7 Hohlkammern, [ACMS Architekten GmbH]
 Abbildung 56: Aussparungsmöglichkeiten - Plattentyp A20Q, [DW Systembau, 2015], S.13

Die Lage der Deckendurchbrüche muss folglich in Abhängigkeit zu dem gewählten Plattentyp genauestens geplant werden, damit die statischen und brandschutztechnischen Vorgaben eingehalten werden. Hingegen der anfänglichen Annahme bzw. Zusage aus einem ersten Herstellergespräch werden Spannbetonhohlplatten produktionsbedingt nicht mit vollständig fertiggestellten Deckendurchbrüchen geliefert. Nachträgliche Arbeiten sind für die vollständige Umsetzung der Deckendurchbrüche nach der Plattenverlegung weiterhin auf der Baustelle auszuführen. Für die Herstellung eines Deckendurchbruches sind die folgenden Schritte erforderlich: Im Bereich des Deckendurchbruches muss zunächst die Hohlkammer geöffnet werden, damit anschließend ein Betonverguss, der aus Brandschutzgründen erforderlich ist, eingebracht werden kann. Nach Erhärtung des Vergusses muss mit einer Kernbohrung der Durchbruch hergestellt werden. Für die Umsetzung sind mehrere Ausführungsoptionen möglich und müssen im Zuge der Planung geklärt werden, da an dieser Schnittstelle mehrere Gewerke und der Deckenhersteller beteiligt sind. Festzulegen ist, welche Leistungen schon werkseitig ausgeführt werden können und welche Leistungen bauseits erfolgen.

Bei dem Wuppertaler Projekt wird werkseitig eine oberseitige Aussparung hergestellt, der Betonverguss im Bereich des Deckendurchbruchs wird bauseits von der Rohbaufirma ausgeführt. Die Kernbohrung für die spätere Leitungsführung erfolgt anschließend von den TGA-Gewerken.

Spannrichtung in Bezug auf Deckendurchbrüche

Im folgenden Abschnitt wird die Spannrichtung in Bezug auf die Deckendurchbrüche dargestellt. Da beide durch die Forschung betrachteten Projekte unterschiedliche Ansätze gewählt haben, werden beide dargestellt um die Vor- und Nachteile und Abhängigkeiten aufzuzeigen.

Bochum: quer zur Spannrichtung liegende Schächte / Deckendurchbrüche

Beim Bochumer Projekt verlaufen die Spannbetonhohlplatten quer zur Hauptfassade und Gebäudelängsachse und somit auch quer zu den Schächten hinter den Fertignasszellen für die technischen Leitungsführungen. Im Zuge der Durchbruchsplanung für die Steigestränge zeigen sich Schwierigkeiten und ein größerer Planungsaufwand, resultierend aus dieser Anordnung.

Die Positionierung der Deckendurchbrüche muss in Abhängigkeit zu dem Hohlkammerachsenraster aufgeteilt und geplant werden, da die Durchbrüche nur innerhalb der Hohlkammern zulässig sind (vgl. Auswirkung - Deckendurchbrüche). Bei der queren Ausrichtung der Hohlkammern zu den Schächten bedeutet das, dass viele nebeneinander liegende Aussparungen auf der Oberseite der Spannbetonhohlplatte für das Verfüllen hergestellt

werden müssen. Bei der Montage der Spannbetonhohlplatten ist darauf zu achten, dass die Hohlkammerachsen der einzelnen Geschosse für die Kernbohrungen der Steigestränge lotrecht übereinander liegen, da bei der queren Ausrichtung nur geringe Toleranzen ausgeglichen werden können. Zusätzlich besteht die Schwierigkeit, dass fast jede Platte durch die spezifischen Durchbrüche individuell ist. Bei der Plattenverlegung auf der Baustelle entsteht für die Handwerker folglich keine Routine, sodass das Fehlerpotential steigt.

Sowohl aus Revisionsgründen als auch aufgrund des Einsatzes vorgefertigter Sanitärzellen war ein Drehen der Installationsschächte parallel zur Deckenspannrichtung nicht möglich. Ein Drehen der Spannrichtung der Spannbetonhohlplatten hätte bei Aufrechterhaltung der Flexibilität einen erhöhten Aufwand für Unterzüge bedeutet und wurde daher aus Kostengründen nicht weiter verfolgt. Die ausgeführte Variante (quere Spannrichtung zu den Deckendurchbrüchen) ist somit kostentechnisch vorteilhaft, führt aber, wie beschrieben, zu hohen Planungsaufwendungen. Aufgrund der Systematik der Honorarordnung führt dies aber nicht zu Mehrkosten für den Bauherrn.

Wuppertal: längs zur Spannrichtung liegende Schächte / Deckendurchbrüche.

Beim Wuppertaler Projekt verlaufen die Spannbetonhohlplatten parallel zur Hauptfassade und Gebäudelängsachse und auch zu den Schächten hinter den Fertignasszellen. Bei dieser Anordnung muss weiterhin die Lage der Deckendurchbrüche für die Steigestränge im Vorfeld geplant und auf die Hohlkammern abgestimmt werden. Die Aussparungen für die Schächte beziehungsweise der Deckendurchbrüche, die parallel zu den Hohlkammern verlaufen, können allerdings breiter ausgeführt werden, da eine Durchtrennung einer Spannritze und die Mindestbetonüberdeckung zur nächsten Hohlkammer in Längsrichtung nicht gefährdet ist. Da durch diese Anordnung größere Aussparungen in den Hohlplatten möglich sind, können folglich auch größere Toleranzen bei den Steigesträngen ausgeglichen werden.



Abbildung 57: Baustelle BO - quer zur Spannrichtung liegende Schächte / Deckendurchbrüche, [ACMS Architekten GmbH], 29.06.2018

Abbildung 58: Baustelle WU - längs zur Spannrichtung liegende Schächte / Deckendurchbrüche, [ACMS Architekten GmbH], 28.06.2018

Bauzeit

Durch den nötigen Platten- und Ringankerverguss sind bei einer Spannbetonhohlplattendecke weiterhin örtliche Betonierarbeiten notwendig, weswegen die Montage witterungsabhängig ist und sie somit Einfluss auf die Bauzeit hat. Insbesondere ist eine Winterbauzeit durch den nötigen Verguss kritisch. Eine Bauzeit im Sommer ist eher unproblematisch. Ähnlich zu einer Ortbetondeckenplatte sind witterungsbedingte Schutzmaßnahmen und Trocknungszeiten im Bereich des örtlichen Vergusses einzuhalten. Das heißt, dass bis zum Erhärten des Vergussbetons der Beton bei warmen und sonnigem Wetter vor dem Austrocknen durch Anässen und Abdecken geschützt werden muss. Bei kalten Lufttemperaturen sind Betonierarbeiten nur sehr schwer und aufwendig ausführbar. Bei Lufttemperaturen zwischen $+5\text{ °C}$ und -3 °C darf die Betontemperatur beim Einbringen $+5\text{ °C}$ nicht unterschreiten, bei Lufttemperaturen unter -3 °C muss die Betontemperatur beim Einbringen sogar mindestens $+10\text{ °C}$ betragen. In der Regel darf der Beton während der Hydratation (Erhärtung) erst dann durchfrieren, wenn seine Temperatur vorher wenigstens 3 Tage $+10\text{ °C}$ nicht unterschritten hat oder eine bestimmte Druckfestigkeit

erreicht hat (Vgl. [DIN 1045-3], S.19). Hier sind schmale Betonierabschnitte - wie bei Spannbetonhohlplatten notwendig - deutlich kritischer als massive Betonanbauteile - wie Ortbetondecken - da sie deutlich weniger Hydratationswärme entwickeln.

Die Erfahrungen aus dem Bauablauf zeigen, dass weiterhin viele örtliche Rest- und Nacharbeiten auf Baustelle erforderlich sind, die zeitaufwendig sind. Die reine Verlegung der Deckenplatten erfolgt wie zuvor erwartet zügig in ca. 2 Tagen pro Geschoss bei Haus 1 und ca. 1 Tag pro Geschoss je Haus bei den Häusern 2-5. Allerdings führen die weiterhin erforderlichen örtlichen Restarbeiten zu einer längeren Bauzeit der Rohbauarbeiten als zuvor, während der frühen Planungsphase, erwartet wurde.

Die folgenden örtlichen Rest- und Nacharbeiten waren bei dem Wuppertaler Projekt an der Spannbetonhohlplattendecke erforderlich, hierfür wurden pro Haus Geschoss zusätzlich ca. 0,5 Wochen benötigt:

- örtliche Bewehrungseinlagen und örtlicher Verguss der Fugen und Ringbalken
- Betonieren von Ortbetonstreifen durch Restflächen
- örtliches Verfüllen (Betonplomben) im Bereich der Deckendurchbrüche und anschließende Kernbohrungen für die Deckendurchbrüche müssen vor Ort ausgeführt werden
- geringe Ausbesserungsarbeiten an der Plattenunterseite durch Kantenausbrüche, versehentlich hergestellte Entwässerungsöffnungen
- nachträgliches Bohren der Entwässerungsöffnungen bei Haus 1
- die Plattenfugen müssen durch die V-Form an den Kreuzungspunkten mit Trockenbauwänden aus Schallschutzgründen mit Acryl geschlossen und aus optischen Gründen durch das Gewerk Maler ausgebessert werden

Baukosten

Gegebenenfalls erforderliche Sondersituationen, wie schräge Anschnitte der Spannbetonhohlplatten oder größere Durchbrüche, die eine Stahlwechselkonstruktion erfordern, sind kostenintensiv.

Stahlwechselkonstruktion in Hohlplattendecke

Große Deckenöffnungen zum Beispiel für Schächte oder Schornsteine können mit Hilfe von Stahlwechselkonstruktionen, die auf den nebeneinander liegenden Platten auflagen, ausgeführt werden. Die so ausgeführte Deckenöffnung ist so breit wie die Hohlplatte und muss in der Regel anschließend vor Ort inklusive Bewehrungseinlage verschlossen werden. Zu berücksichtigen ist, dass der Stahlwechsel keine F90 Qualität hat und brandschutztechnisch ertüchtigt werden muss, zum Beispiel durch eine Verkleidung mit Brandschutzbauplatten. Bei einer sichtbaren Deckenunterseite sollte dieser Aspekt bedacht werden, da die Brandschutzertüchtigung Einfluss auf die Gestaltung haben könnte.

Stahlverbundträger

Wie zuvor erwähnt, führte das Ausschreibungsergebnis der ersten Rohbauausschreibung beim Wuppertaler Projekt zu einer Änderung der Rohbau- beziehungsweise Tragkonstruktion in eine Schottenbauweise aus Fertigteilwänden mit einem Deckensystem aus Spannbetonhohlplatten, sodass die Verbundträger und Fertigteilstützen größtenteils entfallen sind. Die vollständige Erläuterung hierzu folgt unter dem Gliederungspunkt Baukosten. Lediglich im Sockelgeschoss von Haus 1 und in Teilbereichen der Flurzone von Haus 1 kommen aus Entwurfs- und Platzgründen noch Stahlverbundträger zur Ausführung, weswegen bei diesem Projekt für Stahlverbundträger vorwiegend Erkenntnisse aus der Vergabe vorliegen und weniger aus dem Bauablauf.

Bei den Häusern 2 bis 5 konnte auf die Verwendung von Verbundträgern vollständig verzichtet werden. Neben den tragenden Wandscheiben wurden die Verbundträger in den Flurbereichen bei diesen Häusern durch Betonfertigteilträger ersetzt. Auf Grund der geringen Anzahl der vorkommenden Betonfertigteilträger - insgesamt 8

Stück (1 Fertigteilträger pro Obergeschoss und Haus) - und da es keine relevanten Schwierigkeiten oder zusätzliche Besonderheiten von Betonfertigteilträgern gegenüber Betonfertigteilen allgemein gibt, wird der Stahlbetonfertigteilträger nicht separat beschrieben.

Befestigungsschwierigkeit an Stahlverbundträger

Ein eindeutiger Nachteil ist, dass Befestigungen an Stahl problematisch sind da örtliche Bohrungen auf der Baustelle aufwendig sind. In Stahlbetonbauteile lässt sich hingegen einfach und ohne längeren Zeitaufwand bohren. Der Bauablauf zeigt, dass hierdurch Schwierigkeiten für die Ausbaugewerke - Trockenbau, TGA und Fassade entstehen. Die Gipskartonplatten können zum Beispiel nicht direkt an den Stahlträger als Verkleidung befestigt werden.

Baukosten

Grundsätzlich anzumerken ist, dass die Ausschreibungen in einer konjunkturell angespannten Lage- insbesondere im etwas später ausgeschriebenen Wuppertaler Projekt- erfolgte. Dementsprechend waren sehr starke Schwankungen in den Submissionen festzustellen. Der Preis für eine über Einzelposition fest beschriebene Leistung wird seitens der Bieter verstärkt, abhängig von den verfügbaren Kapazitäten angeboten. Bei verfügbaren eigenen Kapazitäten liegt der Angebotspreis im Rahmen der allgemein ortsüblichen Preisspanne. Beim notwendigen Zukauf von fremden Kapazitäten werden augenscheinlich erhöhte Risikoaufschläge veranschlagt. Beim Angebot von Fremdleistungen, wie Fertigteilen aber auch bei fremdvergebenen Erdarbeiten, ist daher eine maßgebende Auswirkung diese äußerst variablen Risikozuschläge zu vermerken. Zeit für ausgereizte Nachverhandlungen mit den Nachunternehmern steht den Kalkulationsstellen der Bieter derzeit nicht zur Verfügung. Die erhöhte Nachfragesituation in der Baubranche ermöglicht es, dass die Auswirkungen an den Auftraggeber weitergereicht werden können. Innovative Fertigteil-Konstruktionen im sozialen Wohnungsbau weichen sicherlich von der konventionellen Bauweise und der Routine der meisten Rohbauer ab. Daher ist auch im Gewerk Rohbau aufgrund der zuvor beschriebenen aktuellen Marktsituation eine extreme Spreizung im Preisspiegel von mehr als 100% fest zu stellen.

Durch die Befestigungsschwierigkeiten an Stahlverbundträgern - örtliche Bohrungen in den Träger sind schlecht ausführbar - können gegebenenfalls kostenintensivere Anschlüsse für die Ausbaugewerke entstehen und es ist eventuell keine direkte Befestigung an dem Stahlträger möglich. Hierzu ist vor allem auf den kostenintensiven Anschluss des Holztafelbaus an den Peikko-Träger bei dem Bochumer Projekt hinzuweisen.

Das Submissionsergebnis der ersten Rohbauausschreibung von dem Wuppertaler Projekt ergibt, dass die geplante Deckenkonstruktion aus Stahlverbundträgern mit Spannbetonhohlplatten insbesondere im Kontext der voranstehend beschriebenen Lage zur Baukonjunktur als unangemessen hoch zu werten war. Es wird deutlich, dass die Kostenrelevanz von Stahlverbundträgern und Spannbetonhohlplatten nur im Gesamtsystem bewertbar ist. Die Auswertung des Ausschreibungsergebnisses zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit des Peikko-Trägers zum Beispiel von der Trägerstützweite und vermutlich von der örtlicher projektspezifischen Situation, wie dem Verhältnis von Trägerstützweite zu Deckenstützweite, abhängig ist. Beim parallel begleiteten Forschungsprojekt in Bochum wurden wirtschaftliche Ausschreibungsergebnisse mit einem Deckensystem aus Spannbetonhohlplatten und Verbundträgern erzielt, die den Kostenannahmen aus dem bepreisten Leistungsverzeichnis entsprechen.

Durch die erhebliche Budgetüberschreitung bei den Submissionsergebnissen des Vergabeverfahrens Rohbauarbeiten waren umfangreiche Nachprüfmaßnahmen notwendig mit dem Ergebnis, dass keines der in der Wertung verbliebenen Angebote als angemessen gewertet und im Rahmen des genehmigten Budgets realisiert werden konnte. Folglich musste das erste Vergabeverfahren aufgelöst werden und eine zeitaufwendige Neuausschreibung der Rohbauarbeiten mit Kompensations- und Kostenoptimierungsmaßnahmen zur Kosteneinsparung waren erforderlich. Die erfolgten Nachprüfungen und Auswertung der Ergebnisse ergab unter anderem, dass die Verbundträger mit einer vergleichsweise großen Trägerstützweite (Spannweite > 5 m) bei dem Projekt kostenintensiv sind. Ein Einsparungspotential bietet somit der Wegfall der großen Verbundträger, die alternativ durch eine Tragkonstruktion aus Wandschotten ersetzt werden können. Auf Basis der Angebotspreise der ersten Ausschreibung wird durchgerechnet, wie sich eine alternative Schottenbauweise (massive Fertigteilwände analog zu den Giebel-

wänden) kostentechnisch auswirken würde. Die Berechnung ergibt, dass allein die Kosten für einen Stahlbetonverbundträger mit der benötigten Spannweite bereits höher sind, als die Kosten für eine massive Fertigteil-Schottenwand, die den Träger ersetzen kann. Hinzu kommen die Kosten für die erforderlichen Stahlbetonfertigteilstützen, die insbesondere aufgrund der aufwändigen Verbindungsmittel (Ankerschuhe und -bolzen) nicht unerheblich sind, sowie der Kosten für die Trockenbauwände, die im Falle von massiven Schotten entfallen können. Inklusive den Einsparungen im Trockenbau können durch die Schottenbauweise auf Basis der mittleren Angebotspreise des 2. und 3. Bieters ca. 120.000 EUR netto eingespart werden. Eine Änderung der Rohbaukonstruktion hat allerdings Auswirkungen auf die Grundrissflexibilität. Für die vorgesehene Raumaufteilung ergeben sich keinerlei Nachteile. Das Umnutzungspotential wird durch die zusätzlichen Schotten allerdings etwas eingeschränkt. Da trotzdem weiterhin eine gewisse Flexibilität besteht und Kosten durch die Anpassung eingespart werden können, führt dies zu der Entscheidung, dass die Rohbaukonstruktion für das zweite Ausschreibungsverfahren geändert wird.

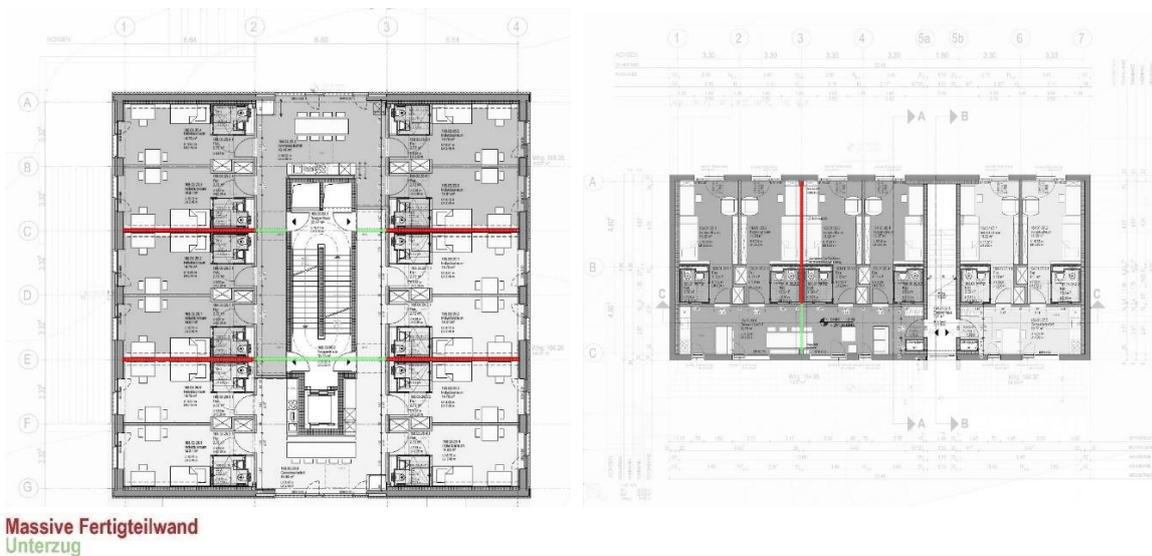


Abbildung 59: Stand 10.2017 (AFP, 2. Vergabe Rohbau) - Rohbaukonstruktion mit Wandschotten Haus 168, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 60: Stand 10.2017 (AFP, 2. Vergabe Rohbau) - Rohbaukonstruktion mit Wandschotten Haus 162, [ACMS Architekten GmbH]

Die Erfahrungen aus dem Vergabeverfahren der Rohbauausschreibung des Wuppertaler und Bochumer Projektes zeigen, dass bezüglich der Deckenspannrichtung der Spannbetonhohlplatten und der Trägerstützweite der Verbundträger eine Kostenabhängigkeit besteht. Verbundträger sind nicht immer wirtschaftlich zu Wandschotten, weswegen die Kostenrelevanz projektspezifisch bewertet werden sollte. Generell ist die Wirtschaftlichkeit der Verbundträger immer nur im Gesamtsystem mit den Spannbetonhohlplatten betrachtbar. Weitere Ergebnisse sind im Themenabschnitt "4.d Kosten & Effizienz" abgebildet.

Vertikale Systeme

Fertigwand - Vollfertigteilwand / Halbfertigteilwand

Qualität

Die Konstruktion mit Fertigteilwänden hat durch die vielen Schnittstellen zu anderen Gewerken (z.B. Leerrohrverlegung, WU-Beton) und die dadurch bedingte Vielzahl der Planungsbeteiligten, die bereits vor der Fertigung vollständig mit einbezogen werden müssen, ein größeres Fehlerpotential. So müssen zum Beispiel die Leerrohrverlegung und Hohlraumdosens mit genauer Anzahl und Positionierung in den Fertigteilwänden vor Fertigung bereits vollständig mit allen Beteiligten abgestimmt sein, da Leerrohre in Vollfertigteilwände nachträglich nicht mehr ergänzt werden können. Nötige Bohrungen und Aussparungen in Fertigwänden, die gegebenenfalls erforderlich sind, sind in einer Sichtoberfläche optisch immer sichtbar, da die Übergänge zu einer nachträglichen Betonverfüllung immer sichtbar bleiben.

Für den Montageanschluss der Verbundträger auf die Fertigwände des Wuppertaler Projektes, der über einbetonierte Ankerbolzen an den Fertigwänden örtlich erfolgt, muss oberseitig an die angrenzende Fertigwand eine Aussparung für die Montage vorgesehen werden. Diese Montageöffnung wird nachträglich zwar mit Beton verschlossen aber bleibt optisch sichtbar. Ebenso musste innerhalb einer Fertigwand für die technische Leitungsführung eine vertikale Aussparung vorgesehen werden, die nachträglich bekleidet wird und somit bei einer Sichtbetonwand sichtbar bleibt.

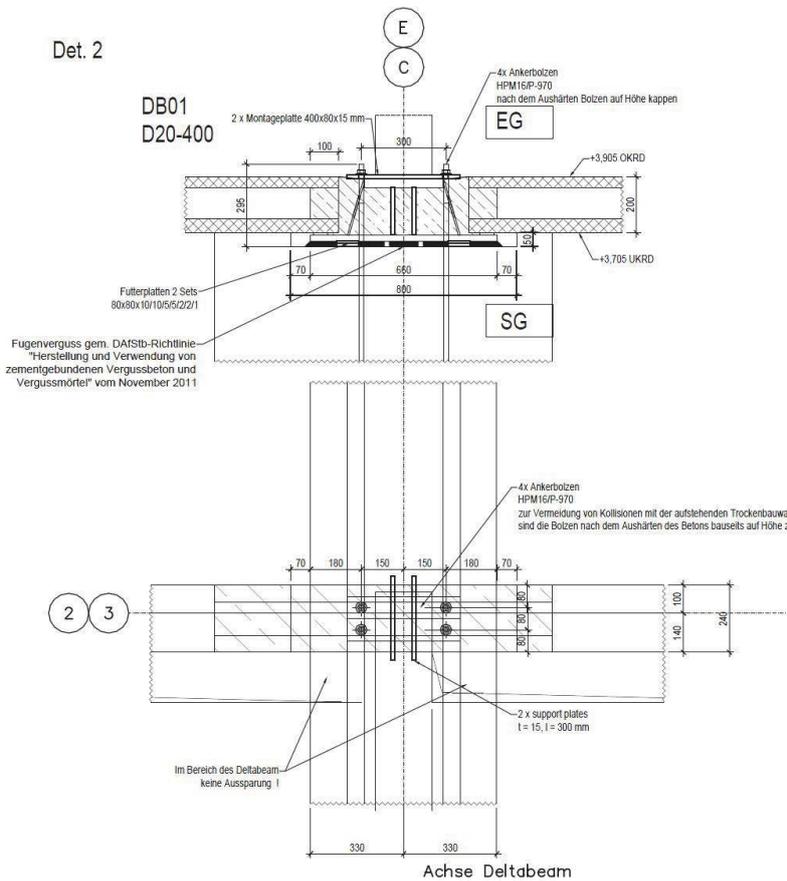


Abbildung 61: Detailausschnitt Wuppertal - Verlegeplan Haus 1, SG, Peikko Group, [Peikko Group]



Abbildung 62: Baustelle WU - Montageaussparung in Fertigwand für Anschluss Verbundträger, [ACMS Architekten GmbH], 12.03.2019

Abbildung 63: Baustelle WU - vertikale Aussparung in Fertigwand für technische Leitungsführung, [ACMS Architekten GmbH], 12.03.2019

Für die Elementierung der Halbfertigteilwände im Sockelgeschoss von Haus 1 des Wuppertaler Projektes waren im Zuge der Planungsphase große geschosshohe Elemente angedacht, sodass eine sichtbare Betonwandoberfläche mit wenig vertikalen Stoßfugen entsteht. Gemäß den Herstellervorgaben der Halbfertigteilwände konnte ein Element in einer Länger allerdings nur bis maximal 3 m ausgeführt werden. Da die Geschosshöhe des Sockelgeschosses ca. 4 m beträgt, war folglich eine maximale Elementbreite von nur 3 m möglich, worauf die Planung der Elementteilung angepasst werden musste. Durch die vielen schmalen Elemente ergaben sich somit viele Elementfugen entlang der Wandoberfläche. Da insbesondere die Stoßfugen bei einer Sichtoberfläche un schön sind, war die Abmessungsbegrenzung der Halbfertigteilelemente aus gestalterischer Sicht nachteilig.

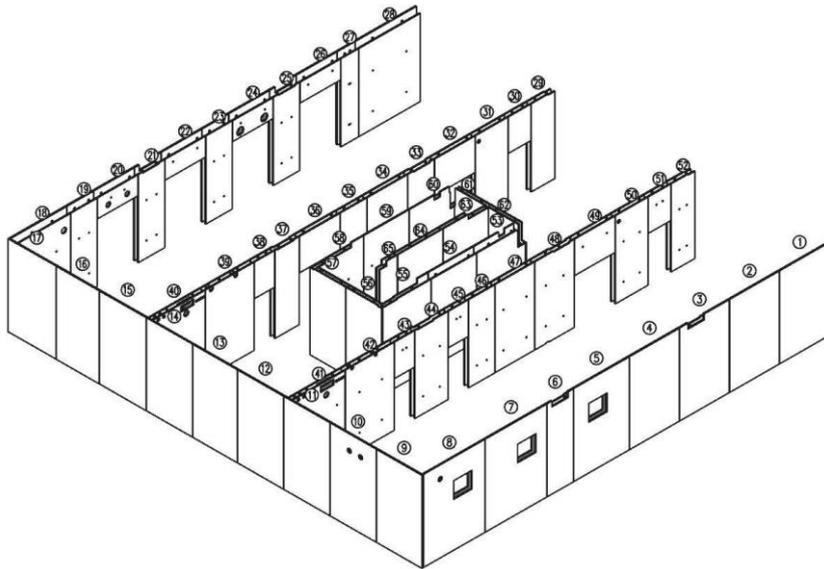


Abbildung 64: Elementierung Halbfertigteilwände Haus 1, SG, [Fa. Lütkenhaus]

Bei Halbfertigteilwänden ist gegenüber Vollfertigteilwänden nachteilig, dass die Laibungen (Türen und Fenster) verkleidet werden müssen, da durch den örtlichen Verguss keine Sichtqualität an den Laibungsflächen entsteht und die einzelnen Elementschichten sichtbar sind.

Bei dem Projekt wird versucht den Vorteil von Fertigteilen zu nutzen, indem die Wandoberfläche sichtbar belassen werden soll, um Kosten und Zeit bei Folgegewerken einsparen zu können. Dadurch entsteht für die Planung der Fertigteilwände mit allen Abhängigkeiten zu den anderen Gewerken wenig Fehlertoleranz, die auf der Baustelle ausgeglichen werden könnte, da nachträgliche örtliche Ergänzungen bei einer Sichtoberfläche immer sichtbar sind und einen optischen Mangel zeigen. Die Ausführung auf der Baustelle mit den festgestellten optischen Mängeln zeigt, dass ein gutes Ergebnis der Oberflächenqualität schwer durchsetzbar ist. Im Vergleich zu der Oberflächenqualität der Spannbetonhohlplattendecke ist die optische Qualität der Fertigwände bei beiden Projekten deutlich schlechter und nicht akzeptabel, sodass eine Nachbearbeitung an den sichtbaren Wandflächen erforderlich ist. Optische Mängel wurden bei den beiden Projekten durch schlechte Ausbesserungen an Fugen und falschen Bohrungen, sichtbare Lagerabdrücke auf der Wandoberfläche, Schalungsölreste, Verfärbungen, Schlieren und Kantenausbrüchen verursacht. Eine Nachbearbeitung ist beispielsweise durch eine Verspachtelung, in Form von Betonkosmetik oder durch Abschleifen der betreffenden Stellen möglich. Bei dem Wuppertaler Projekt wurde zwar in dem Leistungsverzeichnis innerhalb der Leitbeschreibung der Betonfertigteile eine Oberflächenqualität in SB2 nach Merkblatt Sichtbeton von DBV und BDZ auf den Sichtseiten ausgeschrieben, führte bei der Ausführung allerdings auch nicht zu einer besseren Qualität. In diesem Fall kann jedoch die Nachbesserung als Minderung verrechnet werden.

Zeit

Planungszeit

Wie bereits erwähnt bestehen durch die Schnittstellen zwischen Fachplanern und anderen Gewerken (z.B. Leerrohrverlegung, WU-Beton) ein größerer Planungsaufwand. Bei einer geplanten Sichtoberfläche steigt der Planungsaufwand, da die Teilung der Fertigteilwände zu beachten ist, um ein einheitliches Fugenbild zu erlangen. Besonders bei den mehrgeschossigen, sichtbaren Treppenhauswänden mit einer vertikalen und horizontalen Teilung der Fertigteillemente steigt der Planungs- und Abstimmungsbedarf. Auch für den Rohbauer stellt die Fertigung und Planung der Fertigteilwände einen Mehraufwand im Vorfeld dar.

Bauzeit

Vorgefertigte Systeme werden vorwiegend von den Herstellern "just in time" gefertigt und zur Baustelle geliefert, wo sie im Idealfall sofort eingebaut werden, um Zwischenlagerungen zu vermeiden. Dadurch entsteht eine große Terminabhängigkeit von dem Gesamtterminplan des Bauvorhabens mit wenigen Toleranz für zeitliche Verschiebungen. Die Erfahrungen aus dem Bauablauf des Projektes zeigen, dass die Just-in-time-Produktion der Fertigteile bauablauftechnisch schwierig ist, da eine Zwischenlagerung von großen flächigen Bauteilen platztechnisch auf der Baustelle meistens schlecht möglich ist.

Für den Rohbauer entsteht durch eine Konstruktion aus Fertigteilen eine Zulieferabhängigkeit, die ebenfalls von der termingerechten Herstellung der Fertigteile abhängig ist. Wenn die Zulieferung von Fertigteilen termingerecht nicht funktioniert, kann das zu einem Baustillstand und somit zu Verzögerungen im Bauablauf führen. Durch die Zulieferabhängigkeit der Fertigteile ist es generell schwieriger und zeitaufwendiger für die Rohbaufirma den Bauablauf zu planen.

Stahlbeton-Fertigteilstütze

Wie zuvor erwähnt, führte das Ausschreibungsergebnis der ersten Rohbauausschreibung beim Wuppertaler Projekt zu einer Änderung der Rohbau- beziehungsweise Tragkonstruktion in eine Schottenbauweise aus Fertigteilwänden mit einem Deckensystem aus Spannbetonhohlplatten, sodass die Verbundträger und Fertigteilstützen größtenteils entfallen sind. Lediglich bei den Häusern 2 bis 5 gibt es in den Flurbereichen vereinzelt noch Betonfertigteilstützen. Aufgrund der geringen Anzahl der vorkommenden Betonfertigteilstützen - insgesamt 8 Stück (1 Fertigteilstütze pro Obergeschoss und Haus) gibt es bei dem Wuppertaler Projekt keine relevanten Besonderheiten oder Schwierigkeiten bezüglich der Fertigteilstützen aus dem Bauablauf.

Qualität

Betoneinsparung infolge reduzierter Brandschutzanforderungen

Wie bereits erwähnt, muss der Brandschutznachweis von tragenden Betonstützen projektweise vom Statiker individuell berechnet und nachgewiesen werden. Dabei hat sich beim Wuppertaler Projekt gezeigt, dass es bei der Bemessung der Stahlbeton-Fertigteilstützen generell einen Unterschied machen kann, ob sie in der Brandschutzqualität F90 oder F60 ausgeführt werden. Bei einer Brandbeanspruchung der Stützen sinkt sehr schnell die Streckgrenze der Bewehrung und somit auch die gesamte Tragfähigkeit. Um das zu kompensieren ist entweder mehr Bewehrung in der Stütze, eine größere Betondeckung, ein größerer Stützenquerschnitt oder eine höhere Betonklasse erforderlich. Der folgende Auszug aus der Brandschutzberechnung für die Stahlbeton-Fertigteilstützen des Wuppertaler Projektes zeigt die erforderliche Bewehrung einer Stütze für die reine Tragfähigkeit und für den Brandschutz im Vergleich zwischen F60 und F90. Bei einer Brandschutzqualität in F60 entspricht die erforderliche Bewehrung erfAs vom Brandschutz dem erfAs von der Tragsicherheit, weswegen die Erfüllung der Brandschutzqualität F60 gegenüber der Tragsicherheit keine weiteren Maßnahmen erfordert. Die Berechnung mit einer Brandschutzqualität in F90 zeigt hingegen, dass die erforderliche Bewehrung erfAs der Stütze in der Tragsicherheit steigt. Zur Erfüllung der Brandschutzqualität F90 ist folglich mehr Bewehrung in der Stütze erforderlich.

Dabei ist allerdings zu beachten, dass die obere Grenze für die maximale Bewehrungseinlage bei 4% des Stützenquerschnittes liegt, das heißt $\text{erfAs}/(b \cdot h) \leq 0,04$. Bezieht man die Berechnung auf das angefügte Beispiel zeigt sich, dass mit den angegebenen Stützenabmessungen und einer Brandschutzanforderung in F90 die erforderliche Bewehrung im Brandfall gerade eben unterhalb der maximalen Grenze für die Bewehrungseinlage von 4% liegt ($22,62 \text{ cm}^2 / (24 \text{ cm} \times 24 \text{ cm}) = 3,9\%$). Wird die maximale Grenze der Bewehrungseinlage erreicht, ist ein größerer Stützenquerschnitt erforderlich. Die Brandschutzanforderung kann somit einen Einfluss auf den erforderlichen Stützenquerschnitt und damit auch auf die erforderliche Betonmenge haben.



FAZIT

In der Realisierung der Bauvorhaben Wuppertal und Bochum konnte bestätigt werden, dass mittels der Verwendung von Fertigteilen die Bauabläufe vor Ort wesentlich verkürzt werden können. Ebenfalls konnte zumindest in Teilbereichen nachgewiesen werden, dass bei detaillierter Planung und sorgfältiger Ausführung mit Fertigteilen in „Industrie-Fertigoberfläche“ Bauteile erstellt werden können, welche auch im Wohnungsbau ohne weitere Ausbaumaßnahmen als Fertigoberfläche verwendet werden können. Somit ist unter bestimmten Umständen die Grundlage für kostengünstiges Bauen gegeben.

Die Erfahrungen aus den beiden Bauvorhaben zeigen jedoch auch, dass hinsichtlich dieser Bauweise diverse Sonderumstände berücksichtigt werden müssen bzw. auf Verordnungs- und Gesetzgebungsseite noch zu regeln sind, damit die Vorteile des elementierten Rohbaus auch umfänglich greifen können. Im Einzelnen werden diese Belange nochmals nachstehend zusammengefasst:

Planung

Es existieren zahlreiche Systemanbieter zu unterschiedlichsten Fertigteilssystemen. Jeder Fertigteilhersteller hat seine eigenen Zulassungen und herstellereigene Verwendungsvorschriften. Dem zur Folge kann eine Fertigteilplanung nicht systemunabhängig erfolgen. Allgemeingültige statische Berechnung, wie sie der Tragwerksplaner in einer konventionellen Rohbauplanung fertigt, sind also nicht möglich. Daraus entsteht insbesondere für Bauvorhaben, welche nach öffentlichem Vergaberecht vergeben werden müssen, erhebliche Erschwernisse in der Schnittstellenbewältigung. Wird die Planung und entsprechende Ausschreibung herstellerbezogen erbracht, verstößt dies gegen das zurzeit gültige Vergaberecht. Muss die in einer konventionellen Bauweise geplante Ausführungsplanung vom beauftragten Auftragnehmer herstellereigentlich angepasst werden, kann dies zu erheblichen Zeitverzögerungen in der technischen Vorbereitung der Baustelle führen. Insbesondere wenn in einem Bauvorhaben mehrere Fertigteilssysteme verwendet werden, ist der Abstimmungsbedarf und Planungsvorlauf erheblich. Zum Bauvorhaben in Wuppertal wurden die Folgen einer beauftragten, jedoch mangelhaft erbrachten Koordinationstätigkeit des Auftragnehmers zur Fertigteilplanung und zum Schnittstellenmanagement dokumentiert. Insbesondere in kleineren Bauvorhaben kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Rohbauer eine aufwändigere Fertigteilplanung erbringt / erbringen kann.

Zur Nutzung der Potentiale des elementierten Rohbaus ist daher zu empfehlen, im Vergaberecht besondere Kooperationsverfahren unter gemeinsamer Beteiligung von Planern und Fertigteilherstellern zu zulassen. Gleichzeitig werden zur Vereinfachung der Planung allgemeine Berechnungsverfahren benötigt, mittels derer eine herstellerunabhängige Planung von Fertigteilen notwendig wird.

Ausführung

Der Bauablauf in beiden Bauvorhaben zeigt, dass die Just-in-time-Produktion der Fertigteile risikobehaftet ist gerade unter Berücksichtigung der derzeit überlasteten Baubranche. Insbesondere bei der Verwendung mehrerer Systeme in einem Bauvorhaben sind Verzögerungen im geplanten Bauablauf fast unvermeidbar. Aus diesem Grund wird empfohlen einen entsprechenden Fertigungsvorlauf der Elemente mit ausreichendem Zeitpuffer im Bauzeitenplan einzuplanen. Eine Zwischenlagerung der Fertigteile im Werk oder vor Ort auf geplanten Baustelleneinrichtungsflächen wird als notwendig erachtet.

Ein zeitlicher Vorteil im elementierten Rohbau gegenüber der konventionellen Bauweise kann nur realisiert werden, wenn der örtliche Verguss und Monierarbeiten minimiert werden. Auf die diesbezüglichen Schwierigkeiten in

der verwendeten Bauweise wurde in den vorstehenden Kapiteln detailliert hingewiesen. Durch die Verwendung von Vollfertigteilen aus Stahl anstelle von Verbundträgern, wäre eine schnellere Bauzeit möglich (ca. 10-15 %). Allerdings würden durch die erforderlichen Schweißverbindungen der Stahlträger höhere Kosten entstehen. Eine Alternative zu der klassischen Spannbetonhohlplattendecke bieten schlaff bewerte Systeme mit trockenem Deckenstoß mittels Verwendung besonderer Deckenschlösser.

Zu den betrachteten Systemen kann im Einzelnen folgendes angemerkt werden:

Spannbetonhohlplattendecke

Die Baukosten von Spannbetonhohlplatten sind mit ca. 60€/m² inkl. Vergussarbeiten günstig und im Vergleich niedriger als die Baukosten von Ortbetondecken und Elementdecken. Die Erwartungshaltung bezüglich der Baukosten hat sich somit bestätigt. Besonders zu beachten ist jedoch, dass die Art der Verwendung bzw. Verlegung der Elemente erhebliche Folgekosten verursachen kann, welche diesen Kostenvorteil maßgebend beeinflussen.

Bei der Verwendung von Spannbetonhohlplattendecken sind insbesondere die Gebäudegeometrie, die Spannrichtung, die Lage der Durchbrüche und notwendige Nacharbeiten zu berücksichtigen. Wegen der systembedingten festgelegten Elementbreiten und Kammerabstände, ist nur eine relativ unflexible Grundgeometrie verfügbar. Schräge Plattenanschnitte an den Enden sind nicht möglich. Aussparungen im System unterliegen stark reglementierten Vorgaben, insbesondere quer zur Spannrichtung liegende Deckendurchbrüche sind nur eingeschränkt möglich. Bauvorhabenspezifische Nacharbeiten an den Grundplatten sind zurzeit immer Sonderanfertigungen, welche neben den Mehrkosten auch besondere Planungsaufwendungen zum Brand- und Schallschutz verursachen. Bei Verwendung der Unterseiten als fertige Sichtfläche ist erhöhte Sorgfalt bei der Kantenausbildung, bei der Berücksichtigung von Elementtoleranzen und der Festlegung zur Lage von notwendigen Passfeldern notwendig. In Wuppertal konnte dies gut umgesetzt werden. In Bochum hat dieser Sachverhalt zu Ausführungsschwierigkeiten geführt. Eine Besonderheit stellt die bisher empfohlene Ausführung von Entwässerungslöchern dar. Mittels dieser soll Wasser, welches während der Bauzeit in die Hohlkammern gelangt ist, wieder ablaufen können. Die Löcher werden bisher im Werk unregelmäßig und nur teilausgeführt an der Unterseite geprägt. Die werkseitige Ausführung ist für eine Fertigoberfläche nicht geeignet und in den untersuchten Bauvorhaben auch mehrfach mangelhaft ausgeführt worden. Hier sollten die Hersteller neue Möglichkeiten des werksseitigen Schutzes der Kammern überdenken oder generell auf eine Auslieferung mit geordnet vorgestanzten Entwässerungslöchern hinwirken. Seitens des Systemherstellers wurde entsprechende Optimierungen zugesagt. Eine weitere Aufgabe an die Hersteller ist die Integration der TGA-Durchführung unter Berücksichtigung der Brandschutzanforderungen. Hierzu sollten Systemlösungen mit Zulassungen erarbeitet werden. Um die Bauzeit gegenüber einer Ortbetondecke beziehungsweise einer Elementdecke deutlich zu reduzieren, wäre eine trockene Verbindungsherstellung erforderlich, damit die örtlich zeitaufwendigen Restarbeiten durch die Bewehrungseinlage und Vergussarbeiten entfallen können. Diese Vorteile existieren beispielsweise bei Systemen, welche schlaffbewehrte Elemente mit Deckenschloss-System anbieten.

Verbundträger

Die in den Bauvorhaben verwendeten Peikko-Träger haben den Vorteil, dass diese als deckengleicher Unterzug einen Leitungsverzug der TGA direkt unter der Rohdecke sehr flexibel ermöglichen und damit die Geschosshöhen verringert werden können. Die Besonderheiten hinsichtlich der Durchlaufwirkung der Lasten in den Decken wurde in den entsprechenden Kapiteln des Berichtes detailliert beschrieben. Bei eingeschränktem Anbieterkreis ist dieses System jedoch sehr teuer. Die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems Spannbetonhohlplatten kann projektspezifisch über den Einsatz einer großen Anzahl von Verbundträgern maßgebend beeinflusst werden. In Wuppertal wurde daher zwecks Kostenreduzierung der Einsatz dieser Konstruktion zu Gunsten herkömmlicher Auflagersysteme in gestapelter Weise wesentlich reduziert. Konstruktiv und gestalterisch wäre eine Änderung des Trägerquerschnittes sinnvoll, sodass die Oberkante des Peikko-Trägers bündig zu der Oberkante der Spannbetonhohlplatten liegt und so eine ebene Fläche auf der Rohdeckenoberseite existiert. Derzeit entsteht bei einem Deckensystem aus Spannbetonhohlplatten mit Verbundträgern auf Grund der Stärke des Auflagerbleches und des Auflagerstreifens ein Höhenversatz von ca. 20 mm zwischen Verbundträger und Spannbetonhohlplatte, was aufwendige Nacharbeiten zur Folge hat. Weiteres Optimierungspotential wurde in den Bauvorhaben hinsichtlich der Systemanschlüsse Peikko-Stützenschuhen und Peikko-Ankerbolzen aufgezeigt. Die entstandenen Schwierigkeiten sollten über einfache Baukastensysteme verbessert werden.

Fertigwänden

Der relevanteste Vorteil der Fertigwände gegenüber einer Ortbetonwand ist die deutlich reduzierte Trocknungszeit. Bei trockenen Elementstößen wird eine weitere Optimierung ermöglicht. Die Verlegung wird jedoch auch maßgeblich von den bauvorhabenspezifischen Besonderheiten bedingt.

Bei der Verwendung von Fertigwänden ist ein möglichst geringer Anteil von Einbauteilen innerhalb der Fertigwänden empfehlenswert, um so die Schnittstellen zu anderen Fachplanern und Gewerken und damit einhergehende Fehlerpotentiale zu reduzieren.

Im Wuppertaler Projekt wurde zu diesem Thema und hinsichtlich einer möglichen Revisionierbarkeit der TGA-Trasse erfolgreich eine Sonderlösung realisiert. Über eine Medienleiste, die sich in dem Zimmer vor der Fertigwand befindet, wurden die Beleuchtung, Lichtschalter, Steckdosen und die EDV-Anschlüsse, sowie teilweise Lüftungskanäle in den Individualräumen verlegt. Eine Leerrohrinstallation oder die Montage von Einbauelementen im Rohbau konnte so entfallen. Neben der funktionalen Optimierung konnte ebenfalls eine gut gestaltete Ausbauvариante realisiert werden.

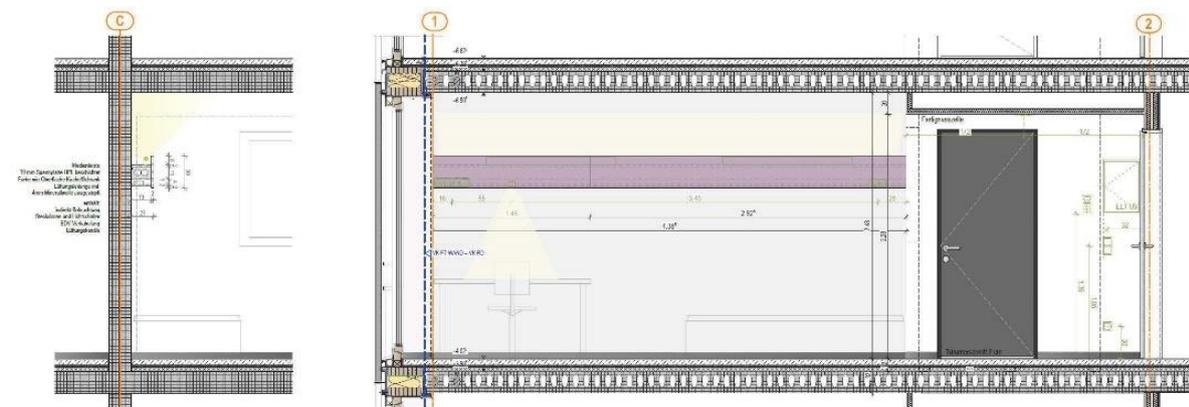


Abbildung 65: Detailzeichnung Medienleiste, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 66: Foto Medienleiste, [ACMS Architekten GmbH]

4.a_1.2 Bäder



RELEVANZ

Qualität

Bäder im Allgemeinen betrachtet haben sich in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt und sind heutzutage nicht nur ein Raum der Reinheit, sondern dienen insbesondere der Erholung und tragen zum Wohlbefinden bei. Die ersten Bäder waren ausschließlich privilegierten Menschen vorbehalten. Sie bestanden meist aus einem Ofen zum Erwärmen des Wassers sowie in den Boden eingelassenen kleinen Badewannen und einer Dusche.

Durch das sich im Laufe der Jahre entwickelte Bedürfnis nach Privatsphäre, wurden im 19. Jahrhundert Räume für die Körperpflege entwickelt, welche zunehmend auch mit fließendem Wasser ausgestattet waren. Anfang des 20. Jahrhunderts besaß ein Großteil der Europäer ein privates Bad und Design und Qualität wurden fortlaufend weiterentwickelt und bekamen bis heute einen immer höheren Stellenwert. Das Bad hat sich in den letzten Jahren immer mehr zum vollwertigen Raum in der Wohnung entwickelt. Planer und Bauherren müssen sich dessen bewusst sein und bereits am Anfang der Planung beachten, welche Faktoren ausschlaggebend für die spätere Nutzerzufriedenheit sind. Bei dem hier untersuchten Projekt "Studierendenwohnheim" ist es wichtig, mehrere Faktoren und Bedürfnisse verschiedener Bewohner bei der Planung zu berücksichtigen. Zum einen die wichtigsten Ausstattungsmerkmale, wie Dusche, WC, Waschbecken in ausreichender Anzahl, zum anderen die Wahrung der Privatsphäre; teilweise auch aus religiösen Aspekten. Eine gute Farbgestaltung und Anordnung tragen zur Zufriedenheit und somit zu einer größeren Identifizierung bei. Da neben der Aufgabe des Baus eines Studierendenwohnheims der Vario-Gedanke in die Planung mit einfließt, werden unterschiedliche Möglichkeiten der nachträglichen Nutzung berücksichtigt und auch die Möglichkeiten des Rückbaus mit einbezogen. Durch den demographischen Wandel sollte bereits in der Planung die generationsübergreifende Nutzbarkeit beachtet werden.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Bauzeit und Wirtschaftlichkeit. In Bädern stoßen eine Vielzahl unterschiedlicher Gewerke auf engem Raum aufeinander. Daher sind viele Schnittstellen zu berücksichtigen. Darüber hinaus besteht in Bädern aufgrund der hohen Installationsdichte und großem Wassereinsatz ein hohes Schadensrisiko. Vor allem können hier auch im Betrieb Schäden entstehen, durch zum Beispiel Undichtigkeiten in den Leitungen oder Abdichtungssystemen. Diese tauchen oft erst nach längerer Zeit durch das Auftreten von Durchfeuchtungen bis hin zur Schimmelpilzbildung auf. Solche Bauschäden führen regelmäßig zu erheblichen finanziellen Sanierungskosten. Das Thema Abdichtung ist zwar klar geregelt aber dennoch risikobehaftet. Im Bereich von Duschen und Wannen entsteht Spritzwasser und in anderen Bereichen des Bades entsteht Wasserdampf, welcher sich an den Oberflächen niederschlägt. Abdichtungssysteme für Bereiche mit hohen Feuchtebeanspruchungen benötigen nach der Bauregelliste A, Teil 2 ein allgemein bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) und müssen mit dem Ü-Zeichen gekennzeichnet sein. Abdichtungssysteme in Bereichen mit geringer Feuchtebeanspruchung hingegen sind bauaufsichtlich nicht geregelt. [Informationsdienst Holz, 2007], hier kann man zum Beispiel die Abdichtungssysteme nach [DIN 18195] Teil 5 "Bauwerksabdichtungen; Abdichtungen gegen nicht drückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen" einbauen und grundsätzlich beachten, dass dichte Anschlüsse dauerhaft herzustellen und Flächenabdichtungen dicht an umlaufende Wände anzuschließen sind. Die Schnittmenge aller oben genannten Faktoren führten bei dem Projekt zu der Entscheidung, anstelle eines konventionellen Bades, Fertignasszellen auszuführen.

Fertignasszellen aus Stahl begründen ihren Ursprung im Schiffsbau und finden dort auch heute noch Anwendung. In den letzten Jahren wurden sie auch für andere Projekte entwickelt. Durch die serielle Vorfertigung wird ein reibungsloser Bauablauf garantiert. Die Dichtheit wird oft bereits durch die eingesetzten Materialien erzeugt und erfordert keine zusätzlichen Abdichtungsmaterialien. Fertignasszellen werden in unterschiedlichen Herstellungsarten angeboten, welche hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht wurden. Dazu zählen Nasszellen aus Stahl oder Beton. Fertignasszellen aus Holz sind bereits ebenfalls in der Entwicklung und werden zum Teil schon eingebaut.

Durch die serielle Vorfertigung einer Nasszelle entsteht der Vorteil baugleiche Module zu vertretbaren Preisen herzustellen. Voraussetzung hierfür ist eine hohe Stückzahl (aus wirtschaftlichen Gründen meist mindestens 50

Stück, besser mehr als 100 Stück) um die industrielle Herstellung mit speziellen Werkzeugen möglichst kostenneutral bzw. geringer im Vergleich zu konventionellen Bädern zu halten, damit sich die Rüstkosten rechnen. Im Folgenden werden kurz die unterschiedlichen Herstellungsarten näher erläutert, um das Grundprinzip zu definieren:

Konventionelle Bäder

Für die Herstellung eines konventionellen Bades auf der Baustelle werden unterschiedliche Gewerke benötigt, wie zum Beispiel Trockenbau, Sanitär, Elektrik, Estrich, Fliesen- und Bodenbelag. Diese Schnittstellen führen zu nicht gut kalkulierbaren Risiken in unterschiedlichen Bereichen. Bei dem Einbau eines konventionellen Bades ist, wie bereits erwähnt, das hohe Mängelpotential und die Einbausituation zu bedenken. Eine Kombination mit feuchteempfindlichen Baustoffen, wie zum Beispiel dem Holzbau, führt bei Mängeln zu großen Gefahren für die Umwelt und den Nutzer. Durch die hohe Gewerkedichte und das erhöhte Fehlerpotential ist selbst bei einer hohen Baukontrolle durch die Bauleiter mit Problemen zu rechnen. Auch Materialverträglichkeiten und -unverträglichkeiten sowie die Abhängigkeit unterschiedlicher Produktsysteme sind zu beachten und im Baualltag nur schwer zu kontrollieren. Mängel an den ausgeführten Abdichtungsarbeiten führen regelmäßig zu großen, nur mit erheblichem Aufwand zu sanierenden, Schäden. In Verbindung mit dem Holzbau und Trockenbau werden entsprechend notwendige Anforderungen an die Ausführung von Konstruktionen mit Fliesen und Platten im Innenbereich gestellt. Zwar sind diese feuchtigkeitsbeständig und wasserabweisend, jedoch aufgrund der Verfugung und Durchdringungen nicht wasserundurchlässig. Anforderungen werden an den Boden, Duschwände und Bereiche oberhalb der Badewanne gestellt. Keine Anforderungen werden an Deckenflächen und sonstige Wände gestellt, welche keine oder nur eine geringe Beanspruchung durch Spritzwasser haben.

Fertignasszellen aus Stahl

Fertignasszellen aus Stahl bestehen im Wesentlichen aus einem System mit einfach gekanteten und verklebten Blechen, welche als Sandwichpanele das Grundgerüst des Moduls bilden. Die Stahlzellen werden im Werk mit Wand- und Bodenbelägen sowie der nötigen Grob- und Feininstallation ausgestattet. Die Dichtheit wird in der Fläche bereits über das Grundmaterial (verzinkte Stahlbleche) hergestellt. Die Anschlüsse werden meist mit Spezialklebern werksseitig abgedichtet. Entsprechende Formteile und Aufkantungen verhindern einen unkontrollierten Wasseraustritt in die angrenzenden Baubereiche. Diese Abdichtungen sind seit vielen Jahren Praxisbewährt, unterliegen aber nicht einer allgemein anerkannten Regel der Technik und stellen somit eine Sonderausführung dar, welche mit dem Auftraggeber / Bauherrn abzustimmen ist. Als Oberflächen können wie im Bad klassisch üblich Fliesen, aber auch Folienkaschierungen unterschiedlichster Farben bis hin zum Digitalen Motivdruck eingesetzt werden. Nach Fertigstellung werden Sie auf der Baustelle lediglich eingebracht, positioniert und abgeschlossen. Für Fertignasszellen aus Stahl existieren unterschiedliche Hersteller. In diesem Bericht berücksichtigt werden die Systeme der Firma Stengel und Deba.

Fertignasszellen aus (Leicht-) Beton

Betonnasszellen unterscheiden sich zu Nasszellen aus Stahl in ihrem Grundgerüst. Hierbei werden Leichtbetonwände (Dicke ca. 40-50mm) zusammengesetzt und mit Wandbelägen ausgestattet, hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Wände mit einem Gegenzug versehen werden müssen, um ein funktionierendes System zu gewährleisten. Die Flächenelemente sind als Wasserdicht anzusehen. Die Dichtheit der Anschlüsse wird entweder über Verkleben oder ein komplettes zusätzliches Abdichtsystem (in der Regel als Verbundabdichtung unter keramischen Belägen) ausgeführt. Als Hersteller für solche Systeme sind die Firmen Rasselstein und Kerapid zu nennen. Kerapid hat den Vorteil gegenüber den anderen Herstellern von Fertignasszellen, Prüfzeugnisse zu ihren Abdichtungssystemen vorliegen zu haben.

Fertignasszellen aus Holz

Holzzellen sind wie oben schon kurz beschrieben noch nicht vollständig etabliert, stellen aber eine durchaus denkbare und nachhaltige Alternative dar. Holz-Fertigteilwerke arbeiten hierbei eng mit jungen Start-Ups zusammen, um ganzheitliche Lösungen zu kreieren. Beispiel ist hier zum Beispiel die Firma Tjiko. Hier fehlen aber noch

langjährige Erfahrungen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit. Vor allem die notwendige Dichtheit ist hier besonders kritisch zu betrachten, da im Leckagefall aufgrund des Werkstoffs Holz mit größeren Schäden zu rechnen ist.

Vorfertigung

Fertignasszellen werden entweder in kompakter oder elementierter Bauweise produziert. In der Planung sollte bereits berücksichtigt werden zu welchem Zeitpunkt im Bauablauf die Nasszellen im Gebäude eingebracht werden und auch mit welcher Einbringungsmethode. Außerdem differenzieren sich die Möglichkeiten bei einem Neubau im Vergleich zum Bestandsbau. Die elementierte Bauweise unterscheidet sich zur kompakten Bauweise dahingehend, dass vorgefertigte Badmodule auf der Baustelle im Gebäude zusammengesetzt werden. Kritische Baumängel wie zum Beispiel das bereits genannte Thema Abdichtung und das damit einhergehende Schadenspotential werden durch Fertigung in kompakter Bauweise stark reduziert. Durch die im Werk standardisierten Prozesse und Produktion wird die Qualität gesteigert. Die neutrale Betrachtung der Schnittstellen in der Vorplanung gibt den Planern die Möglichkeit Qualitätsrisiken zu minimieren.

Die Verlagerung der Schnittstellen von der Bauphase in die frühe Planungsphase unterscheidet sich ebenfalls zum konventionellen Bad. Es bedarf intensiver Vorarbeit in der Planung zwischen den unterschiedlichen Fachplanern, Architekten und der ausführenden Firma um alle Kompetenzen mit einzubeziehen. Durch die vorgelagerte Planung, welche oft vor der eigentlichen Ausführungsplanung des Gebäudes begonnen wird, müssen kausale Zusammenhänge analysiert werden und mögliche Mängel in Betracht gezogen werden. Die TGA-Fachplaner erstellen das Grundgerüst der Nasszelle mit allen notwendigen technischen und sanitären Vorgaben im Raum. Zusätzlich zu diesem Thema werden im Grundriss die Möglichkeiten zur Durchführung der Steigestränge analysiert und der Anschluss an das Badmodul geplant. Auffällig hierbei ist die Trennung von Bad und Steigestrang, die Vorfertigung des Badmoduls inklusive Steigestrang wird bislang nicht im "normalen" Preissegment angeboten. Die daraus resultierende Schnittstelle zu Heizung/Sanitär kann zur Risikoquelle werden.

Besonderer Beachtung bedarf auch die Betrachtung der Schallschutzanforderungen. Im Bereich der Anforderungen an den Trittschall sind aufgrund des Entfalls des schwimmenden Estrichs angepasste Auflagersituationen zu entwickeln. Die Anpassung auf die unterschiedlichen Rohbausituationen wird durch die Hersteller der Sanitärzellen oftmals nur unzureichend gelöst. Betonzellen weisen hier aufgrund der größeren Masse leichte Vorteile auf.

Im Bereich des Luftschallschutzes sind für die meist notwendige Verkleidung der Sanitärzellen jeweils abgestimmte Lösungen aufgrund der unterschiedlichen Verlegung von Versorgungsleitungen zu entwickeln. Dies erschwert und verzögert den Planungsprozess teilweise erheblich, da exakte Kennwerte oft nicht vorliegen. Teilweise können örtliche Messungen anhand zuvor erstellter Musterzellen notwendig werden.

Flexibilität

Bei der Planung mit Fertignasszellen gibt es eine Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten. Es kann aus unterschiedlichen Wand- und Bodenbelägen gewählt werden, wie zum Beispiel der herkömmlichen Fliese, und bei Stahlzellen beschichteten oder auch individuell bedruckten Blechen. Dieses führt zu einer größeren Freiheit, wird aber gleichzeitig durch die hohe Komplexität im Bereich der Technik und Raumgestaltung eingeschränkt. Das Badmodul muss den Ausstattungswünschen und Standards entsprechen und entsprechende Richtlinien erfüllen. Außerdem sollte das Modul flexibel im Gesamtgrundriss des Gebäudes an unterschiedlichen Punkten platziert werden können. Die hohe Produktionszahl führt zu einem einheitlichen System welches sich in unterschiedliche Wohnungstypologien einfügt. Unterschiede zwischen den einzelnen Zellen sollten aus Kosten Gründen möglichst vermieden werden. Spiegelbildliche Ausführungen haben sich aber kosten technisch als unproblematisch erweisen. Technik und Gestaltung sind ein System und werden zusammen entwickelt.

Die vielfältigen Anforderungsprofile führen bei platz- und kostensparender Ausführung zu einer eingeschränkten Flexibilität.

Zusätzlich zu beachten ist die Fortführung der Nutzung und damit verbunden die Vorbereitung des ready /ready plus Standards. Bei einer nachträglichen Nutzung stellt sich aber nicht nur die Herausforderung zu erfüllender Standards, sondern auch die der Umgestaltung, in welcher eine Fertignasszelle zunächst unflexibel erscheint.

Zeit

Planungszeit

Wie oben schon kurz erwähnt nimmt die Planung der Fertignasszelle einen großen Teil der Zeitplanung ein. Durch die Verlagerung im Zeitmanagement und die deutlich aufwendigere Planung als bei einem herkömmlichen Bad müssen Gesamtabläufe und Kapazitäten neu überdacht werden. Der Architekt steht in stetigem Austausch zu den anderen Fachplanern und dem Hersteller. Themen wie Statik und Materialauswahl sowie Abstimmung bauphysikalischer Aspekte im Hinblick auf zum Beispiel Dichtigkeit und Schallschutz müssen bereits am Anfang der Planungsphase geklärt werden. Diese Ablaufverdichtung in den Anfang des Bauzeitenplans resultiert aus den Vorgaben der Hersteller hinsichtlich Montageplanung, Vorfertigung und Lieferzeiten. Sanitärzellen zählen somit meist zu den als erstes auszuschreibenden Gewerken, noch deutlich vor den Erd- und Rohbauarbeiten. Insofern ist bereits zu einer sehr frühen Planungsphase, spätestens zum Beginn der Werkplanung eine entsprechende Entscheidung zu treffen.

Bauzeit

In der Bauphase kommt es hingegen der Planungsphase zu einer Verkürzung durch die werkmäßige Vorfertigung. Ein konventionelles Bad macht ca. 28 % der Bauphase aus, wohingegen Fertignasszellen nur 12 % der Bauphase in Anspruch nehmen. Dieses führt zu einem schnelleren Bauablauf aufgrund der Prozessoptimierung.

Kosten

Baukosten

Generell ist bei der Planung von Bädern darauf zu achten, aus wirtschaftlichen und installationstechnischen Gründen die Installationsschächte von Bad, WC und oder Küche so zu planen, dass sie gemeinsam genutzt werden können. Die Baukosten einer Fertignasszelle rechnen sich ab großen Stückzahlen, erst dann ist ein vergleichbarer oder günstigerer Preis als bei konventionellen Bädern zu erreichen. Ein großer Vorteil birgt sich allerdings in der Festpreisgarantie durch Vorplanung. Unerwartete Kosten sind nahezu auszuschließen.

Betriebskosten

Die Betriebskosten, jedoch ohne Mängelbeseitigungskosten, einer Fertignasszelle hingegen sind neutral zu denen eines konventionellen Bades, da der Instandhaltungsaufwand vergleichbar ist. Laufende Kosten wie Erneuerung der Fugen und technischer Betriebsmittel fallen bei konventionellen wie auch Fertignasszellen meist gleichermaßen ca. alle 2 Jahre an. Auch der Renovierungsbedarf ist vergleichbar.

Im Schadensfall hingegen liegt die Verantwortung in einer Gewährleistungsunternehmerhand und zwar dem Hersteller. Somit können anfallende Kosten und Schäden schneller zugeordnet werden. Bäder im Bauwesen sind extrem mangelbehaftet und können insbesondere in Kombination mit den feuchte empfindlichen Baustoffen des Holzbaus ein enormes Schadenspotential mit Gefahren für Mensch und Umwelt mit sich bringen. Das Risiko bzgl. verdeckter Mängel ist bei Fertignasszellen grundsätzlich geringer zu werten da von einer höheren Qualitätssicherung ausgegangen wird. Da bei dem Projekt der Rohbau aus Betonhalbfertigteilen besteht wird jedoch das Risiko minimiert.

Ökologie

Die ökologische Betrachtung von Fertignasszellen sollte in drei Bereiche eingeteilt werden, Herstellung inkl. Transport, Materialität und TGA. Die unterschiedlichen Faktoren werden im Themenbereich Hintergrund näher betrachtet und analysiert. Fragestellung hierbei ist in wie weit die Herstellungsphase der Fertignasszelle mit in die DGNB Ökobilanz einfließt und des Weiteren welchen Einfluss die Materialität und die Zelle im Gesamten inklusive TGA auf die Bilanzierung hat.



Qualität

Die Herstellung eines Bades an sich ist der intensivste Bereich auf der Baustelle und wie schon erwähnt somit ein großer Risikofaktor was das Schadenspotential und die Einhaltung von Bauzeiten angeht. Untenstehend werden die zur Auswahl stehenden Systeme und deren Aufbau und Herstellung näher erläutert, sowie die Vor- und Nachteile der jeweiligen Bauweise benannt.

Welche Systeme standen zur Auswahl?

Konventionelle Bäder

Die Herstellung eines konventionellen Bades bedarf unterschiedlicher Gewerke auf der Baustelle. Zunächst müssen die Wände gestellt, je nach System Trockenbau oder massiv, und vorbereitende Maßnahmen für das Gewerk Sanitär getroffen werden. Dann kann die Grobinstallation der Zu- und Abwasserrohre erfolgen und zusätzliche Vorwände und Verstärkungen, Traversen, für Sanitärobjekte gestellt werden. Außerdem muss die Elektrik in den Bereich fachgerecht vorbereitet werden um ein anschließendes Beplanken der Wände zu ermöglichen. Hierauf folgt die Abdichtung in den nötigen Wand- und Bodenbereichen, abhängig von den jeweiligen Objekten und ihrer Anordnung bzw. Nutzungsart. Wand- und Bodenbeläge durch zum Beispiel Fliesen oder heutzutage auch feuchteresistenten Putz werden angebracht, worauf die Feininstallation von Waschbecken, WCs und Armaturen im Bereich Sanitär und Steckdosen und Schaltern im Gewerk Elektrik folgt. Im Bereich Waschbecken, Dusche, WC etc. müssen im letzten Schritt Versiegelungsarbeiten durchgeführt werden. Dieser Ablauf macht deutlich, dass die unterschiedlichen Gewerke auf einander abgestimmt werden müssen und Hand in Hand arbeiten müssen, dieses führt wiederum zu einem enormen Risikopotential im Bereich Bauzeit, Baukosten und auch im Bereich der Schadensquellen und damit in Verbindung zu bringender Verursacher. Darüber hinaus ist der notwendige Platzbedarf für Installationen meist sehr eingeschränkt. Schon ein Versatz von Leitungen um wenige Zentimeter ist meist nicht zu kompensieren und führt zu notwendigen Rückbauarbeiten.

Fertignasszellen aus Stahl

Fertignasszellen aus Stahl können entweder als Komplettbad oder elementiert im Werk vorgefertigt werden und bieten somit eine erhöhte Flexibilität auf der Baustelle. Stahlzellen haben im Vergleich zu u.g. Leichtbetonzellen ein geringeres Gewicht und durch einen geringeren Bodenaufbau (ca. 110 mm) die Möglichkeit Duschabläufe unterhalb der Zelle in Schächte verlaufen zu lassen. Der Bodenaufbau besteht je nach Hersteller entweder aus Metallkassetten mit XPS Dämmung, welche wie die Wandkassetten verklebt werden oder aus einer Bodenwanne im Tiefziehverfahren mit speziellen Werkzeugen gefertigt und mit etablierten Abdichtungssystemen abgedichtet. Hierdurch entsteht eine hohe Qualitätssicherung hinsichtlich der Abdichtungsebene. Der Boden wird direkt auf Auflagerpunkte aufgesetzt, die Anzahl dieser richtet sich nach dem statischen Erfordernis. Der Höhenausgleich wird durch Betonklötze und Metallplatten nivelliert und zusätzlich durch Elastomerlager ergänzt um den Trittschallschutz zu gewährleisten. Für das Abdichtungssystem und den Schallschutz muss der Hersteller eigene Prüfzeugnisse bzw. Zulassungen im Nachgang vorlegen.

Der Wandaufbau besteht aus 30-50 mm starken, Stahl verzinkten Metallkassetten mit Minerallwollfüllung oder verrottungsfesten Papierwaben. Die Abdichtungsebene entsteht durch vollflächige Verklebung der Elemente untereinander. (Für diese Abdichtung ist kein anerkanntes Regelwerk vorhanden, daher Sonderbauweise) Bezüglich der Revisionierbarkeit ist es sinnvoll Öffnungen in Wänden und/oder Decken vorzusehen, da bei einem Schaden sonst die Metallkassette aufgeschnitten werden muss und die fertige Oberfläche somit zerstört wird.

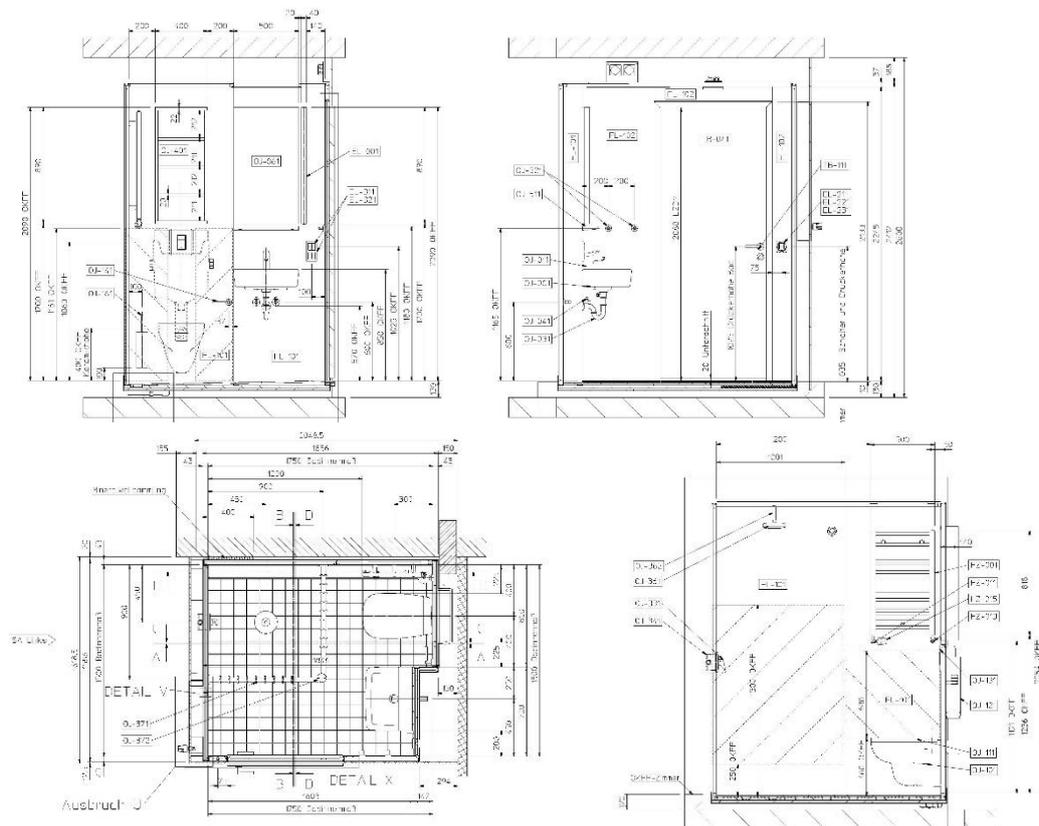


Abbildung 67: Montageplanung der Fertignasszellen - Wuppertal - Schnitt und Grundriss, [Deba Badsysteme GmbH]

Fertignasszellen aus Leichtbeton

Faserbetonzellen bestehen aus vorgefertigten Wand-/Boden- und Deckenelementen vorwiegend aus Faserbeton hergestellt. Sie überzeugen durch sehr schlanke, dünne Aufbauten (ca. 30mm) und sind mit 1,5-2,0 Tonnen Gewicht etwas schwerer als eine Stahlzelle. Die Wand wird im Werk gegossen, der innere Wandbelag nachträglich konventionell aufgebracht und die Rückseite mit einem dementsprechenden Gegenzug versehen. Der Bodenaufbau besteht aus einer ca. 50 mm starken gegossenen Schicht und wird als eine Art Wanne beispielsweise mit einer Aufkantung ausgeführt. Die Wandelemente benötigen im Gegensatz zu den Bodenelementen einen Gegenzug aufgrund der sehr geringen Stärke, da ansonsten die Gefahr besteht, dass sich die Wand im Laufe der Zeit verzieht. Die Wand wird mit einer Gesamtstärke von ca. 31 mm inklusive Fliesen in das Bodenelement eingesetzt und je nach Hersteller zementär verklebt und verbunden um eine umlaufende Abdichtungsebene zu schaffen, die Firma Kerapid hat hierzu ein zugelassenes System. Lediglich im Bereich der Türzargen kann es zu Problemstellen im Bereich der Abdichtungsebene kommen. Bei Anforderungen an den erhöhten Schallschutz ist darauf zu achten, dass ein Duschaufbau mit schallschutztechnischer Zulassung einzubauen ist. Oft besitzen die von den Herstellern favorisierten Duschaufbauten keine Zulassungen. Zugelassene Duschaufbausysteme bieten den Vorteil, dass sie schallschutztechnisch vom Rohbau entkoppelt sind und daher Schallübertragungen vermieden werden können. Auch in Hinblick auf den Brandschutz ist eine Ausführung gemäß Zulassung und eine eventuell erforderliche Brandschutzschottung möglich. Beim Einbau eines zulassungskonformen Duschaufbaus ist zu beachten, dass der Bodenablauf nicht bereits im Werk in die Fertignasszelle eingebaut werden kann, sondern dieser vor Ort zu montieren ist. Dazu werden die Fliesen im Bereich des Bodenablaufs ausgespart und nach dem Einbau des Bodenablaufs auf der Baustelle angearbeitet. Dies führt allerdings zu einer weiteren Schnittstelle auf der Baustelle. Deckenelemente hingegen können in zwei Varianten ausgeführt werden. Zum einen besteht die Möglichkeit eine Alupaneeldecke einzubauen, welche den Vorteil hat, dass sie vollkommen revisionierbar ist, hierbei werden aber oft die Schallschutzanforderungen nicht gewahrt werden können. Die Alternative besteht aus einem ebenfalls vorgefertigten, gegossenen Deckenelement mit aufgelegter Hohlraumbedämpfung aus Mineralwolle. Hier besteht die Möglichkeit Revisionsöffnungen einzuplanen um nachträgliche Wartungs- und Reparaturarbeiten

ten durchführen zu können. Im eingebauten Zustand wird vor die Zelle eine Vorwand gestellt. Die Stärke und Materialität kann je nach Schallschutzanforderung variieren. In der Regel wird eine 50er Konstruktion mit doppelter Beplankung ausgeführt. Zusammengefasst bietet die Faserbetonzelle aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades und der Genauigkeit Chancen für eine hohe Ausführungsqualität.

Fertignasszellen aus Faserbeton sind im Vergleich zu Stahlzellen meist teurer und müssen aufgrund des höheren Gewichtes parallel zum Rohbau eingebracht werden. Durch die komplizierte Leitungsverlegung von Abläufen unter der Zelle sind, je nach Deckenstärke, oft Kernbohrungen im Rohbau nötig welche wiederum nicht vorteilhaft in Kombination mit bestimmten Deckensystemen (z.B. einer Spannbetonhohlplattendecke) sind (siehe 4.a_1.1.1 elementierter Rohbau - Auswirkung_Zeit - Deckendurchbrüche / Brandschutz TGA-Durchführungen; Seite XXX).

Ein großer Vorteil von Leichtbetonzellen ist der bessere Schallschutz.

Planungsgrundlage/Festlegung

Bei der Planung der Projekte wurde sich, aufgrund der Bauweise mit hohem Vorfertigungsgrad, für eine Ausführung mit Fertignasszellen entschieden. Die Architekten hatten in diesem Bereich bereits Erfahrungen gesammelt und entschieden sich daher in Kombination mit Spannbetonhohlplattendecken und den damit verbundenen Abhängigkeiten für Stahlfertignasszellen. Sie sind zum einen leichter, zum anderen haben sie den großen Vorteil, dass der Duschablauf unterhalb der Zelle in den Schacht geleitet werden kann. Im Vergleich dazu ist die Leitungsverlegung bei Betonzellen komplizierter und führt in den meisten Fällen dazu, dass Kernbohrung in der Decke erfolgen müssen. Die Kombination mit Spannbeton-Hohlplatten, welche große Anforderungen an Kernbohrungen in der Planung mit sich bringen, erleichterten diese Entscheidung. Durch das geringere Gewicht ist die statische Berechnung einfacher aber dennoch höher als bei konventionellen Bädern. Bei der Ausführung von Fertignasszellen entfällt wie bereits oben beschrieben die konventionelle Ausführung mit Trockenbau, Estrich oder Aufbau aus XPS-Platten sowie der Verbundabdichtung und Fliesen, da die Zellen aus Stahlblechkassetten hergestellt werden, welche dann vor Ort oder bereits im Werk zusammengesetzt werden. Die Zellen müssen auf der Baustelle nur noch platziert, an den Steigestrang angeschlossen und zimmerseitig mit einer "Verkleidung" wie z.B. Vorsatzschalen oder GK-Platten versehen werden. Somit reduziert sich die Schnittstellenproblematik auf ein Minimum. Die Revisionsbarkeit der Zelle muss in der Planung bereits abgestimmt werden und wurde in dem Projekt im Deckenbereich angeordnet. Im Nachgang Revisionsöffnungen herzustellen wäre mit einem großen Aufwand verbunden.

Bei der Planung von Fertignasszellen müssen zunächst die heutigen Möglichkeiten erodiert werden und dem Bauherren und eventuell auch den Nutzern erläutert werden. Oftmals werden mit Fertignasszellen die historischen Zellen aus Kunststoff in Verbindung gebracht, welche wiederum negative Assoziationen auslösen. Die heutigen Fertignasszellen sind aber mit diesen nicht vergleichbar und im eingebauten Zustand nicht mehr mit den negativen optischen Qualitäten verbunden. Der große Vorteil von Fertignasszellen entsteht durch die werksseitige Vorfertigung und somit gleichbleibender, hoher Qualität.

Es stellt sich jedoch die Frage warum nur die Zelle als solche vorgefertigt wird und der Steigestrang bauseits ausgeführt wird, da dieses im Vorfeld zu einem erhöhten Abstimmungsbedarf führt. In Rücksprache mit den TGA Fachplanern wird deutlich, dass die Möglichkeit durchaus besteht die Steigestränge bereits an der Zelle zu integrieren, jedoch ein erhöhtes Schadenspotential bei Transport und Einbau besteht und somit ein zusätzlicher Schutz nötig wäre. Sollten Fertignasszellen inkl. Steigestrang gefertigt werden, müssten diese an der jeweiligen Stelle zusätzlich verstärkt werden und im unteren und oberen Bereich genügend Platz für Anpassungsarbeiten vorgesehen werden. Zusätzlich müssten die Deckendurchbrüche im Rohbau sehr genau ausgeführt werden um die Ableitung des Schmutzwassers und Zuleitungen passgenau anschließen zu können. Zu diesem Teilbereich existiert noch kein ausreichendes Angebot. Sonderlösungen zu vorgefertigten Steigesträngen werden teilweise bereits angeboten. Diese sind zur Zeit jedoch noch nicht wirtschaftlich im Rahmen des kostengünstigen Bauens nicht darstellbar.

Weiteren Abstimmungsbedarf gibt es im Bereich der Nachweisführung Schallschutz zwischen Hersteller und Planer. Hier müssen projektspezifisch der Trittschall sowie die Körperschallübertragung durch Wasserinstallationen nachgewiesen werden, sowie im Bereich der Stahlzellen auch der Luftschall der Sandwich-Wandelemente. Diese

Nachweise kann der Hersteller im Werk an der Musterzelle durchführen. Zusätzliche Problemstellung gibt es im Bereich der Abdichtungssysteme, da hier keine Zulassungen vorliegen. Hier müssen die Planer durch die Hersteller von der Verantwortung freigestellt werden, da es hier noch keine Anpassungen an die anerkannten Regeln der Technik gibt. Abdichtungssysteme von Stahlzellen werden im Schiffsbau zwar seit vielen Jahren praktiziert, dennoch wurde dieses System noch nicht adaptiert bzw. zugelassen für Gebäude.

Eine Option besteht in der Erweiterung der Fertizelle als Nasszelle für Bad und Küche. Der Bedarf an Privatsphäre in einem Badezimmer spielt hierbei eine essentielle Rolle. Innovative Raumkonstellationen wie zum Beispiel die Kombination des Bades mit der Küche gestalten sich in der Planung jedoch schwieriger als gedacht. Durch die Vorfertigung besteht die Möglichkeit an das Badmodul gekoppelt an die Küche zu planen und somit die jeweiligen Synergieeffekte zu nutzen und eine Fertizelle mit beiden Nutzungen in einem vorzufertigen. Je nach Grundrisstypologie ist dieses auch durchaus umsetzbar.

Im Wuppertaler Projekt wurden zu Beginn der Planung Varianten einer "Servicebox" entwickelt, welche platzsparend aus einem vorgefertigten System aus Bad und Küche in einem Raum bestand. Bauherr und BBSR haben das Potential in der Kopplung der Räume positiv gewertet und für eine Umsetzung der Idee plädiert. Dieser Entwurf konnte jedoch nicht umgesetzt werden, da die Planung auch nach intensiver Diskussion mit der Wohnbauförderung durch diese nicht freigegeben wurde. Als Argumentation gegen den Ansatz wurde vorgetragen, dass nicht akzeptiert werden kann, ein Badezimmer, Ort der Hygiene, mit einer Küche zu koppeln. Insbesondere wegen der diesbezüglichen Vorbehalte auch aus anderen Kulturkreisen wurde dieser Ansatz als nicht förderfähig im Sinne der Förderbestimmungen NRW gewertet.

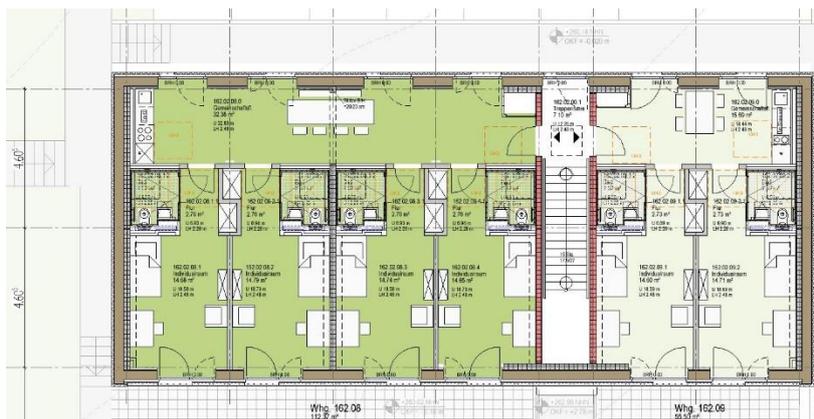


Abbildung 68: Finaler Grundriss Haus 162 2.OG, [ACMS Architekten GmbH]

Die untenstehenden Varianten zeigen die Planungsideen zur Kopplung von Küche und Bad. Hierbei wurde ein Modul mit Schiebetüren geplant, um zum einen die Badnutzung als solche (Schiebetür zum Zimmer geschlossen) und die Küchennutzung (Schiebetür zur Dusche geschlossen) zu verbinden. Hierdurch würden Verkehrsflächen durch gemeinsame Nutzung reduziert und die Chance zur Vorfertigung der Küche ausgenutzt. Das Waschbecken wurde neben der Küchenspüle angeordnet, um die Zu- und Ableitungen optimal auszunutzen. Die ursprüngliche Idee war es sogar, die Küchenspüle gleichzeitig als Waschbecken zu nutzen.



Abbildung 69: Grundrissvariante Haus 164 2.OG, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 70: Kopplung von Küche und Bad, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 71: Grundrissvariante Haus 168 2.OG und 1. OG, [ACMS Architekten GmbH]

Als weitere Variante wurde überlegt, dass Bad so platzsparend wie möglich zu gestalten und Toilette und Waschbecken gegenüberliegend anzuordnen mit der Dusche in der Mitte. So würde die Fläche des Bades auf ein Minimum reduziert und die Bewegungsflächen optimal ausgenutzt. Dieser Entwurf wurde aufgrund der Spritzwassergefahr und der prognostizierten, fehlenden Nutzerakzeptanz ebenfalls verworfen. Diese Ansätze stellen jedoch für zukünftige Planungen im Sinne des raumsparenden Bauens grundsätzlich als innovativ zu wertende Planungsvarianten dar.



Abbildung 72: Grundrissvariante Haus 162 1.OG, [ACMS Architekten GmbH]

Musterzelle

Nach vollständiger Vorabstimmung der Ausführung der Fertignasszelle ist es, durch den erhöhten Wiederholungsfaktor, sinnvoll eine Musterzelle vom Hersteller anfertigen zu lassen. So können Architekten und Fachplaner sowie der Bauherr mit dem Hersteller weitere Feinabstimmungen treffen und die auf dem Papier getroffenen Entscheidungen überprüfen.

Durchaus denkbar wäre auch eine Musterzelle vor Ort zur Abstimmung mit den beauftragten Firmen & Fachplanern, um den Bauablauf so reibungslos wie möglich zu gestalten. Da die Fertignasszellen allerdings einen sehr hohen Produktionsvorlauf benötigen, würde dieses nicht in den Zeitplan des Bauablaufes passen, es besteht jedoch die Möglichkeit, die bereits im Werk freigegebene Musterzelle zur Baustelle zu transportieren und dort zu platzieren, um weitere Abstimmungen vor Ort möglich zu machen.

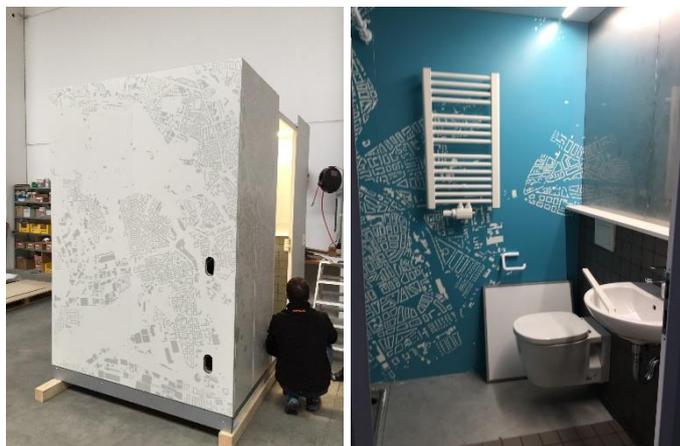


Abbildung 73: Musterzelle Hannover - SWH_Wilhelm-Busch-Straße, [ACMS Architekten GmbH]

Einbringung

Die Fertignasszellen werden im Werk mit allen Details produziert und dann zum Einbringungszeitpunkt an der Baustelle angeliefert. Die Einbringung selbst kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden, je nach Hersteller werden unterschiedliche Methoden favorisiert. Fertignasszellen können wahlweise in kompakter oder elementierter Form angeliefert werden. Die Kompakt-Bauweise ist besonders für den Einsatz in Neubauten geeignet. Der Transport und die Montage der komplett ausgestatteten Fertignasszellen erfolgt bei Betonzellen meist geschossweise

im Zuge des Rohbaus. Die leichteren Stahlzellen können unter der Voraussetzung eines entsprechenden Tragsystems der Rohbaustruktur (Skelettbauweise statt Schottenbauweise) auch nachträglich eingebracht werden. Fertignasszellen in elementierter Bauweise eignen sich besonders für den Einsatz in bestehenden Gebäuden. Die Größe der Einzelelemente richtet sich nach den baulichen Gegebenheiten. Die Elemente können durch vorhandene Verkehrswege an den Einsatzort transportiert werden.

In dem Projekt erfolgte die Einbringung, auf Wunsch der Hersteller, hausweise. So entstehen weniger Anfahrten für die Hersteller als bei einer geschossweisen Einbringung. Bei dem Projekt wurden in dem jeweiligen Geschoss provisorische Plattformen eingespannt auf welche dann die Nasszellen mithilfe von Sicherungsgurten vom LKW gehoben wurden. Von dort aus wurden sie dann im Geschoss verteilt. Zum Einbringungszeitpunkt sind an der Nasszelle bereits sämtliche Anschlüsse TGA sowie Vorbereitungen für die Heizkörper montiert. Im weiteren Bauablauf werden die Nasszellen dann an die richtige Position geschoben und im nächsten Schritt angeschlossen. Dieses führt wie bereits genannt zu deutlich weniger Gewerkeschnittstellen innerhalb der "Zelle". Auf der Baustelle sind jedoch mehr Abstimmungen der Vorgewerke wie zum Beispiel Trockenbau, Elektro und Sanitär nötig, um den Arbeitsablauf zwischen Vor- und Endpositionierung der Zelle nicht zu unterbrechen und diese Gewerke nicht zu behindern. Eine Alternative zur Einbringung im Rohbau bietet der nachträgliche Transport durch entsprechende Fassadenöffnungen.

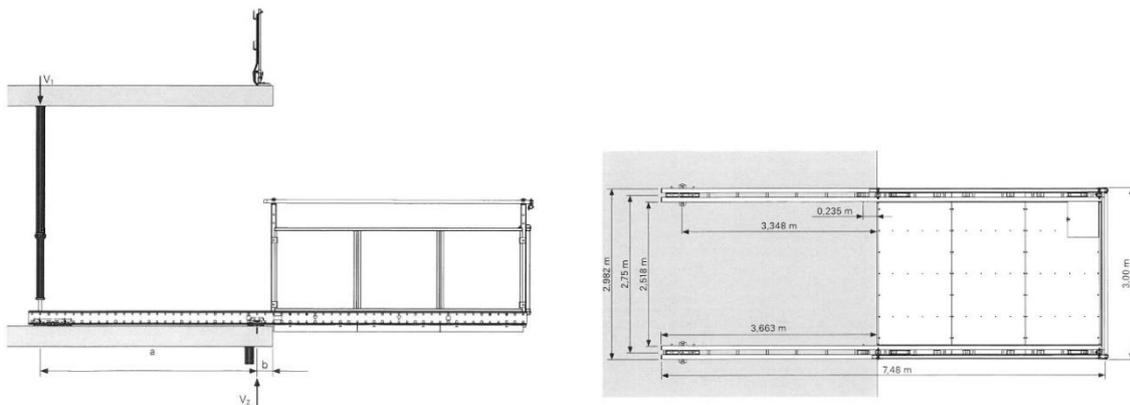


Abbildung 74: Einbringplattform Ansicht, [Peri, RCS MP 375] Seite 24

Abbildung 75: Einbringplattform Draufsicht, [Peri, RCS MP 375] Seite 17

Beim Wuppertaler Projekt wurde die Einbringung und der Einbringungszeitpunkt mehrfach mit dem Hersteller diskutiert. Sofern nach Fertigstellung des Rohbaus die Zellen über angehängte Arbeitsbühnen eingebracht werden, macht dies nur Sinn, wenn mehrere Zellen über eine Bühne eingebracht werden können. In den Häusern 160-166 konnten je Bühne "nur" zwei Fertignasszellen eingebracht werden, welches den Aufwand kostenintensiver machte. Da der Hersteller die Einbringung über eine alternative Einbringung wie zum Beispiel Ebenen oder Container an einem Kran abgelehnt hat, wurde sich jedoch für die teurere Einbringung entschieden. Zudem mussten im Erdgeschoss temporäre Holzpodeste gebaut werden, da die umlaufende Betonaufkantung eine Einbringung durch Arbeitsbühnen unmöglich machte. Die Einbringung führte zu zusätzlichen Kosten von ca. 11.000,00 €.



Abbildung 76: Baustelle WU - Einbringungsplattform Fertignasszellen, [ACMS Architekten GmbH], 21.08.2018

Abbildung 77: Baustelle WU - Anbringung der Einbringungsplattform der Fertignasszellen, [ACMS Architekten GmbH], 21.08.2018

Flexibilität

Fertignasszellen bieten eine große Bandbreite an Gestaltungsmöglichkeiten hinsichtlich der Wandoberflächen und Grundrisstypologie.

Bei den Wandoberflächen ist es je nach Hersteller möglich die glatten Blechoberflächen mit Folien zu gestalten und diese zusätzlich mit Grafiken zu individualisieren. Auch Fliesenoptik mithilfe von Relief-Folien bieten eine Alternative zur Standard Fliesenoberfläche, welche aber grundsätzlich auch als Wandoberfläche in Fertignasszellen gewählt werden kann.

Der Grundriss der Nasszelle kann auf die jeweilige Nutzung individuell angepasst werden, sollte aber so konzipiert sein, dass eine Vervielfältigung möglich ist, da die Werkzeuge und Maschinen im Werk genau auf diesen Typ abgestimmt werden. Dieses wiederum macht jedoch die Problematik deutlich, dass die Flexibilität im Grundriss insoweit eingeschränkt ist, als dass nur wenige Typen möglich sind. Gebäuden, welche von der Art her hohe Wiederholungen aufweisen wie Wohnheime, Hotels, Boardinghäuser etc. sind für eine solche Ausführung prädestiniert. Dabei ist auf möglichst exakte Wiederholung zu achten, da bereits kleine Änderungen die Wirtschaftlichkeit gefährden können.

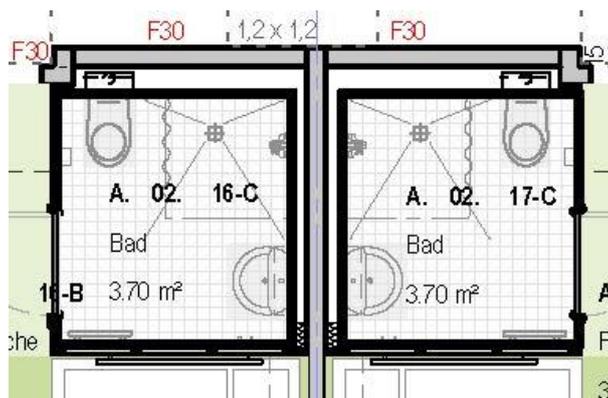


Abbildung 78 Hannover - SWH_Wilhelm-Busch-Straße, Beispiel eingebaute Fertignasszelle, [ACMS Architekten GmbH], 02.11.2017

Abbildung 79: Grundriss - Fertignasszelle gespiegelt, nebeneinander, [ACMS Architekten GmbH]

Die Anlieferung auf die Baustelle erfolgt als Komplettbad, mit vollständiger Ausstattung oder in vorgefertigten Einzelelementen zur Endmontage und Ausstattung auf der Baustelle.

Der Rückbau der Zellen ist zwar möglich aber doch recht kompliziert da neben der Entfernung des Estrichs auch Öffnungen in der Fassade notwendig sind. Dieses resultiert aus dem barrierefreien, schwellenlosen Einbau und

dem damit verbundenen Bodenaufbau. Durch den, nach der Platzierung der Zellen eingebrachten, Zementestrich ist es nicht mehr möglich, die Zellen im Nachgang umzuplatzieren oder in einem Stück zu entfernen. Hier müsste über einen anderen Bodenaufbau zum Beispiel mit Trockenestrich nachgedacht werden. Eine andere Variante ist die komplette Zerlegung der Zelle. Dadurch ist die in der Theorie nicht ortsgebundene Zelle in Wirklichkeit nicht wirklich im Betrieb flexibel. Allerdings ist bei umfangreichen Umstrukturierungen eines Gebäudes die weitere Verwendung der Sanitärzelle nicht ausgeschlossen.

Ebenfalls schwierig ist die nachträgliche Renovierung und Anpassung der Zellen, ein räumlicher Umbau ist so gut wie nicht möglich. Es ist aber durchaus denkbar im Nachgang die Sanitärobjekte auszutauschen. Die Wand- und Bodenoberflächen sind je nach Bauweise nur schwer wechselbar. Daher sollte eine möglichst neutrale Gestaltung gewählt werden, welche unterschiedliche Nutzergruppen emotional anspricht.

Zeit

Planungszeit

Die Planungszeit spielt bei Fertignasszellen eine übergeordnete Rolle, da in dieser alle Entscheidungen bezüglich Grundriss, Aufbau und Ausstattung getroffen werden müssen. Es findet hier, im Vergleich zur konventionellen Bauweise, eine Verlagerung der Kapazitäten in die Entwurfsplanung statt um ausreichend Zeit für Freigaben und Fertigung zu erreichen, dieses hat für die Planer Vor- und Nachteile. Im Schnitt bedarf die Planung und technische Klärung bis zur Musterzelle ca. 12-16 Monate Vorlauf und ist daher sehr zeitintensiv. Durch die Herstellung einer Musterzelle wird mehr Zeit benötigt, da die Gesamtproduktion erst im Anschluss nach allen Freigaben erfolgen kann. Der Hersteller selbst benötigt aber ebenfalls einen Vorlauf um die nötigen Werkzeuge für die Produktion herzustellen.

Im besten Fall sollten an der Musterzelle nur noch Kleinigkeiten abgeändert werden bzw. im Vorhinein unklare Punkte bereits geklärt sein um hier Zeit einzusparen. Die Planung einer Fertignasszelle ist mit den unterschiedlichen Gewerkeschnittstellen "6 Gewerke auf 4qm" sehr intensiv und muss durch alle Gewerke und Planer besonders abgestimmt werden. Durch die Abstimmungen und Musterzelle im Vorhinein wird eine hohe Qualität gewährleistet. Zusätzlicher Abstimmungsbedarf besteht im Bereich der Nachweise Schallschutz welche Planer und Hersteller in Zusammenarbeit erstellen müssen. Hierbei ist der Luftschall der Sandwich Elemente, der Trittschall sowie die Körperschallübertragung durch Wasserinstallationen zu berechnen.

Die Logistik ist ebenfalls mit einzuplanen, um auf den Bauablauf zu reagieren, sollten die fertigen Nasszellen rechtzeitig hergestellt und zwischengelagert werden, so kann der Einbringungszeitpunkt flexibel gewählt werden. Es empfiehlt sich diesbezüglich im Vorhinein Abstimmungen mit dem Hersteller zu treffen und die Möglichkeiten auszuloten.

Bauzeit

Die Bauzeit ist ein wesentlicher Treiber bei der Entscheidung für den Bau mit Fertignasszellen. Der Bauablauf soll optimiert und durch die vorgefertigten Bauteile eine hohe Qualität und kurze Montagezeiten gewährleistet werden. Diese Prozessoptimierung führt zu einer Bauzeitverkürzung, welche zum einen durch die oben genannte Verlagerung in die Planungsphase und zum anderen durch die vorgefertigte und modularisierte Bauweise erreicht wird. Der Ablauf auf der Baustelle besteht aus Lieferung, Einbringung, Positionierung und Anschließen der Nasszellen, somit wird der sonst auf der Baustelle intensivste Bereich optimiert. Die Vorlaufzeiten von der Herstellung (inklusive Musterzelle) zur Lieferung betragen ca. 14-16 Wochen. Durch die im Rahmen der Gebäudeerrichtung zeitgleich eingebrachten Fertignasszellen inkl. vorbereiteter Steigestränge lässt sich auch der Zeitraum des inneren Ausbaus maßgeblich verkürzen. Statt konventionell 10 Monate lässt sich der Innenausbau auf 6 Monate reduzieren. Vorgefertigte Bauteile garantieren eine hohe Qualität und kurze Montagezeiten, dieses entlastet den Baustellenablauf. Die Zusammenfassung von bis zu zehn Gewerken reduziert den Abstimmungsaufwand und schafft Sicherheit in der Bauabwicklung. Kompaktbäder und auch elementierte Bäder werden im Werk bereits weitestgehend mit allen erforderlichen Sanitär-, Heizungs und Elektroinstallationen vorproduziert und ausgeliefert. Diese werksseitige Vorproduktion lässt eine bessere Qualitätskontrolle zu und schafft zudem einen Zeitvorteil im Rahmen der Inbetriebnahme durch eine Reduktion der notwendigen Zeiträume für Mängelbeseitigung.

Die Einbringung kann wie oben beschrieben geschossweise oder hausweise erfolgen. Bei dem Projekt wurden die Nasszellen im Rohbau hausweise eingebracht und im Zimmer vorpositioniert, daraufhin folgte die Montage der Fassade und parallel der Innenausbau. Nach Endpositionierung der Zellen konnte die zimmerseitige Verkleidung durch Gipskartonplatten oder Vorsatzschalen ausgeführt werden.



Abbildung 80: Musterung Fertignasszelle Wuppertal, [ACMS Architekten GmbH], 11.20.2017

Baukosten

Fertignasszellen sind im Vergleich zu konventionellen Bädern bestenfalls neutral in den Baukosten und rechnen sich laut Architekteneinschätzung erst ab einer Fertigung von ca. 50 - 100 Stück. Hierbei ist relevant, dass die Bäder keine Detailunterschiede aufweisen dürfen, da sonst eine komplett serielle Fertigung erschwert wird. Die Hersteller fertigen zunächst Werkzeuge an, welche genau auf die Planung abgestimmt sind. Daher würden Änderungen ebenfalls Anpassungen am Werkzeug oder gar neue Werkzeuge erfordern, welche die Zellen unwirtschaftlich macht.

Bei dem Projekt wurden die Zellen öffentlich und herstellernerneutral ausgeschrieben, was eine verlässliche Kostenprognose erschwert. Die Entwurfsplanung dient als Grundlage zur Ausschreibung und muss dann in Zusammenarbeit mit dem Hersteller auf das System angepasst werden. Es ist aber bei einer guten Vorplanung davon auszugehen, dass der Angebotspreis gehalten wird und nach finaler Abstimmung vor der Produktion eine Festpreisgarantie besteht, da es voraussichtlich keine Eventualitäten in dem Prozess geben wird.

Beim Wuppertaler Projekt kam es zu Nachträgen im Bereich der Einbringung, da es wie oben bereits beschrieben aufgrund der Planungsumstellungen im Rohbau mehr bzw. modifizierte Einbringpunkte als geplant gab.

Ökologie

Im Bereich der Ökobilanzierung zum Thema Treibhauspotential fallen die Fertignasszellen mit in die Kosten-
gruppe 340 unter den Bereich Innenwände welche ca. 30 % der Ökobilanz des Gebäudes ausmachen, davon ca. 9% durch die Fertignasszellen. Die Zelle wird als ganzes Modul betrachtet und ist im Recyclingpotential, trotz erhöhtem Energieverbrauch in der Herstellung, besser anzusetzen als ein konventionelles Bad, da die Stahlsandwich-elemente gut trennbar und der Rohstoff Stahl wieder verwendbar ist. Konventionelle Gipskartonwände in Kombination mit Abdichtungssystemen und keramischen Belägen hingegen können zum größten Teil nicht weiter verwertet werden und führen zu einem hohen Abfallaufkommen. Jedoch sollte, im Sinne einer guten Trennbarkeit, darauf geachtet werden, den Anteil an geklebten Verbindungen möglichst gering zu halten und somit ebenfalls Schadstoffe durch Klebstoff zu minimieren. Gerade beim dem Thema Klebstoff findet man aus ökologischer Sicht keine geeignete auf der Baustelle zu verwendende Alternative. Durch die Verwendung des Produktes im Werk kann dieses Bauprodukt außer Acht gelassen werden, da es eine Ausnahme bildet und nicht auf der Baustelle ausgeführt wird. Diese Abweichung muss allerdings dokumentiert und mit der Zertifizierung abgestimmt sein.

Durch die Vorfertigung entsteht der große Vorteil, dass die Produktsysteme und Materialver- und unverträglichkeiten kontrolliert geprüft werden können.

Bei der Wiederverwendbarkeit von Sanitäröbekten gibt es keinen Unterschied zu konventionellen Bädern, da die Objekte und deren Lebensdauer vergleichbar sind. In der Regel werden diese nach etlichen Jahren gegen neue ausgetauscht, die Häufigkeit steht hierbei immer in Abhängigkeit von den Nutzern. Fertignasszellen können ebenfalls mit Fliesen versehen werden, welche sich, aus den oben genannten Gründen bzgl. der Trennbarkeit jedoch negativ auf die Nachhaltigkeit auswirken. Die Chance eine Oberfläche durch frei gestaltbare Bleche mit Folienkaschierung sollte aus gestalterischer und ökologischer Sicht genutzt werden. Es werden individualisierte Oberflächen geschaffen, welche eine andere Ästhetik besitzen und zu spannenden Innenraumkonzepten führen. Zusätzlich werden die Wartungsfugen reduziert was sich als Einsparpotential in den Betriebskosten niederschlägt.

Bei der Herstellung von Fertignasszellen fällt aufgrund der Vorfertigung und somit Vorplanung weniger Verschnitt an, welches sich positiv auf die Umwelt auswirkt. Übergeordnete Kriterien wie zum Beispiel Baustellen Emissionen und Arbeitsbedingungen werden durch die Vorfertigung verbessert. Der auf der Baustelle anfallende Lärm und Staub wird reduziert und die Arbeitsbedingungen im Werk sind kontrolliert. Es entstehen ökologisch sortenreine Abfälle, welche direkt ab Werk fachgerecht entsorgt werden können.

Die Herstellungsphase der Fertignasszellen im Gesamten wird in der DGNB- Ökobilanz nicht betrachtet. Maßgebend ist hier lediglich die Herstellung der einzelnen Bestandteile wie zum Beispiel die Herstellung des Blechs für die Wände sowie Decken und Fliesen etc. Diese werden in dem jeweiligen Datensatz erfasst und mit der entsprechenden Menge der Fertignasszellen multipliziert, um somit die Umweltwirkung zu berechnen.

Da in den ökobau.dat Datensätzen nicht davon ausgegangen wird, dass Bauteile außerhalb der Baustelle bereits zusammengefügt werden, wird hierfür auch der Transport nicht berücksichtigt.

Für größere Bauteile scheint es grundsätzlich sinnvoll, die einzelnen Komponenten im Werk vorzufertigen, auf die Baustelle zu bringen und diese dann vor Ort zusammenzufügen, um die notwendigen Lkw- Fahrten zu minimieren. Dieser Teil bzw. der Transport ist kein Bestandteil der Ökobilanz- Betrachtung. Für die sehr kompakten, komplett ausgebauten Nasszellen ergibt sich jedoch eine andere Bewertung, da hier in Modul sehr wenig Leerraum transportiert werden muss.

Die technische Gebäudeausrüstung spielt bei der Ökobilanzierung eine untergeordnete Rolle, welche pauschal überschlagen wird. Lediglich größere Komponenten, wie eine Fernwärmeübergabestation werden mit in die Bilanzierung eingerechnet. Daher fällt dieser Punkt bei Betrachtung der Nasszellen raus.

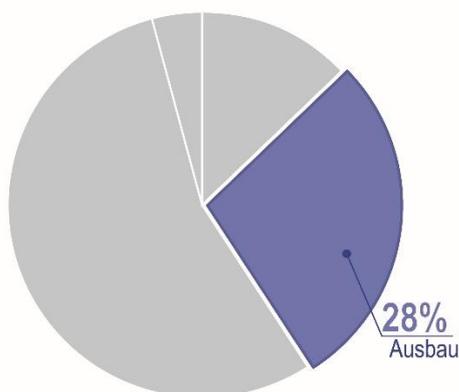


Abbildung 81: Diagramm Anteil Treibhauspotential des Ausbaus, [Hochschule Bochum]



AUSWIRKUNG

Zeit

Der Zeitablauf auf der Baustelle ist abhängig von der Abstimmung mit dem Rohbauer. Durch die Bauweise mit vorgefertigten Elementen greift man in bewährte Bauabläufe ein, da die Nasszellen vor der luftdichten Hülle und der Freigabe des Rohbaus für Folgegewerke eingebracht werden. Bei einer Verzögerung der Rohbauarbeiten müssen die Zellen zwischengelagert werden, was zu zusätzlichen Kosten führen kann. Daher ist eine enge Abstimmung zwischen Planern, Herstellern und Rohbauer in dieser Phase essentiell. Die Dauer der Einbringung der Nasszellen pro Haus belaufen sich je nach Anzahl auf ca. 2 Wochen. Durch die baulichen Abhängigkeiten können die Zellen jedoch wie oben beschrieben nicht auf die Endposition gestellt werden. Hierzu waren noch Vorleistungen vom Lüftungsbauer oberhalb der Zelle und Vorleistungen des Trockenbauers nötig, da zum Einbringungszeitpunkt die Gebäudehülle noch nicht geschlossen ist. Durch die Zwischenposition ergeben sich jedoch ungewollte Schnittstellen mit dem Elektriker, der seine Trassen nicht in den Bereichen auf dem Rohboden montieren kann. Hier können in der Planung, mittels Optimierung der Zwischenposition durch Absprachen zwischen Architekten und Fachplanern, etwaige Kollisionen vermieden werden. Im Anschluss an die notwendigen Vorleistungen werden die Nasszellen an die Endposition geschoben. Hier besteht inkl. Schallentkopplung mittels Elastomerauflager ein Zeitaufwand von ca. 2 Wochen pro Haus.

Basierend auf einer konventionellen Bauweise mit Massivdecken aus Stahlbeton und tragenden Wänden aus Mauerwerk sowie einem konventionellen Innenausbau mit vor Ort erstellten Bädern ergibt sich eine Bauzeit, inkl. der erforderlichen Zeiträume für die Inbetriebnahme, in Summe von ca. 22,5 Monaten. Bei Ausnutzung aller Optimierungspotentiale der Vorfertigung ist eine Bauzeitverkürzung von ca. 10 Monaten auf nunmehr lediglich 12 Monate zu erwarten. Die notwendigen umfangreicheren Planungsvorbereitungen führen jedoch zu einem erhöhten Ressourcenbedarf in der Planungs- und Projektvorbereitungsphase von ca. 3 Monaten.

Im Themenbereich "4.a_1.2 Vergleich Terminplanung mit tatsächlicher Bauzeit" werden die einzelnen Abläufe detailliert beschrieben.

Kosten

Betrachtet man die Fertignasszelle hinsichtlich der Kosten, wird deutlich dass diese aufgrund der eingeschränkten Anbieter Anzahl in Deutschland zunächst teurer als ein Badezimmer in konventioneller Bauweise ist. Werden jedoch wie in diesem Variowohnen Projekt eine hohe Stückzahl von Bädern benötigt, welche die gleichen Anforderungen haben, wird die Nasszelle als Modul rentabel. Da es wie oben bereits erwähnt jedoch Abhängigkeiten zum Bauablauf gibt, muss dieser vorher geklärt sein. Sobald es Verschiebungen im Bauzeitenplan gibt, können zusätzlich Lagerkosten der Fertignasszellenhersteller anfallen. Durch die Einbringung in den Rohbau befindet sich ein hoher Wert im Gebäude ohne dass der Verschluss gesichert ist. Daher sollte bedacht werden, dass das Risiko nach Einbringung der Zelle bis zur Abnahme beim Auftragnehmer liegt. Da eine Abnahme aber erst im bezugsfertigen Zustand durchgeführt werden kann, sollten die Zellen so gut wie möglich vor Schäden oder auch Vandalismus geschützt sein. Im Projekt wurden die Nasszellen mit Bautüren angeliefert und eingebracht, welche erst nach Fertigstellung des Innenausbaus getauscht wurden.

Ökologie

Generell ist festzustellen, dass auch im Bereich der Badplanung das Thema Nachhaltigkeit immer mehr von Bedeutung ist. Für die Ausstattung wird ein großes Spektrum an Produkten und Raumkonzepten angeboten, welche die Zielsetzung Nachhaltigkeit verfolgen. Dieses Spektrum reicht von energie- und wassersparenden Produkten über umweltfreundliche Materialien, bis hin zu ressourcenschonenden Herstellungsverfahren.

Ökonomisch und ökologisch relevant ist auch eine zeitlose Gestaltung und eine langlebige Ausstattung. Bäder sollten so gestaltet sein, dass diese Jahrzehnte lang gerne genutzt werden und sich an wechselnde Bedürfnisse anpassen um den Lebenszyklus der Produkte komplett auszuschöpfen.

Nach diesem Lebenszyklus entsteht für die Forscher die Frage der Zurückführung zum Ursprung. Rücksprachen mit verschiedenen Herstellern von Fertignasszellen haben ergeben, dass bisher keine Entsorgungskonzepte oder nachträgliche Recyclingansätze entwickelt wurden. Sie sehen aber durchaus die Möglichkeit hier eine Rücknahmelogik zu entwickeln und dieses Potential zu nutzen.



FAZIT

Zusammenfassend ist die Grundidee Bäder in Form von Fertignasszellen herzustellen positiv zu werten. Die Qualitätsverbesserung und verkürzte Baustellenabläufe bringen maßgebliche Vorteile. Finanzielle Vorteile sind in der zurzeit praktizierten Umsetzung schwer und in den meisten Fällen erst ab einer Stückzahl von ca. 100 Einheiten realisierbar.

Das Potential dieses innovativen Konzepts ist in der momentan praktizierten Weise jedoch noch nicht ausgeschöpft. Durch den hohen spezifischen Planungsaufwand auf Seiten der Planer und Hersteller kommt es nur zu Verschiebungen zwischen Planungs- und Bauzeit, jedoch zu keinen ganzheitlichen Ablaufverkürzungen. Die Vorlaufzeiten sind sehr hoch und die Erstellung einer Musterzelle bedeutet zusätzlichen Zeitverlust und ist daher kritisch zu sehen. Es ist zu empfehlen, Bautypen als ganzheitliche Lösung zu finden, da im kosten- und raumsparenden Bauen nur geringe Grundrissvarianten möglich sind. Vorstellbar ist eine Art Katalog zu entwickeln aus welchem die Fertignasszelle auf vorgegebenen Plattformen zusammengesetzt werden kann. So werden Kosten im Herstellungsprozess eingespart und der Planungs- und Zeitaufwand reduziert. Ähnlich einem bei den Fahrzeugherstellern verwendeten Konfigurator können dann für die Bauvorhaben individuell gestaltete Typenbäder abgerufen werden. So könnte auch die Herstellung einer Musterzelle entfallen, da diese bereits beim Hersteller als Prototyp gefertigt wurde.

Außerdem sollte die Vorfertigung des Schachtes integriert werden, um hier Schnittstellen zu reduzieren und den Geräuschenstehungsfaktor im Schacht besser zu regulieren. So könnten auch die zurzeit noch notwendigen vielfältigen projektspezifischen Anpassungen zur Erreichung eines hochwertigen Schallschutzes ggf. reduziert werden.

Ökologisch betrachtet sollte man die Systemauswahl Stahl nochmal hinterfragen, da dieser zwar sehr gut recycelbar jedoch in Zusammenhang mit den verklebten Verbindungen und der Füllung im Nachgang schwer trennbar ist. Hier wäre es sinnvoll ein Recyclingkonzept durch den Hersteller zu erreichen, um die Materialien wieder an seinen Ursprung zu bringen und weiter zu verwerten. Hier bieten sich in der Entwicklung befindliche Holzbausystemlösungen grundsätzliche Vorteile, jedoch geht dies meist mit größeren Wandstärken und damit einem Platzmehrbedarf einher.

Beim Transport der Zelle kann man Vorteile in unterschiedlichen Ansätzen sehen. Zum einen die Segmentfertigung um den Transport zu reduzieren, da eine Vollfertigung gleichzeitig den Transport von Luft bedeutet und mehr LKW-Ladungen benötigt werden. Zum anderen die Vollfertigung, da gerade kleine, bereits fix und fertig ausgebaute Einheiten für den Modulbau geeignet sind, bei welchen sehr wenig Luft transportiert und deutlich an Verpackung gespart wird, da alles durch die Zelle sicher verpackt ist. Aufgrund der geringen Raumgröße wird diesem Ansatz - im Gegensatz bei der Erstellung kompletter Wohnräume - ein größeres Potential zugeschrieben.

4.a_1.1 Holztafelemente



RELEVANZ - Gebäudehülle vertikal

Qualität

Die vertikale Gebäudehülle bzw. Außenwand bildet den Wetterschutz und hat somit eine hohe Relevanz für das Gebäude. Aus diesem Grund wird an die äußere Bekleidungsschicht eine Vielzahl von bauphysikalischen, statischen und brandschutztechnischen Anforderungen gestellt, welche im Folgenden kurz näher definiert werden.

statischer Sicht werden Außenwände in „tragende“ und „nicht tragende Wände“ unterschieden. Nicht tragenden Außenwände müssen nur die vertikalen Lasten, welche aus dem Eigengewicht der Außenwandkonstruktion und gegebenenfalls Eislasten resultieren, sowie die Horizontallasten aus Wind und gegebenenfalls Erdbebeneinwirkungen an die Tragkonstruktion des Gebäudes weiterleiten. Dadurch sind "nicht tragende Außenwände" nicht für die Standsicherheit eines Gebäudes verantwortlich und können aus statischer Sicht jederzeit wieder entfernt oder geändert werden, was im Sinne der Flexibilität vorteilhaft ist. Da sie keine statische Funktion haben, müssen "nicht tragende Außenwände", welche bei einer Skelettbauweise und Schottenbauweise möglich sind, nur die bauphysikalischen Anforderungen an die Gebäudehülle und die gestalterische Ansprüche erfüllen.

"Tragende Außenwände" sind hingegen ein wichtiger Bestandteil des Gebäudetragwerks und müssen die statischen Anforderungen erfüllen. Neben den Vertikallasten aus dem Eigengewicht müssen sie zusätzlich die Lasten aus den Geschossen wie das Deckeneigengewicht, Verkehrs-, Schnee- und Eislasten abtragen und in die Gründung weiterleiten. Ebenso müssen bei aussteifenden Wänden die Horizontallasten aus Wind und gegebenenfalls aus Erdbeben abgetragen werden (vgl. [Fouad, 2013]. S. 546 / 547).

Die **äußere Wandbekleidung** ist vor allem thermischen und hygri-schen Einwirkungen ausgesetzt. Thermische Beanspruchungen der Außenwandbekleidung entstehen durch Sonneneinstrahlung, sowie tages- und jahreszeitlich wechselnden Außentemperaturen. Diese Temperaturschwankungen können zu Längenänderungen, deren Ausdehnungsmaß von dem Baustoff abhängig ist, und zu Verwölbungen führen, die bei der Konstruktion zu berücksichtigen sind. Ebenso können jahreszeitlich schwankende relative Außenluftfeuchten zu feuchtebedingten Längenänderungen der Bekleidung führen, deren Ausmaß ebenfalls vom Baustoff abhängig ist. Des Weiteren muss die Außenbekleidung Schlagregenbeanspruchung und im Winter Frost-Tau-Beanspruchungen stand halten, sowie eine Durchfeuchtung der Außenwand und des Gebäudes infolge von Schlagregenbeanspruchung verhindern (vgl. [Fouad, 2013]. S. 543-546).

Die Anforderungen an den **Mindestwärmeschutz von Außenbauteilen** ist in der DIN 4108-2 festgelegt. In dieser DIN sind die Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände R [(m² · K)/W] für den winterlichen Wärmeschutz angegeben, womit Tauwasserbildung und Schimmelpilzwachstum auf der Innenoberfläche der Außenwände verhindert werden sollen. Neben diesen Anforderungen sind außerdem die höheren Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz aus der Energieeinsparverordnung (EnEV) zu erfüllen. Zusätzlich fordert die EnEV, dass konstruktive Wärmebrücken in wirtschaftlich vertretbarem Maß möglichst wärmebrückenarm hergestellt werden (vgl. [Fouad, 2013]. S. 548 / 549).

In der DIN 4108-2 sind die **Anforderungen an die Luftdichtheit** der wärmedämmenden Gebäudehülle und damit auch der Außenwände und in der DIN 4108-7 Anforderungen sowie Planungs- und Ausführungsempfehlungen zur Luftdichtheit enthalten. Die Luftdichtheit wird ebenfalls in der Energieeinsparverordnung (EnEV) berücksichtigt. Mit einer möglichst luftdichten Gebäudehülle „sollen im Wesentlichen unnötige Wärmeverluste durch einen unkontrollierten bzw. ungewollten Luftwechsel durch die Gebäudehülle hindurch minimiert sowie ein schädlicher konvektiver Wasserdampftransport in bzw. durch das Außenbauteil verhindert werden.“ ([Fouad, 2013], S. 550) Damit eine luftdichte Gebäudehülle entsteht, müssen die Außenbauteile eine durchgehende luftdichte Schicht aufweisen. Baukonstruktiv ist dabei besonders auf die luftdichten Anschlüsse zwischen den einzelnen Bauteilen und den Durchstoßungspunkten in der Luftdichtheitsschicht, wie zum Beispiel durch Elektroinstallationen oder Lüftungsdurchführungen, zu achten und dauerhaft luftdicht auszubilden.

Die tatsächliche Luftdichtheit von Gebäuden beziehungsweise die tatsächliche Luftwechselrate n_{50} [1/h] bei einem Differenzdruck zwischen innen und außen von 50 Pa wird mithilfe des Differenzdruckverfahrens (Blower-Door-Test) gemäß der DIN EN 13829 gemessen. Dadurch kann die angenommene Luftwechselrate mit dem tatsächlichen Wert überprüft werden und mögliche Leckagen aufgefunden werden (vgl. [Fouad, 2013]. S. 550 / 551).

Die Mindestanforderungen an den **sommerlichen Wärmeschutz** und das Berechnungsverfahren für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes sind in der DIN 4108-2 festgelegt. Ebenfalls wird der sommerliche Wärmeschutz in der Energieeinsparverordnung (EnEV) berücksichtigt. Durch die Mindestanforderungen soll je nach Sommerklimaregion in Deutschland auch im Sommer ein behagliches Raumklima innerhalb von Gebäuden, ohne dass Energie für die Kühlung der Gebäude eingesetzt werden muss, erzielt werden. Für die Berechnung, die raumweise erfolgt, werden die Fensterfläche des Raumes sowie deren Orientierung und Neigung, der Energiedurchlassgrad der Verglasung, das Vorhandensein und die Wirksamkeit einer Sonnenschutzvorrichtung, das Verhältnis Fensterfläche zu Grundfläche des Raumes, die Lüftung, insbesondere in der zweiten Nachthälfte, das Vorhandensein interner Wärmequellen und die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Flächen berücksichtigt. Es ist nachzuweisen, dass der vorhandene Sonneneintragskennwert nicht den zulässigen Sonneneintragskennwert übersteigt (vgl. [Fouad, 2013]. S. 553 / 554).

Ein wesentlicher Faktor für die Ausführung von Außenwandbauteilen ist die Größe des **Fensterflächenanteils**. Neben den gestalterischen Auswirkungen bestimmt dieser vor allem auch die innerräumlichen Qualitäten sowohl in Bezug auf Tageslicht- und Ausblicksqualität aber auch im Hinblick auf die Gesamtenergiebilanz. Dabei kommt vor allem den technischen Qualitäten der eingesetzten Fenster und hier vornehmlich der Verglasung eine zentrale Bedeutung zu. Heutige moderne Verglasungen erlauben durch hohen Wärmeschutz mit niedrige Wärmedurchgangskoeffizienten von U-Werten von bis zu $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei gleichzeitig hohen Energiedurchlaßgraden von äußerer Energiestrahlung mit g-Werten von größer 0,5 eine gegenüber den opaken Fassadenanteilen bessere Energiebilanz. Auf den Ost-West und Südseiten sind damit negative äquivalente Wärmedurchgangskoeffizienten möglich. Somit wird über die Flächen mehr Energie in das Gebäude eingetragen als im Jahresdurchschnitt verloren geht. Auf Nordseiten kommen die Verglasungen zu ähnlich geringen Wärmeverlusten wie gut gedämmte opake Außenwandbauteile. Entscheidend für die Festlegung der maximal sinnfälligen Fensterflächenanteile ist daher mittlerweile der sommerliche Wärmeschutz. Ohne im Wohnungsbau aus Kostengründen bisher meist nicht gewünschten außenliegenden Sonnenschutz sind bei den üblichen Raumgrößen ca. 50% Verglasungsanteil bezogen auf die Außenwandfläche möglich und energetisch sinnvoll.

In DIN 4108-3 sind die Anforderungen an den **Schlagregenschutz** von Außenwandkonstruktionen geregelt. Die äußere Außenwandbekleidung ist so zu konstruieren, dass kein Regenwasser bei gleichzeitiger Windanströmung in die Außenwandkonstruktion eindringt (vgl. [Fouad, 2013]. S. 554).

Die Anforderungen an den **Feuchteschutz** von Außenwandkonstruktionen sind in der DIN 4108-2 (Oberflächentauwasser und Schimmelpilzbildung) und in der DIN 4108-3 (Tauwasserausfall im Bauteilinneren) festgelegt. Durch einen ausreichenden Feuchteschutz der Gebäudehülle soll Schimmelpilzwachstum und Oberflächentauwasserbildung auf der Innenoberfläche der Außenwandkonstruktion, sowie Tauwasserausfall im Bauteilinneren verhindert werden. Ein ausreichender Feuchteschutz soll durch die Einhaltung der Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände R [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] für den winterlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 und durch die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz in der EnEV erreicht werden. Dafür wird allerdings eine ausreichende Beheizung im Winter und eine regelmäßige Lüftung der Innenräume vorausgesetzt (vgl. [Fouad, 2013]. S. 557 / 558).

Die Mindestanforderungen an die Gebäudehülle zum **Schutz gegen Außenlärm**, der vor allem durch Straßenverkehr verursacht wird, sind in der DIN 4109 geregelt. Im Beiblatt 2 der DIN 4109 sind die Anforderungen an den erhöhten Schallschutz enthalten. Alle Außenwände, Fenster, Rollladenkästen und Dächer sind mit einer geeigneten Schalldämmung auszuführen, sodass die erforderliche Lärminderung für Wohn- und Aufenthaltsbereiche erreicht wird (vgl. [Fouad, 2013]. S. 560).

Die Anforderungen an den **Brandschutz** der Außenwandkonstruktionen für "normale" Gebäude (keine Anwendung von Sonderbauverordnungen), wie Wohn-, Büro- und Verwaltungsgebäude, werden in den jeweiligen Landesbauordnungen geregelt. In Anlehnung an die Musterbauverordnung wird zwischen den Gebäudeklassen 1 bis 5 unterschieden, die jeweils unterschiedliche Anforderungen an den Brandschutz haben (vgl. [Fouad, 2013], S. 563-570).

Gebäudeklasse	1	2	3	4	5
Gesamtfläche	≤ 400 m ²	≤ 400 m ²	-	-	-
Fläche einer Nutzungseinheit	-	-	-	≤ 400 m ²	-
Anzahl der Nutzungseinheiten	≤ 2	≤ 2	-	-	-
Brandschutzanforderungen	keine	FH	FH	HFH	FB

Abbildung 2-1 Gebäudeklassen nach MBO

Abbildung 82: Gebäudeklassen nach MBO, [Prof. Schlüter, C.], S. 86

Bauteil	Gebäudeklassen					MBO
	1	2	3	4	5	§2
Tragende Wände, Stützen	-	fh	fh	hf	fb	§ 27
Tragende Wände, Stützen im KG	fh	fh	fb	fb	fb	
Tragende Wände, Stützen im DG*	-	fh	fh	hf	fb	
Nichttragende Außenwände	-	-	-	nb oder fh	nb oder fh	§ 28
Trennwände	-	fh	fh ¹	hf	fb	§ 29
Decken	-	fh	fh	hf	fb	§ 31
Decken im KG	fh	fh	fb	fb	fb	
Decken im DG*	-	fh	fh	hf	fb	
Brandwand, Brandersatzwand	hf ²	hf ²	hf ²	hf + M	hf + M	§ 30

Quelle: Werthier, Gräfe, Stein, Merk- Quadriga 3/2015

fh – feuerhemmend
 hf - hochfeuerhemmend
 fb - feuerbeständig
 M - mechanische Beanspruchung
 nb - nicht brennbar

* - wenn Aufenthaltsräume darüber möglich sind.

1) - gilt nicht für Wohngebäude

2) - Gebäudeabschlusswand in F30/ F90 Bauweise

Vgl. Bauregelliste A Teil 1
 Anlage 0.1.1 und Anlage 0.1.2
 – Ausgabe 2015/2

Abbildung 83: Bauordnungsrechtliche Rahmenbedingungen für den Holzbau, [Prof. Schlüter, C.], S. 96

In allen Gebäudeklassen besteht hierbei ein wesentlicher Unterschied zwischen tragenden und nichttragenden Außenwänden. Durch die bei tragenden Konstruktionen deutlich höheren einzuhaltenen Feuerwiderstandsklassen sind vor allem Holzbaustoffe wenn überhaupt meist nur mit entsprechenden Zusatzmaßnahmen möglich (z.B. Kapselkriterium nach Holzbaurichtlinie). Dies macht den Einsatz von Holzwerkstoffen unwirtschaftlicher.

Für nicht tragende Außenwand Konstruktionen werden erst ab Gebäudeklasse 3 (im Wohnungsbau somit meist ab dem vierten Geschoss) Anforderungen definiert. Hier wird entweder einen Nicht Brennbarkeit oder alternativ eine Feuerhemmende Ausführung vorgeschrieben. letzteres ist auch mit Holzbaukonstruktionen vor allem Holztafelwänden mit beidseitigen Holzwerkstoffverkleidungen ohne Zusatzmaßnahmen leicht erreichbar (siehe DIN 4102). Die in den meisten Landesbauordnungen vorhandenen zusätzlichen Anforderungen an einzelne Schichten des Aufbaus (Oberflächen und Dämmstoffe) gilt es aber zusätzlich zu beachten. Ohne gesonderte - und im Rahmen von Brandschutzkonzepten zu erzielende - Befreiungen können für die Oberflächen und Dämmstoffe dieser Wandkonstruktionen keine reinen Holzwerkstoffe eingesetzt werden.

Vor allem der Einsatz von Holz als Außenwandbekleidung und damit sichtbarem Wetterschutz ist ab Gebäudeklasse 4 zurzeit in allen Bundesländern nicht gestattet. Die vereinzelt vorhandenen gebauten Beispiele sowie auch die Ausführung im Projekt in Bochum beruhen auf Ausnahmetatbeständen und gesonderten Befreiungen die auf Basis von Forschungsberichten sowie einer schweizerischen Richtlinie (Lignum-Dokumentation Brandschutz; 7.1 Außenwände - Konstruktion und Bekleidungen, 1. Auflage, Januar 2009).

Zusätzlich gibt es **Spezifische Anforderungen an hinterlüftete Außenwandbekleidungen** und die **Erfordernis von Brandsperrern bei hinterlüfteten Außenwandkonstruktionen**. Die Anforderungen an Außenwandbekleidungen regeln die Klassifizierung der Baustoffe und sind in jedem Bundesland separat geregelt (durch entsprechende technische Ergänzungen der DIN 18516 im Rahmen der Veröffentlichung der eingeführten technischen Baubestimmungen). Das Erfordernis von Brandsperrern regeln die Begrenzung der Brandausbreitung im Hinterlüftungsraum. ([Fouad, 2013] S. 563-570)

Des Weiteren werden **gestalterische Anforderungen** an die vertikale Gebäudehülle gestellt. Die Oberflächenqualität beziehungsweise die Fassadenmaterialität der Außenwandkonstruktion sowie die Fassadengestaltung der vertikalen Gebäudehülle haben gestalterisch eine besondere Relevanz, da sie die Präsenz und das Erscheinungsbild eines Gebäudes vorgeben. Außerdem bietet die Fassadenfläche das Potential zusätzliche Synergien bei der Gestaltung zu benutzen. So kann beispielsweise durch die Integration von Photovoltaikmodulen oder Solarthermie in die Fassadenfläche zusätzlich Energie produziert werden, eine Fassadenbegrünung führt zur Produktion von sauberer Luft.

Zusätzlich wird die Qualität der Außenwandkonstruktion, wie bei der Rohbaukonstruktion von der Maßhaltigkeit bestimmt. Die DIN 18202 - Toleranzen im Hochbau - Bauwerke legt die zulässigen Maßtoleranzen für den Hochbau fest. (vgl. "1.1.1 elementierter Rohbau - RELEVANZ, konventioneller Rohbau")

Flexibilität

Änderungen an der Fassadenoberfläche beziehungsweise an der Außenwand können sich während der Lebensdauer eines Gebäudes durch sich ändernde Anforderungen ergeben. Nutzungsänderungen können zum Beispiel zu erforderlichen Änderungen an den Fassadenöffnungen (Fenster und Türen) führen. Die Möglichkeiten sowie der Zeit- und Kostenaufwand ist abhängig davon ob die Konstruktion aus einer "tragenden" oder "nicht tragenden" Außenwand besteht. Die statische Eigenschaft einer Wand bestimmt somit die Flexibilität beziehungsweise das Umnutzungspotential einer Außenwand.

Desweiteren können geänderte technische und bauphysikalische Anforderungen, wie zum Beispiel der erforderliche Dämmstandard und Wärmeschutz, eine Änderung der Außenwandkonstruktion erfordern. Weiterhin kann die Gestaltung und somit das Image des Gebäudes zu einer Änderung an der Fassade beziehungsweise der Fassadenmaterialität führen.

Zeit

Planungszeit

Wie die unter "Qualität" beschriebenen Anforderungen an einer Außenwand zeigen, gibt es viele Aspekte die bei der konstruktiven Planung einer Außenwand zu berücksichtigen sind. Diese Komplexität, sowie die erforderlichen Nachweise und Abstimmungen durch die verschiedenen Fachplaner wie Architekt, Bauphysiker, Statiker, TGA und Brandschutzplaner, führt zu hohen Planungsaufwendungen. Mit den folgenden Fachplanern sind bei der Planung einer Außenwandkonstruktion Abstimmungen und gegebenenfalls Nachweise zu erbringen.

- Bauphysiker - Nachweis / Abstimmung bauphysikalischer Aspekte (Dichtigkeit - Luft / Wind / Feuchtigkeit, Schallschutz, winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz)
- Fachplaner Brandschutz - Nachweis / Abstimmung Brandschutz
- ggf. Statiker - Nachweis / Abstimmung bei tragender Außenwand (sofern die Statik nicht erst in der Montageplanung durch das ausführende Unternehmen erfolgt)
- ggf. TGA-Fachplaner - Abstimmung bei integrierter Haustechnik (TGA-Durchdringungen müssen Anforderungen an Brandschutz, Wärmeschutz und Luftdichtheit erfüllen)

Neben der Planung sind auch bei der Umsetzung mehrere Gewerke beteiligt, wodurch sich viele Schnittstellen ergeben. Das führt wiederum zu einer hohen Komplexität und Fehlerpotential.

Bauzeit

Die Herstellung der Außenwände macht ca. 20 % der Bauzeit bis Fertigstellung der vertikalen wetterfesten Gebäudehülle aus und ca. 10 % der Bauzeit bis zur Gesamtfertigstellung.

Die Fertigstellung einer wetterfesten Gebäudehülle, bei der neben den Dacharbeiten vor allem die Gebäudehülle entscheidend ist hat einen großen Einfluß auf die Gesamtfertigungsstermine. Erst mit der Herstellung der wetterfesten Gebäudehülle kann mit dem Innenausbau im Gebäude in größerem Maße begonnen werden, da die meisten dort eingesetzten Materialien nicht feuchteresistent sind bzw. besondere klimatische Anforderungen für die Verarbeitung benötigen.

Kosten

Baukosten

Die Herstellung einer Außenwand macht gemäß BKI "Wohnheime und Internate" ca. 25 % der Kosten aus der Kostengruppe 300 und 400 aus, der Quadratmeter Außenwandfläche wird laut BKI mit ca. 466,00 € veranschlagt [BKI, 2019].

Betriebskosten

Die bauphysikalischen Eigenschaften haben einen entscheidenden Einfluss auf die Betriebskosten. Neben der Dach- und Bodenfläche bestimmt die Außenwandfläche mit ihrem U-Wert, den konstruktiven Wärmebrücken und der Luftdichtigkeit der thermischen Hülle, den winterlichen Wärmeschutz und somit den Heizwärmebedarf eines Gebäudes. Der sommerliche Wärmeschutz wird ebenfalls zu einem großen Teil von der Außenwandfläche bestimmt. Durch die Größe und Ausrichtung der Fensterfläche, sowie dem Energiedurchlassgrad (g-Wert) der Fenster ergeben sich die solaren Wärmegewinne, die durch eine Sonnenschutzvorrichtung im Sommer reduziert werden können.

Der äußere Wetterschutz ist durch die hohen witterungsbedingten Einflüsse stark belastet. Je nach eingesetztem Material kann es hier im Lebenszyklus zu umfangreichen Instandhaltungs-, Instandsetzungs- oder gar Erneuerungsmaßnahmen kommen. Die unterschiedlichen Aussenmaterialien weisen stark unterschiedliche Lebenserwartungen auf.

Ökologie

Die Berechnungen vom Ingenieurbüro MNP welches die Nachhaltigkeitszertifizierung des Projektes durchführt ergeben, dass Außenwände für ca. 13 % der Ökobilanz bezüglich des Treibhauspotentials maßgeblich sind.

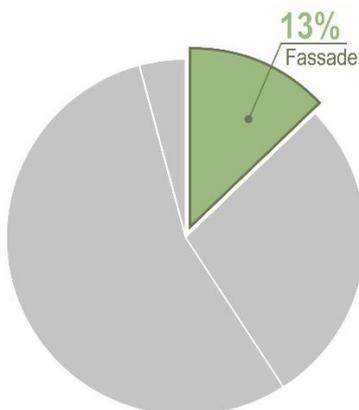


Abbildung 84: Diagramm Anteil Treibhauspotential der Fassade nach Berechnungen von MNP, [Hochschule Bochum]



Qualität

Vorwissen

Als Planungsgrundlage lagen die Erkenntnisse und Erfahrungswerte des Architekturbüros ACMS aus vorherigen Projekten vor. Diese resultieren aus bereits durch ACMS Architekten gebauten Studierendenwohnheimen, bei welchen die Konstruktion vorwiegend in Hybridbauweise mit nicht tragender Fassade aus vorgefertigten Elementen ausgeführt wurde. Hierbei etablierte sich die Stahlbeton-Skelettbauweise bzw. Schottenbauweise mit einer Fassade in Holzrahmenbau als großformatige Elemente, da bei dieser Hybridbauweise die Vorteile aus beiden Bauweisen kombiniert werden. Vorteile eines Stahlbeton-Tragwerks liegen zum Beispiel im Brandschutz, Schallschutz und auch der Wärmespeicherfähigkeit von solaren Gewinnen. Diese Qualitäten sind mit alternativen Baustoffen wie z.B. Holz nur mit größerem finanziellem Aufwand zu erzielen.

Eine Gebäudehülle im Holzrahmenbau bietet besondere Vorzüge hinsichtlich der Ausführungs-Qualität, Ökologie, CO₂-Einsparung und der Bauzeit durch die Vorfertigung von großformatigen Elementen gegenüber einer Massivwand mit Wärmedämmung als Außenwand. Diese Kombination aus Tragwerk und Hülle hat sich im Büro ACMS als Basis für Bauvorhaben bereits in der Praxis bei unterschiedlichen Bauvorhaben (z.B. Studentenwohnheim Neue Burse in Wuppertal, Fertigstellung 2003; Studentenwohnheim Klaus Bahlsen in Hannover, Fertigstellung 2017; experimenteller Wohnbau Ostesiepen in Wuppertal, Fertigstellung 2012) bewährt.

Erste Erfahrungen mit dem Einsatz von großformatig vorgefertigten Holztafelelementen als Aussenfassade wurden bereits ab dem Jahr 2000 bei der Modernisierung der studentischen Wohnhäuser "BURSE" in Wuppertal gewonnen.

Tragwerk : Stahlbeton



Gebäudehülle : Holzbau

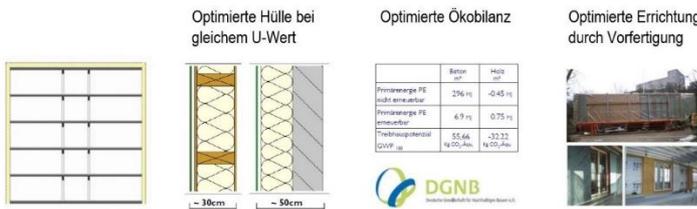


Abbildung 85: Projektmappe Neubau Studentenwohnheim - HSW Ostesiepen, 17.11.2009, [ACMS Architekten GmbH], S. 33



Gebaudeart	€/Einheit	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)		
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	-	-
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	75,00	129,00
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	-	146,00
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	81,00	157,00
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	98,00	122,00
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	89,00	166,00

335
Außenwand-
bekleidungen
außen

Gebaudeart	€/Einheit	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)		
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	72,00	101,00
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	75,00	100,00
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	73,00	128,00
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	77,00	110,00
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	98,00	102,00
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	88,00	120,00



Holztafelbau,, Wohngebäude
Stand Vergabe 2016

Dämmstärke: 16 cm
 Elementgröße: 12,00 m x 3,50 m = 42,0 m2
 Kosten: 3360,- € netto OHNE Verkleidung
 €/m2 80,--



Holztafelbau, Passivhausstandard, Wohngebäude
Stand Vergabe 2017

Dämmstärke: 30 cm
 Elementgröße: 12,15 m x 2,90 m = 35,24 m2
 Kosten: 4488,36 -- € netto OHNE Verkleidung
 €/m2 127,35
 Fenster, 3-fach-Verglasung 218,--/m2

Abbildung 86: Wirtschaftlichkeit, [Prof. Schlüter, C.], S. 305

Abbildung 87: Wirtschaftlichkeit Holztafelbau, [Prof. Schlüter, C.], S. 306

Auf der Basis dieser Erfahrungswerte erfolgte die Systemauswahl für beide Forschungsprojekte - ein elementiertes Tragwerk in Anlehnung an eine Skelettbauweise aus Stahlbeton mit einer Gebäudehülle aus großformatig vorgefertigten Holzrahmenbauelementen als nicht tragende Außenwand.

Für das Wuppertaler Projekt wurde wegen der damit verbundenen Vorteile hinsichtlich der Ökobilanz parallel eine komplette Holzbaukonstruktion in Betracht gezogen und geplant. Hierzu wurden die brandschutztechnischen Belange im Brandschutzkonzept mit entsprechenden Kompensationsmaßnahmen beschrieben und seitens der Genehmigungsbehörde bereits im Vorgriff auf die Neuverteilung der LBO genehmigt. Die Anforderungen hinsichtlich des erhöhten Schallschutzes wären jedoch nur mit wesentlich erhöhten Aufwendungen in Form von zusätzlichen Schüttungen und Unterdecken möglich gewesen. Im Bereich der Fertignasszellen wären zusätzliche Kapselungen im Wandaufbau zwecks Verbesserung der Schallnebenwege zu errichten gewesen. Die damit einhergehenden zusätzlichen Baukosten waren im begrenzten Budget nicht wirtschaftlich darstellbar. Aus diesem Grund wurde die Tragkonstruktion des Gebäudes in Stahlbeton gewählt.

Neben den Erfahrungen des Architekturbüros ergeben sich Planungsprämissen ebenso aus den Erfahrungen und Festlegungen durch den Bauherren aus seinen Vorprojekten. Das Hochschul-Sozialwerk hat beispielsweise bei dem Wuppertaler Projekt als Qualitätssteigerung bodentiefe Fenster in Anlehnung an französische Fenster festgelegt. Mittels dieser können die Fassaden großflächig geöffnet werden und eine freisitzähnliche Qualität in den Individualräumen im Fall der Fensteröffnung bereitgestellt werden. Gleichzeitig hat das HSW mit Holzfenstern in mehreren Bauvorhaben auch langjährig sehr gute Erfahrungen gemacht. Entsprechend wurden auch für dieses Bauvorhaben wegen der ökonomischen und gestalterischen Qualitäten bauherrnseits Holzfenster präferiert.

Grundsätzlich werden Außenwandkonstruktionen in einschalige und zweischalige Aufbauten unterschieden. Einschalige Wandaufbauten bestehen aus einer äußeren und inneren Bekleidung und einem tragenden Wandquerschnitt. Ein beispielhafter Aufbau hierfür wäre ein Wärmedämmverbundsystem in Kombination mit Mauerwerk und Innenputz.

Ein zweischaliger Wandaufbau besteht entweder aus einer leichten hinterlüfteten Außenwandbekleidung oder bei massiven Konstruktionen aus einer schweren Außenwandbekleidung, welche mit oder ohne Hinterlüftung ausgeführt werden kann. Der tragende Wandquerschnitt wird innen durch zum Beispiel Putz bekleidet. Da die gewählte Außenwandkonstruktion bei beiden Forschungsprojekten in einer Holzrahmenbauweise aus einem zweischaligen Wandaufbau besteht, werden in den folgenden Abschnitten der Holzrahmenbau als nicht tragender Wandquerschnitt und die Außenwandbekleidung bzw. Fassadenmaterialität betrachtet und analysiert.

Grundlagen

Holztafelbauweise / Holzrahmenbauweise

Der Holzrahmenbau beziehungsweise Holztafelbau ist eine Weiterentwicklung der Holzständerbauweise, welche sich wiederum aus dem traditionellen Fachwerkbau fortentwickelt hat. Holzrahmenbauelemente bestehen aus einem Holzrahmen (Schwelle, Ständer und Rähm) und einer äußeren und inneren Beplankung. Der Holzrahmen übernimmt als Funktion die vertikale Lastabtragung und wird von mindestens einer Beplankungsseite zur Aufnahme von horizontalen Lasten ausgesteift. Neben der Aussteifung dient die Beplankung als Funktionsschicht für den Brandschutz, die Wind- beziehungsweise Luftdichtung und gegebenenfalls den Witterungsschutz. In den Hohlräumen des Rahmens sorgt die Dämmung für einen ausreichenden Wärme-, Schall- und Brandschutz. Die Rahmentiefe ist somit von der statischen Beanspruchung und dem Wärmedämmniveau abhängig. Der Achsabstand der Rippen liegt vorwiegend in einem Rastermaß von 625 mm, da er sich aus den Abmessungen der industriell gefertigten plattenförmigen Beplankung ergibt, wie zum Beispiel Holzwerkstoffplatte, Gipsfaserplatte oder Zementfaserplatte.

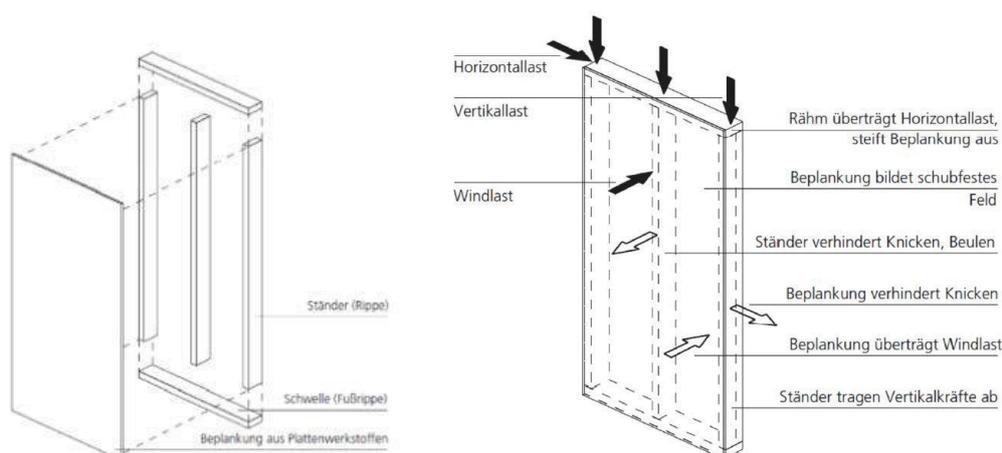


Abbildung 88: Aufbau einer Holzrahmenbauwand, [Informationsverein Holz, 2015], S. 14

Abbildung 89: Beanspruchungen einer Holzrahmenbauwand, [Informationsverein Holz, 2015], S. 14



Abbildung 90: Holzrahmen- und Holztafelbau, [Holz vom Fach]

Holzrahmenbauelemente können mit einem hohen Vorfertigungsgrad in witterungsunabhängigen Produktionsstätten hergestellt werden, sodass eine kurze Bauzeit und folglich schnell eine wetterfeste Gebäudehülle erzielt werden kann. Der ursprüngliche konventionelle Holzrahmenbau wurde als nicht diffusionsoffene Konstruktion hergestellt. Dabei ist die aussteifende Holzwerkstoffplatte auf der Außenseite angeordnet und eine dampfsperrende Folie auf der Innenseite angebracht. „Als Variante zum konventionellen Holzrahmenbau entwickelte sich Anfang der 1990er Jahre der diffusionsoffene Holzrahmenbau. Er stellt heutzutage den Standard bei den Holzrahmenbaukonstruktionen dar. Dabei wird die aussteifende Holzwerkstoffplatte auf der Innenseite des lastabtragenden Holzrahmens angeordnet, die gleichzeitig die Funktion einer dampfbremsenden und luftdichten Ebene übernimmt. Daher kann auf die innenliegende dampfsperrende Folie verzichtet werden.“ (Vgl. [Fouad, 2013], S. 631 ff. und [Informationsverein Holz, 2015], S. 12 ff.)

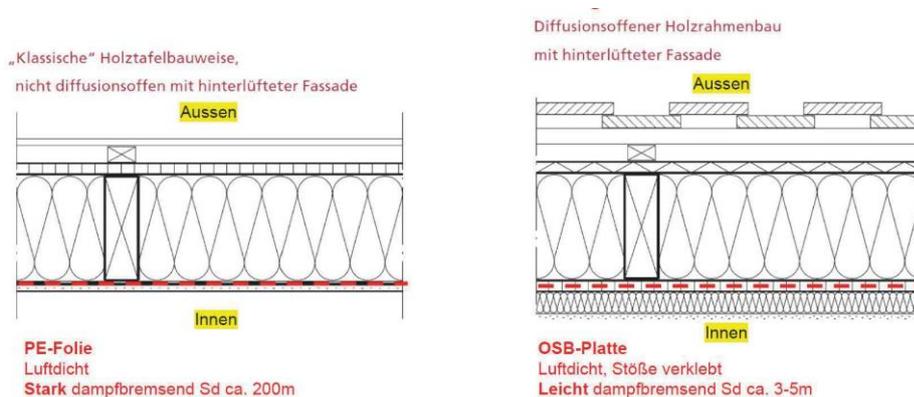


Abbildung 91: nicht diffusionsoffener und diffusionsoffener Holzrahmenbau, [Informationsverein Holz, 2015], S. 15

Vorteile der "diffusionsoffenen" Bauweise bestehen vor allem in einer höheren Fehlertoleranz die durch das bei dieser Ausführung vorhandenen hohe innere Austrocknungspotential entsteht.

Neben der Holzrahmenbauweise gibt es noch weitere Bauweisen aus Holz. Zu den wichtigsten gehören die Holzständer- oder Holzskelettbauweise, die Massivholzbauweise und der Holzblockbau. Bei diesen Bauweisen bildet der Holzbau gleichzeitig auch meist die Tragwerkskonstruktion eines Gebäudes. Die Holzrahmenbauweise hingegen kann sowohl für tragende Wandkonstruktionen bemessen werden, als auch als nicht tragende Außenwand, wie es bei dem Forschungsprojekt ausgeführt wurde.

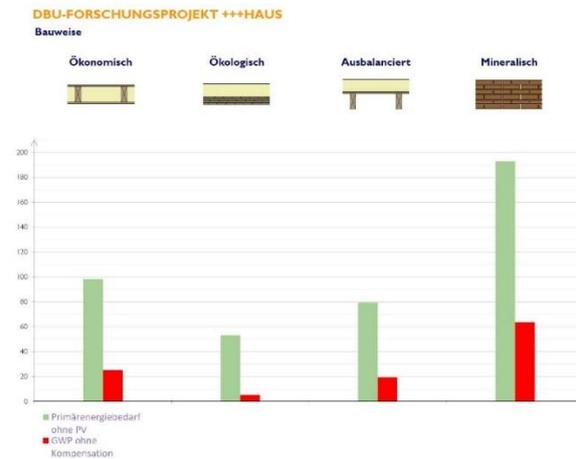
Massivholzbauweise

Diese Bauweise besteht aus großformatigen, massiven Holzbauteilen aus Brettstapel-, Dübelholz- oder Brett-schichtholzelementen, die außenseitig gedämmt werden. Die Tragwerkskonstruktion des Gebäudes besteht somit wie bei der Holzständerbauweise aus Holz. Nachteilig bei dieser Bauweise ist es, dass durch die massive Bauweise die Flexibilität eingeschränkt ist, sowie hohe Baukosten und somit eher teure CO₂-Einsparungen entstehen, welche nur bei einer tragenden Konstruktion sinnfälliger sind. Bei dem Wuppertaler Projekt wurde diese Variante reduziert auf eine minimierte Tragkonstruktion untersucht und genehmigt. Aufgrund der in den vorstehenden Kapiteln beschriebenen Gründen, welche mit hohen Herstellungskosten einhergehen, wurde schlussendlich die Hybridbauweise ausgeschrieben und ausgeführt.



Abbildung 92: Massivholzbauweise, [Holz vom Fach]

Abbildung 93: Bauweise und der Energiebedarf, [Prof. Schlüter, C.], S. 96



Mit der Holzrahmenbauweise lassen sich großformatige vorgefertigte Elemente mit einem geringen Eigengewicht und guten Wärmedämmeigenschaften herstellen. Die Vorfertigung und die damit verbundene überwiegende trockene Bauweise der Holzrahmenbauelemente bietet das Potential die Ausführungsqualität hinsichtlich Luftdichtheit und Wärmebrückenminimierung zu sichern beziehungsweise zu optimieren, sowie das Risiko bauphysikalischer Schäden infolge von Baufeuchtigkeiten zu Beginn der Nutzung zu minimieren. Tragenden Wände im Holzrahmenbau haben bei vergleichbaren Wärmedämmeigenschaften gegenüber der Massivbauweise einen geringeren Wandaufbau, da die Tragkonstruktion (Holzrahmen) und Dämmung in einer Ebene liegen und somit fast der gesamte Wandquerschnitt für die Wärmedämmung genutzt werden kann. Aufgrund der schlankeren Außenwandabmessungen lässt sich folglich ein Flächengewinn und dadurch eine größere zur Verfügung stehende Nutzfläche erzielen, wie es die Abbildung unten zeigt.

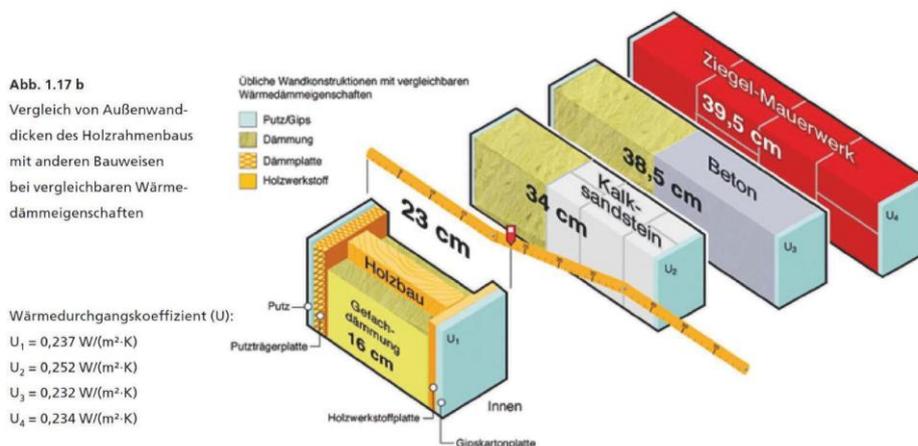


Abbildung 94: Vergleich von Außenwanddicken bei vergleichbaren Wärmedämmeigenschaften, [Informationsverein Holz, 2015], S. 18

Abb. 1.17 a

Flächengewinn durch Holzrahmenbau gegenüber der Massivbauweise:
hier 8% bei gleichem U-Wert der Außenwände

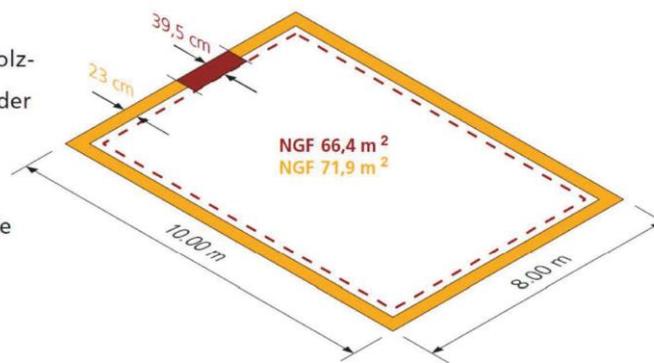


Abbildung 95: Flächengewinn durch Holzrahmenbau gegenüber Massivbauweise, [Informationsverein Holz, 2015], S. 18

Die Holzrahmenbauweise bietet außerdem durch ihren Aufbau die Möglichkeit Besonderheiten in der Planung und auch innovative Ansätze umzusetzen. So wurden zum Beispiel die dezentralen Lüftungsgeräte in die Holztafelelemente integriert.

Im Wuppertaler Projekt konnten die Architekten in der Planung einen Synergieeffekt zwischen tragenden Elementen, Fenstern und Ausbau erreichen. Mittels integrierter Holz-Pfosten-Riegel-Konstruktion konnte das Tragwerk sowohl als Pfosten des Holzrahmenbaus als auch als Fensterpfosten verwendet werden. Zusätzlich wurde die Möglichkeit geschaffen die Zwischenräume mit Regalen für Pflanzen nutzbar zu machen, um dem Raum mehr Qualität zu geben. Der Fensterpfosten wurde so als Konstruktion für den Innenausbau herangezogen. Die damit einhergehenden Synergien konnten jedoch seitens der Bieter nicht aktiviert werden, da die Herstellungsprozesse der Bieter auf eine solche Vermischung von Fassaden-, Fenster- und Ausbaugewerken nicht- bzw. noch nicht-eingerichtet sind. Die damit einhergehenden Umstellungsprozesse im werkseigenen Fertigungsablauf wären mit erheblichen Zusatzaufwendungen verbunden. Entsprechende Mehrkosten stehen zumindest zurzeit noch im Widerstreit zum Potential hinsichtlich des optimierten Materialeinsatzes. Der Gegensatz von ökonomischen und ökologischen Vorteilen musste im Rahmen des begrenzten Budgets hier noch zu Gunsten der Ökonomie entschieden werden. Zukünftig könnte in Kooperationsverfahren gegebenenfalls eine Aktivierung der aufgezeigten Potentiale gemeinsam von Planern und Ausführenden erarbeitet werden.

Die seitens der Architekten entworfene Integration der Lüftungsanlagen in den Fassadenaufbau konnte hingegen mit nur geringen Anpassungen in der Werkplanung der Ausführenden aufgenommen werden. Die in Wuppertal gewählte raumseitige Anordnung einer Installationsebene ermöglicht eine in die Wandkonstruktion integrierte Lüftungstechnik. Für diese Konstruktion waren jedoch schallschutztechnische Sonderuntersuchungen und Konstruktionen notwendig, um so den erhöhten Anforderungen an die Aufenthaltsräume zu genügen. Der Anschluss der Trennwände an die Fassade war hingegen mittels der Trennung der Installationsebene und Einschub der Trennwand in diese Ebene ohne Trennung der Beplankung der Fassadenbauteile möglich. In diesem Punkt führt die in Wuppertal gewählte Konstruktion zu einfach herstellbaren Wandanschlüssen.

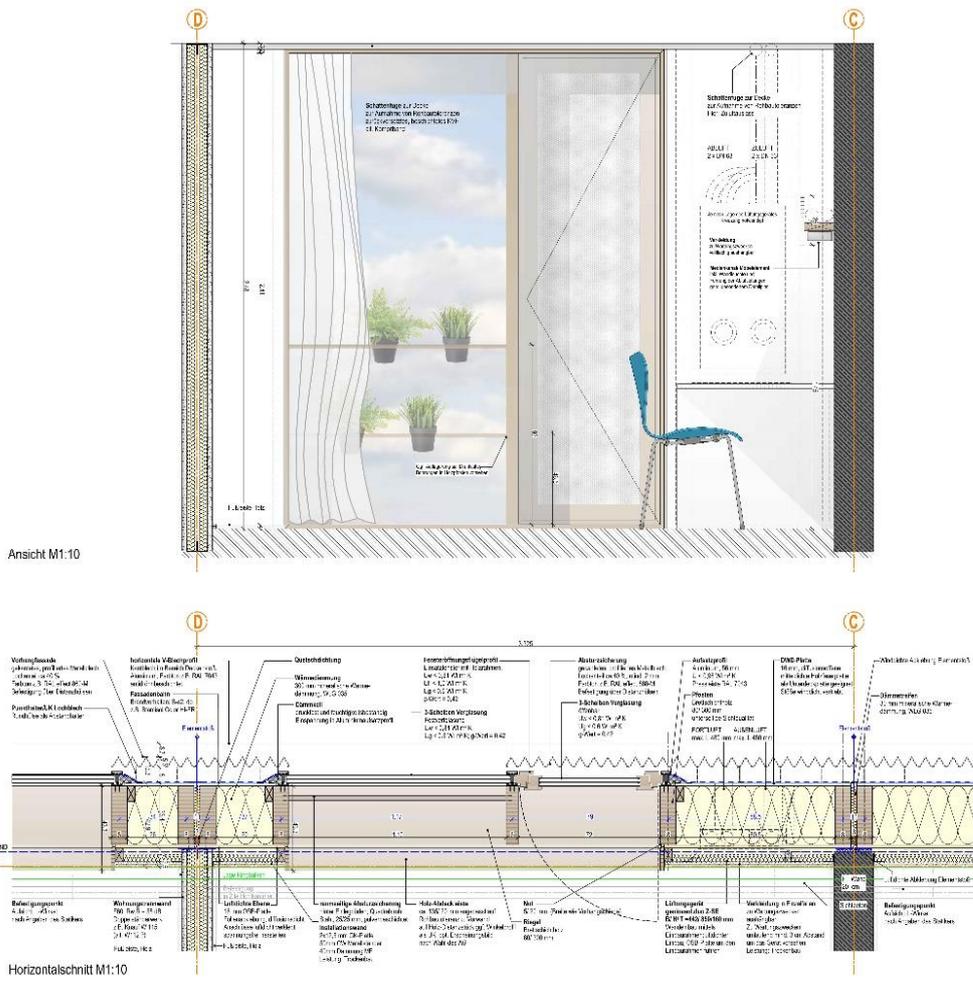


Abbildung 96: Fensterdetail Wuppertal, [ACMS Architekten GmbH]

Ausführung

Die Befestigung von vorgefertigten nicht tragenden Außenwandelementen wird üblicherweise in die Kategorien "Vorgestellt", "Vorgehängt" und "Eingestellt" unterschieden.

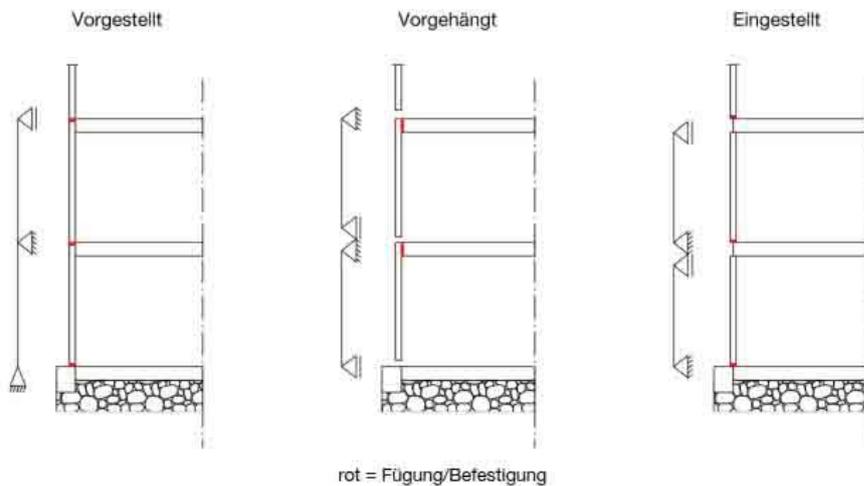


Abbildung 97: Anschlussvarianten nichttragender Fassadenelemente, [Fischer, O. et al.]

Die Architekten haben diesbezüglich eine Mischvariante zwischen "Vorgestellt" und "Eingestellt" entwickelt, welche versucht die jeweiligen Vorteile zu nutzen.

Bei der sogenannten "eingestellt" Variante werden die horizontal vorgefertigten Elemente geschossweise auf die Deckenkonstruktion aufgestellt, sodass ein geschossweiser Lastabtrag erfolgt. Damit ergeben sich aus Tragwerkssicht keinen Höhenbeschränkungen für diese Bauweise. Die Dimensionierung der Holzständer kann in allen Etagen identisch vorgenommen werden. Durch die für die Lastabtragung notwendige Aufstellfläche von ca. 8-10cm entsteht jedoch eine entsprechende Wärmebrücke durchlaufend an allen Geschossdecken.

Eine solche, für die Erreichung des Passivhausstandards schwierige, Wärmebrücke kann bei der Variante "Vorgestellt" vermieden werden. Allerdings ist diese Variante mit zunehmender Gebäudehöhe schwieriger auszuführen, da die Lasten welche die Holztafelelemente aufnehmen müssen sich geschossweise addieren. Auch bei dieser Variante sind zudem geschossweise Befestigungen notwendig, um die Horizontallasten (Winddruck und Sog) an das Gebäude weiter leiten zu können. Zunehmend wird auch die Auffassung vertreten, dass durch die geschossübergreifende Ausführung der Fassaden, diese eben doch als "tragend" im Sinnen der Landesbauordnung einzustufen seien. Um diese Einstufung zu verhindern, wird vorgeschlagen die geschossweisen Befestigungen neben der Aufnahme der horizontalen Kräfte auch für Vertikallasten auszulegen. Auch wenn hier für den Brandfall von verminderten Lasten und Sicherheitsbeiwerten ausgegangen werden kann, wird die Befestigung damit nochmals aufwendiger.

In Wuppertal sind in die Fassade geschosshohe Fenster in die Tafeln eingebaut worden. Aus der Erfahrung vorheriger Bauvorhaben hat eine derartige Dimensionierung und Lage der Fensteröffnung maßgebende Auswirkungen auf die Statik der Fassadenelemente. Im Gegensatz zur Lochfassaden werden Holztafelelemente an den Leerfeldern für großformatige Fenster hinsichtlich der Tragfähigkeit geschwächt. Bei horizontaler Elementierung müssen die obere und untere Konstruktionsachse mit verstärkten Holzquerschnitten ausgeführt werden, um so die notwendige Steifigkeit für den Transport der Fassadenelemente zu gewährleisten. Diese wesentliche Erhöhung des Holzanteils, besonders an den bzgl. des Wärmeschutzes kritischen Geschoßdecken sollte wenn möglich bei Gebäuden mit Passivhausstandard vermieden werden. Eine vertikale Elementierung der Fassadentafeln ermöglicht die Lage der großformatigen Fensterausschnitte in den Fassadenelementen derart zu verteilen, dass über eine geordnete Grundkonstruktion auch eine ausreichende Steifigkeit für den Transport gegeben ist.

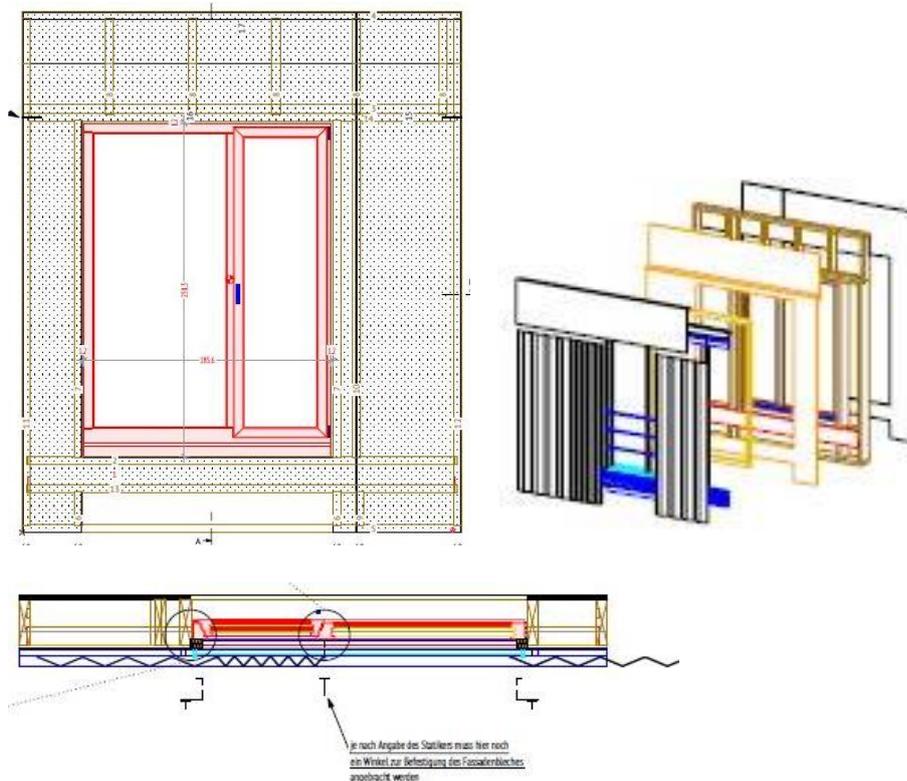


Abbildung 98: Holztafelelement mit Fenster, [Zimmerei Sieveke GmbH]

Abbildung 99: Schematischer Aufbau der Fassade, [Zimmerei Sieveke GmbH]

Abbildung 100: Holztafelelement mit Fenster horizontal, [Zimmerei Sieveke GmbH]

Für die kleinen, dreigeschossigen Häuser wurde daher eine vertikale Einteilung der Fassade gewählt. Die Breite der Fassadenelemente wurde mit der Einteilung von einer Zimmerbreite der Individualräume gewählt. Somit liegt der Fassadenstoß immer vor einer Zimmertrennwand. Die gebäudehohe Elementierung benötigt keine horizontalen Fassadenstöße. Die Fassadenelemente können mit einer Dimensionierung von 3,26 * 8,90 m sehr gut transportiert werden. Wegen der geringen Gebäudehöhe ist eine vereinfachte Montage der Elemente in vorgestellter Weise möglich. Die vertikalen Lasten werden in diesem Bauvorhaben im EG in die Rohbaukonstruktion eingeleitet. In den aufgehenden Ebenen muss lediglich eine Rückverankerung in den Rohbau zur Aufnahme der horizontalen Lasten erfolgen. Auf diese Weise wurde für dieses Bauvorhaben eine optimierte Konstruktion bezüglich der Statik und des Wärmeschutzes gewählt. Aufgrund der vor den Geschoßdecken und Trennwänden durchlaufenden Fassadenkonstruktion wird ebenfalls für den Schallschutz eine optimierte Ausführung gewählt.



Abbildung 101: Positionsplan Holzbau Ansicht Süd-West Haus 166, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 102: Positionsplan Holzbau Ansicht Nord-West Haus 166, [ACMS Architekten GmbH]

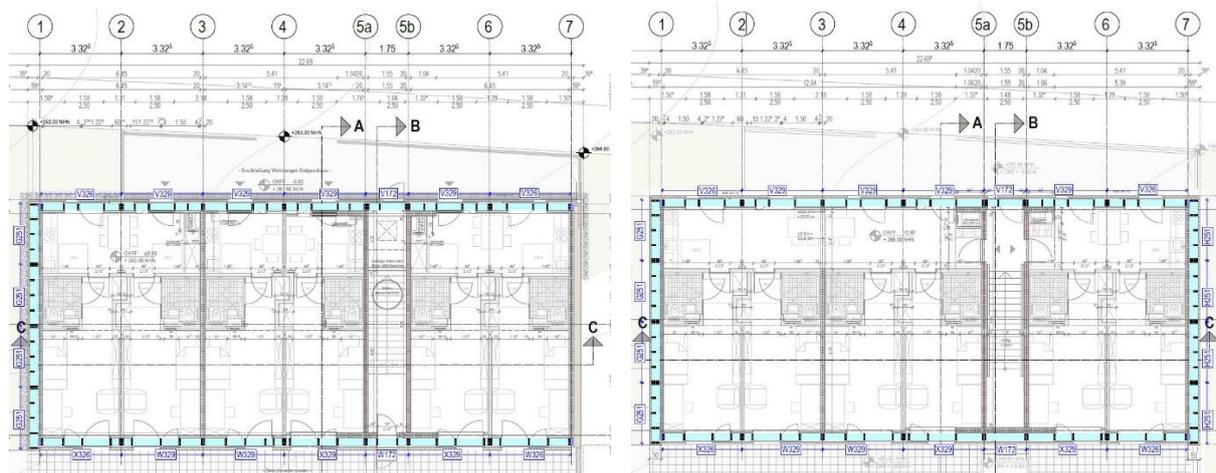


Abbildung 103: Positionsplan Holzbau Grundriss EG Haus 166, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 104: Positionsplan Holzbau Grundriss 1.OG Haus 166, [ACMS Architekten GmbH]

Für Haus 1 wird das gleiche Konstruktionsprinzip gewählt. Die Fassadenelemente müssen in diesem Gebäude jedoch über 5 Geschosse geführt werden, was eine horizontale Trennung der Fassadenelemente notwendig macht. Seitens der Architekten wurde in der Planung eine Kombination aus dreigeschossigen Elementen im unteren und zweigeschossigen Elementen im oberen Bereich gewählt. Seitens der ausführenden Firma wurde die Dimensionierung gedreht. Das obere Element wird auf das untere gestellt. Somit ist die Dimensionierung der Holzkonstruktion im unteren Element wegen der Zusatzlast aus dem oberen Element größer zu wählen. Bei einer

Reduzierung des unteren Elements auf eine Zweigeschossigkeit kann der notwendige Holzanteil minimiert werden. Die vorgestellte Fassadenkonstruktion wird in den Geschossen grundsätzlich über Fassadenanker zur Aufnahme von horizontalen Kräften befestigt. Diese Anker sind jedoch so ausgelegt, dass diese im Brandfall auch hilfswise vertikale Kräfte beim Versagen einzelner Elemente aufnehmen können.



Abbildung 105: Positionsplan Holzbau Haus 168 Ansicht Nord-West, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 106: Positionsplan Holzbau Haus 168 Ansicht Süd-West, [ACMS Architekten GmbH]

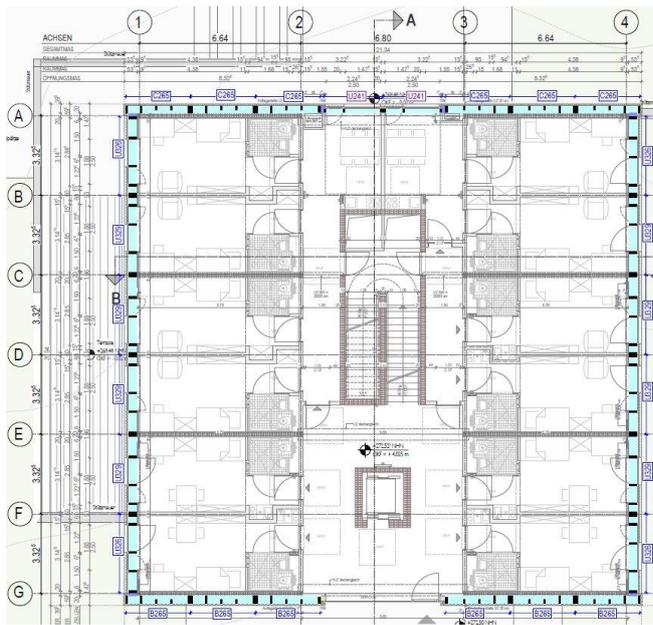


Abbildung 107: Positionsplan Holzbau Haus 168 im Grundriss EG., [ACMS Architekten GmbH]

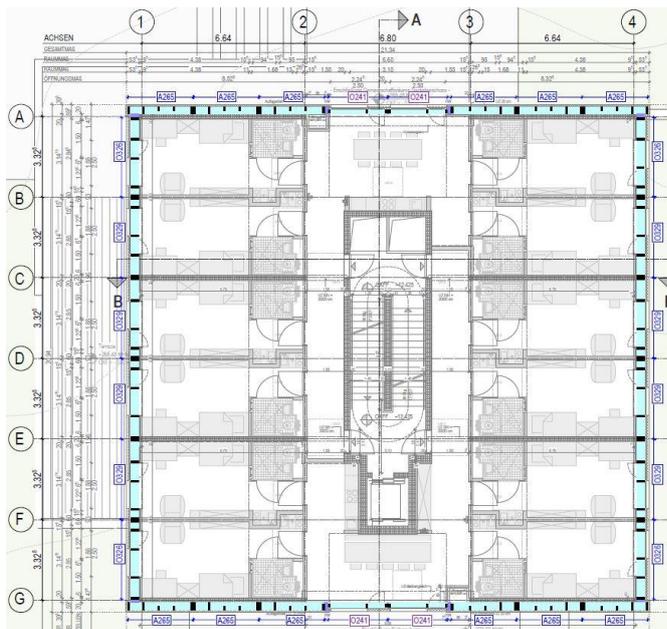


Abbildung 108: Positionsplan Holzbau Haus 168 im Grundriss 3.OG., [ACMS Architekten GmbH]

Technische Integration

Die zur Erlangung des Passivhausstandards erforderliche kontrollierte Wohnraumlüftung mit hohem Wärmerückgewinnungsgrad wurde im Rahmen einer gesonderten Untersuchung als dezentrale, raum- bzw. wohnungsweise Ausführung vorgesehen. Ausschlaggebend waren geringere Investitionskosten gegenüber einer zentralen Lösung. Die möglichen Einsparungen durch zentrale Filterwechsel werden durch die raumweise notwendigen und jährlich zu wartenden Brandschutzeinrichtungen kompensiert.

Zur Aufrechterhaltung des planerischen Ziels einer ebenfalls maximalen Vorfertigung der Fassadenverkleidung, wurden die notwendigen Einbauten für die an der Außenwand platzierten dezentralen Lüftungsgeräte bereits in

umfeldbedingte, sehr unterschiedliche Alterung durch Vergrauung als negativ gewertet. Entsprechend wurden wartungsarme Materialien untersucht, welche ebenfalls den übrigen Gestaltungsprämissen entsprachen. Das Material musste über entsprechende Bearbeitung ebenfalls in Teilen durchlässig gestaltbar sein, da es als Abdeckung von Lüftungsauslässen und als Lamellenstruktur vor Fensteröffnungen verwendet werden sollte. Die ausgewählte, unterschiedlich gefaltete und mehrfarbig beschichtete Blechfassade verfügt über die geforderten Eigenschaften. Die Farbwahl ermöglicht eine Gliederung in differenzierte Fassadenseiten. Mit dieser konnten die Häuser unterschiedlich umhüllt werden. Es wurde für jedes Gebäude ein zweigeteiltes Gewand entworfen. Geschlossenerere Fassaden werden wie „zugezogene“ Vorhänge in einem Rotbraun mit überwiegend großen Faltungen ausgebildet. Die metallenen Elemente werden mit überwiegend kleinen Faltung als „geöffneter“ und transparenter wirkende Gardienen gestaltet. Bleche die jeweils vor Fensterflächen geführt werden, erhalten eine Lochung und sind so von innen durchschaubar gestaltet. Auf diese Weise kann ein Sichtschutz gegenüber den benachbarten Grundstücken bereitgestellt werden. Gleichzeitig dient diese Überlagerung als außenliegender Sonnenschutz. Mittels Simulation wurde der sommerliche Wärmeschutz detailliert betrachtet und neben teilweise verwendeten Sonnenschutzverglasungen, das Lochblech als wirksamer Sonnenschutz hinsichtlich des großen Fensterflächenanteils mit angesetzt. Auf diese Weise war eine sehr differenzierte Optimierung von Tageslichtautonomie und Sonnenschutz möglich.



Abbildung 112: Baustelle WU - Fassade Innen, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 113: Baustelle WU - Fassade Ausblick, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 114: Baustelle WU - Fassade mit metallenen Elementen, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 115: Baustelle WU - Fassade mit metallenen Elementen, [Steinprinz, S]



Abbildung 116: Baustelle WU - Fassade Rotbraun, [Steinprinz, S]

Die Materialität eines Gebäudes ist ein wesentlicher Faktor in Bezug auf das Image des Gebäudes. Daher ist es wichtig, dass Nutzer und Betreiber sich mit dem Konzept wohl fühlen.

Flexibilität

Bei nicht tragenden Holzrahmenbauwänden ergeben sich durch die Unabhängigkeit zum Tragwerk viele Gestaltungsmöglichkeiten für die Fassade. Nachträgliche Änderungen an den Öffnungen von bestehenden Gebäuden sind bei nicht tragenden Holzrahmenbauwänden statisch problemlos möglich. Die Vorteile gegenüber einer tragenden Massivbauweise sind jedoch aufgrund der aufwändigen Eingriffe in die schützende Gebäudehülle nur eingeschränkt nutzbar.

Nicht tragende Holzrahmenbauwände bieten allerdings ein Umnutzungspotential hinsichtlich langfristiger Fassadenänderungen, da die Holzrahmenbauelemente durch die Unabhängigkeit zum Tragwerk komplett rückbaubar und austauschbar sind. Eine Fassadenänderung wäre zum Beispiel bei einer Nutzungsänderung von einer Wohnbebauung in ein Bürogebäude oder aus Imagegründen erforderlich.

Zeit

Planungszeit

Durch die Vielzahl der Anforderungen, die sich aus bauphysikalischen, statischen, brandschutztechnischen und gestalterischen Gründen an die Außenwand ergeben, entsteht im Vorfeld ein großer Planungsaufwand und Abstimmungsbedarf zwischen den verschiedenen Fachplanern.

Statische und konstruktive Fragestellungen, die während der Planungsphase zu klären sind, ergeben sich vor allem aus der Klassifizierung von tragenden oder nicht tragenden Außenwänden, der Montageart der Holzrahmenbauelemente, die Aufnahmemöglichkeit unterschiedlicher Bautoleranzen zwischen Rohbau und Holzbau, sowie der Detailplanung.

Die Erfahrungen der Architekten aus Vorprojekten haben dazu geführt dass bereits in der Planungsphase ein komplett ausführungsreifes und exakt durch detailliertes Gesamtpaket der Ausschreibung zugrunde gelegt werden soll. Hiermit können Planungsrisiken für die Anbieter reduziert werden was nach der Erfahrung der Planer zu deutlich günstigeren und damit einer konventionellen Massivbauweise konkurrenzfähigen Wirtschaftlichkeit führt. Trotz der Verantwortung des später ausführenden Unternehmens für die Montageplanung und Statik wurden in der Planungsphase hierzu konkrete Umsetzungsmöglichkeiten aufgezeigt und eine Vorstatik erstellt. Die Leistungsbeschreibung zeigt somit für alle Fragestellungen bis hin zum Montagekonzept einen möglichen Weg auf, ohne alternative Ausführungen bei Einhaltung der exakt beschriebenen Qualitäten zu verbieten.

Durch die bereits in der Planungsphase erfolgte Detaillierung aller Anschlüsse und der für Passivhäuser erforderlichen Berechnung aller Wärmebrücken entsteht Planungs- und Ausführungssicherheit. Im Rahmen der öffentlichen Ausschreibung ist dabei die Einbeziehung der Kompetenzen ausführender Unternehmer nur sehr eingeschränkt möglich. In Wuppertal wurde im Ausschreibungsverfahren festgestellt, dass die gewerkeübergreifenden

Kompetenzen der Bieter noch nicht in der Weise existierten, wie von den Planern angestrebt. Der Ausführungsstand musste in wiederholten Abstimmungsverfahren mit zwei Vergabeverfahren nach starren Vergabevorschriften modifiziert werden. Die damit einhergehende, dem eigentlichen Produktionsprozess vorgeschaltete Planungs- und Ausschreibungszeit wurde verfahrensbedingt erheblich verlängert. Daher bedarf es einer entsprechend hohen Ausführungskompetenz und Erfahrung des Planungsteams das in diesem Fall durch vielfältige abgeschlossene Projekte mit ähnlicher Bauweise gegeben war. Trotz der vorliegenden Erfahrungen ist der Planungsaufwand gegenüber üblichen Massivbauweisen deutlich erhöht. Aus Sicht der Planer ist eine entsprechende Berücksichtigung bei der Berechnung der Honorare für eine wirtschaftlich vertretbare Planung dringend angeraten.

Vorliegende mit den Genehmigungsbehörden abgestimmte technische Ausführungsregeln, ähnlich wie die in der Schweiz vorliegenden, könnten die Planungsaufwendungen und damit die Vorbereitung der im Projekt angewandten Bauweisen deutlich vereinfachen.

Bauzeit

Ein großer Vorteil der Holzrahmenbauweise ist der hohe Vorfertigungsgrad. Die großformatigen Wandelemente werden mit bereits montierten Fenstern, hinterlüfteter Fassade und je nach Gegebenheiten mit technischer Gebäudeausrüstung vorgefertigt und ermöglichen somit eine kurze Montagezeit und Herstellung der wetterfesten Gebäudehülle. Geschätzt werden hier durch die Planer aufgrund vorliegender Erkenntnisse anderer ausgeführter Bauvorhaben ca. 5 bis 7 Arbeitstage für ca. 1000 m² Fassade.

Kosten

Baukosten

Durch die Erfahrung der Architekten konnte bereits zu Beginn des Projektes prognostiziert werden, dass Holztafelemente als nichttragende Außenwandkonstruktion gegenüber einer üblichen Massivbauweise wirtschaftlich ausgeführt werden können. Diese Erkenntnis wurde aus bereits gebauten Projekten gewonnen und in direkten Kostenvergleich zum jeweils aktuellen BKI-Wert gesetzt. Die unten stehenden Abbildungen zeigen die als Grundlage dienende Werte aus einem Vortrag zum Thema "Holzbaulösungen im Geschosswohnungsbau". Darauf basierend war die Erwartungshaltung der Planer die Holztafelemente eventuell sogar wirtschaftlicher als die konventionelle Bauweise ausführen zu können.



Gebäudeart	von	€/Einheit	bis	KG an 300
332 Nichttragende Außenwände				
1 Bürogebäude				
Bürogebäude, einfacher Standard	52,00	91,00	170,00	0,1%
Bürogebäude, mittlerer Standard	55,00	127,00	202,00	0,3%
Bürogebäude, hoher Standard	80,00	153,00	488,00	0,1%
2 Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung				
Instituts- und Laborgebäude	–	211,00	–	0,2%
335 Außenwandbekleidungen außen				
1 Bürogebäude				
Bürogebäude, einfacher Standard	54,00	90,00	175,00	5,3%
Bürogebäude, mittlerer Standard	69,00	149,00	364,00	5,9%
Bürogebäude, hoher Standard	108,00	156,00	260,00	4,9%
2 Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung				
Instituts- und Laborgebäude	100,00	147,00	201,00	8,8%

Abbildung 117: Kostenvergleiche Holztafel - BKI alte Projekte, [Prof. Schlüter, C.], S. 303 ff



Holztafelbau, Bürogebäude
Stand Vergabe **2006**

Dämmstärke: 18 - 24 cm
 Elementgröße: 1,34 m x 7,05 m = 9,45 m²
 Kosten: 890,- € netto OHNE Verkleidung

€/m² 94,18



Holztafelbau, Passivhausstandard, Wohngebäude
Stand Vergabe **2011**

Dämmstärke: 30 cm
 Elementgröße: 14,70 m x 2,80 m = 41,16 m²
 Kosten: 3802,62 € netto OHNE Verkleidung

€/m² 92,38

Abbildung 118: Kostenvergleiche Holztafel - BKI alte Projekte, [Prof. Schlüter, C.], S. 303 ff

2017
Baukosten
 Bauelemente Neubau
 Ohne Verkleidung
332 Nichttragende Außenwände

Gebäudeart	€/Einheit	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)		
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	-	-
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	75,00 129,00	210,00 0,2%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	- 146,00	- 0,3%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	81,00 157,00	233,00 0,5%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	98,00 122,00	162,00 0,4%
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	89,00 166,00	363,00 0,5%

Gebäudeart	€/Einheit	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)		
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	72,00 101,00	158,00 6,0%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	75,00 100,00	114,00 7,5%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	73,00 128,00	342,00 9,7%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	77,00 110,00	168,00 7,5%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	98,00 102,00	109,00 10,0%
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	88,00 120,00	189,00 9,3%

335 Außenwandbekleidungen außen

Abbildung 119: Kostenvergleiche Holztafel - BKI alte Projekte, [Prof. Schlüter, C.], S. 303 ff



Holztafelbau, Wohngebäude
Stand Vergabe **2016**

Dämmstärke: 16 cm
 Elementgröße: 12,00 m x 3,50 m = 42,0 m²
 Kosten: 3360,- € netto OHNE Verkleidung

€/m² 80,-



Holztafelbau, Passivhausstandard, Wohngebäude
Stand Vergabe **2017**

Dämmstärke: 30 cm
 Elementgröße: 12,15 m x 2,90 m = 35,24 m²
 Kosten: 4488,36 -- € netto OHNE Verkleidung

€/m² 127,35

Fenster, 3-fach-Verglasung 218,-/m²

Abbildung 120: Kostenvergleiche Holztafel - BKI alte Projekte, [Prof. Schlüter, C.], S. 303 ff

Betriebskosten

Durch die geplante Hybridbauweise können Wärmebrücken stark minimiert und somit auch potentielle Energieverluste minimiert werden, welches sich vorteilhaft auf die Betriebskosten auswirkt. Die Instandhaltung der Oberflächen und Konstruktion wird anhand der Nutzungsdauer gemäß DGNB / BNB (Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) eingeordnet und gibt somit Orientierungswerte für den Betreiber. Hierbei wird die mittlere Lebenserwartung der Bestandteile zugrunde gelegt.

Bei den Außenwand Konstruktionen haben Holzwände mit >50 Jahren identische Lebenserwartungen wie Massivbaukonstruktionen.

Die bewerteten Fassadenkonstruktionen sind jeweils auf beiden Außenwänden (Holzbau oder Massivbau) gleichermaßen möglich.

Die in Wuppertal ausgewählte Blechfassade hat gemäß den Zertifizierungen eine erwartete Lebensdauer von 50 Jahren und hat daher eine deutlich höhere Lebensdauer als ein Putzsystem mit 30 Jahren. [Nutzungsdauern von Bauteilen, 2017]

Ökologie

Auf Seiten der Architekten lagen umfangreiche Erfahrungen zur Umsetzung hoher Energieeffizienzstandards wie KfW 55, KfW 40 und Passivhäuser vor, die auf eine Reduktion des Energieverbrauchs und damit in aller Regel auch der daraus resultierenden Umweltwirkungen aus der Nutzungsphase vor. Durch eigene umfangreiche Forschungen (siehe Anlage "Forschungsprojekte ACMS Übersicht") und gemeinnützige Forschungsinstitute (mips-haus Institut GmbH) besteht aber auch eine umfassende Expertise im Bereich der Bewertung von Umweltwirkungen durch die Herstellungs- und Rückbauphase von Gebäuden.

Durch die langjährigen Erfahrungen mit der Bauweise von vorgefertigten Holztafelelementen für Außenbauteile lagen Erkenntnisse über deren ökologischen Vorteile, vor allem im Hinblick auf den Wirkungspfad Treibhauspotential, vor.

Die aus eigenen Projekten (Projekt Ostersiepen, Wuppertal) mittels Ökobilanzen errechneten Vorteile decken sich dabei mit den allgemein aus anderen Forschungsprojekten (ÖkoPot) nachgewiesenen grundsätzlichen Zahlen.

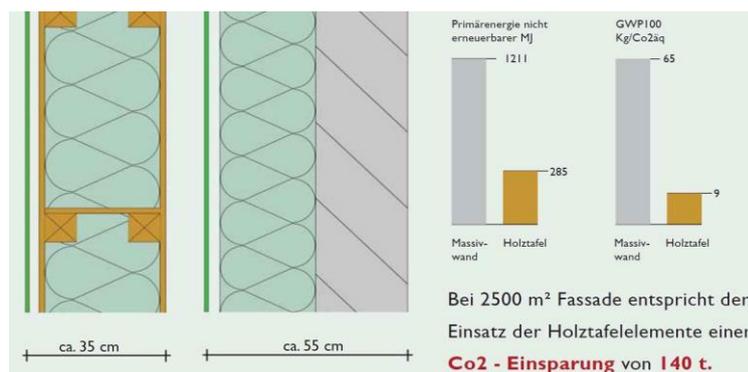
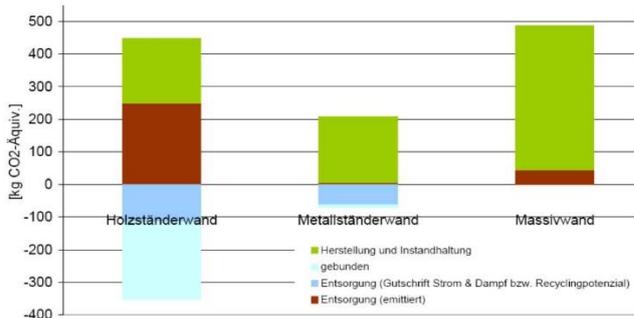


Abbildung 121: Ökobilanz Massivwand - Holztafelbau, [Prof. Schlüter, C.], S. 301



Treibhauspotential [kg CO ₂ -Äquiv.]	Holzständerwand	Metallständerwand	Massivwand
Herstellung und Instandhaltung	198	199	445
Im Holz gebundenes CO ₂	-238	-9	
Entsorgung (emittiert)	250	7	43
Entsorgung (Verrechnung des produzierten Stroms & Dampfes bzw. des Recyclingpotenzials)	-114	-62	
NETTO	97	136	488

Abbildung 122: Treibhauspotential verschiedener Innenwandtypen über den gesamten Lebensweg, [ÖkoPot], S. 63

Aus den Erkenntnissen über Gestehungskosten von CO₂-Einsparungen (Quelle +++ Haus) sowie auch der Kenntnisse über höhere Investitionskosten von Massiv-Holz-Baulösungen wurde die Holztafelbauweise bevorzugt. Trotz der aus der Berechnungslogik der Ökobilanz sich ergebenden Vorteile eines erhöhten Holzansatzes war aus Verfügbarkeitsgründen ein möglichst reduzierter Holzeinsatz Planungsziel. Weiterführend zu diesem Themenabschnitt werden in dem Themenbereich "4.c Nachhaltigkeit" die Ergebnisse der Ökobilanz-Berechnung näher erläutert.

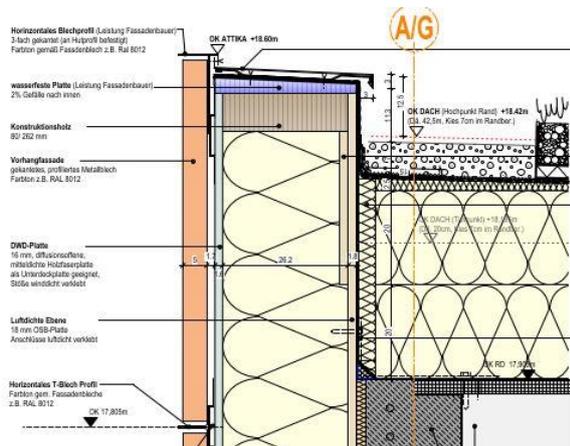


Abbildung 123: Ausführungsplanung Haus 168 Attika, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 124: Baustelle WU - Montage Attika, [ACMS Architekten GmbH], 02.19.2019

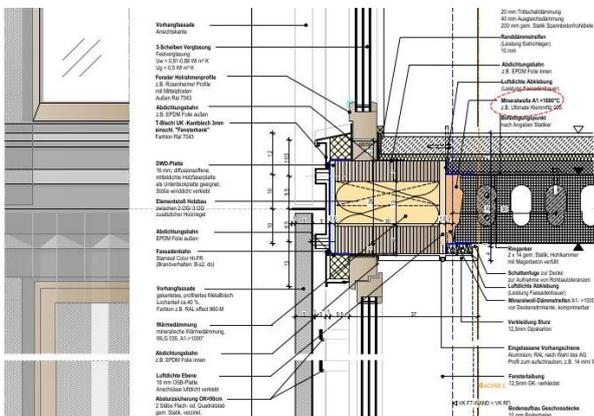


Abbildung 125: Ausführungsplanung Bereich Festverglasung Haus 168, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 126: Baustelle WU - Vorhangfassade [ACMS Architekten GmbH]

* AUSWIRKUNG

Qualität

Die im Bereich Hintergrund erläuterten Planungsgedanken und -thesen werden im Folgenden anhand der Ausschreibungs- und Ausführungsphase untersucht. Die verfolgten Ziele wurden weitestgehend erreicht wie zum Beispiel die Optimierung der Ausführungsqualität im Bereich der Luftdichtigkeit. Hier wurden nach Fertigstellung der luftdichten Hülle so genannte Blower Door Messungen mit erfolgreichen Ergebnissen durchgeführt.

Die Messeinrichtung (Blower-Door) wurde dabei in ein Terrassenfenster eingesetzt.

Randbedingungen	Haus 5 (Nr. 160) v. 05.02.2019	Haus 3 (Nr. 164) v. 14.03.2019
Außentemperatur Θ_e	3,0 °C	10,5 °C
Innentemperatur Θ_i	7,7 °C	10,0 °C
Windgeschwindigkeit	1,43 m/s (Windstärke 1 nach Beaufort)	5 m/s (Windstärke 3 nach Beaufort)
Netto Luftvolumen für Drucktest nach PHPP	1.294 m ³	1.294 m ³
Messergebnis Unterdruckmessung n_{50}	0,60 h ⁻¹	0,83 h ⁻¹
Messergebnis Überdruckmessung n_{50}	0,59 h ⁻¹	0,76 h ⁻¹
Mittelwert	0,60 h ⁻¹	0,79 h ⁻¹

Abbildung 127: Blower-Door-Test Wuppertal, Haus 160 und 164, [Hansen Ingenieure]

Gegenüber der Planung erfolgten die nachstehenden Anpassungen in der Ausführung:

Die beim Wuppertaler Projekt geplante Pfosten-Riegel Fassade mit integrierten Fenstern wurde durch die Problematik hinsichtlich Kosten und Umsetzbarkeit in konventionelle Fensterelemente im Holztafelbau geändert. Durch die Änderung der Konstruktion wurde ein höherer Holzanteil erforderlich. Bei dieser Umplanung wurden dann bei der Bemessung der Wärmedämmung höhere Reserven eingeplant, um gegebenenfalls Toleranzen aufgrund Ausführungsänderungen der Wände und Dächer ausgleichen zu können.

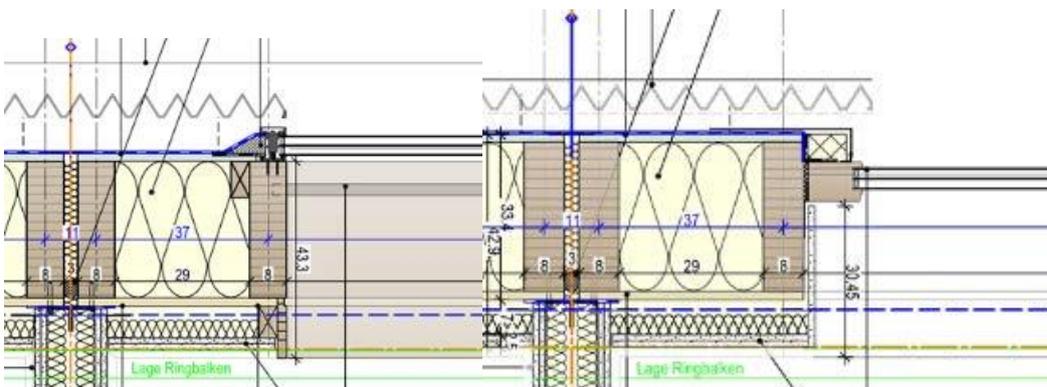


Abbildung 128: Pfosten-Riegel Fassade mit integrierten Fenstern, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 129: konventionelle Fensterelemente im Holztafelbau, [ACMS Architekten GmbH]

Die Einbausituation der Lüftungsgeräte wurde geändert. Zunächst war eine direkte Durchführung mit einem, in die Holzrahmenaufassade integrierten, Einbaukasten geplant. Dieser erwies sich jedoch als sehr aufwendig, insbesondere in der Abstimmung der einzelnen ausführenden Gewerke: Fassadenbauer, Rohbauer, Lüftungs-

techniker. Aus diesem Grund wurde der Einbauort aus der Holzkonstruktionsebene in die Installationsebene verschoben. In der Holzbaukonstruktion mussten so nur noch die Zu- und Abluft-Anschlüsse als flexible Adapterelemente eingesetzt werden. Dies konnte wahlweise im Werk oder vor Ort erfolgen.



Abbildung 130: Baustelle WU - Lüftungsdurchführung in der Installationsebene, [ACMS Architekten GmbH]

In der Planung erfolgte eine Einteilung der Fassadenelemente in vertikale Fassadentafeln, welche in den kleinen Häusern gebäudehoch, also 3 geschossig entworfen waren. In Haus 1 wurde die Fassade in der Planung in ein 3-geschossiges Element und ein aufgestelltes 2-geschossiges Element geplant. Grundsätzlich wurde die vertikale Elementgliederung seitens des ausführenden Unternehmens übernommen. In Haus 1 wurde jedoch die Anordnung der übereinanderstehenden 2 und 3 geschossigen Elemente getauscht. Somit war eine Reduzierung des Holzanteils möglich, da die größere Kantholzdimensionierung des unteren Elements so auf zwei Etagen reduziert werden konnte.



Abbildung 131: Positionsplan der Fassadenelemente Haus 168 Ansicht Nord-West, [Zimmerei Sieveke GmbH]

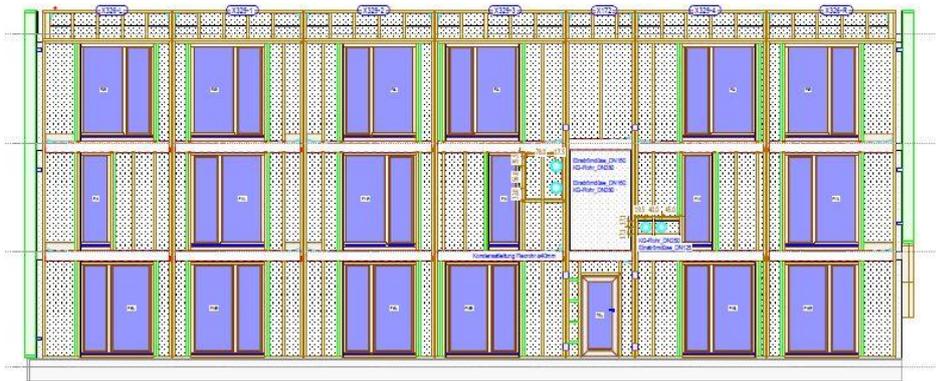


Abbildung 132: Positionsplan der Fassadenelemente, [Zimmerei Sieveke GmbH]

Die Detailausbildung wurde an Musterelementen in zwei Schritten überprüft. Die erste Bemusterung erfolgte im Werk. Eine zweite Bemusterung des in Teilen modifizierten Musters erfolgte vor Ort.



Abbildung 133: Musterfassade im Werk, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 134: Baustelle WU - Musterfassade auf der Baustelle, [ACMS Architekten GmbH]

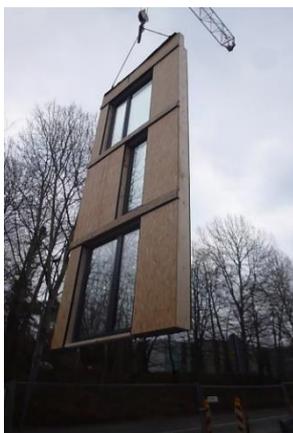


Abbildung 135: Baustelle WU - Einbringung der Holztafelelemente, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 136: Baustelle WU - Montage der Holztafelelemente, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 137: Baustelle WU - Befestigung der geschlossenen Fassadenbekleidung, [ACMS Architekten GmbH], 02.09.2019



Abbildung 138: Baustelle WU - Befestigung der Fassadenbekleidung an Fenster, [ACMS Architekten GmbH], 02.09.2019

Zeit

Planungszeit / Produktionszeit (mit / durch Unternehmen)

Die Planungs- und Produktionszeit ist im Wesentlichen von zwei Bereichen abhängig, zum einen den konstruktiven Fragestellungen zum anderen die Klärung der logistischen Abhängigkeiten. Hierbei ist eine enge Zusammenarbeit von Unternehmer und Planer zielführend und erleichtert den späteren Montageablauf auf der Baustelle. Durch die in diesem Bereich übliche computergestützte Fertigung aller Holzbauteile ist eine komplette Montageplanung mit Erfassung aller Holzbauteile innerhalb eines 3D-Modells notwendig. Vor dessen Erstellung sind jedoch sämtliche Anschlussdetails zu klären, da die genutzten Werkzeuge oftmals eine Parametrisierung nicht oder nur mit erheblichen zusätzlichen Aufwendungen zulassen. Auch wenn am Ende die Ausführungsvorschläge der Planer zu einem großen Teil übernommen werden, sind alle Details durch den ausführenden Unternehmer auf eine für ihn wirtschaftlich optimierte Umsetzung zu prüfen. Die Offenhaltung bestimmter Ausführungsdetails bis zur Vorlage eines 1:1 Fassadenmusters ist dabei terminkritisch und verlängert die Abstimmungsphase nicht unerheblich.

Die konstruktiven Fragestellungen beziehen sich zum Beispiel auf den Vorfertigungsgrad (mit oder ohne Fassadenbekleidung) sowie die Vorfertigungsrichtung, welche Geschossweise oder Gebäudehoch ausgeführt werden kann. Hierzu werden dem Unternehmer in aller Regel innerhalb der Ausschreibung gewisse Ausführungsalternativen eingeräumt um einer hohen Anzahl von Anbietern, ein aus Ihrer Sicht und Ihrer speziellen Erfahrung, angepassten Montagekonzept und werkspezifischen Fertigungsbedingungen zu ermöglichen. Zudem sollte die Aufnahme unterschiedlicher Bautoleranzen zwischen Rohbau und Holzbau und die Anschlüsse an den Innenausbau, durch zum Beispiel Abklebungen, geplant werden. Ausführungsänderungen in der Konstruktion sind jedoch während der Montageplanung schwierig da bei hohen Energiestandards wie dem Passivhausstandard Abhängigkeiten zur Wärmebrückenberechnung bestehen und somit die Möglichkeiten der Anpassungen eingrenzen. Die Abstimmung der sehr komplexen Montageplanung kann zu Verzögerungen der Produktion führen. Diese startet in aller Regel erst nach komplett abgeschlossener Montageplanung.

Die Klärung der logistischen Abhängigkeiten beziehen sich zu einem großen Teil auf Fragestellungen bezüglich des Schutzes der Elemente bei Transport und Montage. Der Transport der großformatigen Elemente an sich muss durch das Unternehmen getaktet werden und im Vorhinein abgeklärt werden welche Maßnahmen im Falle einer Bauverzögerung ergriffen werden. Sollte die Produktion nicht "Just-in-time" möglich sein, sollten Lagerflächen zur Verfügung stehen und die Kosten hierfür berücksichtigt sein.

Bauzeit:

Im folgenden Abschnitt wird auf die Termine in der Ausführungsphase der Holztafelelemente eingegangen.

Die Montage beim Wuppertaler Projekt wurde termingerecht ausgeführt, jedoch mit einem verspäteten Montagebeginn von ca. 7 Wochen welcher auf die Verzögerungen im Bauablauf zurückzuführen ist. Vorweg zu bemerken ist, dass die Angaben der Terminpläne mit der Bauzeit übereinstimmten, lediglich Vor- und Nacharbeiten kamen ergänzend hinzu. Die Montage erfolgte vollständig mittels Mobilkran und Hubsteiger. Alle Häuser wurden ohne Unterkonstruktion und Fassadenbekleidung geliefert, da zum einen der Transport aufgrund des - aus Sicht des ausführenden Unternehmers - Schaden anfälligen Materials schwierig gewesen wäre und es zum anderen zu Lieferengpässen des Fassadenmaterials kam. Hierdurch gab es Verzögerungen bei der Vorlage der Muster und dadurch bedingte verzögerte Freigaben. Die Häuser 2-5 wurden jeweils innerhalb von zwei Wochen inklusive Winkelmontage montiert. Danach wurde ca. eine Woche für Nacharbeiten wie Durchführungen und Dämmung der Sockelanschlüsse benötigt. Bei Haus 1 wurde ca. eine Woche für die Winkelmontage und anschließend drei Wochen für die Montage der Elemente benötigt. Die Nacharbeiten fielen bei Haus 1 deutlich geringer aus, da die Laibungsbekleidungen der Fenster und die Lüftungsdurchführungen bereits in den vorgefertigten Elementen enthalten waren. Die Durchführungen bei Haus 1 konnten bereits im Produktionsprozess hergestellt werden, da es hier deutlich weniger Schnittstellen zum Rohbau gab als bei den Häusern 2-5. Alle Elemente wurden ohne Fassadenbekleidung geliefert, diese wurde nachträglich auf der Baustelle montiert und tangierten den Innenausbau nicht da die wetterfeste, vertikale Gebäudehülle hergestellt war. Jedoch resultierte aus der Verzögerung eine Verschiebung im Zeitplan der Außenanlagen um ca. sieben Wochen. Das benötigte Gerüst für die Bekleidung der

Fassaden blockierte den Garten- und Landschaftsbauer. Die Sockelbekleidungen werden erst im Anschluss an den Gala-Bauer montiert, um Beschädigungen der Fassaden in Geländeebene zu verhindern.



Abbildung 139: Baustelle WU - Montage der Holztafelelemente, [ACMS Architekten GmbH]

Abbildung 140: Baustelle WU - Befestigung der Holztafelelemente an Winkeln, [ACMS Architekten GmbH]

Weiterführend zu diesem Themenabschnitt werden in dem Themenbereich "4.a Termine" die Abhängigkeiten der Termine näher erläutert.

Baukosten

Im direkten Vergleich der beiden durch die Hochschule Bochum begleiteten Forschungsprojekte Wuppertal und Bochum wird deutlich, dass die Ausschreibungsergebnisse trotz vergleichbarer Ausführung stark voneinander abweichen. Dieses kann der Konjunktur und auch Auslastung der Firmen zugeschrieben werden. Der Vergleich zu bereits durch ACMS Architekten realisierte Projekte in Hannover und Wuppertal bestätigt diesen Schwankungsbereich der Kosten für vorgefertigte Holz-Fassadelemente. Hier stellen die Planer folgende Thesen auf:

- Die Angebote hängen bei der zurzeit sehr ausgelasteten Verfügbarkeit von Auftragnehmern erheblich von der Auslastung der Bieter ab. Kalkulationsstellen verfügen nur über sehr eingeschränkte Kapazitäten. Besondere Konstruktionen, welche von dem allgemeinen Tagesgeschäft abweichen oder einen höheren Zuliefer- oder Sub-Unternehmer- Anteil beinhalten, können nicht detailliert kalkuliert werden. Diese werden mit einem entsprechenden Risikozuschlag belegt, welcher eine sowieso wirtschaftliche Abwicklung des Auftrages sicherstellt. Die erheblichen Schwankungen gerade in solchen Positionen bestätigen die Annahme der Architekten.
- Ebenfalls abhängig sind die Angebotspreise vom Detaillierungsgrad bzw. von der Komplexität der nicht-tragenden Außenhülle. Außerdem wirkt sich die Montageart durch Hubsteiger und somit Verzicht auf Gerüststandzeit positiv auf die Kosten aus. Eine robuste Außenverkleidung wie zum Beispiel Holz oder Faserbeton kann im Werk vormontiert werden, da sie kratzfest und stabil genug ist um mit dem Element transportiert zu werden. Bleche und farbige Platten hingegen sind schadensanfälliger und müssen gesondert transportiert und separat montiert werden. Hier wirkt sich nicht nur die Materialität & Farbigekeit negativ auf den Preis aus, sondern auch der aufwendigere Transport. Um Kosten zu sparen müssen demnach möglichst genaue Vorgaben gemacht werden und durch die Planer der Montageablauf genau betrachtet werden, bis hin zum Endtransport an die Baustelle. Die Kosten sind ebenfalls von dem Montagekonzept abhängig, hier zu nennen sind als Beispiel Befestigungen mit oder ohne Winkel oder auch die Art der Unterkonstruktion.

Beim Wuppertaler Projekt war das 1. Vergabeverfahren ohne wirtschaftlich annehmbares Ergebnis, die vermuteten Gründe sind vorstehend beschrieben. Entsprechend wurde auf Basis der technischen Klärungsgespräche im ersten Verfahren die Ausführungsplanung vereinfacht und komplexe Details wie zum Beispiel die Pfosten-Riegel Konstruktion modifiziert. Die Planer hatten die Vermutung das innovative Ansätze und zu hohe Komplexität bei

der aktuell angespannten Marktlage zu hohen Mehrkosten führt. Die neuen Fertigungsprozesse erfordern neue Strukturen im Produktionsprozess und sind somit aufwendiger und teurer. Hinzu kommt, dass bei einer öffentlichen Ausschreibung keine Abstimmungen der innovativen Ansätze möglich sind, da Kooperationsplanung zwischen Planern und Ausführenden unterbunden sind. Im 2. Vergabeverfahren wurde die Pfosten-Riegel-Konstruktion in eine konventionelle Konstruktion mit Fensterelementen geändert und die Materialstärke der Metallbekleidung auf 1 mm reduziert sowie zusätzliche Befestigungspunkte eingeplant. Die Ergebnisse wurden im Vergleich zum 1. Vergabeverfahren verbessert, sind jedoch teurer als die im Bochumer Projekt was eventuell auf die spätere Vergabe und somit weitergehend angespannten Marktsituation zurückzuführen ist.

Weitere Punkte zu diesem Themenabschnitt werden in dem Themenbereich "4.d Kosten & Effizienz" zusammengefasst.



FAZIT

Betrachtet man die Holztafelelemente hinsichtlich ihrer Qualität, Flexibilität und der Ökologie kann man zusammenfassend sagen, dass die Thesen der Planer weitestgehend erfüllt wurden. Das vorgefertigte Element weist eine sehr gute Qualität auf und bietet vielseitige Gestaltungsmöglichkeiten.

Die geplante Bauzeit bzw. Montagezeit kann ebenfalls bestätigt werden, da eine schnelle Herstellung der wetterfesten Hülle und somit die Voraussetzungen für den Beginn Innenausbau erreicht wurde. Zu beachten ist jedoch, dass unbedingt in der Planungsphase auf Toleranzen zum Rohbau geachtet werden muss und diese mit eingeplant werden sollten um einen gestörten Bauablauf und zusätzliche Kosten zu vermeiden.

Wichtiger Faktor bei der Planung ist die Art der Fassadenbekleidung, ein unempfindliches und robustes Material ist hierfür sehr geeignet da es keine Schwierigkeiten beim Transport aufweist und weniger schadensanfällig ist. Transportmöglichkeiten und effiziente Auslastung des LKWs haben einen entscheidenden Einfluss auf den Vorfertigungsgrad der Elemente mit Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion. Empfindlichere Materialien wie zum Beispiel Bleche müssen gesondert transportiert und nachträglich montiert werden, dieses wiederum stört den Bauablauf der Außenanlagen aufgrund der dann benötigten Gerüststellung. Fassadenbekleidungen aus Holz sind für die Hersteller sehr einfach umzusetzen, da sie mit dem Material vertraut sind. Hier gibt es aber baurechtliche Grenzen bezüglich der Ausführung vor allem an Gebäudeklasse 4 (i.d.R. 4-geschossig und höher). Die neuen Regelungen in den Bauordnungen begünstigen zwar meist die Holzverwendung sind aber baurechtlich oft noch nicht ausreichend klar definiert. Die Schweizer Richtlinie ([Bart, B. et al.] kann hier als Handlungsempfehlung dienen. Es bedarf jedoch für jedes Projekt ab Gebäudeklasse 4 einer erneuten Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden mit hohem Zeitaufwand und ungewissem Ausgang. Dies ist deshalb bedauerlich, als dass dadurch die Hürden für den Einsatz sehr hoch sind und das Nutzen von erheblichen ökologischen und vor allem auch finanziellen Vorteilen maßgeblich erschwert wird. (Holzfassade Bochum 46,80/m²; Vergleich Faser-Beton-Platten 99,26; Vergleich verzinkte Stahlbleche 203,31 Euro jeweils netto). Ein großes Optimierungspotential für die Reduzierung von CO₂ Emissionen bleibt ebenso durch die aktuellen baurechtlichen Vorschriften meist unerreicht. Die Beplankungen der wirtschaftlichen Holzrahmenbauweise sowie der eingesetzte Dämmstoff lassen die Verwendungen von Holzwerkstoffen oder alternativ für die Dämmung von Recyclingmaterial wie Zellulosefasern nicht zu. Dies ist unverständlich das die primären Schutzziele hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer damit problemlos erreichbar sind.

Verbesserungspotential sehen die Verfasser dieses Berichts in der Produktionskette und Planungsphase. Für spätere Anpassung des 3D Modells, zum Beispiel nach Erstellung eines Muster Elements, wäre es empfehlenswert die 3D Planung zu parametrisieren. So können zum Beispiel Abständen im Bereich der Fenster eine gewisse Intelligenz zugeordnet werden und nachträgliche Änderungen für alle betreffenden Bauteile erleichtern oder gar möglich machen. Die BIM Methode bietet hierfür sicherlich ein entsprechendes Potential soweit die Programme eine solche Parametrisierung zulassen. Dabei ergeben sich jedoch deutliche Leistungsverschiebungen

zwischen Planer und ausführenden Unternehmen die auf Basis der HOAI nur schwierig abzubilden und im öffentlichen Vergabeverfahren in vielen Belangen konträr geregelt sind.

Empfehlenswert ist daher ein kooperatives Ausschreibungsverfahren um innovative Ansätze frühzeitig mit den ausführenden Unternehmen abstimmen zu können. Hierzu existieren in der Veröffentlichung "Lean Wood" bereits Handlungsempfehlungen.

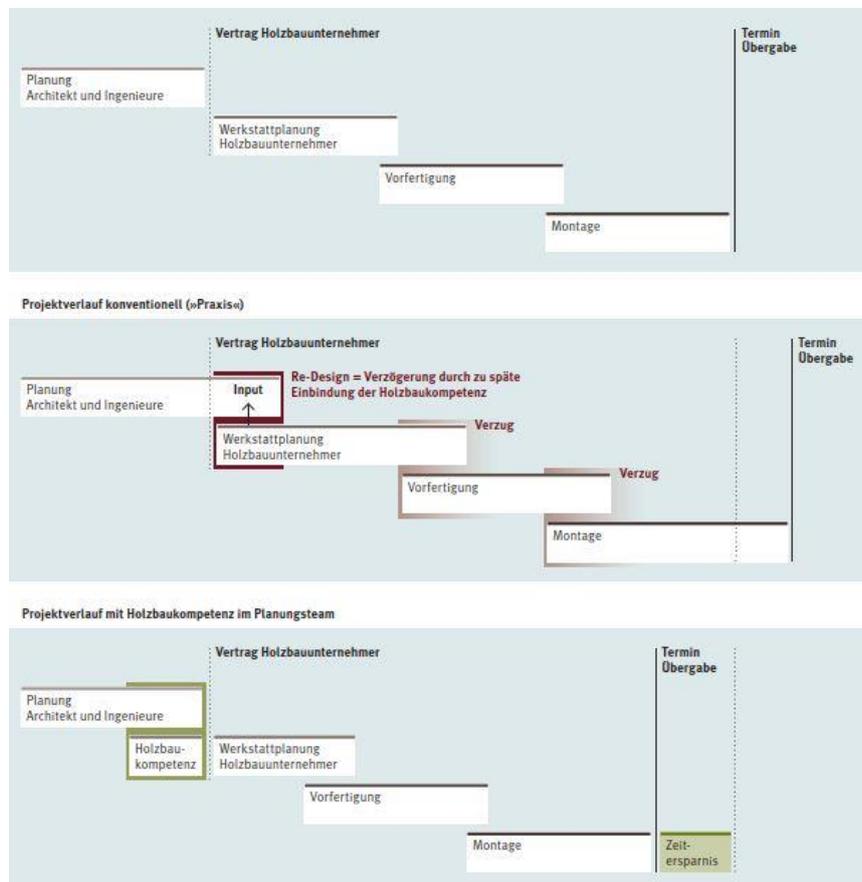


Abbildung 141: Projektverlauf konventionell (Theorie), [Kaufmann, H. et al.], 15.06.2018, S.7

Um besser auf den Baustellenablauf und eventuelle Verschiebungen im Terminplan reagieren zu können ist eine Just-in-time Produktion zu hinterfragen. Nur wenn keine zusätzlichen Lagerplätze bei innerstädtischen Grundstücken zur Verfügung stehen, sollte dies angedacht werden. Ansonsten ist es vorteilhaft die Zwischenlagerung auf der Baustelle in Betracht ziehen um Terminverschiebungen auffangen zu können. Entsprechende Transportlösungen mittels Transportbrücken stehen hierfür zur Verfügung.

Mit der Vorfertigung von Fassaden werden traditionell getrennte Gewerke in neue Vergabeeinheiten zusammengefasst. Zurzeit existiert nur ein begrenzter Anbieterkreis von Fertigteilvernehmern, die hybride Angebotsstrukturen vorhalten. Eine Erweiterung dieses Anbieterkreises wird in den nächsten Jahren sicherlich erfolgen. Die zurzeit sehr große Auslastung in der gesamten Baubranche steht jedoch der innovativen Weiterentwicklung entgegen. Derzeit werden vorrangig bestehende Strukturen bedient, Innovation (insbesondere auch ökonomisch optimierte) werden aufgrund der angespannten Wirtschaftslage nur verhalten weiterentwickelt.

4.a_2. Vergleich Terminplanung mit tatsächlicher Bauzeit



RELEVANZ

In diesem Themenbereich sollen die bereits aus den Themenblöcken "elementierter Rohbau", "Bäder" und "Holztafelelemente" gewonnenen Erkenntnisse zur Bauzeit in einen übersichtlichen Zusammenhang gebracht werden und übergeordnet dargestellt werden. Das Ziel ist es, die einzelnen Vorfertigungsbereiche im Themenabschnitt "Hintergrund" hinsichtlich der Termine zu analysieren, sowie den Anteil der Vorfertigung zur gesamten Bauzeit darzustellen. Bei der Analyse werden die prognostizierten Termine zum Stand des Förderantrags verglichen mit den Terminen zur Fertigstellung. Hieraus gewonnene Erkenntnisse sollen die Möglichkeit zu einer Prognose geben, um die Terminabläufe bei vergleichbaren Folgeprojekten sicher zu stellen. Die Prognose bezieht sich auf einen ungestörten Bauablauf, das heißt dass projektspezifische Abhängigkeiten, wie zum Beispiel allgemeine Bauverzögerungen, in die Prognose nicht miteinbezogen werden. Zudem soll die Vorfertigung mit der konventionellen Bauweise verglichen werden, daher werden hier Prognosen zur konventionellen Bauweise durchgeführt, welche auf Erfahrungswerten der Architekten beruhen. Außerdem werden die zeitlichen Abhängigkeiten durch den gestörten Bauablauf näher betrachtet um Rückschlüsse zu ziehen in wie weit eine Bauzeitverkürzung ohne Störungen erreicht werden kann. Im letzten Schritt wird die durch die Vorfertigung entstehende Verlagerung der Ausführung in die Planungsphase dargestellt und in Bezug zur konventionellen Bauphase gebracht.



HINTERGRUND

Elementierter Rohbau

Aus unterschiedlichen Gründen kam es zu mehreren Verzögerungen im Bauablauf mit Auswirkungen auf den Gesamtterminplan. Die Ursachen der Terminverschiebungen sind vielfältig, hier sind sowohl wirtschaftliche Aspekte wie zum Beispiel erforderliche Neuausschreibungen, als auch Lieferverzögerungen von Betonfertigteilelementen und verspätet vorgelegte Montageplanungen von Firmen maßgeblich.

Zunächst führte die erforderliche Neuausschreibung des Gewerkes Rohbau zu erheblichen Bauverzögerungen. Der geplante Baubeginn der Rohbauarbeiten und somit auch der gesamte Terminplan des Bauablaufes musste um ein halbes Jahr - vom 17.07.2017 auf den 18.01.2018 - verschoben werden.

Weiterhin wurde durch den Baugrundgutachter vor Ort festgestellt, dass zusätzliche Sicherungsmaßnahmen an Haus 1 notwendig waren, da der Baugrund in tiefere Schichten nicht so gut wie angenommen steht. Maßgebend wurde jedoch durch fehlende Mitwirkung der Rohbaufirma bei der Erstellung der Baugrubensicherung und nicht rechtzeitig vorgelegte Terminpläne sowie Verzüge in der technischen Klärung des Rohbauers der Baubeginn auf Anfang Mai 2018 verschoben. Die fehlenden oder mangelhaft erfolgten Vorarbeiten von der Rohbaufirma für die Ausführungsabstimmung (Montageplanung, Detailterminpläne etc.) führten zu weiteren Verzögerungen im Bauablauf und zu einer Verschiebung der Ausführungsreihenfolge der einzelnen Häuser. Außerdem wurden Betonfertigteilelemente teilweise nicht rechtzeitig angeliefert, was zu Bauunterbrechungen der Rohbauarbeiten führte. Es zeigt sich, dass durch die Vielzahl der Nachunternehmen der verschiedenen Fertigteilelemente - Stahlverbundträger, Spannbetonhohlplatten, Vollfertigteilewände und Halbfertigteilewände - ein zusätzlicher großer Abstimmungsbedarf durch die Schnittstellenkoordination besteht. Die notwendige Umstrukturierung im Planungsvorlauf und Bauablauf erfordert erhöhte Koordination, Kooperation und Kompetenz der beauftragten Firma. Leider hat die Mitwirkung der Rohbaufirma im Wuppertaler Projekt nicht gut funktioniert, was Einfluss auf die Bauzeit der Rohbauarbeiten hatte.

Zusätzlich kam es durch weitere erforderliche Aufhebungen von Vergabeverfahren (siehe [3.4 Auswertung der Kosten](#)) zu weiteren Verzögerungen. Insbesondere die erforderliche Neuausschreibung der Fassadenarbeiten und der Dacharbeiten führte zu weiteren Verschiebungen im Gesamtterminplan, da sie für die Herstellung eines wetterfesten Gebäudes entscheidend und somit Voraussetzung für den Beginn der Ausbaugewerke sind.

Betrachtet man die reine Montagezeit der Fertigteilelemente des Rohbaus ohne Unterbrechungen durch die fehlende Bereitstellung von Fertigteilen, stimmt die geplante Zeitangabe mit der ausgeführten überein. Bei den Häusern 2-5 wurden ca. 1,5 Wochen pro Etage und Haus benötigt - ca. 2 Tage Wände stellen, 1 Tag Spannbetonhohlplatten, 3 Tage Ringanker und 2 Tage Verguss. Für Haus 1 wurden ca. 2 Wochen pro Etage benötigt.

Rohbau	Wochen
Konventionell	35
Stand Planung	16
Stand Fertigstellung	46
Prognose	23

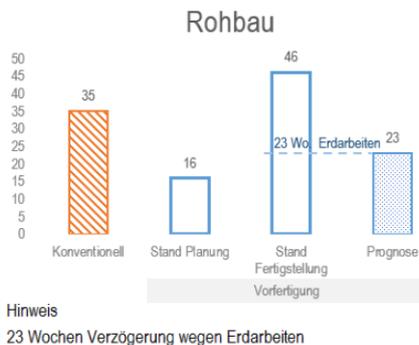


Abbildung 142: Diagramm Rohbau Stand 30.12.2019, [Hochschule Bochum]

Für die Prognose zur konventionellen Ausführung des Rohbaus wurden zunächst die 23 Wochen Erdarbeiten inklusive 10 Wochen Gründung gerechnet. Hinzu kommt der konventionelle Rohbau mit je 1,5 Wochen für die kleinen Häuser und 6 Wochen für das große Haus. Hierbei sind parallele Rohbauarbeiten miteinkalkuliert. Somit wird hier auf eine Gesamtbauzeit von ca. 35 Wochen für den Rohbau in konventioneller Bauweise prognostiziert. Der Stand der Planung sah ursprünglich 16 Wochen für die Erstellung des elementierten Rohbaus vor. Durch die bereits oben genannte schwierige Hangsituation und die damit verbundenen Erd- und Verbauarbeiten ergab sich eine Verzögerung von 23 Wochen. Für vergleichbare Bauvorhaben wird prognostiziert, dass der Rohbau ohne gestörten Bauablauf in 23 Wochen fertig gestellt gewesen wäre.

Für vergleichbare Bauvorhaben kann also mit einer Bauzeit von 2-3 Wochen pro Etage gerechnet werden. Relevant für eine verkürzte Bauzeit ist ein sich wiederholender Grundriss, sowie äußere Grundvoraussetzungen. Hat die ausführende Firma bereits mit elementierten Rohbau Systemen gearbeitet, vereinfacht das den Bauprozess. Auch Rahmenbedingungen wie Baustelleneinrichtung zum Beispiel Lagermöglichkeiten von Fertigteilen und Plätze zur Kranstellung sind zu beachten. Außerdem sollten wenn möglich Arbeiten parallel ausgeführt werden. Es sollte vermieden werden, den Rohbau in der Winterzeit auszuführen, da dieses zu unkalkulierbaren Verzögerungen führt, welche wiederum Auswirkungen auf die Folgegewerke haben.

Bäder

Der ursprüngliche Ablauf der Einbringung der Fertignasszellen wurde aufgrund der Verzögerungen im Rohbau und des Verbaus der Böschung Haus 1 angepasst. Die Einbringung verlief, nach Klärung der Einbringungsmethode problemlos und im Terminplan schneller als geplant. Die Erwartungen der Planer wurden somit erfüllt.

Bäder	Wochen
Konventionell	36
Stand Planung	23
Stand Fertigstellung	18
Prognose	18

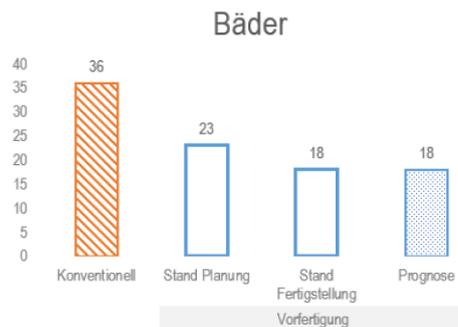


Abbildung 143, Diagramm Bäder Stand 30.12.2019, [Hochschule Bochum]

Die ursprüngliche Planung sah 6 Wochen zur Einbringung und 6 Wochen für die Positionierung der Fertignasszellen vor. Dazu wurden 11 Wochen für die Anschlüsse der Zellen kalkuliert, was zu einer Gesamtbauzeit von 23 Wochen führte. Die Ausführung zeigte jedoch, dass für die Einbringung lediglich 4 Wochen und für das Positionieren und Anschließen der Zellen je 7 Wochen benötigt wurden. Insgesamt wurde somit eine Gesamtbauzeit von 18 Wochen benötigt, welche auch als Prognose für vergleichbare Bauvorhaben angesetzt werden kann.

Für die Prognose zur konventionellen Ausführung der Bäder werden ca. 12 Wochen für das große Haus und insgesamt 24 Wochen für die kleinen Häuser gerechnet. Somit kommt man hier auf eine Gesamtzeit von ca. 36 Wochen. Dieser deutliche Unterschied ergibt sich aus den bereits im Themenabschnitt 4.a_1.1.2 Bäder genannten Gewerkeschnittstellen und daraus resultierenden zeitlichen Abhängigkeiten. Bei der Prognose wurde ein zeitversetztes und somit paralleles Arbeiten der unterschiedlichen Gewerke auf den verschiedenen Etagen bzw. Häuser bereits mit einbezogen.

Holztafelemente

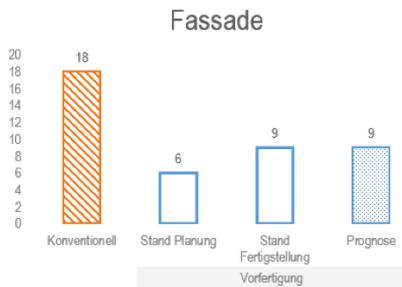
Die 1. Ausschreibung Fassade wurde aufgehoben und im 2. Verfahren als Verhandlungsverfahren mit Anpassung der Ausführung vergeben. Dieses führte zu Verzögerungen, welche aber ohnehin schon durch den Verzug des Rohbaus entstanden waren. Die Montage der Holztafelemente erfolgte termingerecht, jedoch aufgrund der Witterung 7 Wochen später als geplant. Für die Montage der Elemente der Häuser 2-5 wurden ca. 2 Wochen inklusive der Vorarbeiten wie zum Beispiel Winkelmontage benötigt. Für die Nacharbeiten wurde je Haus zusätzlich 1 Woche benötigt, hierbei handelte es sich um Durchführung der Lüftungsrohre und Dämmung der Sockelanschlüsse. Bei der Montageplanung Haus 1 wurden die Holztafelemente, im Gegensatz zu den kleinen Häusern, inklusive Unterkonstruktion und Lüftungsdurchführung geplant. Es wurde ca. 1 Woche für die Winkelmontage benötigt und weitere 3 Wochen für die Montage der Elemente. Durch die bereits im Werk vormontierte Unterkonstruktion waren weniger Nacharbeiten nötig. Laut Angabe im Terminplan wurden für Haus 1 3 Wochen und für die Häuser 2-5 jeweils 2 Wochen für die Montage der Elemente eingeplant, zusätzlich der Vor- und Nacharbeiten. Die Montage erfolgte vollständig mittels Mobilkran und Hubsteiger.

Die Elemente wurden entgegen der ursprünglichen Planung ohne Fassadenbekleidung vorgefertigt und die Montage somit nachträglich vor Ort ausgeführt. Es gab jedoch Lieferschwierigkeiten des Fassadenmaterials und Verzögerungen bei der Vorlage der Musterbleche und dadurch bedingt verzögerte Freigaben. Außerdem war der

Transport des gezackten Blechs mit Schwierigkeiten verbunden. Die Montage der Bleche erfolgte mittels Gerüsts. Die nachträgliche Montage der Vorhangfassade hatte jedoch keine Auswirkungen auf die mittels der Holztafelelemente sehr schnell sichergestellte Wetterfestigkeit der Gebäude.

Im untenstehenden Diagramm wird die reine Stellung der Holztafelelemente zum Erreichen der wetterfesten Hülle berücksichtigt.

Fassade	Wochen
Konventionell	18
Stand Planung	6
Stand Fertigstellung	9
Prognose	9



Hinweis

Bauzeit Fassade wetterfest (ohne Bekleidung)
ca. + 8 Wochen Montage Bekleidung Blech

Abbildung 144, Diagramm Fassade Stand 30.12.2019, [Hochschule Bochum]

Die in der Planung kalkulierten 6 Wochen der Fassadenmontage konnte in der Ausführung nicht eingehalten werden. Insgesamt wurden 9 Wochen benötigt und können so auch prognostiziert werden, da es in diesen 9 Wochen zu keinen Verzögerungen kam. (Zusätzlich zur Montage der Fassadenelemente wurden 15 Wochen für die Blechmontage inkl. Unterkonstruktion der kleinen Häuser benötigt.)

Für eine konventionelle Ausführung der Außenwände sollten 6 Wochen fürs große Haus und 12 Wochen für die kleinen Häuser kalkuliert werden.

Anteil Vorfertigung an Gesamtbauzeit

Im unten dargestellten Diagramm wird der Anteil der Vorfertigung zur Gesamtbauzeit verglichen. Hier ist zu beachten, dass sich die 44 % aus der Addition der Ausführungszeit elementierter Rohbau, Bäder und Holztafelelemente ergeben. Da einige Arbeiten jedoch parallel ausgeführt werden konnten ist davon auszugehen, dass die Vorfertigung ca. 35 % der Gesamtbauzeit ausmacht.

Bauzeit gesamt	Wochen
Konventionell	63
Vorfertigung	50

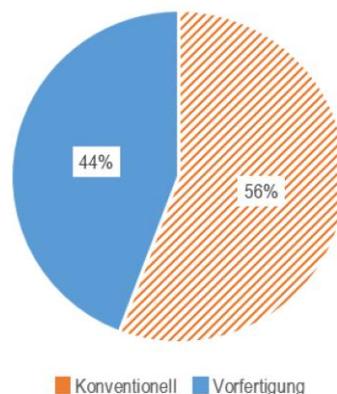


Abbildung 145, Diagramm Vergleich Vorfertigung zur Gesamtbauzeit 30.12.2019, [Hochschule Bochum]

Verlagerung der Ausführung in die Planungsphase

Durch eine Bauweise mit vorgefertigten Elementen entsteht ein deutlich erhöhter Planungsaufwand in der Planungsphase, welches wiederum zu einer Verlagerung der Ausführungsphase in die Planung führt. Details und Materialitäten müssen im Vergleich zur konventionellen Bauweise früh festgelegt und geplant werden.

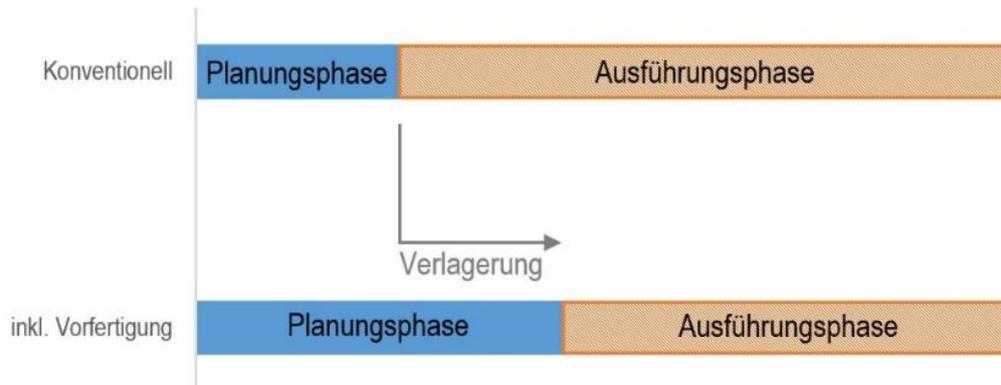


Abbildung 146, Diagramm Verlagerung Planungsphase 07.01.2020, [Hochschule Bochum]



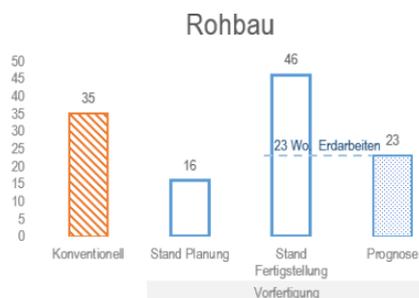
FAZIT

Die Vorfertigung beschränkt sich bisweilen auf die Rohbau- und Außenwandkonstruktion sowie den Einsatz von Fertignasszellen. Der Innenausbau und die technische Gebäudeausrüstung werden weiterhin meist konventionell ausgeführt. Bei dem Forschungsprojekt wurde ca 35 % der Bauzeit für die Gewerke mit hohem Vorfertigungsgrad benötigt. Die restlichen 65 % der Bauzeit wurden für Gewerke vor Ort in konventioneller Bauweise benötigt. Zu den drei Vorfertigungsthemen "elementierter Rohbau", "Nasszellen" und "Holztafelbau" wurde in der Realisierung grundsätzlich bestätigt, dass die konventionelle Ausführung auf der Baustelle deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als die vorgefertigte Bauweise. Die tatsächlichen Bauzeiten wurden bzgl. der projektspezifischen Besonderheiten bereinigt und mit der in der Projektierung der Baumaßnahme prognostizierten Bauzeiten gegenübergestellt. Hieraus ergibt sich die nachstehend erzielte Bauzeitverkürzung:

Elementierter Rohbau

→ "Konventionell" 35 Wochen gegenüber bereinigt
"Vorgefertigt" 23 Wochen entspricht 12 Wochen

Rohbau	Wochen
Konventionell	35
Stand Planung	16
Stand Fertigstellung	46
Prognose	23



Hinweis

23 Wochen Verzögerung wegen Erarbeiten

Abbildung 147: Diagramm Rohbau Stand 30.12.2019, [Hochschule Bochum]

Bäder

→ "Konventionell" 36 Wochen gegenüber bereinigt
"Vorgefertigt" 18 Wochen entspricht 18 Wochen

Bäder	Wochen
Konventionell	36
Stand Planung	23
Stand Fertigstellung	18
Prognose	18

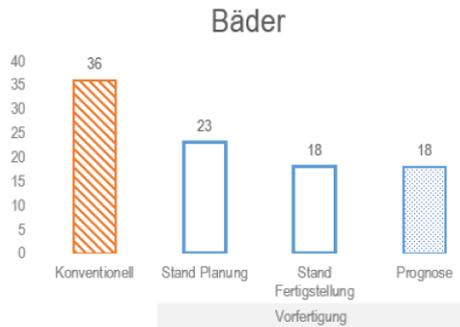
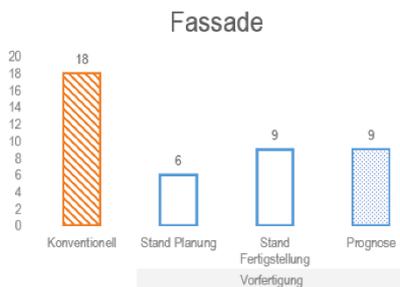


Abbildung 148, Diagramm Bäder Stand 30.12.2019, [Hochschule Bochum]

Holztafelemente

→ "Konventionell" 18 Wochen gegenüber bereinigt
"Vorgefertigt" 9 Wochen entspricht 9 Wochen

Fassade	Wochen
Konventionell	18
Stand Planung	6
Stand Fertigstellung	9
Prognose	9



Hinweis

Bauzeit Fassade wetterfest (ohne Bekleidung)
ca. + 8 Wochen Montage Bekleidung Blech

Abbildung 149, Diagramm Fassade Stand 30.12.2019, [Hochschule Bochum]

Maßgebende Bauzeitverkürzungen konnten also bei den Nasszellen und den Fassadenelementen erzielt werden. Die Bauzeitverkürzungen im Rohbau ist erheblich von den projektspezifischen Gegebenheiten abhängig. Die für den elementierten Rohbau noch notwendigen Optimierungen wurden im Kapitel zur Vorfertigung entsprechend detailliert erläutert.

Entscheidend für den Gesamtablauf der Baumaßnahme ist, dass die Verkürzungen in der Bauzeit mit entsprechenden Vorlaufzeiten verbunden ist. So wird die Planungszeit vor Ausschreibung und die Technische Klärung und Vorfertigungszeit der Auftragnehmer nach Vergabe maßgebend verlängert. Es findet also eine Zeitverschiebung von der Ausführung zur Planung und Arbeitsvorbereitung statt. Die Bauzeitverkürzung führt ausdrücklich

nicht zur Verkürzung der gesamten Projektierung der Baumaßnahme. Der verlängerte Vorlauf und teilweise maßgebende Ablaufveränderungen in der Planung und Ausschreibung sind besonders zu berücksichtigen. Beispielsweise mussten im realisierten Projekt die Sanitärzellen als erste Ausschreibung veröffentlicht werden.

Die elementierte Bauweise hat also teilweise eigene Strukturen, welche von Beginn an berücksichtigt werden müssen. Die Anforderungen an eine zeitlich und inhaltlich gut organisierte Planung sowie ein Bauablaufmanagement mit entsprechenden Zwischenlagerungen von vorgefertigten Bauteilen sind sehr hoch, die Abläufe auf der Baustelle können bei guter Vorplanung wesentlich verkürzt werden.

4.b. Gemischte Nutzung und flexible Nachnutzung, räumliche und gestalterische Qualitäten



RELEVANZ

Ein weiteres Ziel des Förderprogramms Variowohnen ist die Analyse der Nutzungsmöglichkeiten und die Untersuchung verschiedener Nachnutzungsszenarien. Die besondere Bedeutung der Nachnutzbarkeit von Gebäuden entsteht aus der Erkenntnis der hohen Umweltwirkungen aus der Herstellungs- und Recyclingphase. Auch beim Ansatz einer auf Basis des Kreislaufgedankens konzipierten Gebäudestruktur (Cradle to Cradle) werden in aller Regel in jeder Veränderungsphase des Kreislaufes neue Ressourcen in Anspruch genommen. Das Umwelttechnisch vorteilhafteste Szenario ist damit die direkte Weiternutzung von Gebäuden bzw. möglichst großen Teilen der Gebäudestruktur. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Unklarheit über spätere Recyclingmöglichkeiten.

Die Frage von gemischten Nutzungen hat im Rahmen der aktuellen Nachhaltigkeitsdiskussion vor allem Auswirkungen auf sozialer Ebene aber ist auch entscheidend für die aus den Nutzungen resultierenden Mobilitätsanforderungen. Nutzungsmischungen aus den unterschiedlichen Lebensbereichen wie Wohnen, Arbeiten und Freizeit ermöglichen es Mobilitätsanforderungen zu reduzieren. Gleichzeitig sorgen sie durch die oft unterschiedlichen Lebensphasen der Nutzer (z.B. Studium und Ausbildung sowie Arbeitswelt) bzw. auch der damit zusammenhängenden sozialen Milieus und sozialen Stellungen für eine hohe soziale Diversität die für gegenseitige Akzeptanz von hoher Bedeutung ist. Ergänzt durch eine Vermischung von Generationen kann so ein hoher Gesellschaftlicher Konsens erreicht werden.

Die Überlegungen aus der Entwurfsphase zu möglichen Nachnutzungsszenarien werden hinsichtlich der potenziellen Umsetzung detaillierter betrachtet. Hierbei werden zunächst die Standortqualitäten herausgearbeitet und im Anschluss die Merkmale der Vorfertigungssysteme im Bezug zur Nachnutzung beschrieben. Des Weiteren werden die räumlichen und gestalterischen Qualitäten anhand der Grundrisse erörtert und in Bezug zur Nutzerakzeptanz gebracht. Hierbei werden die Grundrissqualitäten dargestellt und die baulichen Anpassungen mit besonderem Augenmerk auf die Vorfertigungssysteme hinsichtlich möglicher Varianten/Szenarien analysiert. Im folgenden Themenbereich werden die o.g. Ziele bearbeitet, die konstruktiven Abhängigkeiten der jeweiligen Systeme im Detail werden jedoch in dem Themenbereich Bauweise/Baukonstruktion näher erörtert.

Der Hintergrund dieses Themenbereiches dient der Analyse der einzelnen Vorfertigungssysteme hinsichtlich der Fragestellung. Hierbei werden die bereits im Themenbereich Bauweise / Baukonstruktion analysierten Systeme näher betrachtet und bezüglich ihrer Flexibilität untersucht. So soll ein Überblick zu den Vor- und Nachteilen des elementierten Rohbaus, der Fertignasszellen und der Holztafelelemente entstehen. Grundlegend führt die elementierte Bauweise mit ihrem minimierten Tragsystem zu einer sehr großen Flexibilität im Hinblick auf mögliche Nachnutzungskonzepte. Zwingend vorgegeben sind hierbei lediglich die Stützen, tragenden Wandscheiben, seitliche Aussteifungswände sowie die Lage des Aufzugsschachts und der Erschließungszonen. Innerhalb dieses Systems ist eine Vielzahl von möglichen Nachnutzungskonzepten denkbar.

Nachnutzungsszenarien

Im Bereich Nachnutzungsszenarien werden unterschiedliche Nutzungsvarianten dargestellt und auf ihre Vor- und Nachteile untersucht. Zum Zeitpunkt der Planung wurde im Rahmen des Vario Programms als Erstnutzung das Wohnen für Studierende festgelegt und die Grundrisse dementsprechend entwickelt. Aufgrund der steigenden Studierendenzahlen und einer höheren Nachfrage nach bezahlbarem Wohnraum, unter anderem durch die Flüchtlingssituation, ist in Ballungsgebieten in den nächsten Jahren mit einem angespannteren Wohnungsmarkt für Studierende zu rechnen. Bereits in die Planung miteinbezogen wurde, dass im späteren Nutzungsverlauf des Gebäudes verschiedene Wohnkonzepte umgesetzt werden können. Das Achsmaß ist so konzipiert, dass ebenfalls eine divergente Nutzung, wie beispielsweise eine Büronutzung als Umnutzungsszenario möglich wäre.

Abwägungsprozesse / räumlich gestalterische Qualität

Die in der Bauaufgabe und im Raumprogramm implizierten eher kleinen Raumverhältnisse, die ein Wohnen pro Person auf ca. 20 m² ermöglichen und somit deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von knapp 50 m² liegen, stellen im Rahmen der Suffizienz Strategie zur Erreichung nachhaltiger Gebäude einen wesentlichen Baustein dar. Wesentlicher Erfolgsfaktor von kleinen Raumverhältnissen ist es eine möglichst große Nutzerakzeptanz zu schaffen, die vor allem durch hochwertige Gestaltung, aber auch durch hohe innenräumliche Variabilität und höchste Nutzungsmöglichkeiten erreicht werden kann. Die Abwägung der Entscheidungsprozesse zwischen Optimierung von Flexibilität einerseits, sowie wirtschaftlicher Optimierung andererseits sollen dokumentiert und aufbereitet werden.



HINTERGRUND

Die Ausgangslage des Projektes adressiert zunächst über die Satzungsgemäße Aufgabe des Bauherrn sowie des Förderprogramms eine geringe Nutzungsmischung hinsichtlich der Generationen oder der unterschiedlichen Lebensphasen da es sich aufgrund der aktuellen Problemstellung des Wohnungsmarktes auf die Schaffung von Wohnplätzen für Studierende und Auszubildende fokussiert. Parallel sollte jedoch vor dem in der Relevanz beschriebenen Hintergrund eine für spätere Zeiträume zu ermöglichende größere Nutzungsvervielfältigung untersucht und aufgezeigt werden.

Seitens des Betreibers als öffentlich-rechtliche Anstalt mit klaren, satzungstechnisch festgelegten Verantwortungsbereichen wurden diese Anforderungen jedoch als mindestens sekundär betrachtet. Eine komplette Umnutzung wurde für einen sehr langen Zeitraum nahezu ausgeschlossen. Die Qualität der Gebäude definiert sich nicht nur über Grundrissqualitäten, sondern auch Umgebungsfaktoren. Der Standort und die Infrastrukturen sind hierbei zunehmend relevant für Nutzergruppen. Das Grundstück des VarioWohnen Projekts befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Uni Campus und ist sehr gut an das ÖPNV Netz angebunden. Diese Faktoren sind für Studierende äußerst relevant und wirken somit positiv auf die Nutzerakzeptanz. Aber diese Standortfaktoren sind vor allem auch ausschlaggebend für die realistische Nachvollziehbarkeit anderweitiger Nutzungsmöglichkeiten.

Das Wuppertaler Projekt besticht durch seine Nähe zum Campus und der Innenstadt. Mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder fußläufig sind Nahversorgungen im engeren und weiteren Sinne erreichbar. Der Campus der Wuppertaler Universität zieht sich breit durch Stadtgebiet, hat aber in der Nähe des Projekts sein Zentrum und die damit verbundenen Einrichtungen.

Da in Wuppertal in den letzten Jahren die Zahl der Studierenden stark angestiegen ist und der Universitätsstandort von Austauschstudenten zunehmend positiv angenommen wird kann der Bedarf an Wohnraum durch das zurzeit existierende Wohnungsangebot des Hochschul-Sozialwerks Wuppertal nicht abgedeckt werden. Durchgeführte Evaluationen der Hochschule Wuppertal zeigten, dass besonders ein Unterangebot an Uni nahem, preiswerten Wohnraum existiert. Das in unmittelbarer Nähe der Universität liegende ungenutzte „Restgrundstück“ wurde für das Vario Projekt aktiviert um das bestehende Wohnungsangebot bedarfsorientiert anzupassen. Das Grundstück befindet sich angrenzend zu einem Wohnquartier und wäre somit ebenfalls für nicht studentisches Wohnen nutzbar, sodass langfristig aus sich ändernde Wohnungsmarktsituationen in Wuppertal reagiert werden kann.

Das Grundstück galt aufgrund seiner Topographie und dem schmalen Zuschnitt ursprünglich als nicht bebaubar. Der Entwurf von ACMS Architekten hatte die Grundidee Plateaus in den Hang zu schneiden um die Bebaubarkeit des Grundstücks herzustellen. Gebaute Geländeversprünge nehmen dabei Funktionen auf, wie z. B. Fahrradabstellplätze und Nebengebäude. So entstehen gestaltete Zonierungen von privaten und öffentlichen Bereichen. Der Kubus im südöstlichen Grundstücksbereich wird auf einen gebauten Sockel gestellt, der öffentliche Funktionen beherbergt. Auf diese Weise können die Wohngeschosse auf ein gut belichtetes und über den Straßenraum angehobenes Niveau verlegt werden. In der sehr verdichteten gestaffelten Außenraumgestaltung können die speziellen Anforderungen für studentisches Wohnen mit erhöhtem Fahrradverkehr und reduziertem PKW-Verkehr nachgewiesen werden.

Für die dreigeschossigen Gebäude wurden Durchwohner entwickelt, die die Vorteile der Belichtung über die Südseite bis zu den, mit Schallschutzmaßnahmen flankierten nördlichen, zur Straße gelegenen Bereichen erlebbar machen. Die Gebäude bilden den Schutz vor den südlich gelegenen Außenanlagen. Durch die Staffelung der Gebäude sowie den vorgelagerten Freibereichen wird das letzte Teilstück der Max-Horkheimer-Str. gestaltet und hat einen maßgeblichen Anteil an der Entwicklung und Aufwertung der Südseite des Uni Areals. Durch den überhöhten Kubus (Haus 1) an der Kreuzung zur Fuhlrottstraße wird ein städtebaulicher Akzent gesetzt, welcher sich gegen die südlich gelegenen Hochhäuser behaupten kann.

Auf dem unten dargestellten Luftbild ist das Grundstück blau markiert dargestellt. Hier wird die Nähe zum Uni Campus deutlich. Die mit Zahlen markierten Gebäude zeigen weitere Standorte von Studierendenwohnheime des HSW.



Abbildung 150, Standort, HSW Wuppertal Präsentationsmappe [ACMS Architekten GmbH]

Für Umnutzungsszenarien bietet sich aufgrund der stadträumlichen Lage und vor allem der topografischen Verhältnisse eine Nutzung durch eine ältere und damit oft in der Mobilität eher eingeschränkte Nutzergruppe nur bedingt an. Versorgungseinrichtungen des täglichen Bedarfs sind zudem nicht auf kurzem Wege erreichbar. Dennoch sind viele Bereiche in der Wohnanlage auch für Nutzer mit mobilen Einschränkungen im Sinne einer angemessen gelebten Inklusion realisiert.

Büronutzungen sind aber aufgrund der großen Nähe zur Universität gut vorstellbar. Sowohl für studentische Arbeitsräume aber vor allem auch für junge Start-Up Unternehmen die sich aus dem universitären Umfeld entwickeln können.

Konstruktion

Der **elementierte Rohbau** wurde als Baukastenprinzip mit Stahlbetonfertigteilelementen ausgeführt. Das Tragsystem besteht vorwiegend Stahlbeton-Fertigteilwänden als Wandschotten in Kombination mit Spannbeton-Hohlplattendecken. Partiiell unterstützen Fertigteilstützen, Stahlverbundträger und Fertigteilunterzüge das Tragsystem. Tragende Bauteile sind hauptsächlich an den Giebeln und den Erschließungskernen angeordnet. Nur wenige ergänzende Tragschotten liegen in den großen, sonst stützenfreien Nutzungseinheiten. Auf diese Weise ist eine variable Zonierung der einzelnen Nutzungseinheiten möglich. Die einzelnen Grundmodule können zu größeren Einheiten zusammengeschlossen werden. So wurden bereits in der Erstbelegung mit einem Grundmodul Wohleinheiten für eine bis zu sechs Personen angeboten. Der 6 geschossige Kubus (Haus 1) hat zusätzlich ein Helix Treppenhaus als tragenden Kern über den auch ein sehr flexibles Erschließungssystem bereit gestellt wird.

Fertignasszellen

Die Entscheidung für Fertignasszellen erfolgt planerseite zunächst einmal vor dem Hintergrund der technischen Qualitätssicherung vor allem im kritischen Bereich der Abdichtung. Des Weiteren wurden Optimierungen im Bauablauf und in geringen Maße auch für die Baukosten erwartet. Grundsätzlich wurde der, auch aus wirtschaftlichen Gründen bevorzugten Sanitärzelle in Stahlleichtbauweise gegenüber solchen aus Beton auch ein vereinfachtes Rückbaupotential zugeschrieben. Dies begründete sich in der bei dieser Bauweise auch möglichen Zerlegbarkeit in einzelnen Wand- Boden- und Deckenmodule.

Da die Aufwendungen bei der Herstellung solcher aus getrennten Elementen bestehenden Module deutlich aufwändiger sind und Vorteile der raumweisen Fertigung vor allem im Bereich der Abdichtung dadurch schwieriger zu erzielen wären, wurde darauf im weiteren Planungsprozess verzichtet.

Aufgrund der Konstruktion und vorgeschriebenen Schallschutz -Richtlinien wurden die Nasszellen im Rohbau eingebracht und auf der Rohdecke positioniert. Im Nachgang wurde der Estrich eingebracht, was wiederum in diesem Fall die Flexibilität (Versetzen) stark einschränkt.

Eine solche Versetzbarkeit mit Aufstellung auf dem Estrich würde aber einer Barrierefreiheit zuwiderlaufen. Die Kombination wäre nur mit entsprechend ebenso flexiblen Trittschallschutz gewährenden Bodensystemen zu erreichen. Solche aus dem Bürobau bekannten Doppelbodensysteme sind aufgrund der hohen Schallschutzanforderungen im Wohnungsbau aktuell nur mit erheblich größeren finanziellen Aufwendungen umsetzbar.

Instandsetzungen, Umbau oder auch Anpassungen hingegen, können aus Sicht der Verfasser dieses Berichts einfach umgesetzt werden. Die vorhandene Blechverkleidung kann zum Beispiel neu beschichtet oder ersetzt werden.

Wie bereits im Themenbereich Bäder erörtert, wäre eine Integration der Steigeleitung am Sanitärmodul von Vorteil um die Versorgungselemente zu reduzieren und eine flexible Anordnung von Sanitärzellen zu ermöglichen. Diese Kombination wird aber momentan auf dem Markt nur sehr selten angeboten, da die Vorplanung sehr aufwendig ist.

Holztafelelemente

Die raumabschließende Gebäudehülle wird als nichttragende, hochwärmegeämmte und luftdichte Außenwand in Form von vorgefertigten Holzbauelementen mit einer hinterlüfteten Fassade vor die Rohbaukonstruktion montiert. Durch die Unabhängigkeit vom Tragwerk sind nachträgliche Veränderungen an der Gebäudehülle gut möglich. Zum einen sind nachträgliche Veränderungen der Gebäudeöffnungen für beispielsweise einer potenziellen Umnutzung zu Büroräumen möglich und zum anderen wäre sogar ein kompletter Austausch der Holztafelelemente denkbar.

Nach Analyse der Vorfertigungssysteme im Bereich "Bauweise/Baukonstruktion" können für eine Nachnutzung folgende Rückschlüsse und Erkenntnisse formuliert werden:

	Erkenntnisse	Zu beachten	Hinweis Konventionell
elementierter Rohbau	flexible/offene Grundrissstrukturen reduziertes Tragwerk	nachträgliche Durchbrüche in Hohlkammern schwierig	geringere Spannweiten möglich
Fertignasszellen	Gestalterische Vielfalt / Imageträger Instandsetzung/Umbau/Anpassungen ohne Probleme möglich Rezyklierbarkeit	nachträgliches versetzen nicht möglich Rezyklierbarkeit aufgrund der Verklebung etc. in Frage zu stellen	
Holztafelelemente	vorwiegend nicht tragend nachträgliche Öffnungen möglich Leichtbauweise Kompletter Austausch möglich Rezyklierbarkeit Imageträger / Gestaltung	nachträgliche Veränderungen möglich, dennoch mit viel Aufwand → kostenintensiv Rezyklierbarkeit aufgrund der mechanischen Verbindungen möglich	nachträgliche Öffnungen je nach statischem System möglich

Nachnutzungsszenarien

Bereits im Rahmen des Projektantrages wurden mögliche spätere Nutzungsszenarien untersucht. Der Focus lag dabei aufgrund der Besonderheit der Satzungsgemäßen Nutzungsfestschreibung seitens der Bauherrn auf studentisches Wohnen vor allem in einer sehr langfristig angelegten Umnutzungsperspektive. Durch die im Gebäude vorhandene Mischung unterschiedlicher Wohnungszuschnitte und dem weiteren Gebäudeportfolio des Betreibers wurden räumliche Umstrukturierungen bei gleicher Nutzerschaft als eher unwahrscheinlich erachtet.

Der Hauptfocus lag daher auf langfristig ggf. mögliche deutliche Nutzungsänderungen sowohl für den Bereich von Wohnnutzungen aber auch anderen grundsätzlichen Nutzungsarten.

potentielle Nachnutzung - durchmischtes Wohnen

Die unten dargestellten Grundrisse zeigen zum einen die Möglichkeit aus den Obergeschossgrundrissen Haus 1 ein bis zwei Personen Apartments zu entwickeln wie auch drei Personen Apartments in Kombination. Für diese Nachnutzung müssten in Teilen Fertignasszellen und Trockenbauwände rückgebaut werden.



Abbildung 151, Variante 1 bis 2 Personen Apartments [ACMS Architekten GmbH]
 Abbildung 152, Variante 3 Personen Apartments [ACMS Architekten GmbH]

Durch die bereits zu Startnutzung vorgenommene große Durchmischung unterschiedlicher Wohnformen von Einzelapartments bis hin zu größeren Clusterwohnungen von 6 Wohneinheiten zeigt die hohe Flexibilität der Erschließungs- und Baustruktur. Die Reduktion der tragenden Schotten auf jede 2 Gebäudeachse ermöglicht auch größere Raumeinheiten.



Abbildung 153, Startnutzung 1 bis 2 Personen Apartments [ACMS Architekten GmbH]
 Abbildung 154, Startnutzung 6 Personen Apartments [ACMS Architekten GmbH]

Die Häuser 2-5 bieten ebenfalls Potential für ein durchmishtes Wohnen. Im unten dargestellten Grundriss werden Varianten von ein bis vier Personen Apartments gezeigt. Für eine Nachnutzung dieser Art müssten in Teilen Fertignasszellen und Trockenbauwände rückgebaut werden. Die Variante zeigt außerdem größere Bäder, hier wären bei einem Umbau die erforderlichen Anschlüsse vorhanden, ein solches Konzept ist jedoch im Bestand aufwendig umsetzbar.



Abbildung 155, Variante 1 bis 4 Personen Apartments [ACMS Architekten GmbH]

Abwägungsprozesse / räumlich gestalterische Qualität

Ready Standard

Der Ready Standard dient der Vorbereitung zum barrierefreien Bauen. In dem Projekt wurden die Gebäude nur teilweise nach dem Ready Standard geplant, da die örtlichen Gegebenheiten wie zum Beispiel die Topographie die Planungen eingeschränkt hatten. Durch das am Hang liegende, schmale Grundstück wurden schmale Häuser geplant welche aufgrund der Höhenunterschiede nur eingeschränkt barrierefrei zugänglich sind (jedoch zumindest theoretisch nachgerüstet werden können). Gleichwohl sind alle San.- Bereiche barrierefrei ausgeführt und in den Wohnungen auch die notwendigen Bewegungsflächen eingehalten. Haus 1 ist barrierefrei ausgeführt, mit entsprechenden barrierefreien Zugängen, Behindertenstellplätzen und in unmittelbarer Nähe zur Busstation.

Gemeinschaftsflächen

Das Vario Programm setzt sich zusätzlich mit dem Thema der Gemeinschaft auseinander um einzelnen Studierenden die Möglichkeit des Austausches und des Zusammenlebens zu geben. Die Grundrisse bestehen aus Wohngemeinschaften und Einzelapartments in welche zum größten Teil junge Menschen einziehen, welche zum ersten Mal in ihrem Leben allein wohnen. Um diesen Personen einen Halt und auch Anker zu geben ist es wichtig die Gemeinschaft zu fördern und so die Chance für neue Freundschaften zu schließen. Hierbei ist den Planern wichtig, dass die Gemeinschaftsbereiche mit Küchen und Sitzgelegenheiten ausgestattet sind um die Grundidee von Anfang an zu fördern. Die Möblierung von der Gestaltung und Qualität hochwertig, ist jedoch in einem Farbschema gehalten um noch Raum für die eigene Entfaltung und persönliche Note zu bieten. Die Typologie Vario-Wohnen soll auf kleinstem Raumverhältnis eine hohe innenräumliche Variabilität und Nutzungsmöglichkeiten schaffen um eine hohe Nutzerakzeptanz zu generieren, dieses wird durch eine hochwertige Gestaltung unterstützt.

Beim Wuppertaler Projekt wurde im Haus 1 ein gebauter Sockel ausgebildet, auf den sich das eigentliche Wohngebäude aufsetzt. In diesem Sockel befinden sich die Gemeinschaftsräume für die Studierenden. Die Erschließung und Versorgung ist über die Zufahrt von der Max-Horkheimer-Str. gesichert. Auf dem Eingangsniveau werden entsprechende Sonderparkplätze für die Veranstaltungen vorgehalten. Es entsteht ein zentraler Eingang im Quartier. Gebaute Geländekanten geben den Gemeinschaftsräumen einen gestalteten Vorbereich in den Außenanlagen wodurch ein zentraler Treffpunkt entsteht, der kleinen Gruppen die nötige Ruhe geben kann und gleichzeitig auch für große Veranstaltungen eine Schaltung der Räume ermöglicht. Eine wesentliche bauliche Voraussetzung für diese multifunktionale Nutzung ist die Ausbildung dieser Ebene mit einer, von dem übrigen Konstruktionsraster abweichenden Geschosshöhe von 4 Metern Die Erschließung der Wohngebäude kann von der Fuhrrottstraße und dem südlich gelegenen oberen Platz erfolgen. Auf diese Weise kann eine Entkopplung von Wohnnutzung und Gemeinschaftsnutzung erfolgen, was verhindert das Gäste von Veranstaltungen nicht durch das Wohngebäude laufen müssen.

Die Konzeption von durchlässigen Grundrissen ermöglicht eine flexible Organisation der einzelnen Gebäude. Die über dem Sockelgeschoss liegenden Etagen richtet sich mit der querliegenden Erschließungsachse zu den bei-

den Straßen des Quartiers. An dieser Mittelachse orientieren sich die Wohnungen mit den Individualräumen jeweils nach Osten und Westen. Zwischen gehängte Gemeinschaftsbereiche ermöglichen einen Blick über den Campus, und sind mit Gemeinschaftsküchen und Sitzmöglichkeiten ausgestattet. So können die einzelnen Individuen bei Bedarf am Gemeinschaftsleben teilnehmen.



Abbildung 156, Sockelgeschoss H1 Gemeinschaftsbereiche [ACMS Architekten GmbH]
 Abbildung 157, Gemeinschaftsbereiche H1 Etage [ACMS Architekten GmbH]

In dem unten dargestellten Schnitt werden die Innen-Außen-Bezüge dargestellt. Entlang der Max-Horkheimer Str. wird über eine nutzbare, gebaute Kante der Niveauunterschied zwischen Straße und Gebäude gebildet, die extreme Hangsituation im Kreuzungsbereich wird für eine separate Erschließung der Gemeinschafts- und der Wohnbereiche genutzt. Auf den einzelnen Wohnebenen bilden sich durch die Terrassierung Gemeinschaftsflächen und Begegnungsräume im Außenraum. Außerdem sollen die Außenbereiche durch gemeinschaftliche Gärten und die Gestaltung der Flächen das Gemeinschaftsgefühl stärken. Durch die wenigen Parteien im Haus wird dieses ebenfalls forciert.

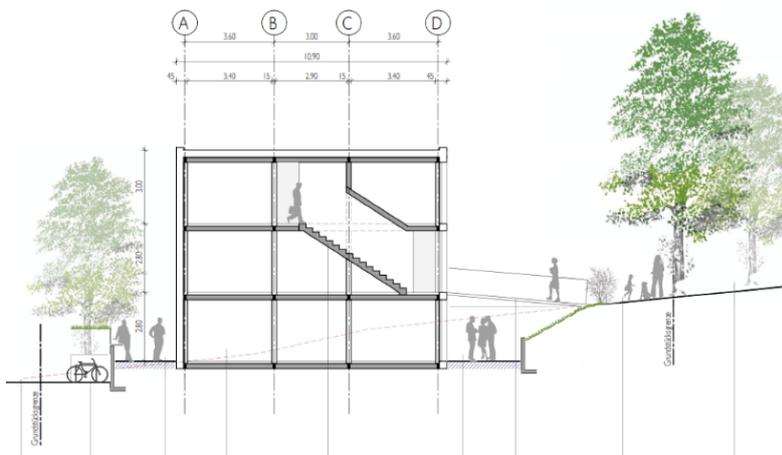


Abbildung 158, Schnitt Darstellung Außenräume [ACMS Architekten GmbH]



FAZIT

Der gemischten Nutzung sowie der Nachnutzung von Gebäuden werden bei dem Forschungsprojekt VarioWohnen hoher Stellenwert beigemessen. Wohnen sollte auf sich verändernde Gesellschaften reagieren und für den jeweiligen Nutzermix eine angemessene, reduzierte Wohn-/Lebens-Fläche bereitstellen. Hierauf basiert die Idee der variablen Grundrissstrukturen.

Mittels der hier realisierten Rohbaustruktur mit weit gespannten Deckentragwerken und der Reduzierung tragender Bauteile im Gebäudeinneren wird für die Umsetzung dieser Idee die maßgebende Grundlage gebildet. Es entsteht ein frei beispielbares Wohnregal mit gut organisierten Trag- und Technikstrukturen. Über die so entstandene Freiheit der Grundrissgestaltung wird eine Vielzahl von Raumzuschnitten ermöglicht und weiterführend auch Nutzungen, die heute noch nicht absehbar sind. Bereits in der Erstbelegung zeigt sich in Wuppertal die Vielfalt, mit der die Wohneinheiten organisiert werden können. Die Reduzierung auf einen nur 14m² großen Individualraum bietet in Verbindung mit einem unterschiedlich strukturierten Gemeinschaftsbereich keine Einschränkung beim Wohnkomfort. Ergänzend wird eine Erschließungsstruktur für die Gebäude gewählt, welche ein Schalten der einzelnen Grundmodule zu verschiedenen Wohneinheiten ermöglicht. Es wird aufgezeigt, dass die Reduzierung der Wohnfläche pro Bewohner mit geeigneten konzeptionellen Maßnahmen ohne Verluste in der Wohnqualität und mit großer Variabilität hinsichtlich der Nachnutzung möglich ist.

So sind nicht nur Studierendenwohnungen in dem Projekt denkbar, sondern auch eine Wohnnutzung außerhalb der Zielgruppe. Das Projekt bietet durch mehrere Gebäude ebenfalls die Möglichkeit eine Mischnutzung anzubieten, bei welcher unterschiedliche Wohnformen voneinander profitieren können.

Es ist darüber hinaus denkbar eine zur Wohnnutzung divergente Nutzergruppe anzusprechen und die Wohnräume in Bürostrukturen zu ändern. Auch hier wäre eine Kombination denkbar, da sich die Bedürfnisse an den Arbeitsplatz wandeln.

Durch die zu Beginn analysierten Standortqualitäten wird deutlich, dass das Grundstück zentral im Stadtbild liegt und unterschiedliche Zielgruppen von der bereits vorhandenen Infrastruktur ihren Nutzen ziehen können. Die in der Grundrissorganisation eingeräumte Variabilität setzt sich in der Gestaltung der Außenanlagen fort. Die vorge-schalteten Freiräume und privaten Außenräume können ebenfalls mit wenigen Maßnahmen für eine geänderte Nutzerstruktur hergerichtet werden.

Die elementierten und nicht tragenden Fassaden ermöglichen grundsätzlich eine beliebige Anpassung der Gebäudehülle. Die Fassadenelemente können in Teilen oder komplett ohne bedeutende Eingriffe in die übrige Baustanz abgenommen werden. Waren in den vergangenen Jahren energetische Sanierungen im Fassadenbereich der Wohngebäude maßgebende Auslöser für umfangreiche Umbaumaßnahmen, werden hierfür zukünftig die Funktionserweiterungen bzgl. der Gebäudehüllen maßgebend sein. Fassaden werden neben Wetterschutz beispielsweise auch als Energieerzeuger, vertikale Gärten oder Luftreiniger dienen. Eine Integration unterschiedlicher Zusatzbausteine ist in der elementierten, nicht tragenden Konstruktion denkbar.

4.c. Nachhaltigkeit

4.c_1 Nachhaltigkeit



RELEVANZ

Zertifizierungssysteme

Im Rahmen der Förderung VarioWohnen sollen die Projekte durch ein Nachhaltigkeitssystem, zur Auswahl standen hier NaWoh und DGNB, zertifiziert werden.

Grundsatz der Zertifizierungssysteme ist eine gleichberechtigte Betrachtung und Bewertung von ökonomischen, ökologischen sowie sozialen Belangen über den gesamten Lebensweg einer Immobilie. Durch eine Vielzahl unterschiedlicher Bewertungskriterien werden die einzelnen Aspekte bewertet um somit sowohl qualitative wie auch quantitative Aussagen zu Nachhaltigkeitsaspekten zu ermöglichen. Im Vergleich zur üblichen Planungspraxis führt hierbei vor allem die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie zu neuen Bewertungsansätzen. Es werden sowohl die Herstellungsphase, Nutzungsphase als auch der Rückbau berücksichtigt. Im Bereich der Ökonomie richtet sich der Fokus nicht weiter hauptsächlich auf die Herstellungskosten. Durch die Einbeziehung der Nutzungs- und Rückbauphase ändert sich der Bewertungsansatz Richtung langlebiger bzw. gut recycelbarer Lösungen. Bei den ökologischen Aspekten wird bisher ausschließlich die Nutzungsphase betrachtet. Aufgrund der richtigerweise deutlich abgesenkten gesetzlich möglichen Energiebedarfe nimmt aber die Gewichtung der Herstellungs- und Rückbauphase erheblich zu.

Das Büro MNP Ingenieure wurde gegen Ende der Leistungsphase 4 mit den Auditor Leistungen beauftragt und erstellte - als Entscheidungsgrundlage zur Systemauswahl - alle erforderlichen Unterlagen und Hinweise zu den zwei unterschiedlichen Systemen. Hieraus entstand unter anderem der PreCheck um die Vor- und Nachteile der NaWoh und DGNB Zertifizierung projektbezogen darzustellen (siehe Anlage).

Da für beide Zertifizierungen ein Gebäude als Systemgrenze dient, müssen die Gebäude einzeln betrachtet und zertifiziert werden. Da es sich jedoch im Projekt um annähernd baugleiche Häuser handelt, sieht die DGNB hier eine Ensemblezertifizierung vor, bei welcher ein Mastergebäude vollständig bewertet wird. Aus diesen Nachweisen können dann für Folgegebäude entsprechende Unterlagen abgeleitet werden und diese dann zu ermäßigten Gebühren geprüft werden. Die NaWoh Zertifizierung bietet diese Möglichkeit nicht, hier müssten die Nachweise für jedes Gebäude separat geführt werden. Da die Zertifizierung im Umfang jedoch geringer und kostengünstiger ist, relativiert sich dieser Nachteil. Zusätzliche Unterlagen wie zum Beispiel die Kostenfeststellung nach DIN 276 sowie EnEV Nachweise müssen bei beiden Systemen je Gebäude eingereicht werden, wobei es hier auch zu Wiederholungen kommt.

Die Kriterien der Zertifizierung sind vergleichbar, der große Unterschied besteht allerdings in der Nachweisführung. Bei dem NaWoh System müssen, im Gegensatz zur DGNB, ca. die Hälfte der Kriterien nur beschrieben und dann qualitativ geprüft werden, was wiederum zu einem reduzierten Aufwand in der Vorbereitung als auch Prüfung führt. Die Mindestqualitäten zur Erfüllung des Nachweises sind Grundlage für beide Systeme. Bei der NaWoh müssen alle Kriterien erfüllt sein um eine Zertifizierung sicher zu stellen. Die DGNB Zertifizierung ist in drei Bewertungsstufen für Neubauten unterteilt (Silber, Gold und Platin) im Bestandsbau können zusätzlich Gebäude mit Bronze zertifiziert werden.

Gesamterfüllungsgrad	Mindesterefüllungsgrad	Auszeichnung	
ab 35 %	— %	Bronze*	
ab 50 %	35 %	Silber	
ab 65 %	50 %	Gold	
ab 80 %	65 %	Platin	

*Diese Auszeichnung gilt nur für Bestandsgebäude

Abbildung 159: Auszeichnungslogik der DGNB Zertifizierung, [DGNB]

MNP Ingenieure haben im Voraus auf Grundlage der Schlüsselkriterien eine Bewertung zur Zertifizierbarkeit des Projektes nach den zwei Systemen vorgenommen. Hierbei wurden die Themen Ökobilanz, Lebenszykluskosten und Wohnqualitäten dezidiert betrachtet, aus welchen folgende Resümees gezogen werden können.

1. Ökobilanz - Der Passivhausstandard führt zur Erfüllung der Anforderungen in beiden Systemen. Jedoch muss nach NaWoh noch zusätzlich ein Anteil von erneuerbarer Energie von mindestens 7,5 % nachgewiesen werden.
2. Lebenszykluskosten - NaWoh und DGNB betrachten hier jeweils in einen Zeitraum von 50 Jahren - Herstellung + Nutzung - die Lebenszykluskosten als Barwert. Hier sind die Anforderungen der NaWoh Zertifizierungen ebenfalls deutlich höher als die der DGNB, welche wiederum ein sehr gutes Ergebnis in der Bewertung erzielt. Auch die Anerkennung von Sonderbedingungen wie z.B. der Passivhausstandard oder die Maßnahmen zur Bauzeitverkürzung führen nicht zu einem ausreichenden Ergebnis für die Mindestanforderungen der NaWoh. Hier müssten die Benchmarks durch den Systemgeber zunächst angepasst werden um mit dem VarioWohnen Programm zu funktionieren.
3. Wohnqualitäten - Die DGNB Mindestanforderungen werden erfüllt. Die NaWoh Kriterien werden nicht - wie vorgegeben - alle erfüllt.

Aus dieser Vorbewertung wird deutlich, dass beim NaWoh System noch deutliche Anpassungen der Benchmarks erfolgen müssen um diese auf die Projekte anwenden zu können. Das NaWoh System an sich ist im Vergleich zwar weniger aufwendig und kostengünstiger als DGNB, hat jedoch höhere Anforderungen an die Schlüsselkriterien. Das DGNB System hingegen erlaubt mehr Kompensationen zwischen den Kriterien, sodass es deutlich anpassbarer und flexibel ist. Hier ist schon in der Planungsphase sichergestellt, dass ohne große Anpassungen die Zertifizierungsstufe Silber erreicht wird und eine höherwertige Gold Zertifizierung machbar erscheint.

Somit wurde sich bei dem Projekt für eine Zertifizierung durch die DGNB entschieden. Hierbei werden unterschiedliche Indikatoren untersucht und ausgewertet. Einen großen Teil der Überprüfung machen hier die Anforderungen an Schadstoffe aus, um die Prüfung zu vereinfachen gibt die DGNB eine Matrix als Orientierungshilfe vor und ordnet die Schadstoffe unterschiedlichen Kategorien zu. Jedes auf der Baustelle ausgeführte und eingebrachte Produkt muss zunächst auf seine Eigenschaften überprüft werden. Ca. 4 Wochen nach Fertigstellung wird eine sogenannte VOC und Formaldehyd Messung durchgeführt und eine gute Raumqualität zu sichern, welche sich auch positiv auf die Vermarktung der Wohnungen auswirkt. Ein zertifiziertes Gebäude sticht im Wohnungsmarkt heraus, so lange die Zertifizierung auch sichtbar ist. Bei dem Projekt wird durch die verwendeten Materialien, wie zum Beispiel Holz, der Nachhaltigkeitsgedanke am Gebäude sichtbar.

Durch das DGNB System werden keine Einzelmaßnahmen, sondern das gesamte Gebäude betrachtet. Hierbei werden die folgenden sechs Kernthemen nach insgesamt 37 unterschiedlichen Kriterien untersucht.

Kern- themen						
Qualität	Ökologische Qualität	Ökonomische Qualität	Soziokulturelle / Funktionale Qualität	Technische Qualität	Prozess- qualität	Standort- qualität
Anzahl zugeord- neter Kriterien	6	3	8	7	9	4

Abbildung 160: Piktogramme der Kernthemen, [DGNB]

Ergänzende Konzepte zur Nachhaltigkeit

Losgelöst von der Zertifizierung werden bei dem Projekt weitere Ansätze zur Verbesserung und Optimierung des Gebäudes verfolgt. Zum einen ein für ein Passivhaus wichtiges Lüftungskonzept und zum anderen ein nachträgliches Monitoring.

Bei der Planung eines Passivhauses sind unterschiedliche Faktoren zu beachten und zu planen. Neben der hoch gedämmten Gebäudehülle und der Vermeidung von Wärmebrücken ist eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung unabdingbar. Aufgrund des geringen Heizwärmebedarfs von unter 15 kWh/m²a und der daraus resultierenden Heizlast von kleiner 10W/m² kann auf ein zusätzliches Wärmeverteilungssystem verzichtet werden und die benötigte Wärme über Nachheizern der für die Lüfthygiene notwendigen Außenluft erreicht werden.

Eine hohe Nutzerzufriedenheit erfordert jedoch auch eine individuelle Raumweise Einstellung der Raumtemperaturen. Dies ist mittels Lüftungsanlage und der dortigen Nachheizregister nur mit erheblichen technischen Aufwand möglich. Daher wurde im Projekt auch auf Basis von Erfahrungen aus Vorläuferprojekten entschieden die notwendige Heizlast und damit auch die individuelle Einstellmöglichkeit der Raumtemperatur über ein klassisches Heizverteilssystem mit Heizkörperplatten zu ermöglichen. Aufgrund der in Passivhäusern durch den hohen Dämmstandard vorhandenen hohen Oberflächentemperaturen kann der Heizkörper beliebig im Raum positioniert werden. Somit werden aufwändige Leitungsführungen vermieden. Im Projekt konnte die notwendige Heizfläche direkt an der Fertignasszelle positioniert und durch den Bad-Zellen-Hersteller mitgeliefert werden.

Um Fehlnutzungen hinsichtlich des Lüftungsverhaltens zu minimieren wurden die Fensteröffnungen als reine Drehbeschläge ausgeführt. Eine energetisch ungünstige Kipp-Stellung der Fenster ist nicht möglich.

Die aus den Erkenntnissen anderer Forschungsprojekte bekannten Probleme im Betrieb der Gebäude, die sowohl durch technische Problemstellungen, aber insbesondere auch durch Nutzerverhalten hervorgerufen werden können, sind nach Möglichkeit in einer entsprechenden kontrollierten Betriebseinführung und entsprechenden Betriebsüberwachungen im Rahmen eines Monitorings zu überprüfen. Zum Einstieg der Forschung gab es hierzu ein Workshop mit Vertretern der Bauherren aus dem Wuppertaler und Bochumer Projekt, von den Architekten und Fachplanern als auch aus der Forschung. Die Zielsetzung des Workshops war die Diskussion über ein mögliches Monitoring mit den Fragestellungen welche Möglichkeiten und Motivationsgründe gibt es, was wird sinnvollerweise gemessen und wie ist das Verhältnis zwischen Aufwand und Kosten. Die Ergebnisse des Workshops können aus dem beigefügten Protokoll im Anhang entnommen werden.

Das Hauptaugenmerk seitens der Betreiber lag hierbei nicht in erster Linie auf einem Energiemonitoring sondern der Erkennung von Baumängeln der TGA Installationen (z.B. Undichtheiten etc.)

Ökobilanzierung

Im Rahmen der DGNB-Zertifizierung wird die ökologische Qualität für das Projekt vor allem durch eine Ökobilanzberechnung bewertet. Die vorläufigen Ergebnisse der Berechnungen und Zertifizierung sind in dem Kapitel 4.c_2 Zertifizierung DGNB dargestellt. Die endgültige Zertifizierung erfolgt erst ca. 6 Monate nach Fertigstellung, welche bei dem Projekt für März 2020 avisiert ist, daher frühestens im Oktober 2020.

Für die Ökobilanz-Berechnung (Lebenszyklusanalyse) werden die Umweltwirkungen für verschiedene Bauteile, immer bezogen auf die Herstellung, Instandsetzung, Entsorgung der einzelnen Bauteile, sowie für die jahresbilanzierte Nutzung von Wärme; Strom und PV-Anlage auf Grundlage der Datensätze der Ökobaudat gemäß DIN EN 15978 ermittelt.

Berücksichtigt wurden gemäß DIN EN 18504 die Phasen A = Herstellung, B = Nutzung, C = Entsorgung sowie D = Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze. In den Zertifizierungssystemen wird die Phase D unterschiedlich behandelt. Beim DGNB-System ist sie einzurechnen, im System NAWOH bleibt sie unberücksichtigt. Da durch den überschlägigen Vergleich nur eine grundsätzliche Bewertung unterschiedlicher Materialien erstellt werden sollte, wurden die Transportaufwendungen aus den unterschiedlichen Phasen nicht berücksichtigt.

- Fundament
 - Tragende Wände
 - Nichttragende Wände
 - Dach, Decken
 - Böden, Fenster, Türen
 - Wärmepumpe
 - KG 540
- } Herstellung neue Bauteile,
Instandsetzung alle Bauteile,
Entsorgung neue Bauteile
-
- Nutzung: Wärme & Strom, PV Anlage jahresbilanziert

 - Datensätze ökobaudat gem. DIN EN 15978

Abbildung 161: Übersicht Ökobilanz (LCA) Verfahren allgemein, [MNP Ingenieure]

Mit höherem Energiestandard eines Gebäudes steigt bei der Ökobilanz-Berechnung die Relevanz der Ergebnisse, die sich aus der Konstruktion der Bauteile ergeben, gegenüber den Ergebnissen aus der Nutzung eines Gebäudes deutlich an. Daher ist bei niedrigen Energiestandards für weitere Optimierungen bzw. Reduzierungen von Umweltwirkungen der Hebel über die Baumaterialien oft entscheidender, als die weitere geringfügige Reduktion von Energiebedarfen für die Nutzungsphase.

Überschlägig kann aus den vorliegenden Erfahrungen diverser begleiteter Projekte nach Aussage des Büros MNP Ingenieure von nachfolgenden Größenordnungen ausgegangen werden.

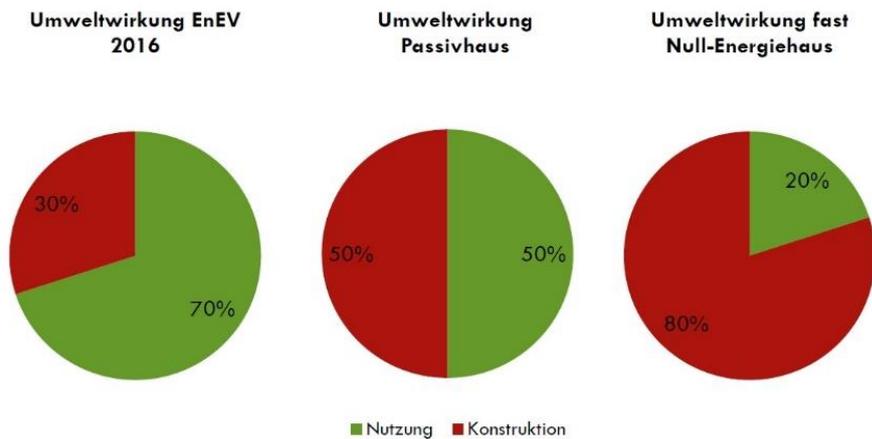


Abbildung 162: Ökobilanz (LCA) Ergebnisse allgemein, [MNP Ingenieure]

Auf Basis der durchgeführten Berechnungen des konkreten Projektes ergeben sich nachfolgende Werte: Umweltwirkungen der Konstruktion und Nutzung pro Jahr:

Haus 1:

Die Umweltwirkungen für die Konstruktion liegen bei 7,8 kg CO₂ pro m² NGF.

Die Umweltwirkungen für die Nutzung liegen bei 12,7 kg CO₂ pro m² NGF.

Haus 2:

Die Umweltwirkungen für die Konstruktion liegen bei 9,1 kg CO₂ pro m² NGF.

Die Umweltwirkungen für die Nutzung liegen bei 11,8 kg CO₂ pro m² NGF.

Der im Vergleich zur allgemeinen Annahme geringere Wert für die Konstruktion wird auf den im Bereich der Außenwand Konstruktion eingesetzten Holzbau zurückgeführt.



AUSWIRKUNG – Ökobilanzierung Projekt

Bauteil	Treibhauspotenzial (GWP) CO ₂ - Äquivalent in kg	Anteil Treibhauspotenzial
KG 320 Gründung	61.503	7,2 %
KG 330 Außenwände	107.913	12,7 %
KG 340 Innenwände	240.026	28,3 %
davon Nasszellen	75.703	ca. 31,5 %
KG 350 Decken	324.773	38,2 %
KG 360 Dächer	79.435	9,4 %
KG 390 sonst. Baukonstruktive Einbauten	34.828	4,1 %
KG 400 technische Anlagen	1.156	0,1 %
Gesamtergebnis	849.634	100 %

Abbildung 163: Ökobilanz - Auswertung nach Bauteilen für das Wuppertaler Projekt - Haus 1, [MNP Ingenieure]

Die Auswertung der Ökobilanz hinsichtlich des GWPs der einzelnen Bauteile des Forschungsprojekts zeigt, dass die Kostengruppe 350 Decken mit über 30 % den größten Anteil am Treibhauspotenzial bildet. Dieses hohe Ergebnis ist auf die kompakte Kubatur und die Reduktion der Außenbauteile und Dachflächen zurückzuführen, sowie die Ausführung der Außenwände in Holzbau. Die Decken sind, wie in Vergleichsprojekten üblich, in Massivbauweise und damit hohem Betonanteil ausgeführt.

Bauteilvergleiche

Zum Zeitpunkt der Festlegung der Durchführung der Zertifizierung und Beauftragung des Zertifizierungsbüros waren die wesentlichen Bauteilentscheidungen bereits getroffen.

Um dennoch eine Vergleichbarkeit zu den durch das Planungsteam gewählten und den aus diversen Forschungsprojekten (vgl. +++ Haus) bekannten Ergebnissen zur Konstruktion zu ermitteln, haben die Verfasser des Berichtes weitere Berechnungen zu alternativen Konstruktionen durchgeführt. Ziel der gesonderten Untersuchung von möglichen Varianten ist es angenäherte, quantitative Aussagen zu den über die jeweiligen Entscheidungen erreichten ökologischen Vorteilen zu erlangen und diese in Beziehung zu den Gesamtbelastungen zu setzen.

Untersucht wurden die auch in der Planungsphase diskutierten (aber dort nicht gesondert berechneten) Varianten für die Bauteile der

- Außenwände
- Decken
- Fassadenbekleidungen

Die Umweltwirkungen werden hierbei für die nach der DIN vorgegebenen 5 Wirkungspfade dargestellt.

1. Treibhauspotential GWP
2. Ozonschichtabbaupotential ODP
3. Ozonbildungspotential POCP
4. Versauerungspotential AP
5. Überdüngungspotential EP

Definition gemäß DGNB Kriteriensteckbrief (ENV 1.1)

Definitionen

(1) Treibhauspotential (GWP)

Die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten (Treibhauseffekt). Das Treibhauspotenzial eines Stoffes wird stets im Vergleich zum Treibhauspotenzial von Kohlendioxid (CO₂) angegeben, das heißt, treibhauswirksame Emissionen werden als Kohlendioxid-(CO₂)-Äquivalente ausgedrückt. Da die Treibhausgase unterschiedlich lange in der Atmosphäre verweilen, muss der GWP-Wert auf einen Zeitraum bezogen werden. Für die Charakterisierung der Beiträge zum GWP wird ein Zeitraum von 100 Jahren zugrunde gelegt. Des Weiteren wird über Wirkungsfaktoren beschrieben, in welchem Ausmaß verschiedene Stoffe zum Treibhauspotenzial beitragen. Über den Zeitraum von 100 Jahren betrachtet, hat Methan bei gleicher Masse bspw. den 25-fachen Wirkungsfaktor im Vergleich zu CO₂. Damit beträgt das CO₂-Äquivalent von Methan 25. Das bedeutet, Methan trägt bei gleicher Masse 25-mal mehr zum Treibhauseffekt bei als CO₂ (mit dem GWP-Wert von 1).

(2) Ozonschichtabbaupotential (ODP)

Ozon, das nur in geringer Konzentration in der Atmosphäre vorhanden ist, hat für das Leben auf der Erde eine große Bedeutung. Es ist in der Lage, die kurzweilige UV-Strahlung zu absorbieren und diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder abzugeben. Die Ozonschicht schirmt einen großen Teil der UV-A- und UV-B-Strahlung der Sonne von der Erde ab, verhindert eine zu starke Erwärmung der Erdoberfläche und schützt Flora und Fauna. Die Anreicherung von schädlichen halogenierten Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre trägt

dazu bei, die Ozonschicht zu zerstören. Zu den Folgen gehören u. a. Tumorbildungen bei Mensch und Tier sowie Störungen der Fotosynthese. Das Ozonschichtabbaupotenzial wird in [kg R11-Äqu./m²NGFa*a] angegeben; die ODP-Werte beziehen sich auf die Vergleichssubstanz Fluorchlorkohlenwasserstoff CFC-11. Alle Stoffe mit Werten unter 1 wirken weniger ozonabbauend, Werte über 1 stärker ozonabbauend als CFC-11 (oder auch R11 genannt; chemische Formel CCl₃F).

(3) Ozonbildungspotenzial (POCP)

Das POCP bezeichnet das auf die Masse bezogene Äquivalent schädlicher Spurengase. Diese Spurengase, wie zum Beispiel Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, tragen in Verbindung mit UV-Strahlung dazu bei, bodennahes Ozon zu bilden. Diese Verunreinigung der bodennahen Luftschichten durch eine hohe Ozonkonzentration wird auch als Sommersmog bezeichnet. Der Sommersmog greift die Atmungsorgane an und schädigt Pflanzen und Tiere. Die Konzentration von bodennahem Ozon wird regelmäßig durch Luftmessstationen ermittelt und in Belastungskarten festgehalten.

(4) Versauerungspotenzial (AP)

Das Versauerungspotenzial gibt die Auswirkung versauernder Emissionen an; es wird in Schwefeldioxid- (SO₂)-Äquivalenten gemessen. Luftschadstoffe wie zum Beispiel Schwefel- und Stickstoffverbindungen reagieren in der Luft mit Wasser zu Schwefel- bzw. Salpetersäure; diese fällt dann als „Saurer Regen“ zur Erde und gelangt so in Boden und Gewässer. Dadurch werden Lebewesen und Gebäude geschädigt. Beispielsweise werden in versauerten Böden Nährstoffe rasch chemisch aufgeschlossen und somit schneller ausgewaschen. Ebenso können im Boden giftige Substanzen entstehen, die die Wurzelsysteme angreifen und den Wasserhaushalt der Pflanzen stören. In der Summe verursachen die vielen einzelnen Wirkungen der Versauerung zwei schwerwiegende Folgen: das Sterben von Wäldern und von Fischen. Saure Niederschläge greifen aber auch Gebäude an. Vor allem der Sandstein an historischen Bauwerken ist davon betroffen.

(5) Überdüngungspotenzial (EP)

Überdüngung (Eutrophierung) bezeichnet den Übergang von Gewässern und Böden von einem nährstoffarmen (oligotrophen) in einen nährstoffreichen (eutrophen) Zustand. Sie wird verursacht durch die Zufuhr von Nährstoffen, insbesondere Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Diese können bei der Herstellung von Bauprodukten und durch die Auswaschung von Verbrennungsemissionen in die Umwelt gelangen.

Steigt die Konzentration von verfügbaren Nährstoffen in Gewässern, nimmt dort auch das Algenwachstum zu. Dies kann u. a. Fischsterben zur Folge haben

Gewichtung der Kriterien

Gemäß DGNB Zertifizierungssystem werden die einzelnen Umweltwirkungen hinsichtlich der Bewertung wie folgt gewichtet:

Wirkungspfad	Gewichtung
Treibhauspotential GWP	40 %
Ozonschichtabbaupotential ODP	15%
Ozonbildungspotential POCP	15%
Versauerungspotential AP	15%
Überdüngungspotential EP	15%

Diese Gewichtung ist aufgrund der aktuellen Gesellschaftlichen Diskussionen durchaus nachvollziehbar. In der Kommunikation mit Nicht-Fachleuten ist davon auszugehen, dass der Wirkungspfad des Treibhauspotentials eine überragende Stellung einnimmt.

Vergleich Deckensystem

Um einen ökologischen Vergleich der verschiedenen Deckensysteme erzielen zu können, wurde für drei Deckensysteme - Brettsperrholzdecke, Stahlbetondeckenplatte und Spannbetonhohlplattendecke - eine vereinfachte Ökobilanz-Berechnung erstellt.

Stahlbetondecken sind im Bereich des Wohnungsbaus vorherrschender Standard und dienen somit als Vergleichsreferenz.

Spannbetonhohlplatten werden eher nicht im Wohnungsbau, sondern aufgrund ihrer größeren möglichen Spannweiten im Gewerbebereich eingesetzt. Die Auswahl in den beiden untersuchten Projekten erfolgte aufgrund eben dieser Eigenschaften und dem Ziel der Planer, zur Sicherstellung einer langfristigen Flexibilität möglichst wenige, später Nutzungsänderungen beeinträchtigende, Wände als Tragsystem einzusetzen. Kosten technisch wurden keine Nachteile erwartet. Ökologisch wurden aufgrund der Massenreduktion des Betonanteils durch die Hohlbereiche Vorteile avisiert.

Brettsperrholzdecken im Vergleich dazu stellen insbesondere aufgrund der CO²-Speicherung eine aus ökologischen Gründen mögliche Optimierung dar. Sie wurden in dem Projekt insbesondere aus Kostengründen nicht vorgesehen. Auch war zum Zeitpunkt der Erstellung des Bauantrages aufgrund der in NRW bis Ende 2018 fehlenden Gebäudeklasse 4 eine Genehmigungsfähigkeit auf Basis der Landesbauordnung nicht gegeben.

Für das Wuppertaler Projekt wurde zwar auch für das 6-geschossige Haus, auf Basis der noch in Abstimmung befindlichen und zum 01.01.2019 dann in Kraft getretenen Landesbauordnung, durch entsprechende Kompensationsmaßnahmen (2 gebaute Rettungswege mittels Helix-Treppenhaus, Brandmeldung über Hausalarm) eine Baugenehmigung für den Einsatz von Brettsperrholzdecken erreicht. Aber auch in diesem Projekt wurde vor allem aus Kostengründen letztlich auf eine Umsetzung verzichtet.

Weiterhin wurde in der Vorplanung festgestellt, dass der Einsatz von Brettsperrholzdecken die Flexibilität der Grundrisse für spätere Nachnutzungen mehr einschränkt, da die Spannweiten aus wirtschaftlichen Gründen meist auf ca. 4-5m begrenzt sind.

Für die Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen um eine zumindest grob vergleichbare technische Qualität im Bereich des Schallschutzes zu gewährleisten. Die Systembedingten unterschiedlichen Spannweiten wurden für die Bauteilabmessungen zu Grunde gelegt. Die daraus resultierenden Einschränkungen der Nutzungsflexibilität wurden vernachlässigt. Insofern dient der Vergleich zu einer groben Einschätzung von Einsparpotentialen durch die Auswahl unterschiedlicher Deckensysteme.

Brettsperrholzdecke

- Auflast: 10 cm Splittschüttung (für ähnliche Schallschutzwerte)
- Tragkonstruktion: 20 cm Brettsperrholz
- Spannweite: ca. 5 m

Stahlbetondeckenplatte

- Tragkonstruktion: 20 cm Stahlbetondeckenplatte
- Betongüteklasse: C25/30
- Spannweite: ca. 6 m

Spannbetonhohlplattendecke

- Tragkonstruktion: 26,5 cm Spannbetonhohlplattendecke mit 20 % Korrektur für 1 m² Deckenplatte
→ entspricht ca. 20 cm Spannbetonhohlplattendecke
- Betongüteklasse: C45/55
→ alle Plattentypen von DW-Systembau haben eine Betongüteklasse von C45/55
- Spannweite: ca. 7,5 m bei 20 cm Plattendicke

Da der weitere Bodenaufbau bei allen drei Systemen identisch ist – 4 cm Trittschalldämmung EPS-Hartschaum 035, PE-Folie als Trennlage, 5 cm Zementestrich und Bodenbelag – wurden diese bei der Ökobilanzberechnung nicht mitberücksichtigt.

Die folgenden Hinweise sind bei dem Vergleich zu beachten:

Die verschiedenen Deckensysteme haben in Abhängigkeit zu den gewählten Plattendicken unterschiedliche Spannweiten, beziehungsweise erfordern ein anderes statisches System mit einer anderen Deckenspannrichtung. Dadurch wären beispielsweise zusätzlich tragende Wandschotten oder Unterzüge bei einer Brettsperrholdecke oder Stahlbetondeckenplatte, die jeweils eine geringere Deckenspannweite als eine Spannbetonhohlplattendecke haben, erforderlich, weswegen ein direkter Vergleich der Systeme schwierig ist.

Für eine Spannbetonhohlplattendecke liegt nur ein Datensatz mit einer Plattendicke von 26,5 cm vor. Da bei dem Forschungsprojekt ein Plattentyp mit 20 cm ausgeführt wurde (Brespa-Decken, Plattentyp A20B bzw. A20Q), wurde der Datensatz mit 20 % Korrektur für 1 m² Deckenplatte berechnet, was in etwa einer 20 cm dicken Spannbetonhohlplattendecke entspricht.

Spannbetonhohlplatten werden von dem Hersteller DW-Systembau ausschließlich mit einer Betongüteklasse C45/55 hergestellt. Eine klassische Ortbetondeckenplatte besteht hingegen aus einer geringeren Betongüteklasse C25/30, was in der Konsequenz einen Einfluss auf die Ökobilanz hat. Allerdings ist der Stahlanteil aufgrund der durch die Vorspannung erzielten besseren Tragfähigkeit ebenso reduziert.

Für die Ortbetondecke wurde ein Bewehrungsanteil von 3% und somit ca. 47kg /m² angesetzt. Bei diesem Ansatz ist die Umweltwirkung (Beispiel GWP) aus dem Stahlanteil in etwa genauso hoch wie aus dem Betonanteil. Bei sehr einfachen und wirtschaftlichen Deckensystemen mit kurzen Spannweiten und Durchlaufwirkung kann der Anteil ggf. deutlich auf bis zu ca. 25 kg reduziert werden. Die Erfahrungen des Büros MNP Ingenieure aus Vergleichsobjekten führen aber andererseits zu oftmals deutlich höheren Bewehrungsanteilen von 5-6%.

Ergebnisse - Variantenvergleich Zwischendecke

Ökologische Bewertung für 1 m² Decke

	PE NE Summe Primärenergie nicht erneuerbar	PE E Summe Primärenergie erneuerbar	GWP 100 Treibhauspotential	ODP Ozonabbaupotential
Brettsper Holzdecke	-653 MJ	115 MJ	-4,001E+01 kg CO ₂ -äqv	1,461E-07 kg R11-äqv
Stahlbetondeckenplatte	575 MJ	198 MJ	6,785E+01 kg CO ₂ -äqv	1,038E-08 kg R11-äqv
Spannbetonhohlplattendecke mit 20 % Korrektur	334 MJ	40 MJ	4,472E+01 kg CO ₂ -äqv	-6,220E-09 kg R11-äqv

AP Versauerungspotential	EP Überdüngungspotential	POCP Sommersmogpotential	ADPE abiotischer Abbau nichtfossiler Ressourcen	ADPF abiotischer Abbau fossiler Ressourcen
4,956E-02 kg SO ₂ -äqv	1,585E-02 kg Phosp.-äqv	1,294E-02 kg Ethen-äqv	1,064E-04 kg Sb Äq.	-5,662E+02 MJ
1,180E-01 kg SO ₂ -äqv	1,772E-02 kg Phosp.-äqv	1,698E-02 kg Ethen-äqv	1,331E-04 kg Sb Äq.	5,027E+02 MJ
7,321E-02 kg SO ₂ -äqv	1,322E-02 kg Phosp.-äqv	4,052E-03 kg Ethen-äqv	6,054E-05 kg Sb Äq.	3,319E+02 MJ

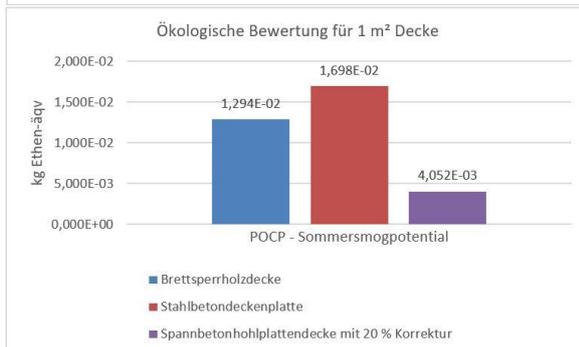
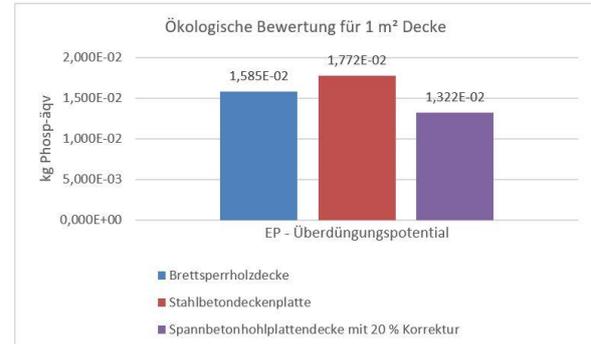
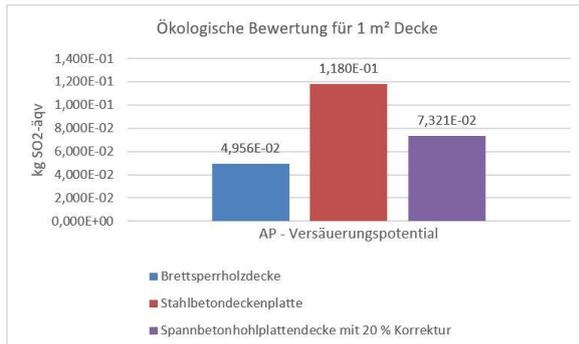
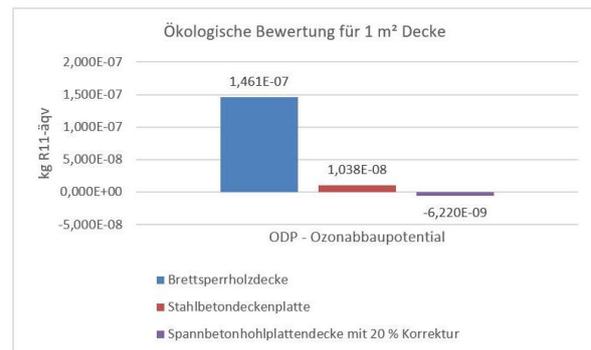
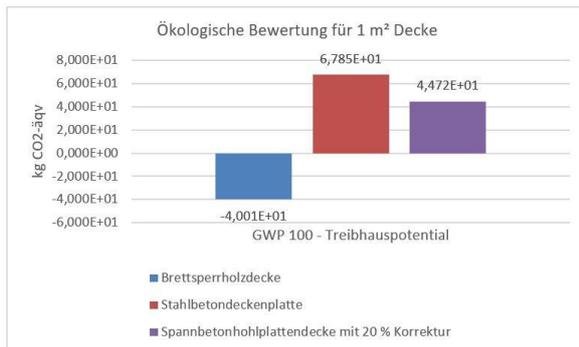


Abbildung 164: Ergebnisse Ökobilanzvergleich für 1 m² Decke, [Hochschule Bochum]

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Bezogen auf den Ökobilanzwert des Treibhauspotentials (CO₂-Ausstoß) ist eine Holzdecke aus Brettsper Holz deutlich besser als eine konventionelle Stahlbetondeckenplatte und Spannbetonhohlplattendecke
- Bei dem Ökobilanzwert des Ozonabbaupotentials erreicht die Brettsper Holzdecke hingegen die schlechtesten Ergebnisse

- Gegenüber der konventionellen Stahlbetondeckenplatte ist die Spannbetonhohlplattendecke bei allen 5 Ökobilanzwerten deutlich besser
- Der Unterschied zwischen einer konventionellen Stahlbetondeckenplatte und einer Spannbetonhohlplattendecke beträgt ca. 1/3 und entspricht ziemlich genau der Betonersparnis aufgrund des Hohlkammeranteils. Es ist daher davon auszugehen, dass die höheren Umweltwirkungen des größeren Zementanteils des verwendeten höherwertigen Betons durch die Reduktion des Stahlanteils kompensiert werden.
- Der Vorteil der Spannbetonhohlplatten gegenüber Stahlbetondeckenplatten hängt stark vom Bewehrungsgrad der Deckenplatten ab. Bei sehr effizienten statischen Systemen mit kurzen Spannweiten von unter 5m kann der Vorteil auf nahezu Null sinken. Eine Umkehrung ist jedoch auch hier nicht zu erwarten.

Zwischenfazit Deckensysteme

Die Unterschiede vor allem bei dem Leitindikator GWP zwischen den Massivbausystemen (Spannbetonhohlplatte und Stahlbetondecke) sind nur dann besonders gravierend, wenn größere Spannweiten gewünscht sind. Bei kurzen Spannweiten nähern sich die Systeme deutlich an. Bei entsprechend kurzen Spannweiten sind jedoch auch aus statischen Gründen Holzdeckensysteme möglich, die bezogen auf das Treibhauspotential eine drastische Verbesserung darstellen.

Für Spannweiten ab 6-7m empfehlen sich somit Spannbetonhohlplatten. Kurze Spannweiten von 4-5m sind ökologisch vorteilhaft mit Brettsperrholzlösungen möglich. Bei Spannweiten zwischen 5-6m können Stahlbetondecken ökologisch ein ähnliches Niveau wie Spannbetonhohlplatten erreichen. Reine Holzkonstruktionen sind bei diesen Spannweiten aus statischen Gründen nicht sinnvoll. Hier könnten alternative Hybridkonstruktionen als sogenannte Holz-Beton-Verbunddecken sinnvoll sein. Bei entsprechender Aufteilung von ca. 50/50% zwischen Beton und Holzanteil sowie einer damit einhergehenden Reduktion des Bewehrungsstahls ist von einer Reduktion des Treibhauspotentials auf ca. 50% der Werte einer Spannbetonhohlplatte auszugehen.

Vergleich Träger / Unterzüge

In dem Projekt wurden als Auflager für die Spannbetonhohlplatten Stahlträger vorgesehen, welche durch einen entsprechenden Verguss mit der Deckenplatte verbunden werden. Dieses spezielle Verfahren führt dazu, dass die Träger später nicht mit gesonderten Brandschutzmaßnahmen verkleidet werden müssen. Durch dieses somit fast deckengleiche Unterzugsystem konnten einerseits die Fenster in den Fassaden raumhoch und damit mit möglichst guter Belichtungsqualität ausgeführt werden, andererseits sowohl für den Erstausbau als auch bei späteren Umnutzungen eine möglichst große Flexibilität für Leitungsverlegungen unterhalb der Decke ermöglicht werden.

In der Ausführung ergaben sich jedoch vielfältige Probleme und die Erkenntnis, dass die Kostenvorteile der Spannbetonhohlplatten durch das Unterzugsystem nahezu wieder verloren gingen.

Daher wurde von den Planern angezeigt dass hier aus Ihrer Sicht ggf. doch Standard Betonunterzüge vorzuziehen seien. Insofern werden die beiden Systeme hier hinsichtlich Ihrer ökologischen Potentiale untersucht. Um einen ökologischen Vergleich der zwei Varianten für die Träger - deckengleicher Stahlverbundträger und herkömmlicher Stahlbetonunterzug - erzielen zu können, wurde hierfür eine vereinfachte Ökobilanz-Berechnung erstellt.

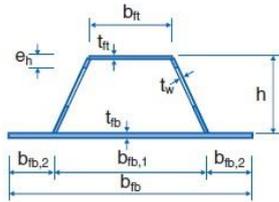
Für die Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

Stahlverbundträger

- Peikko Mittelträger, Typ **Deltabeam D20-300** (verwendetes Produkt beim Bochumer Projekt)
- Druckfestigkeitsklasse des Vergussbetons: C35/45 (Vorgabe des Herstellers Peikko)
- Flächenberechnung des Trägerquerschnittes: siehe Anlage / nachfolgende Abbildungen

PROFILE IN DER ÜBERSICHT

DELATABEAM Typ	b _{fb,1}	b _{fb,2}	b _{ft}	t _{ft} t _{fb}	h	d _h	e _h
	mm						
1 D20-200	200		100				
2 D20-300	300		180		200		
3 D20-400	400		278			80	
4 D22-300	300		170		220		47
5 D22-400	400		270				
6 D25-300	300		155		250		
7 D25-400	400		255				
8 D26-300	300		148		265		
9 D26-400	400	130	245				
10 D30-300	300		130		300		
11 D30-400	400		230			150	
12 D32-300	300		110		320		
13 D32-400	400		210				
14 D37-400	400		180		370		50
15 D37-500	500		280				
16 D40-400	400		180		400		
17 D40-500	500		278				
18 D50-500	500		230		500		
19 D50-600	600		330				



ca. 10 mm bei Bochum

Stahlverbundträger - Berechnung Flächenquerschnitt			
Formel:	$b(fb) * t(fb) + 2 * "h" * t(w) + b(ft) * t (ft)$		
Deltabeam Mittelträger D20-300:			
b(fb):	$300 + 2 * 130 =$	560	mm
h:	(ersatzweise)	200	mm
b(ft):		180	mm
t(fb), t(w), t (ft):	ca.	10	mm
	$560 \text{ mm} * 10 \text{ mm} + 2 * 200 \text{ mm} * 10 \text{ mm} + 180 \text{ mm} * 10 \text{ mm} =$	11.400	mm²
		0,0114	m²
Anmerkungen:	vereinfachte Berechnung / Annahme		
	- ersatzweise h genommen, da Diagonale nicht bekannt ist		
	- Stegöffnungen für Querbewehrungen unberücksichtigt		
	- evtl. noch zusätzliche Bewehrungseinlage z.B. für Brandschutz im Peikko-Träger -> unberücksichtigt		

Stahlbeton-Unterzug

- B/H: 20/30 cm
(entspricht den Abmessungen des Betonfertigteilterunterzuges beim Wuppertaler Projekt)
- Druckfestigkeitsklasse des Betons: C30/37
- Stahlanteil im UZ: ca. 20 kg / m

Die folgenden Hinweise sind bei dem Vergleich zu beachten.

Für den Verbundträger gibt es zurzeit keinen deklarierten Datensatz, weswegen die Ökobilanz vereinfacht über den Trägerquerschnitt und den Vergussbeton ermittelt wurde.

Für den Vergussbeton wurde die von dem Hersteller vorgegebene Betongüteklasse C35/45 angenommen. Bei dem Stahlbetonunterzug wurde hingegen die etwas geringere Betongüteklasse C30/37 verwendet.

Ergebnisse - Variantenvergleich Träger / Unterzug

Ökologische Bewertung für 1 m Träger / Unterzug

	PE NE Summe Primärenergie nicht erneuerbar	PE E Summe Primärenergie erneuerbar	GWP 100 Treibhauspotential	ODP Ozonabbaupotential
Stahlverbundträger, Deltabeam D20-300	722 MJ	146 MJ	7,496E+01 kg CO ₂ -äqv	1,482E-07 kg R11-äqv
Stahlbetonunterzug 20/30	261 MJ	95 MJ	2,791E+01 kg CO ₂ -äqv	3,397E-09 kg R11-äqv

AP Versäuerungspotential	EP Überdüngungspotential	POCP Sommersmogpotential	ADPE abiotischer Abbau nichtfossiler Ressourcen	ADPF abiotischer Abbau fossiler Ressourcen
1,371E-01 kg SO ₂ -äqv	1,656E-02 kg Phosp.-äqv	2,141E-02 kg Ethen-äqv	3,911E-06 kg Sb Äq.	6,072E+02 MJ
5,065E-02 kg SO ₂ -äqv	7,308E-03 kg Phosp.-äqv	7,804E-03 kg Ethen-äqv	4,498E-05 kg Sb Äq.	2,272E+02 MJ

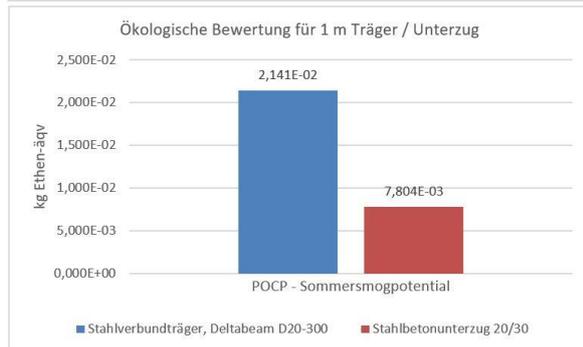
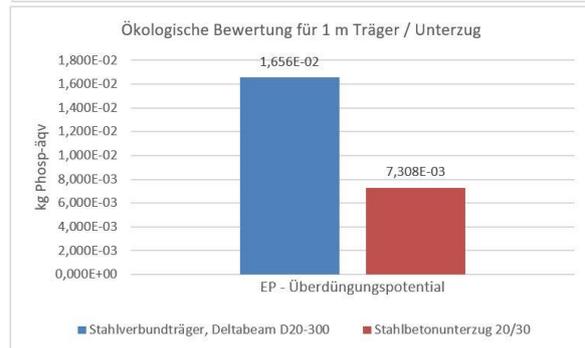
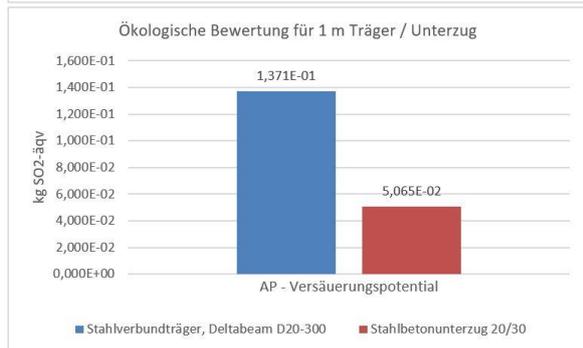
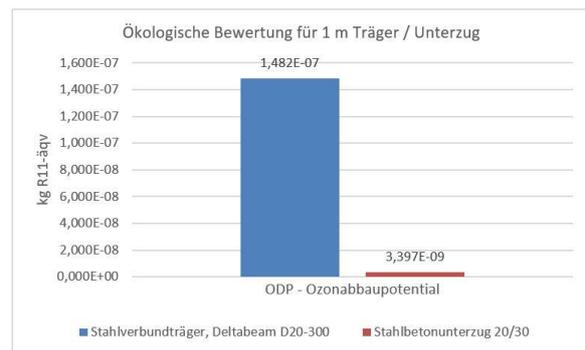
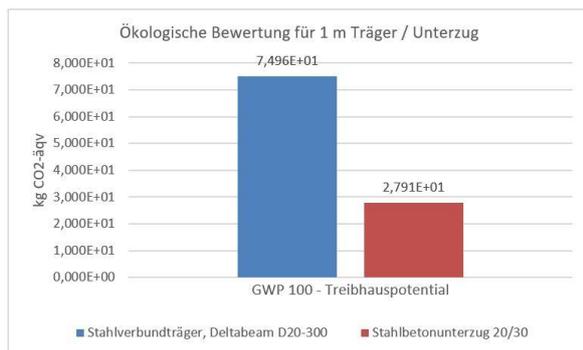


Abbildung 165: Ergebnisse Ökobilanzvergleich für 1 m Träger / Unterzug, [HS Bochum]

- Ein konventioneller Stahlbetonunterzug ist im Vergleich zu einem Stahlverbundträger (Peikko-Träger) bei allen 5 Ökobilanzwerten deutlich besser

Zwischenfazit Unterzüge

Unter folgenden Voraussetzungen sind Stahlbetonunterzüge aus ökologischen Gründen vorzuziehen:

- keine Notwendigkeit zu vielfältigen Leitungsführungen unterhalb der Decke (Im Wohnungsbau meist gegeben)
- Spannrichtung der Unterzüge quer zur Fassade (und damit Spannrichtung der Spannbetonhohldielen längs zur Fassade) um Unterzüge in der Fassadenrichtung zu vermeiden. (Optimierung der Tageslichtautonomie durch direkt unter der Decke eingesetzte Fenster)

Vergleich Außenwandkonstruktion

Aus den vorliegenden Erfahrungen des Planerteams wurden vorgefertigte Holztafelwände in Ständerbauweise für die Außenwände ausgewählt. Grundsätzlich waren die ökologischen Vorteile gegenüber Massivbauweisen bekannt. Auch war bekannt das Holzmassivbauweisen hier nochmals ein zusätzliches ökologisches Verbesserungspotential aufweisen. Die höheren Erstellungskosten solcher Bauweisen führten jedoch dazu diese nicht auszuwählen.

Ziel der im Nachgang der Planungsentscheidung durchgeführten Untersuchungen war es, genauere quantitative Aussagen treffen zu können.

Um einen ökologischen Vergleich von verschiedenen Außenwandkonstruktionen erzielen zu können, wurde für die drei Varianten - Holzrahmenelement, Holzmassivwand und mineralische Massivwand - eine vereinfachte Ökobilanz-Berechnung erstellt.

Für die Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

Holzrahmenelement

- 40 mm Alu-UK für Fassade / Luftschicht
- 0,5 mm Fassadenbahn
- 15 mm Gipsfaserplatte
- 300 mm Rippen aus Holz / Mineralfaserdämmstoff 035
- 18 mm OSB-Platte
- 12,5 mm GK-Platte

Holzmassivwand (Brettsperrholz)

- punktuelle wärmebrückenfreie Edelstahl-UK für Fassade, 240 mm (40 mm Luftschicht Dämmung)
- 0,5 mm Fassadenbahn
- 200 mm Mineralfaserdämmstoff 035
- 100 mm Brettsperrholz

Mineralische Massivwand (Kalksandstein)

- punktuelle wärmebrückenfreie Edelstahl-UK für Fassade, 280 mm (40 mm Luftschicht +240 mm Dämmung)
- 0,5 mm Fassadenbahn
- 240 mm Mineralfaserdämmstoff 035
- 175 mm Mauerwerk (Kalksandstein)
- 10 mm Putzschicht

Die folgenden Hinweise sind bei dem Vergleich zu beachten:

Die Außenwandbekleidung (Fassadenmaterial) ist in dieser Berechnung nicht enthalten, da sie unabhängig von der Wandkonstruktion für verschiedene Materialien betrachtet wird.

Einheitlich wurde für die drei Varianten die gleiche Dämmung (Mineralwolle 035) verwendet. Die Dicke der Däm-

mung variiert, damit die verschiedenen Konstruktionsvarianten einen vergleichbaren Wärmedurchgangskoeffizienten besitzen.

Bei dem Holzrahmenelement kann die Unterkonstruktion für die Fassadenbekleidung direkt an den Rippen befestigt werden, weswegen bei dieser Konstruktion ein schmales Profil aus Aluminium ausreichend ist. Bei den Massivwänden muss die Unterkonstruktion hingegen durch die Dämmschicht an die Tragkonstruktion befestigt werden, wodurch eine größere Unterkonstruktion aus Edelstahl (mit den einhergehenden deutlich höheren Kosten) erforderlich ist. Diese wird aus Wärmeschutzgründen punktuell und wärmebrückenfrei an die Massivwand befestigt.

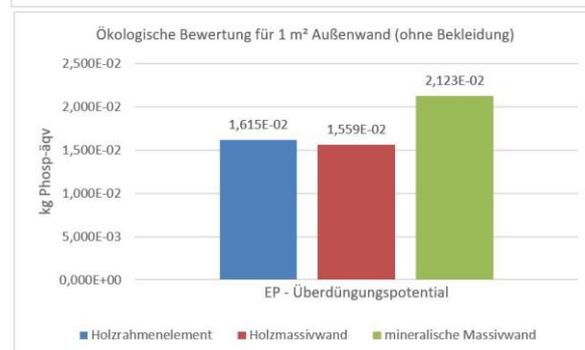
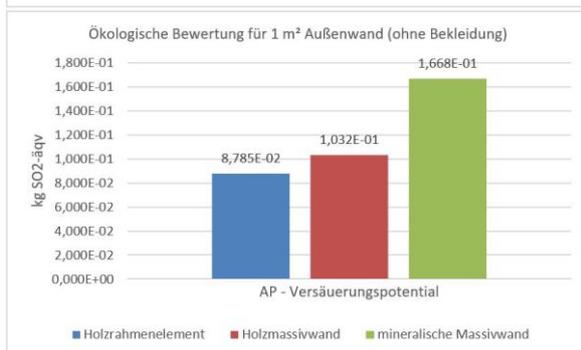
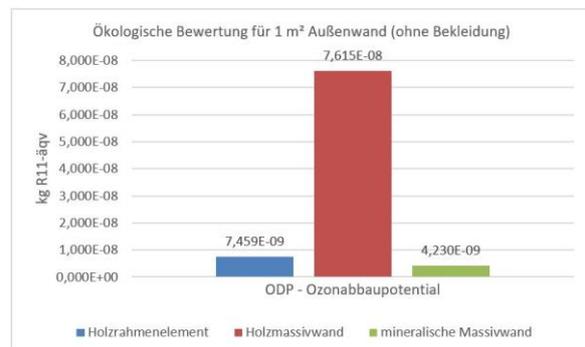
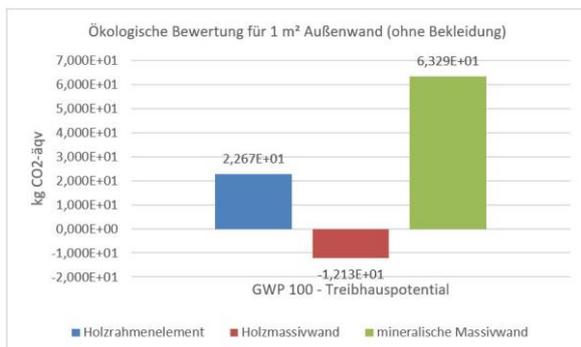
Die Innenwandbekleidung ist bei den drei Varianten unterschiedlich. Bei dem Holzrahmenelement bildet eine Gipskartonplatte den inneren Abschluss, die Oberfläche einer Brettspertholzwanne müsste nicht bekleidet werden und bei der Mauerwerkswand ist eine innere Putzschicht erforderlich.

Ergebnisse - Variantenvergleich Außenwand

Ökologische Bewertung für 1 m² Wand

	PE NE Summe Primärenergie nicht erneuerbar	PE E Summe Primärenergie erneuerbar	GWP 100 Treibhauspotential	ODP Ozonabbaupotential
Holzrahmenelement	-73 MJ	115 MJ	2,267E+01 kg CO ₂ -äqv	7,459E-09 kg R11-äqv
Holzmassivwand	-198 MJ	78 MJ	-1,213E+01 kg CO ₂ -äqv	7,615E-08 kg R11-äqv
mineralische Massivwand	636 MJ	104 MJ	6,329E+01 kg CO ₂ -äqv	4,230E-09 kg R11-äqv

AP Versäuerungspotential	EP Überdüngungspotential	POCP Sommersmogpotential	ADPE abiotischer Abbau nichtfossiler Ressourcen	ADPF abiotischer Abbau fossiler Ressourcen
8,785E-02 kg SO ₂ -äqv	1,615E-02 kg Phosp.-äqv	1,966E-02 kg Ethen-äqv	8,545E-03 kg Sb Äq	3,573E+01 MJ
1,032E-01 kg SO ₂ -äqv	1,559E-02 kg Phosp.-äqv	1,021E-02 kg Ethen-äqv	8,196E-04 kg Sb Äq	-1,795E+02 MJ
1,668E-01 kg SO ₂ -äqv	2,123E-02 kg Phosp.-äqv	9,056E-03 kg Ethen-äqv	1,068E-03 kg Sb Äq	5,821E+02 MJ



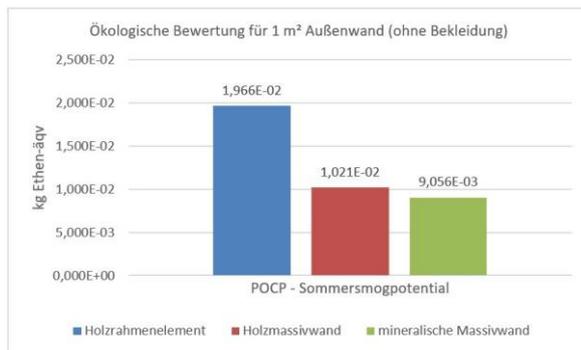


Abbildung 166: Ergebnisse Ökobilanzvergleich für 1 m² Außenwand, [HS Bochum]

- Bei den 3 Ökobilanzwerten Treibhauspotential (CO₂-Ausstoß), Versäuerungspotential und Überdüngungspotential ist eine mineralische Massivwand bei dem Variantenvergleich ökologisch am schlechtesten.
- Bei dem Ökobilanzwert für das Ozonabbaupotentials schneidet die Holzmassivwand und bei dem Ökobilanzwert für das Sommersmogpotentials das Holzrahmenelement am schlechtesten ab.
- Die Holz-Massivwand erreicht beim GWP einen negativen Wert, speichert demnach mehr CO₂ als wieder abgegeben wird.
- Die Holzständerwand kommt nicht zu einem „negativen“ GWP wert. Dies ist begründet durch den relativ kleinen Holzanteil und die notwendigen Beplankungen aus gipshaltigen Plattenwerkstoffen (Brandschutz + Anforderungen aus Landesbauordnung). Ein großer Impact geht hier auch von der eingesetzten Mineralwolle aus.
Ergänzende Bemerkung: Ökologisch vorteilhaftere Dämmstoffe wie Zellulose oder Holzfaserdämmstoffe erreichen nicht die nach Landesbauordnung geforderten Brandklassen.

Zwischenfazit Außenwandkonstruktion

Die von den Planern im Vorfeld aus Erfahrungswerten anderer Projekte getroffene Entscheidung zur Sinnfälligkeit des Aufbaus der Außenwände hat sich durch die Vergleichsberechnungen bestätigt. Die Holztafelkonstruktion weist gegenüber der Massivbauvariante erheblichen Einsparpotential beim Treibhauspotential auf. Kostentechnisch sind bei konstruktionsgerechter Planung keine Nachteile zu erwarten. Bei höheren Dämmstandards als EnEV können sogar Kostenvorteile erzielt werden. Holzmassivbau Konstruktionen sind hinsichtlich des Treibhauspotentials deutlich besser führen aber zu deutlichen Mehrkosten.

Die gute Ausgewogenheit der Holz-Tafel-Bauweise zwischen Ökonomie und Ökologie führt zu einer zunehmenden Verbreitung wie aus zahlreichen Veröffentlichungen (Beispiel: DETAIL Holzhybridbau aus 2019) erkennbar wird.

Weitere erhebliche Einsparpotentiale beim Treibhauspotential wären durch den Einsatz von Holzfaserdämmstoffen möglich. Hiergegen sprechen jedoch baurechtliche Festlegungen die dies nur bis Gebäudeklasse 3 (in der Regel 3-geschossig) zulassen.

Vergleich Fassadenmaterialität

Um einen ökologischen Vergleich der verschiedenen Fassadenmaterialien, erzielen zu können, wurde hierfür eine vereinfachte Ökobilanz-Berechnung erstellt. Verglichen wurde hier die im Projekt verwendete Blechfassade aus Aluminium mit einer vertikalen Holzschalung.

Für die Berechnung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

Aluminium-Blechtefeln

- vorgehängte hinterlüftete Außenwandbekleidung aus Aluminium-Blechtefeln
- bandbeschichtet
- ca. 1 mm dick
- Flächengewicht: ca. 9 kg/m²
- Lebensdauer nach Ökobaudat: über 50 Jahre

vertikale Holzschalung

- vorgehängte hinterlüftete Außenwandbekleidung aus vertikaler Holzschalung
- Lärche
- Profildreher 22 mm / 28 mm und 40 mm dick → Materialdicke im Mittel ca. 30 mm
- Holzbekleidung - Nadelholz behandelt, Laubholz, Holzwerkstoff-Systeme:
Lebensdauer nach Ökobaudat : 40 Jahre → 1 Ersatz in 50 Jahren
- Holzbekleidung - Nadelholz unbehandelt
Lebensdauer nach Ökobaudat: 30 Jahre → 1 Ersatz in 50 Jahren
- Für die Lebensdauer bei der Ökobilanzberechnung ist es somit egal, ob die Holzbekleidung behandelt oder unbehandelt ist, da sie innerhalb von 50 Jahren jeweils einmal ersetzt werden muss.

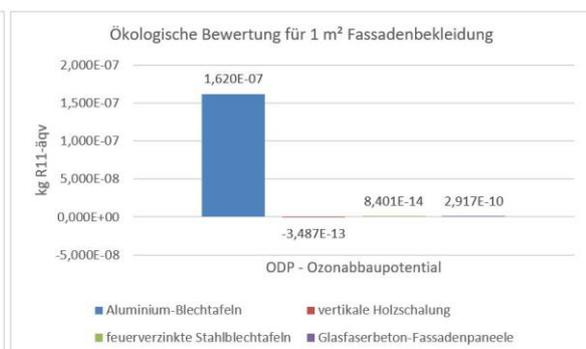
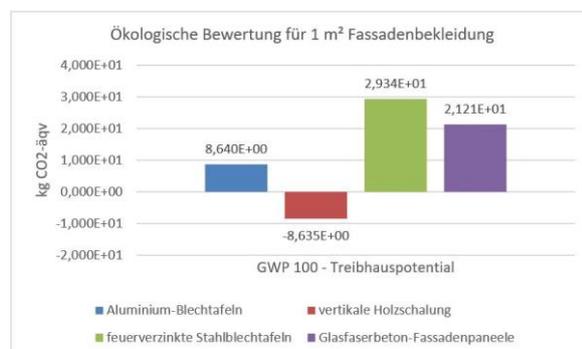
Bei dem Ökobilanz-Vergleich der verschiedenen Fassadenmaterialien wurde nur das Fassadenmaterial miteinander verglichen. Die verschiedenen Fassadenmaterialien können bei der Außenwandkonstruktion allerdings unterschiedliche Anforderungen an die äußere Bekleidungsschicht erfordern.

Ergebnisse - Variantenvergleich Fassadenmaterialien

Ökologische Bewertung für 1 m² Fassade

	PE NE Summe Primärenergie nicht erneuerbar	PE E Summe Primärenergie erneuerbar	GWP 100 Treibhauspotential	ODP Ozonabbaupotential
Aluminium-Blechtefeln	81 MJ	135 MJ	8,640E+00 kg CO ₂ -äqv	1,620E-07 kg R11-äqv
vertikale Holzschalung	-217 MJ	706 MJ	-8,635E+00 kg CO ₂ -äqv	-3,487E-13 kg R11-äqv
feuerverzinkte Stahlblechtefeln	283 MJ	22 MJ	2,934E+01 kg CO ₂ -äqv	8,401E-14 kg R11-äqv
Glasfaserbeton-Fassadenpaneele	259 MJ	47 MJ	2,121E+01 kg CO ₂ -äqv	2,917E-10 kg R11-äqv

AP Versauerungspotential	EP Überdüngungspotential	POCP Sommersmogpotential	ADPE abiotischer Abbau nichtfossiler Ressourcen	ADPF abiotischer Abbau fossiler Ressourcen
2,700E-02 kg SO ₂ -äqv	1,890E-03 kg Phosp.-äqv	2,160E-03 kg Ethen-äqv	4,320E-06 kg Sb Äq.	1,026E+02 MJ
3,583E-02 kg SO ₂ -äqv	9,518E-03 kg Phosp.-äqv	-5,609E-04 kg Ethen-äqv	-3,102E-06 kg Sb Äq.	-2,054E+02 MJ
6,376E-02 kg SO ₂ -äqv	6,343E-03 kg Phosp.-äqv	8,034E-03 kg Ethen-äqv	1,215E-03 kg Sb Äq.	2,735E+02 MJ
5,712E-02 kg SO ₂ -äqv	5,849E-03 kg Phosp.-äqv	2,738E-03 kg Ethen-äqv	9,291E-05 kg Sb Äq.	2,417E+02 MJ



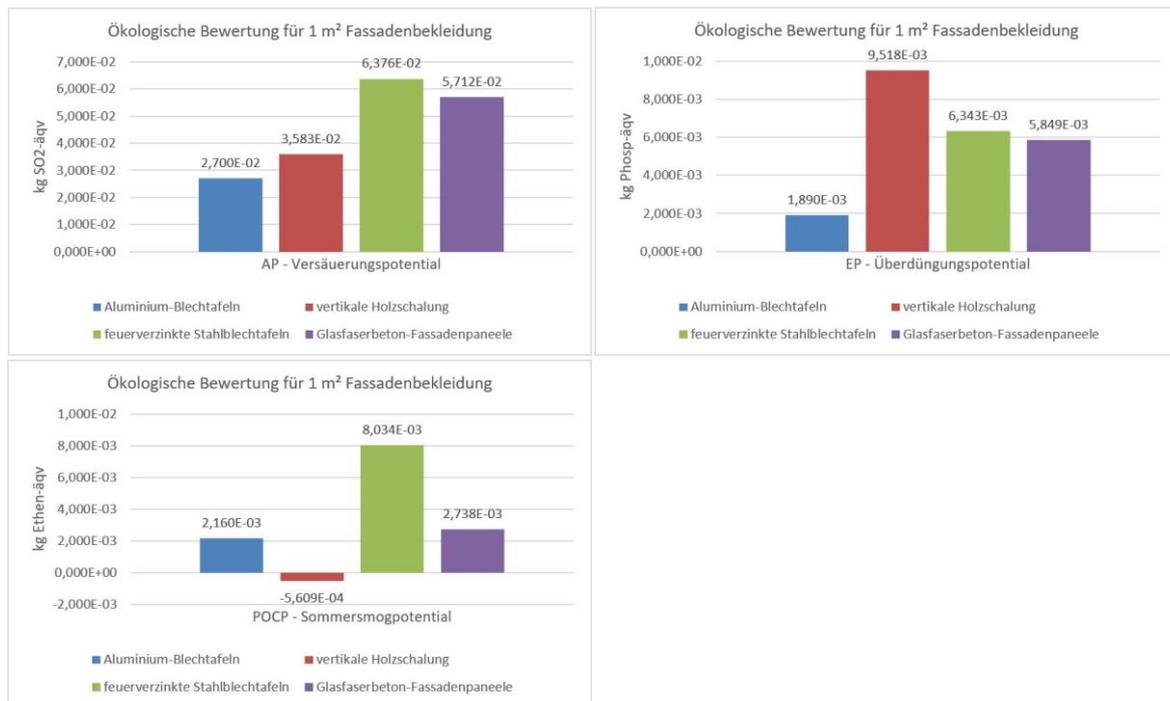


Abbildung 167: Ergebnisse Ökobilanzvergleich für 1 m² Fassade, [HS Bochum]

- Bei dem Ökobilanzwert für das Treibhauspotential (CO₂-Ausstoß) ist die vertikale Holzschalung mit einem negativen Wert ökologisch deutlich besser als die beiden Blechfassade
- Generell erzielt die vertikale Holzschalung bis auf den Ökobilanzwert für das Überdüngungs- und Versauerungspotential die besten Ergebnisse bei dem Variantenvergleich
- Die Variantenvergleiche der Außenwand und Fassadenmaterialien zusammen betrachtet zeigen, dass eine mineralische Massivwand mit einer Holzverkleidung ähnliche Werte hinsichtlich der Umweltwirkung aufweist wie eine Holztafelwand mit einer Blechverkleidung.

Zwischenfazit Fassadenmaterial

Die Unterschiede, insbesondere für das Treibhauspotential, zwischen dem nicht brennbaren Fassadenmaterial Aluminiumblech sind in Bezug auf eine Fassadenbekleidung aus Holzwerkstoffen eher marginal. Holz schneidet im Vergleich am besten ab und ist darüber hinaus im Vergleich zu den übrigen Fassadenmaterialien deutlich kostengünstiger. Der Kostenvorteil kann 50% und mehr betragen. Der Werkstoff stellt also sowohl aus ökonomischen als auch ökologischen Gesichtspunkten die beste Wahl dar.

Allerdings sind dem Einsatz von Holz als Fassadenmaterial baurechtliche Grenzen gesetzt. In allen Bundesländern ist der Werkstoff nur bis Gebäudeklasse 3 (Oberkante höchster Aufenthaltsraum weniger als 7m über Oberkante Gelände) und damit in aller Regel 3-geschossige Gebäude möglich. Die in Deutschland in den letzten Jahren vermehrt auch bei höheren Gebäuden (bis Hochhausgrenze) eingesetzten Holzverkleidungen beziehen sich in aller Regel auf eine entsprechende schweizerische Bau Regel in der diese Bauweise bereits seit 2005 geregelt ist.



FAZIT

Erkenntnisse aus Ökobilanzierung und Ausblick aufs nächste Thema - Zertifizierung

Vor dem Hintergrund der aktuellen gesellschaftlichen - und von der Wissenschaft gestützten - Diskussion zum Klimawandel ist zu erwarten, dass das Treibhauspotential von Gebäuden einer immer größeren Bedeutung bei der Bewertung zugemessen wird. Die Berechnungen haben gezeigt, dass bei verbesserten Energiestandards (EnEV) hierbei zunehmend die Baukonstruktion für weiteres Reduktionspotential ausschlaggebend ist. Außerhalb von Zertifizierungssystemen bestehen hierzu jedoch auf ordnungsrechtlicher Seite unverständlicherweise noch keinerlei Vorgaben. Dies und die Komplexität der zur Bewertung notwendigen Ökobilanzberechnungen führt zu einer im üblichen Planungsablauf nicht Beachtung dieses Optimierungspotentials obwohl die notwendigen Daten hierzu frei verfügbar sind. Das Holz als nachwachsender und damit CO₂ speichernder Baustoff grundsätzlich vorteilhaft ist ist zwar bekannt, die exakten quantitativen Auswirkungen jedoch meist nicht. Hier können die weiteren Ausbaustoffe vor allem die im Fassadenbereich erhofften Vorteile schnell zunichtemachen. Für Planungsentscheidungen im Sinne einer für die Nachhaltigkeit wichtigen Ausgewogenheit zwischen Ökonomie und Ökologie sind Kenntnisse und Daten zu beiden Bereichen notwendig. In den meisten Datenquellen überwiegen jedoch die ökonomischen Daten, so dass diese die Entscheidung stark dominieren.

Bereits heute sind Bauweisen vorhanden die gleichermaßen ökologische als auch ökonomische Vorteile aufweisen (z.B. Holzfassaden). Für die anderen Fälle wären aufgrund auch ökonomisch begrenzter Ressourcen Werte zu Kosten von CO₂-Einsparung hilfreich. Aus anderweitigen Forschungsprojekten (+++Haus, DBU Förderung AZ. 31718) ist bekannt das Holzmassivbauweisen mit ca. 2,50 Euro / Tonne eingespartes CO₂äqv. eher teuer sind im Vergleich zu alternativen Dämmstoffen aus Holzfaser oder Zellulose mit ca. 0,4 Euro/ Tonne eingespartes CO₂äqv.

Es bleibt zu hoffen, dass die angestrebte weitere Digitalisierung der Planungs- und Bauprozesse diese Zusammenhänge durch zur Verfügung Stellung entsprechender Datenbanken besser anwendbar macht.

Angesichts der großen zusätzlichen Einsparpotentiale können auch die aktuellen Benchmarks der bestehenden Zertifizierungssysteme kritisch betrachtet werden bei denen auch mit klassischen schweren und damit meist CO₂ intensiven Bauweisen höchste Zertifizierungsstufen gut erreichbar sind. Bei einer deutlich größeren Wichtung der ökologischen Belange (zurzeit 22,5% nach DGNB) würden die Materialfrage und das damit einhergehende Einsparpotential sich vermutlich schneller erschließen lassen.

4.c_2 Zertifizierung DGNB



RELEVANZ

Systemauswahl Nachhaltigkeitszertifizierung

NaWoh

Das NaWoh 3.1 ist das Nachhaltigkeitssystem des Vereins zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau (u.a. Mieterbund, GdW, Bundesarchitektenkammer, uvm.), welches für Mehrfamilienhäuser erarbeitet wurde. Es besteht aus insgesamt 29 Kriterien, welche alle bearbeitet werden müssen. Hierbei wird in „zu bewertende“ und „zu beschreibende“ Kriterien unterschieden. Für die zu bewertenden Kriterien ist mindestens die Stufe „erfüllt“ zu erreichen – eine Kompensation durch Übererfüllung in einem anderen Kriterium ist nicht möglich. Die zu beschreibenden Kriterien müssen ebenfalls bearbeitet werden und ggf. Begründungen oder Ausnahmen geschrieben werden, warum das jeweilige Kriterium nicht in vollständigem Umfang angewendet wird.

Für studentisches Wohnen sind einige Anforderungen wie z.B. die Anzahl Pkw- Stellplätze, die Benchmarks der Lebenszykluskostenberechnung und die Art und Anzahl der Spielmöglichkeiten in den Außenanlagen für Kinder nicht anwendbar. Für das Förderprogramm Variowohnen wurden hierzu Ausnahmeregelungen und Anpassungen in der Ergänzung NaWoh 3.2 Variowohnen erarbeitet.

DGNB

Die DGNB hat für Wohngebäude ebenfalls ein Nachhaltigkeitssystem erarbeitet. Das System Neubau Wohngebäude 15 besteht aus 34 zu bearbeitenden Kriterien, welche in 5 Hauptkriteriengruppen eingeteilt werden. In allen 5 Hauptkriteriengruppen müssen jeweils mindestens 50% der möglichen Punktzahl erreicht werden, wobei innerhalb der Kriterien eine Kompensation möglich ist. Das DGNB System ist weltweit bekannt und unterscheidet in die Erfüllungsstufen Silber, Gold und Platin.

Auswahl des Nachhaltigkeitssystems

Für die Systemauswahl wurde für beide Systeme ein Pre-Check erstellt. Der DGNB Pre-Check ergab einen Gesamterfüllungsgrad von ca. 69% und somit die Einhaltung der Stufe Gold.

Im NaWoh Pre-Check waren einige Kriterien als offen zu kennzeichnen, da z.B. die Berechnung der Lebenszykluskosten erst endgültig nach Fertigstellung erstellt werden kann. Da jedoch der Benchmark sehr gering angesetzt ist, bestand hier ein großes Risiko, das Kriterium nicht erfüllen zu können und schlussendlich die Zertifizierung nicht zu erlangen.

Es wurde eine Gegenüberstellung der beiden Systeme als Entscheidungsgrundlage erarbeitet und trotz zusätzlicher Kosten für z.B. Zertifizierungsgebühren fiel die Entscheidung auf die Anwendung des DGNB Systems, da das Risiko, die Zertifizierung nicht zu erreichen im NaWoh- System zu groß war. Weiterhin ist das DGNB- System für Marketingzwecke besser geeignet und die Anforderungen der Kriterien für das studentische Wohnen passender. Wichtiger Entscheidungsgrund war neben dem Performance-Ansatz des DGNB-Systems wie z.B. Anreize zur Verbesserung der Planung, auch die Berücksichtigung von Schadstoffen im Planungs- und Bauprozess. So kann eine hohe Gesundheitssicherheit für die Nutzer gewährleistet werden.

	NaWoh	DGNB
Mindestanforderungen in den einzelnen Kriterien	- hohe Anforderungen in den zu bewertenden Kriterien - 46 % beschreibende Kriterien	- Grenzwerte nicht zu hoch angesetzt
erreichbare Zertifizierungsstufe	Mindestanforderungen erfüllt (Stufe „erfüllt“ für bewertende Kriterien)	DGNB Gold
Sicherheit der Zertifizierung	niedrig (alle zu bewertenden Einzelkriterien müssen erfüllt werden)	hoch (Kompensation bei weniger Erfüllung in anderen Kriterien möglich)
Nähe des Systems zum Fördermittelgeber	hoch	niedrig
Nutzung des Systems	vorwiegend im öffentlichen Bauen	vorwiegend in Privatwirtschaft
Marketingaktivitäten des Systemgebers	niedrig	hoch

Tabelle: Auszug Vergleich DGNB/ NaWoh

AUSWIRKUNG

Aktueller Bewertungsstand gemäß DGNB NWO15

Derzeit befindet sich das Studentenwohnheim in den letzten Zügen der Bauausführung, weshalb einige Kriterien noch nicht vollständig bewertet werden können.

Nach derzeitigem Baufortschritt ergibt sich folgender Bewertungsstand:

Hauptkriteriengruppe	Ist Bewertung	Note	Max
Ökologische Qualität (ENV)	20,9 %	Platin	22,5 %
Ökonomische Qualität (ECO)	13,1 %	Silber	22,5 %
Soziokulturelle und funktionale Qualität (SOC)	15,0 %	Gold	22,5 %
Technische Qualität (TEC)	15,3 %	Gold	22,5 %
Prozessqualität (PRO)	5,3 %	Silber	10,0 %
Gesamt- Erfüllungsgrad/ Note	69,6 %	Gold	100,0 %

Tabelle: Aktueller Bewertungsstand DGNB NWO15

Das Studentenwohnheim erreicht derzeit einen Bewertungsstand von 69,6 %. Dieses Ergebnis entspricht der Zertifizierungsstufe Gold (65% - 80%) inklusive 3% Sicherheitspuffer für die Konformitätsprüfung durch die DGNB. Zum Bewertungsstand des Pre- Checks im Januar 2017 (Stand LP 3) mit 68,6% ergibt sich eine geringfügig-

gig abweichende Bewertung, da einige Berechnungen und Simulationen durchgeführt wurden und die zum damaligen Zeitpunkt angenommenen Bewertungen verbessern bzw. teilweise verschlechtern. Hierzu zählen unter anderem folgende Berechnungen und Dokumente:

- Lebenszykluskostenberechnung (aktueller Stand Kostenverfolgung)
- Tageslichtsimulation
- Thermische Raumsimulation
- Bodengutachten

Da sich das Gebäude derzeit im Bau befindet, beruhen einige Bewertungen auf Annahmen und sind risikobehaftet. Hierzu zählen z.B.:

- Innenraumluftmessung nach Fertigstellung
- endgültige Lebenszykluskostenberechnung (Kostenfeststellung notwendig)
- Risiken für die lokale Umwelt (Schadstoffe für Innen- und Außenraum)

Die DGNB- Bewertung wird im Online- Tool und auf der später ausgestellten Urkunde als „DGNB- Bewertungsblume“ dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt die aktuelle Bewertungsblume zum derzeitigen Planungs- und Baufortschritt.

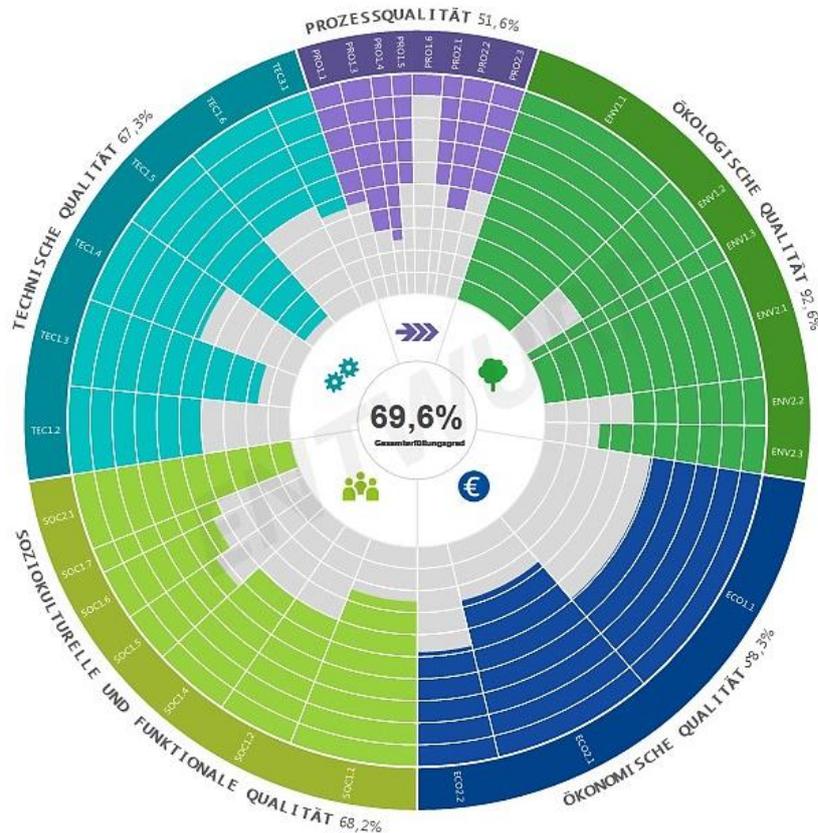


Abbildung 168: vorläufige DGNB- Bewertungsblume, Stand Bauausführung Oktober 2019, [DGNB]

Zum jetzigen Zeitpunkt bestehen in der Zertifizierung wenige Risiken, sodass von der Erreichung der Zertifizierungsstufe DGNB Gold für das Studentenwohnheim ausgegangen werden kann.

Die Bewertung kann sich nach Beendigung der Baumaßnahme geringfügig ändern. Diese etwaigen Änderungen ergeben sich u.U. aufgrund der Aktualisierung von Berechnungen (z.B. Trinkwasserbedarf), Kosten gemäß Schlussrechnungen sowie ausstehender Messungen (z.B. Innenraumluftmessung, Blower Door Test).



FAZIT

Abschließende Zertifizierung

Nach Abschluss der Baumaßnahme wird für das Projekt ein finales Projektaudit erstellt und zur Konformitätsprüfung bei der DGNB eingereicht.

Prozess der Zertifizierung

Zum Zeitpunkt der durchgeführten Pre-Checks der Planung lag diese bereits im Stadium einer Genehmigungsplanung vor. Grundsatzentscheidungen konnten daher durch die Erkenntnisse nicht beeinflusst werden. Der Pre-Check ergab aber direkt eine hohe und auch angestrebte Erfüllungsquote. Es wurden im Pre-Check keine wesentlichen Problemfelder aufgezeigt die bei frühzeitiger Anwendung des Systems zu anderen Entscheidungen geführt hätten. Ausschlaggebend hierfür war neben der Entscheidung zum Bau eines Passivhauses vor allem auch die frühzeitige Festlegung zum großflächigen Einsatz von Holzbaustoffen vor allem im Bereich der Außenwandbauteile.

Die Erreichung eines noch höheren Standards (Stufe Platin) wurde vom beauftragten Auditor für Wohngebäude als sehr schwierig erachtet. Ziel der weiteren Abstimmung war daher den Goldstandard möglichst gesichert zu erreichen. Um Platin zu erreichen, müssten die Kosten noch weiter gesenkt werden und der soziologische Teil vertieft werden, zum Beispiel durch die Gestaltung der Außenanlagen mit Bänken und Raucherinseln, Stärkung der E-Mobilität und Verbesserung des Lebensraumes von Tieren wie Insekten. Außerdem wird durch die Schaffung von einer barrierefreien R-Wohnungen auf 8 Wohnungen, die DIN 118040 zwar übererfüllt aber bessere Voraussetzungen für Platin geschaffen.

In der begleitenden Planungs- und Bauphase wurde vor allem die Baustoffauswahl im Hinblick auf die zu erreichende geringe Schadstoffbelastung intensiv zwischen dem Planungsteam abgestimmt. Alle zu verbauenden Materialien wurden überprüft. Aufgrund der Anforderung nach Produktneutralität im Rahmen der öffentlichen Ausschreibung wurden die möglichen Grenzwerte bzw. Umwelteinstufungen als Grenzwerte mit ins Leistungsverzeichnis aufgenommen. Alle auf der Baustelle eingesetzten Produkte benötigten im Vorfeld eine nochmalige gesonderte Freigabe. Dieser Prozess erfordert eine frühzeitige Abstimmung hat aber nicht zu wesentlichen Beeinträchtigungen geführt. Fast immer konnten entsprechende Produkte aufgezeigt werden welche die Anforderungen erfüllen.

Aus Sicht der Planer kann die angestrebte Zertifizierung gegenüber den ausführenden Firmen als zusätzliche Begründung dienen, die geforderten Produktdatenblätter rechtzeitig vorzulegen.

Die Zertifizierung konnte zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen werden, da sich das Studentenwohnheim noch im Bau befindet. Für das finale Projektaudit sind Unterlagen und Nachweise erforderlich, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorliegen. Hierzu zählen unter anderem:

- Kostenfeststellung
- Messergebnisse der Innenraumluftmessung
- Fotos vom fertiggestellten Gebäude

Für die Zertifizierung werden die benötigten Nachweise von den Fachplanern angefordert, sortiert und aufbereitet. Pro Kriterium wird ein Erläuterungsbericht geschrieben, der die wichtigsten Informationen, Ausschnitte der Nachweisunterlagen sowie die angestrebte Bewertung enthält.

Nach Hochladen und Übermitteln der Nachweise an die DGNB findet eine Konformitätsprüfung statt welche das Ergebnis bestätigt oder es werden ggf. weitere Erläuterungen und Nachweise nachgefordert.

Nach Abschluss der Prüfung wird das DGNB- Zertifikat sowie die Urkunde ausgehändigt.

Grundsatzfragen zur Zertifizierung

In den Bauherrengesprächen wurde durch diesen aufgezeigt eine solche für zukünftige Projekte eher nicht anzuwenden. Es fehlt daher an einer Verdeutlichung der mit der Zertifizierung zu erreichenden Mehrwerte. Dieser fehlenden Erkenntnis stehen relativ hohe Kosten für den Zertifizierungsprozess gegenüber so dass die Bereitschaft hierdurch weiter negativ beeinflusst wird.

Die innerhalb der Zertifizierungssysteme angesprochenen Qualitätskriterien sollte jedoch eigentlich eine planerische Selbstverständlichkeit abbilden, so dass die gesonderte Beauftragung von Nachhaltigkeitsexperten in einem qualifizierten Planungsteam nicht zwingend erforderlich sein sollte. Dies kann in der Zukunft nur über einen entsprechende Aus- und Weiterbildung der Verantwortlichen erreicht werden.

Weiterhin wäre ein stärkerer ökonomischer Anreiz für eine lebenszyklusweite Betrachtung wünschenswert. Beispielsweise könnte die Vergabe von KfW Krediten und Tilgungszuschüssen nicht weiterhin nur an die Betriebsphase gekoppelt werden.

Die Erfüllung der richtigerweise breit aufgestellten vielfältigen Kriterien der Nachhaltigkeit kann aber auch nur gelingen, wenn dies bereits in den ersten Projektierungsphasen eine tragende Rolle spielt. In diesem Sinne kann auch ein ordnungspolitischer Rahmen - anlehnend an die EnEV - die Nachhaltigkeit des Gebäude Bestandes positiv beeinflussen.

4.d. Kosten



RELEVANZ

Herstellungskosten / Baukosten allgemein

In dem Themenschwerpunkt "Kosten und Effizienz" wird das Projekt hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit untersucht. Im Rahmen des Forschungsprojektes soll untersucht werden welche Auswirkungen neue Planungs- und Produktionsprozesse auf die Baukosten haben. Die Erwartungshaltung der Planer war es ausdrücklich nicht, dass mittels der Vorfertigung die Investitionskosten reduziert werden können. Ihre Erfahrung aus realisierten Bauvorhaben zeigen, dass eine konsequente Vorfertigung im Wohnungsbau nicht den Standard darstellt. Somit war der Focus darauf zu legen, ob und wie zum jetzigen Zeitpunkt gegebenenfalls eine Kostenneutralität im Vergleich zur konventionellen Bauweise hergestellt werden kann. Positive Auswirkungen, mit entsprechend auch wirtschaftlichen Vorteilen, liegen in der Bauzeitverkürzung und der Qualitätssicherung, somit der Reduzierung von Lebenszykluskosten.

Ein weiterer Vorteil kann darin liegen, dass durch den hohen Vorfertigungsgrad eine größere Kostensicherheit bzgl. der Kostenberechnung bzw. bzgl. des Kostenanschlages erzielt werden kann, da unvorhersehbare Zusatzmaßnahmen aus Bauablaufstörungen vor Ort ggf. wesentlich reduziert werden können. Hierzu wird eine detaillierte Kostenkontrolle notwendig. Abweichend von der gem. DIN 276 geführten Zuordnung von Kostenkennwerten bzgl. Bauteilen wird diese zielführender gewerkeweise aufgegliedert. Dies ist hinsichtlich der Vorfertigung insofern von besonderer Bedeutung, da hier vollkommen neue Gewerkezusammenschlüsse notwendig werden. Für die Fertigung der Nasszellen werden beispielsweise Gewerke aus der Kostengruppe 300 und 400 zu einem Vergabelos kostengruppenübergreifend vereinigt. Die DIN ermöglicht eine solche alternative Kostenverfolgung grundsätzlich. In öffentlichen Vergabeverfahren wird jedoch größtenteils weiterhin an der traditionellen bauteilbezogenen Kostenkontrolle festgehalten. Dieser verwaltungstechnische Mehraufwand sollte hinterfragt werden.

Betriebs- und Unterhaltskosten allgemein

Ein weiteres Ziel der Forschung VarioWohnen ist die Senkung der Betriebskosten des Gebäudes. In dem Projekt wird dieses zum größten Teil durch den Passivhausstandard erreicht. Die kontrollierte Lüftung bildet in hoch energieeffizienten (wesentlich luftdichteren) Gebäuden eine wichtige gebäudetechnische Komponente. Gerade in Studentenwohnanlagen hat das Themenfeld bedarfsgerechter Lüftung hinsichtlich einzuhaltender Lufthygiene, Wohnkomfort und Energieeffizienz einen maßgebenden Stellenwert.

In Studentenwohnheimen stellt der Warmwasserverbrauch einen weiteren hohen Betriebskostenanteil dar. Dieser ist ca. zwei bis drei Mal so hoch wie die pauschalen Ansätze gemäß EnEV [EnoB]. Eine individuelle Verbrauchszählung und Abrechnung erfolgt in der Regel in den Studentenwohnheimen wegen der großen Fluktuation und damit einhergehenden sehr aufwendigen Abrechnungsmodalitäten nicht. Dieser Themenbereich sollte im Rahmen einer Zusatzstudie gesondert untersucht werden. Im Rahmen dieses Förderprogramms wurden nur die üblichen Maßnahmen über allgemeine Durchflussbegrenzung getroffen und Anstöße für ein Monitoring gegeben (siehe unten).

Die Abhängigkeit zu den Unterhaltskosten bzgl. der Bauteile und Oberflächen, insbesondere in Bezug auf die hier dargestellten "Innovationen", werden in den einzelnen Kapiteln zu den Elementen detailliert beschrieben. Sie stellen zum Zeitpunkt der Erstellung des Forschungsberichtes zunächst einmal eine Prognose dar und müssten im Nachgang hinsichtlich der Richtigkeit der Annahmen überprüft werden. Aus den Erfahrungen bereits realisierter Bauvorhaben konnte seitens der Architekten jedoch aufgezeigt werden, dass die Wahl der robusten Oberflächen und die Verwendung von Fertignasszellen zu erheblichen Einsparungen geführt haben. Im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung haben sich die ggf. höheren Investitionskosten in den meisten Fällen als die wirtschaftlich vorteilhaft erwiesen.

Lebenszykluskosten

Die Themen Nachhaltigkeit und Lebenszyklusanalyse sind für die Abläufe und Entscheidungen im Alltag der Wohnheimverwaltungen mit zunehmend komplexen Prozessen verbunden. Diese sind oft auch für den fachlich versierten Entscheider nicht leicht durchschaubar. Eine differenzierte Betrachtungsweise lohnt sich jedoch, da eine integrale Planung zur Erhöhung der langfristigen Bauqualität, zu einer umfassenden Ressourcenschonung und damit zum wirtschaftlicheren Betreiben der Studierendenwohnanlagen führt. Da durchschnittlich zweidrittel der Kosten eines Gebäudes in der Nutzungsphase anfallen, lohnt es sich, die Entscheidungen in der Investition auch unter Betrachtung dieser Kosten zu treffen. Sowohl für die Planung von Neubauten als auch für die Sanierung und Modernisierung von Bestandsgebäuden werden zunehmend Lebenszyklusanalysen erstellt. In der Forschung werden hierzu seit längerem ökonomische, energetische und umweltrelevante Bilanzierungsverfahren angewendet. Diese Verfahren in die alltäglichen Planungs-, Ausführungs- und Nutzungsprozesse zu integrieren, hat sich jedoch lange Zeit als äußerst schwierig erwiesen. Mittlerweile stehen hierfür zahlreiche Berechnungstools für die Fachplaner zur Verfügung. Dennoch bleibt es für den Bauherrn schwierig, sich in dem verzweigten Netz der Nachhaltigkeitsdiskussionen zu orientieren. In den Lebenszykluskosten werden die Zusammenhänge zwischen Investitions- und Betriebskosten auf einen Zeitraum von 50 Jahren betrachtet. Diese Berechnung ist Teil der Zertifizierung nach DGNB und wird unter dem Themenabschnitt 4.c Nachhaltigkeit ebenfalls betrachtet. Erläuternd sei hier angemerkt, dass für die Lebenszyklusberechnung nach dem „Bewertungssystem nachhaltiges Bauen“ (BNB) stets von einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ausgegangen wird. Deshalb muss in der Gesamtbetrachtung die Frage beantwortet werden, wie oft ein Bauteil innerhalb der ersten 50 Jahre voraussichtlich ersetzt werden muss. Ob beispielsweise für ein einzelnes Bauteil konkret 85 oder 90 Jahre angesetzt werden sollten, ist für diese Betrachtungssystematik irrelevant. Die Werte werden bei 50 Jahren gekappt.



HINTERGRUND

Vorgaben Förderprogramm Variowohnen

Die Förderrichtlinie VarioWohnen gibt vor, dass die Warmmiete (unmöbliert) zum Zeitpunkt der Bewilligung 280 Euro je Wohnplatz monatlich nicht überschreitet. Daneben darf ein Möblierungszuschlag von höchstens 20,00 Euro je Wohnplatz monatlich erhoben werden. Die Miete und der Möblierungszuschlag dürfen erstmals am 1. Januar 2021 und dann am 1. Januar eines jeden darauffolgenden dritten Jahres erhöht werden um den Prozentsatz, um den sich der vom Statistischen Bundesamt festgestellte Verbraucherpreisindex für Deutschland" [BBSR-Förder-Rili]. Die Förderungsrichtlinien geben außerdem hohe Vorgaben an das Anforderungsprofil hinsichtlich Barrierefreiheit, Nutzung und Nachnutzung, innovative Systeme der Vorfertigung und Bauzeitverkürzung.

Herstellungskosten / Baukosten

Wie bereits unter Relevanz einleitend erläutert werden bei dem Projekt im Rahmen der Vorfertigung neue Zusammenschlüsse von traditionellen Einzelgewerken vorgenommen. Entsprechende Umbuchungen sind in der Kostenkontrolle vorgenommen. Die untenstehende Tabelle zeigt die Baukosten zum Zeitpunkt der Entwurfsplanung - Kostenberechnung - im Vergleich zum heutigen Stand der Kostenkontrolle. Die erste Spalte zeigt das zum Stand des Antrages berechnete Budget, welches in der nächsten Spalte angepasst aufgelistet wird. Diese Budgeterhöhung war im Verlauf der Projektentwicklung und der angezogenen Konjunktur nötig, um eine realistische Benchmark für die weitere Kostenentwicklung zu setzen. Im zweiten Teil der Tabelle wird der aktuelle Stand der Kostenkontrolle dargestellt und im Vergleich die Differenz zur Benchmark dargestellt um einen Vergleich der Kostenentwicklung zu erstellen.

Im Gesamtvergleich gibt es eine Abweichung um ca. 14 % zur Kostenberechnung. Die Gründe hierfür liegen zum einen an der während der Planungsphase angezogenen Konjunktur und der besonderen Relevanz von innovativen Konzepten in einem vergleichsweise kleinen Bauvorhaben. Zum anderen resultiert dies aus den örtlichen Gegebenheiten. Da der Baugrund mit besonderen Verwerfungen vor Ort schlechter vorgefunden wurde, als gem. der Probebohrungen im Bodengutachten ausgewiesen war, musste dieser, teilweise belastete, Baugrund ausgetauscht werden.

Leistungsphasen / Kostenbasis		3 Entwurfsplanung		Absolut 02.01.2020		
		Budget Kostenber. 14.06.2017	Kostenberechnung incl. Budget-Erhöhung BENCHMARK	aktueller Kostenstand	Differenz - / + Absolut zu Benchmark	
Nr.	Gewerk	Kostenberechnung		Kostenkontrolle		Differenz zum Budget
KGR 200 Herrichten u. Erschliessen		135.000,00	135.000,00	137.030,00	2.030,00	1,50%
KGR 300 Bauwerk Baukonstruktion		6.470.762,83	6.981.189,82	7.754.487,54	773.297,72	11,08%
G00	Baustelleneinricht. Erstazvornahme	0,00	0,00	16.950,84	16.950,84	
G001	Baustellenüberwachung	0,00	18.615,00	19.515,00	900,00	
G002	Baubehelzung	0,00	2.755,00	2.755,00	0,00	
G01	Gerüste	0,00	540,00	15.857,50	15.317,50	
G01	Gerüste Treppenturm Gartenseite	0,00	0,00	3.700,00	3.700,00	
G01	Gerüste Schächte H168	0,00	0,00	3.800,00	3.800,00	
G01	Gerüste Ergänzung Fassade Garten	0,00	0,00	6.370,00	6.370,00	
* G13	Rohbau	2.157.590,20	2.560.293,19	2.821.248,34	260.955,15	10,19%
* G13.1	Rohbau	0,00	26.000,00	26.000,00	0,00	0,00%
G16	Fassade	1.790.742,83	1.790.742,83	2.069.346,80	278.603,97	15,56%
G17	Metallbau	0,00	0,00	4.080,00	4.080,00	
G21	Dachabdichtung	262.059,50	214.030,69	272.544,92	58.514,23	
G21.1	Not-Dachabdichtung	0,00	48.028,81	48.028,81	0,00	
G24	Fliesen	30.982,35	30.982,35	29.923,43	-1.058,92	
G25	Estrich	131.582,37	0,00	0,00	0,00	
G25.1	Estrich Ersatzvornahme	0,00	91.294,91	109.977,40	18.682,49	
G26	Metallbau Türen	0,00	95.045,00	95.045,00	0,00	
→ G27	Tischler	367.144,50	283.946,96	274.441,00	-9.505,96	
G28	Parkett	0,00	103.819,00	102.594,00	-1.225,00	
G31	Schlosser	52.360,00	106.860,00	149.012,00	42.152,00	
G33	Gebäudereinigung	44.030,00	44.030,00	22.702,90	-21.327,10	
G34	Maler	69.457,41	87.587,41	92.390,80	4.803,39	
G36	Bodenbeläge	225.010,69	0,00	8.879,90	8.879,90	
G36.1	Ersatzvornahme 1/2 Bodenbeläge	0,00	78.630,69	37.739,00	-40.891,69	
G36.2	Ersatzvornahme 2/2 Bodenbeläge	0,00	42.561,20	42.561,20	0,00	
G39	Trockenbau	399.006,78	427.446,78	548.939,46	121.492,68	
* G93	Fertignasszellen	900.296,00	687.480,00	905.805,01	18.325,01	2,06%
G95	Schliessanlage	15.000,00	40.500,00	24.279,23	-16.220,77	
G97	Briefkastenanlage	25.500,00	0,00	0,00	0,00	
KGR 400 Technische Anlagen		1.322.539,84	1.337.388,34	1.715.231,84	377.843,50	28,25%
G40	Heizung, Warmwasser	317.760,00	441.196,00	491.480,77	50.284,77	
G40.1	Contracting	0,00	0,00	0,00	0,00	
G40.2	Kernbohrungen	0,00	0,00	24.940,41	24.940,41	
G40.3	Entwässerungbohrungen	0,00	18.198,00	19.094,10	896,10	
G40.4	Rohbau Haustechnik	0,00	0,00	1.205,63	1.205,63	
G45	Sanitärinstallation	220.000,00	0,00	0,00	0,00	
G49	Feuerlöschanlagen		0,00	0,00	0,00	
G50	Blitzschutz		0,00	0,00	0,00	
G53	Elektroinstallation	414.457,84	496.974,31	757.870,30	260.895,99	
G61	Schwachstrom, EDV	83.322,00	0,00	0,00	0,00	
G63	Gefahrenmeldeanlagen, BMA		0,00	0,00	0,00	
G69	Aufzüge	40.000,00	40.000,00	45.810,00	5.810,00	
G75	Lüftungsanlagen	247.000,00	294.300,00	321.288,43	26.988,43	
G99.2	Baustrom	0,00	46.720,03	53.542,20	6.822,17	
KGR 500 Aussenanlagen		711.060,47	666.710,47	774.929,49	108.219,02	16,23%
KGR 600 Ausstattung und Kunstwerke		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
KGR 700 Baunebenkosten		1.886.083,74	1.901.133,74	2.221.317,28	320.183,54	16,84%
Gesamtsumme KGR 200 bis 700		10.525.446,88	11.021.422,37	12.602.996,15	1.581.573,78	14,35%
	brutto	12.525.281,79	13.115.492,62	14.997.565,42	1.882.072,80	14,35%
KGR 300 / 400		9.274.030,18	9.899.108,01	11.268.966,06	1.369.858,05	13,84%
KGR 300 / 400 ohne Möbel		8.837.128,22	9.561.211,13	10.942.381,27	1.381.170,14	14,45%

* Bei einer Kostenberechnung nach DIN 276 anteilig angerechnetes Gewerk in KG 300 und 400 (Umbuchungen nötig)

→ Einbaumöbel in KG 300 der Kostenberechnung/ -kontrolle enthalten

Abbildung 169, Kostenberechnung vs. Kostenkontrolle [ACMS Architekten GmbH]

Die Baukosten in Bezug zum Bruttorauminhalt, der Bruttogrundfläche sowie der Nutzfläche werden in der untenstehenden Tabelle projektbezogen dargestellt. Hierbei werden die Kostengruppen 300 & 400 ohne Möblierung als Grundlage der Berechnung angesetzt und auch die Kosten pro Wohnplatz dargestellt. Des Weiteren wird in der unteren Tabelle der Bezug zu den Kostenkennwerten des BKI 2019 hergestellt um die Vergleichbarkeit im Markt zu zeigen. Hierbei wurden die entsprechenden Werte für "Wohnheime und Internate" als Basis herangezogen, da Mehrfamilienhäuser eine deutlich geringere Installationsdichte und damit einhergehend geringere Kosten haben als Wohnheime. Im Vergleich zum Durchschnitt der Kostenkennwerte liegt das Bauvorhaben trotz der wesentlich überdurchschnittlichen Qualitäten, welche im Rahmen des Förderprogrammes gefordert wurden pro Wohnplatz ca. 15 % kostengünstiger (Mittelwert pro Wohnplatz + 10 % Aufschlag für Passivhausstandard nach BKI → 98.065,00 €).

		Budget Kostenber. 14.06.2017		Kostenberechnung incl. Budget- Erhöhung BENCHMARK	aktueller Kostenstand (02.01.2020)	Differenz - / + Absolut zu Benchmark
KGR 300 / 400 ohne Möbel	brutto	8.837.128,22 €		9.561.211,13 €	10.942.381,27 €	1.381.170,14 €
BRI	16.846,57 m ² brutto	524,57 €/m ²		567,55 €/m ²	649,53 €/m ²	81,99 €/m ²
BGF	5.465,44 m ² brutto	1.616,91 €/m ²		1.749,39 €/m ²	2.002,10 €/m ²	252,71 €/m ²
NUF	3.754,80 m ² brutto	2.353,55 €/m ²		2.546,40 €/m ²	2.914,24 €/m ²	367,84 €/m ²
WP	132,00 Stk. brutto	66.947,94 €/Stk.		72.433,42 €/Stk.	82.896,83 €/Stk.	10.463,41 €/Stk.

→ Möblierungszuschlag pro WP von 20,00 € (zzgl. zu einer Warmmiete von 274,00 €)

KGR 300/ 400 - Kostenkennwerte BKI Gebäude Neubau 2019 - Wohnheime & Internate (S. 660)		von	Mittelwert	bis	Vergleichbarer Wert: Mittelwert + 10 % Aufschlag für Passivhaus	aktueller Kostenstand (02.01.2020)	Differenz - / + Absolut zu Vergleichswert BKI
BRI	brutto	385,00 €/m ²	490,00 €/m ²	595,00 €/m ²	539,00 €/m ²	649,53 €/m ²	120,51%
BGF	brutto	1.350,00 €/m ²	1.580,00 €/m ²	1.930,00 €/m ²	1.738,00 €/m ²	2.002,10 €/m ²	115,20%
NUF	brutto	1.980,00 €/m ²	2.450,00 €/m ²	3.130,00 €/m ²	2.695,00 €/m ²	2.914,24 €/m ²	108,13%
WP (NE)	brutto	54.580,00 €/Stk.	89.150,00 €/Stk.	149.930,00 €/Stk.	98.065,00 €/Stk.	82.896,83 €/Stk.	84,53%

Abbildung 170, Kosten im Bezug zu Flächen [ACMS Architekten GmbH]

Auswertung der Kosten und Vergleich der Wirtschaftlichkeit zur konventionellen Bauweise Vorfertigungssysteme

Es stellt sich die Frage, ob durch innovative Ansätze der Baukonstruktion höhere Baukosten entstehen. Seitens der Planer wurde prognostiziert, dass einzelne Bauteile teilweise durchaus teurer sein können, jedoch über Synergien, beispielsweise über einen reduzierten Ausbau, Kosteneinsparungspotentiale generiert werden können. Fertigteilelemente wurden so derart verwendet, dass die Oberflächen nicht verputzt, tapeziert oder gestrichen werden mussten.

Zum Vergleich werden die im Bauvorhaben verwendeten Fertigteile hinsichtlich der Bauteilkosten zunächst ohne Berücksichtigung des Ausbaus in den nachstehenden Tabellen in Bezug zur konventionellen Bauweise sowie - sofern vorhanden - auch zum BKI Kostenkennwert verglichen.

Elementierter Rohbau

Der elementierte Rohbau wird im Folgenden in die Bereiche Wände, Decken, Träger und Stützen unterteilt. Die einzelnen Systeme werden hier hinsichtlich der Kosten unterschiedlicher Ausführungsvarianten untersucht um einen Vergleich zu ermöglichen. Hierbei werden konventionelle Rohbauverfahren mit der elementierten Bauweise verglichen. Die Kosten werden - soweit vorhanden- aus den durch die Forschung betrachteten Projekten Wuppertal und Bochum gezogen und mit Werten nach [BKI, 2019] verglichen.

-Allgemein-

Bei der Verwendung von Fertigteilen ist der Rohbauer in der Regel auf Zulieferer angewiesen. Bei den meisten Bietern existiert hierfür nicht die gleiche Kalkulationssicherheit wie bei eigenen Leistungen oder routinemäßig zugestellten Fremdleistungen. Die eingekauften, in diesem Bauvorhaben für den Wohnungsbau sicherlich teilweise besonderen Fremdleistungen bergen ein gewisses Kalkulationsrisiko. Gerade in der zurzeit sehr angespannten Konjunkturlage ist der Bieter hinsichtlich der Angebotsfindung und der termingerechten Verfügbarkeit von den Zulieferern abhängig. Entsprechend wird dieses Kalkulationsrisiko im Angebot an den Auftragnehmer weitergegeben. Dies erfolgt in sehr unterschiedlicher Weise, was in den Submissionen zu extremen Preisspannen führt.

Aus diesen Gründen musste beim Wuppertaler Projekt die 1. Ausschreibung aufgehoben werden. Es kam zu einer erheblichen **Budgetüberschreitung** bei den Submissionsergebnissen des Vergabeverfahrens der Rohbauarbeiten. Im zweiten Verfahren wurden potenzielle Kostenverursacher reduziert und die Konstruktion dementsprechend angepasst (Wandschotten und Unterzüge anstelle von Peikko Träger - Stützen Kombination).



Abbildung 171, Kostenauswertung Wände [Hochschule Bochum]

Wände				
		netto	brutto	
Vollfertigteil	Wuppertal	165,00 €/m ²	196,35 €/m ²	
	Bochum	-	-	
	BKI	-	150,00 €/m ²	(von 120 - bis 180)
Halbfertigteilwand	Wuppertal	74,32 €/m ²	88,44 €/m ²	
	Bochum	115,00 €/m ²	136,85 €/m ²	
	BKI	-	150,00 €/m ²	(von 130 - bis 180)
Ortbetonwand	Wuppertal	245,00 €/m ²	291,55 €/m ²	
	Bochum	170,00 €/m ²	202,30 €/m ²	
	BKI	-	170,00 €/m ²	(von 130 - bis 200)

Abbildung 172, Kostenauswertung Wände [Hochschule Bochum]

In dem Projekt wurde sich für Halbfertigteilwände entschieden und die obenstehende Tabelle zeigt, dass diese auch vergleichsweise günstig sind. Bei der Ausschreibung konnten die Vergleichspreise der BKI unterboten werden und somit entsprechend kostengünstig umgesetzt werden. Eine Ausführung mit Vollfertigteilen ist im Vergleich ca. 75 % teurer und in Ortbeton sogar ca. 120 % teurer. Die hohen Kosten für Ortbetonwände können auch aus der relativ kleinen ausgeführten Menge resultieren. Bei größeren Mengen können in der Regel günstigere Preise durch entsprechende Systemschalungen erzielt werden.

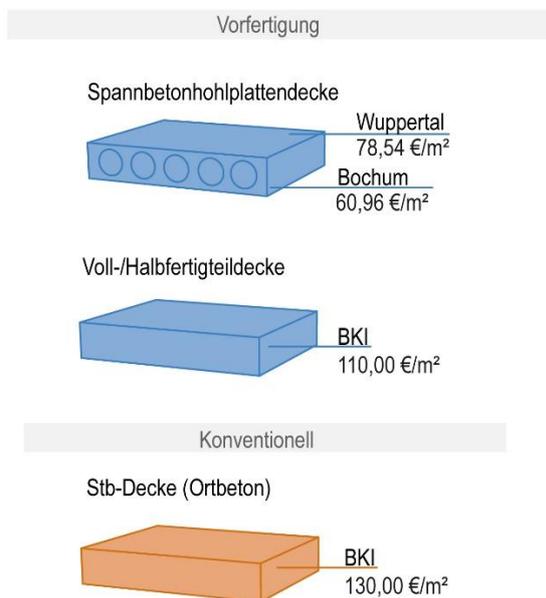


Abbildung 173, Grafische Darstellung Kostenauswertung Decken [Hochschule Bochum]

Decken			
		netto	brutto
Spannbetonhohlplattendecke	Wuppertal	66,00 €/m ²	78,54 €/m ²
	Bochum	51,00 €/m ²	60,69 €/m ²
	BKI	-	-
Voll-/Halbfertigteildecke	Wuppertal	-	-
	Bochum	-	-
	BKI	-	110,00 €/m ² (von 84 - bis 140)
Stb-Decke (Ortbeton)	Wuppertal	-	-
	Bochum	-	-
	BKI	-	130,00 €/m ² (von 110 - bis 150)

Abbildung 174, Kostenauswertung Decken [Hochschule Bochum]

In dem Projekt wurde sich für Spannbetonhohlplattendecken entschieden und die obenstehende Tabelle zeigt, dass diese auch vergleichsweise günstig sind. Hier liegen keine Vergleichspreise der BKI vor. Da keine weiteren Ausführungsalternativen im Angebot abgefragt wurden, wird die Spannbetonhohlplattendecke hier mit den im BKI veranschlagten Preisen der Varianten verglichen. Eine Ausführung mit Vollfertigteildecke ist im Vergleich ca. 50 % teurer und eine Stahlbeton (Ortbeton) Decke sogar fast doppelt so teurer.

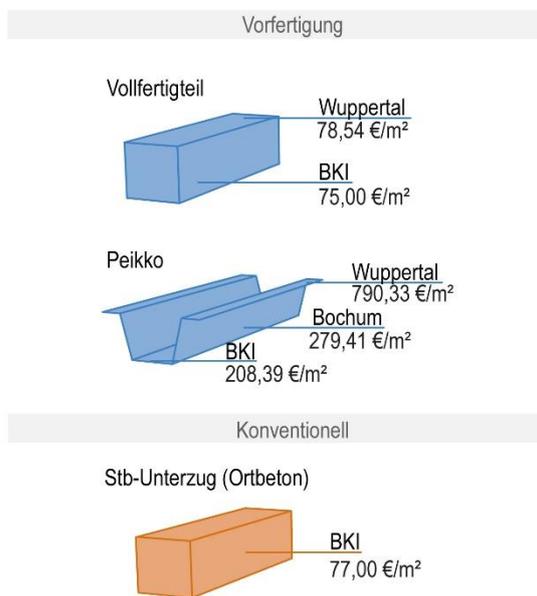


Abbildung 175, Grafische Darstellung Kostenauswertung Träger [Hochschule Bochum]

Träger				
		netto	brutto	
Vollfertigteil	Wuppertal	150,00 €/m ²	178,50 €/m ²	
	Bochum	-	-	
	BKI	-	75,00 €/m ²	(von 27 - bis 126)
Peikko	Wuppertal	664,15 €/m ²	790,33 €/m ²	
	Bochum	234,80 €/m ²	279,41 €/m ²	
Stahlträger aus Profilstahl F90	BKI	-	208,39 €/m ²	(von 92 - bis 220)
Stb-Unterzug (Ortbeton)	Wuppertal	-	-	
	Bochum	-	-	
	BKI	-	77,00 €/m ²	(von 45 - bis 166)

Abbildung 176, Kostenauswertung Träger [Hochschule Bochum]

In dem Bochumer Projekt wurde sich für die Umsetzung mit Peikko Trägern entschieden. In dem Wuppertaler Projekt hingegen wurde sich nach der 1. Ausschreibung gegen Peikko Träger entschieden - da diese mit größeren Spannweiten zu erheblichen Mehrkosten geführt hätten. Betrachtet man die Konstruktionen Bochum und Wuppertal kann man schlussfolgern, dass Stahlverbundträger mit einer vergleichsweise großen Spannweite von > 5 m wesentlich teurer als die alternativen Ausführungen sind. Hier bieten sich Kombinations - Konstruktionen aus Stb-Unterzügen und Wandschotten an. Diese führen jedoch zu weniger Flexibilität in den Grundrissen.

Die Ausführung der Konstruktion mit Stahlverbundträgern (Peikko) ist im Vergleich die teuerste, jedoch auch die einzige deckengleiche Variante. Die verglichenen Alternativen führen immer zu einem gestapelten Aufbau und bringen somit Nachteile in der offenen und freien Grundrissstruktur mit sich.

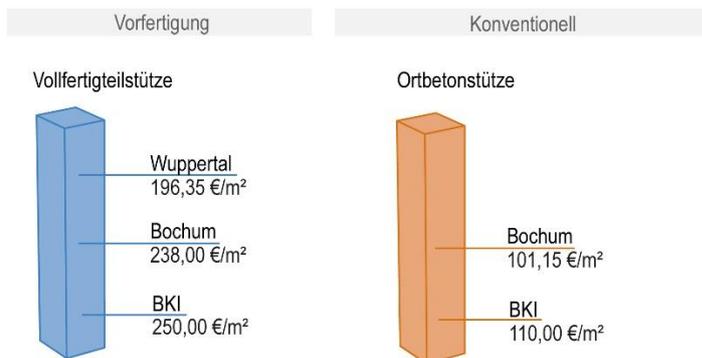


Abbildung 177, Grafische Darstellung Kostenauswertung Stützen [Hochschule Bochum]

Stützen				
		netto	brutto	
Vollfertigteil	Wuppertal	165,00 €/m ²	196,35 €/m ²	
	Bochum	200,00 €/m ²	238,00 €/m ²	
	BKI	-	250,00 €/m ²	(von 180 - bis 300)
Ortbetonstütze	Wuppertal	-	-	
	Bochum	85,00 €/m ²	101,15 €/m ²	
	BKI	-	110,00 €/m ²	(von 87 - bis 130)

Abbildung 178, Kostenauswertung Stützen [Hochschule Bochum]

In dem Projekt wurde sich für Fertigteilstützen entschieden obwohl diese ca. doppelt so teuer wie Ortbetonstützen sind. Diese Entscheidung ist jedoch nicht isoliert zu betrachten. Unter Betrachtung der vorangehend beschriebenen Entscheidungen würde die Ausbildung von Ortbetonstützen kontraproduktiv sein. Der zeitliche Verzug, der mit entsprechenden Ortbetonarbeiten einhergehen würde, ist maßgebend. Weiterführend sind Fertigteilstützen in ihrer Qualität und den Anwendungsbereichen deutlich besser als vergleichbare Ortbetonstützen.

Zusätzlich zu den Kosten pro Einheit ist zu beachten, dass bei Betonfertigteilen, durch ihre Qualität der Sichtoberfläche, kein weiterer Ausbau nötig ist und sich somit Einsparpotential im Innenausbau ergibt.

Bäder

Der Preis einer Fertignasszelle ist abhängig von der bestellten Anzahl, ab einer Stückzahl von ungefähr 50 können die Fertignasszellen kostenneutral zu einem konventionellen Bad werden- je mehr Module umso rentabler - Unten stehende Tabelle zeigt den Kostenvergleich eines konventionellen Bades mit der Fertignasszelle. Für dieses Bauteil sind ergänzend die geringeren Instandhaltungskosten relevant.

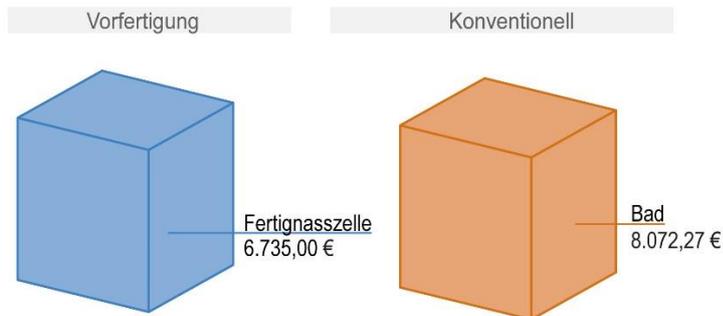


Abbildung 179, Grafische Darstellung Kostenauswertung Bäder [Hochschule Bochum]

		Kosten konventionell je Bad	Kosten je Fertignasszelle
Sanitär & Trockenbau		4.296,51 €	
Nichttragende Innenwände	GK-Ständerwand, einfacher Schallschutz, 12,5 cm	242,74 €	
	GK-Vorwand raumhoch	94,54 €	
	Zulage Zementbauplatten	286,72 €	
	Zulage: Zusätzl. Ständerwerk für Installationen	162,98 €	
	Aussparungen, Türöffnungen, etc.	30,00 €	
Innentüren	Stahl-Türzargen in Trockenbau	125,00 €	
	Badtür, 1-Flügel-Holztür 0,885/2,13, Feuchtraum	375,00 €	
	Beschichtung Türzargen	39,42 €	
Innenwandbekleidungen	Steingut-Fliesen Bäder/WC	1.611,73 €	
	Verbundabdichtung Wand in Duschen	284,42 €	
	Kristallspiegel ca.1,20/0,80m für Bad/WC	80,00 €	
Deckenbeläge	Steinzeug-Fliesen in Bädern/WC für Boden	383,20 €	
	Verbundabdichtung Boden in Bädern	121,01 €	
	Anlegen bodengleicher Duschen (Ablauf in KGR 400)	250,00 €	
Decken-/ Dachbekleidungen	GK-Abhangdecken 1-lagig inkl. Metall-UK	177,48 €	
	Anstrich GK-Decken	32,27 €	
TGA	pauschal	3.575,76 €	
Elektro	pauschal	200,00 €	
Gesamtsumme	1 Stück	8.072,27 €	6.735,00 €
Gesamtsumme Projekt	132 Stück	1.065.539,59 €	889.020,00 €

Abbildung 180, Kostenauswertung Bäder [Hochschule Bochum]

Holztafelemente

Die Holztafelemente wurden hinsichtlich ihrer Kosten pro qm Wandfläche untersucht. Unterteilt wurden die Kosten in die nichttragende Außenwand und die äußere Bekleidung. Als Richtwerte für die konventionelle Ausführung wurden die BKI Mittelwerte Wohnheime und Internate der Kostengruppen 332 und 335 [BKI, 2019] plus Aufschlag für die höhere Qualität Passivhausstandard angenommen. Laut Kostenauswertung liegt die Außenwand bei ca. 140 €/m² und ist somit über einem Drittel günstiger als der Vergleichswert zur konventionellen Ausführung laut BKI mit 300 €/m². Die Kosten für die äußere Bekleidung ist abhängig von der Materialität, hier liegt der Vergleichswert BKI bei ca. 200 €/m². Für die konventionelle Bauweise müsste jedoch zusätzlich ein Zuschlag für eine Passivhaustaugliche Edelstahl Unterkonstruktion von ca. 40 €/m² hinzugerechnet werden, was zu einem Gesamtvergleichswert von 240 €/m² führt. Die Bekleidung gekantetes Stahlblech beim Projekt kostet 152 €/m², im direkten Vergleich zum BKI und somit konventioneller Ausführung ist die Ausführung somit 35 % günstiger. Die projektspezifischen Details wie zum Beispiel integrierte Regenfallrohre, Aussparungen für Lüftung etc. verändern den Gesamtpreis geringfügig und fließen in den untenstehenden Kostenvergleich mit ein.

Zusätzlich zu erwähnen ist, dass Fenster zwar in dem Gewerk mit ausgeschrieben sind, jedoch als gesonderte Position definiert sind und somit nicht in untenstehende Berechnung mit einfließen.

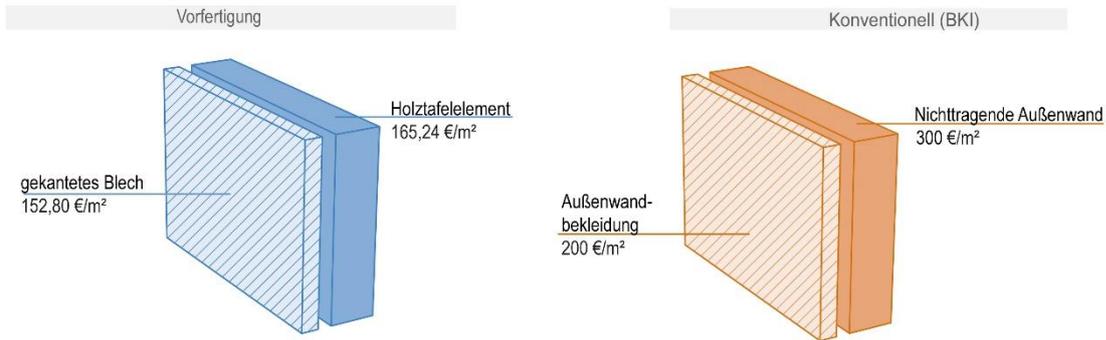


Abbildung 181, Grafische Darstellung Kostenauswertung Holztafelelemente [Hochschule Bochum]

	Kosten	Fassadenfläche	Anteil Öffnungsfläche	Einheitspreis (netto)	Einheitspreis (brutto)	Einheitspreis (brutto) BKI 2019
Häuser 160-166	284.242,24 €	2134,64 m²	30,33%	133,16 €/m²		
Haus 168	150.286,84 €	1164,80 m²	33,30%	129,02 €/m²		
= Mittelwert Wandelemente				131,09 €/m²	156,00 €/m²	
Montageplanung / Statik	in Einheitspreisen verrechnet					
Aussparungen / Einbauteile / allgemeine Positionen	25.612,80 €	3299,44 m²		7,76 €/m²		
= Summe Zusätzliche Positionen				7,76 €/m²	9,24 €/m²	
Zwischensumme - Nichttragende Außenwand				138,85 €/m²	165,24 €/m²	300,00 €/m² 55%
<small>* Einheitspreis (brutto) nach [BK], 2019] Wohnheime und Internate - Kostengruppe 332 (117,00 €/m² bis 334,00 €/m²) --> hier angenommen 300 €/m² aufgrund höherer Qualität durch Passivhausstandard</small>						
Häuser 160-166	288.842,16 €	2134,64 m²		125,94 €/m²		
Haus 168	152.432,58 €	1164,80 m²		130,87 €/m²		
Zwischensumme - Mittelwert - gekantete Bleche				128,40 €/m²	152,80 €/m²	200,00 €/m² 76%
<small>* Einheitspreis (brutto) nach [BK], 2019] Wohnheime und Internate - Kostengruppe 335 (94,00 €/m² bis 247,00 €/m²) --> hier angenommen 200 €/m² aufgrund höherer Qualität durch Passivhausstandard</small>						
Gesamtsumme Außenwand inkl. Bekleidung				267,26 €/m²	318,04 €/m²	500,00 €/m² 64%

Abbildung 182, Kostenauswertung Holztafelelemente [Hochschule Bochum]

Bei dem Wuppertaler Projekt gibt es keinen relevanten Preisunterschied zwischen den Elementen von Haus 1 (5-geschossig - horizontale Aufteilung in 2 Elemente) und den Elementen von Haus 2-5 (3-geschossig - 1 Element über die gesamte Höhe). Außerdem wurde in dem LV die Montageplanung und Statik nicht gesondert ausgewiesen, sondern über die Einheitspreise verrechnet.

Bei der 1. Ausschreibung Fassade wurden nur zwei Angebote eingereicht, die deutlich über der Kostenberechnung lagen. Keines der Angebote kann im Rahmen des genehmigten Budgets realisiert werden. Die technischen Klärungsgespräche haben ergeben, dass die derzeitige angespannte Marktsituation und die teilweise fehlende Routine in den neuen Arbeitsabläufen und Fertigungsmethoden durch die Integration verschiedener Gewerke Leistungen in die vorgefertigten Holztafelelemente zu den sehr überhöhten Preisen führten. Die 1. Ausschreibung führte somit zu keinem wirtschaftlich akzeptablen Ergebnis und wurde aufgehoben. In technischen Klärungsgesprächen mit den Bietern wurden die Gründe für kostentreibende Bauteile diskutiert. Der innovative Planungsansatz der Architekten, Tragkonstruktion; Ausbau und die Integration von Technik in einem Bauteil zu vereinigen, kann im derzeitigen Produktionsablauf der Bieter (noch) nicht bedient werden. Es müssen einzelne Produktionsabschnitte ausgelagert werden, was zu erheblichen Mehrkosten führt. Deshalb wurde die Planung dahingehend geändert, dass Teile des in die Holztafeln integrierten Ausbaus wieder aus dem Leistungsumfang der Fassadenarbeiten herausgenommen wurden und gesondert in einem Ausbaugewerk ausgeschrieben wurde. In diesem Rahmen wurde die geplante Pfosten-Riegel-Konstruktion in Elementfenster umgeplant (siehe auch 4.a_1.3 Holztafelelemente) Auf diese Weise konnten Kostenoptimierungspotentiale für die 2. Ausschreibung realisiert werden, welche jedoch trotzdem weiterhin über dem Budget liegen. In diesem Zuge wurde überlegt ob sich Einsparpotentiale bei anderen Gewerken bieten. Da die Planung bereits unter der Vorgabe des kostensparenden Bauens erfolgte, standen jedoch keine wesentlichen Einsparungsoptionen zur Verfügung. Auf wesentliche Qualitätsreduzierungen, wie z.B. Kunststofffenster, WDVS, oder Wegfall des Industrieparketts wurde wegen der damit verbundenen negativen Folgen in der Nutzungsphase (z.B. höhere Wartungs- und Unterhaltskosten) verzichtet. Die Planung in den Außenanlagen wurde etwas vereinfacht. Auf

veredelnde Ausbaumaßnahmen, wie z.B. das Verputzen der Fertigbetonoberflächen wurde weiterhin verzichtet. Zusätzlich zur Änderung der Fenster Konstruktion wurde die Blechfassade vereinfacht. Es wurde auf die absturzsichernde Blechverkleidung vor Öffnungsflügel verzichtet und dafür 2 horizontale Stäbe vor Öffnungsflügel als Absturzgeländer geplant.

Kostenauswertung

Ausschreibungsergebnisse

Die Ausschreibungsergebnisse des Projekts sind abhängig von der Marktlage und der Komplexität eines Projektes. Zurzeit herrscht eine allgemein sehr hohe Auslastung der Auftragnehmer sowohl in der Ausführung als auch den Kalkulationsabteilungen. Aufgrund dieser hohen Auslastung werden seitens der Bieter vorzugsweise Bauvorhaben in konventioneller Bauweise angeboten, da sie hier auf ihre bereits vorhandenen Datenbanken zurückgreifen können. Bei innovativen Ansätzen hingegen werden wesentlich aufwendigere Kalkulationen benötigt und somit mehr Kapazitäten im Vorfeld der Beauftragung. Im Rahmen der Vorfertigung müssen oft Leistungen zugekauft werden, was wiederum zu Kalkulationsrisiken beim Auftragnehmer führen kann. Daher können in diesen Angeboten deutliche Einpreisungen von Risikoreserven erkannt werden. Weitere Hemmnisse in Bezug auf innovative Bauprozesse entstehen durch die öffentliche Ausschreibung, welche eine strikte Trennung von Planung und Ausführung vorgibt. Im Vorfeld sind somit keine Kooperationen im Rahmen der Ausschreibung und Verhandlungen hinsichtlich Ausführungsvarianten möglich. Hier sind Kausalitäten zu den Angebotsabgaben erkennbar, für Auftragnehmer lohnen sich zur derzeitigen Marktlage diese aufwendigen Kalkulations- und Ausführungsmaßnahmen eher bei größeren Bauvorhaben.

Das Wuppertaler Projekt hat diesbezüglich eine kritische Größe und ist für viele Anbieter in Bezug zu innovativen Ansätzen und dem damit verbundenen Aufwand zu klein. Die konjunkturell bedingten Faktoren waren deutlich spürbar und führten zu Aufhebungen in den Ausschreibungen, geringe Angebotsabgabe, gesplittete Vergabe und erneute Ausschreibungen um Mehrkosten von ca. 1 Mio. € zu vermeiden. Die Erstausschreibungen Rohbau und Holztafelelemente wurden aufgrund zu hoher Kosten und geringer Beteiligung aufgehoben. Daraufhin wurden die Ausführungen angepasst um Kosten zu reduzieren. Beim Rohbau wurde auf eine Ausführung mit Peikko Trägern verzichtet, da diese bei der vorhandenen Spannweite nicht wirtschaftlich ausgeführt werden konnten. Bei der Ausschreibung Holztafel wurden die Ausführungen im Bereich der Fensterkonstruktion und Absturzsicherung angepasst. Die 2. Ausschreibung erzielte trotz weiterhin geringer Beteiligung wirtschaftlichere Angebote. Bei den Gewerken Aufzug, Elektro, Dacharbeiten und Trockenbau kam es ebenfalls zu Schwierigkeiten in der Ausschreibung aufgrund geringer Bieterbeteiligung und deutlicher Budgetüberschreitung, was ebenfalls zu Neuausschreibungen führte.

Betriebs- und Unterhaltskosten allgemein

Es stellt sich die Frage ob die innovative Bauweise im Vergleich zur konventionellen Bauweise zu mehr Instandhaltungskosten und -aufwendungen führt. Durch die Planer wird hier, mit Ausnahme der Nasszellen, kein Unterschied erwartet, da hier die Ursachen nicht in der Art der Konstruktion - vorgefertigt oder konventionell - sondern eher der Materialität und der dazugehörigen Lebenserwartung liegen. Wie bereits in dem Kapitel Holztafelelemente erläutert wurden beispielsweise Holzfassaden (Lebensdauer ca. 40 Jahre) nur an den weniger beanspruchten Fassadenseiten eingesetzt.

Bei dem Wuppertaler Projekt wurde aufgrund der grünen Umgebung und der Ausrichtung gänzlich auf eine Fassadenverkleidung aus Holz verzichtet, um das Risiko des erhöhten Verwitterungs- und Veralgungspotentials möglichst gering zu halten. Es wurde sich hier für eine wartungsarme und unempfindliche Alufassade, mit einem reduzierten Reinigungs- und Verschleißintervall, entschieden.

Eine Besonderheit stellt die Verwendung von Fertignasszellen dar. Wie bereits in dem entsprechenden Kapitel beschrieben, besteht in diesem Gebäudebereich ein erhöhtes Ausführungsrisiko. Die hohe Dichte von Haustechnikgewerken und besondere Abdichtungsarbeiten, welche auf engstem Raum ausgeführt werden, stellen ein hohes Mangelpotential dar. In baugleichen Bauvorhaben wurden seitens der Architekten Bäder in konventioneller und vorgefertigter Weise geplant und baugeleitet. In diesem Vergleich konnte bestätigt werden, dass die Ausführungsqualität der vorgefertigten Nasszellen wesentlich besser ist.

Die Senkung der Betriebskosten wird in diesem Projekt maßgebend durch den Passivhausstandard erreicht. Für das Erreichen dieser gehobenen Standards tragen sicherlich auch die vorgefertigten Fassadenelemente bei, mittels derer eine bessere Ausführungsqualität hinsichtlich der Dichtigkeit der Gebäudehülle erzielt werden kann. Andere Einsparmaßnahmen resultieren nicht aus dem Grad der Vorfertigung, sondern sind Ergebnisse eines allgemeinen ressourcensparenden Planungsansatzes, so beispielsweise: Ergänzend wird die gesamte Beleuchtung mit LED-Technik ausgeführt. Die Außenanlagen sind nur an den notwendigen Stellen versiegelt, zusammen mit der Dachbegrünung wird so die im Regenwasserkanal geführte Wassermenge reduziert. Spararmaturen und Spülkästen mit kleineren Vorratsbehältern reduzieren den Wasserverbrauch. Eine individuelle Verbrauchszählung und Abrechnung von Warmwasser erfolgt im Studentenwohnheim allerdings wegen der großen Fluktuation und damit einhergehenden sehr aufwendigen Abrechnungsmodalitäten nicht. Hier liegt zusätzliches Potential für Einsparungen. Allerdings müssen hierzu noch entsprechende technische und organisatorische Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Einzelabrechnung geschaffen werden.

Monitoring

Ein kontinuierliches Energie-Monitoring ist die Basis für die Kontrolle und Optimierung des Energieverbrauchs von Studentenwohnanlagen. Dieses Monitoring setzt zunächst den Einbau von Mess-Einrichtungen (Zählern) voraus, welche bereits bei der Planung berücksichtigt werden müssen. So sind die regelmäßige Auswertung von Messergebnissen sowie die Erstellung von Verbrauchslisten und Energieberichten möglich. Mit diesen können Verursacher großer Verbräuche direkt festgestellt werden und längerfristige Verbrauchstendenzen prognostiziert werden.

Diese Vorgehensweise ist selbst für große Studentenwohnanlagen nicht selbstverständlich. Oft kann ein erhöhter Gesamtenergieverbrauch für eine Liegenschaft nur rückwirkend über die Jahresabrechnung des Energieversorgers festgestellt werden. Eine gezielte Ursachenanalyse ist dann oft wegen fehlender Untermesseinrichtungen nicht möglich. Dieser Fehlbetrieb kann zu deutlichem Mehrverbrauch führen, der in energieoptimierten Gebäuden den Energiebedarf für den Normalbetrieb weit übersteigen kann.

Für ein in den Alltag der Wohnheimverwaltungen integriertes Energie-Monitoring ist es wichtig, dass einfache Festlegungen zur Bewertung der Ergebnisse getroffen werden. Es sind Vergleichswerte (Benchmarks) zu definieren, mit deren Hilfe durch die technischen Mitarbeiter schnell mit einer Plausibilitätsprüfung erfasst werden kann, ob eine Anlage gemäß Vorgabe funktioniert oder nicht. Automatische Energie-Controlling-Systeme mit einer sehr differenzierten Betrachtung von Studentenwohnheimen haben sich aufgrund der Komplexität der Systeme und der relativ hohen Investitionskosten grundsätzlich nicht bewährt.

Wesentlich effektiver sind einfache Ableseübersichten, aus denen der technische Mitarbeiter schnell den Zustand erfassen kann, beispielsweise über eine Ampelschaltung (grün = Sollbetrieb, gelb = erhöhter Verbrauch, rot = Störbetrieb). Ebenfalls lässt sich über einfache Vergleiche von Verbrauchswert und Benchmark mit definiertem Toleranzbereich in einer ständigen Kontrolle ein Störfall sehr kurzfristig ermitteln. Die weitere Fehleranalyse kann dann über einen Sachverständigen umgehend eingeleitet werden. Auf diese Weise sollte jedes Gebäude durchgehend kontrolliert werden. Für die maßgebenden Verbrauchszahlen sind tägliche bis maximal wöchentliche Überprüfungen sinnvoll.

Bei dem Projekt wurde ein Workshop zum Thema Monitoring mit dem Bauherrn durchgeführt (Protokoll im Anhang). Durch bereits fortgeschrittenen Bauprozess wurden hier keine nennbaren Entscheidungen zum Monitoring getroffen. Diese sind aber in Planung und werden soweit möglich im Nachgang eingebaut. Zentrale Fragen sind immer die nach den Kosten und langfristigen Nutzen der Monitoring Maßnahmen. Es muss bzw. sollte einen geeigneten Leistungsträger für die Umsetzung geben. Am Wichtigsten ist jedoch die Erstellung des Konzeptes und die Berücksichtigung der Maßnahmen in den Ausschreibungen. Nachträglich erstellte Konzepte lassen sich nur mit deutlichem Mehraufwand realisieren.



FAZIT

Die Qualitätsvorgaben aus dem Forschungsvorhaben VarioWohnen sind überdurchschnittlich hoch. Es wird neuer Wohnraum erstellt, der gemäß der drei Säulen der Nachhaltigkeit "ökonomische", "ökologische" sowie "soziokulturelle und funktionale" Qualitäten in herausragender Weise aufzeigt. Für beide Standorte, Bochum und Wuppertal wird prognostiziert, dass die DGNB-Zertifizierung Gold erreicht wird. Dass diese Bauvorhaben hinsichtlich der Baukosten unter dem durchschnittlichen Baukostenindex BKI liegen, ist zunächst einmal eine

Bestätigung, dass hohe Wohnqualität auch kostengünstig realisierbar ist. In Wuppertal liegt der Wohnheimplatz mit 82.896,83€ ca. 15 % und in Bochum mit 76.033,41€ ca. 23% unter BKI (Mittelwert pro Wohnplatz + 10 % Aufschlag für Passivhausstandard nach BKI → 98.065,00 €).

Dies bedarf besonderer Erwähnung, da die angespannte Konjunkturlage alles andere als günstig für die Projektrealisierung zu werten ist. Die seit Beginn der Planung eingesetzte Überhitzung der Bauwirtschaft mit entsprechenden Unterkapazitäten auf Seiten der Unternehmen hat zunächst grundsätzlich zu Preissteigerungen geführt. Darüber hinaus resultierten hieraus ganz unterschiedliche Auswirkungen auf die in diesen Bauvorhaben ja ausdrücklich gewünschten Innovationen im Bereich Vorfertigung:

Bzgl. der Fertignasszellen waren die Auswirkungen relativ gering, da für diese bereits auch auf den Wohnungsmarkt ausgerichteten Spezialanbieter keine wesentlich neuen Produktionsabläufe zu kalkulieren waren. Vielleicht war die sehr frühe Vergabe, jeweils die erste in beiden Bauvorhaben, auch noch weniger von der angezogenen Konjunkturlage beeinflusst. Ab einer gewissen Größe (Richtwert > 50 Stück) kann die Vorfertigung günstiger sein als die konventionelle Bauweise.

Deutlich negativer hat sich die Lage der Bauwirtschaft im Bereich der konsequenten Vorfertigung im Rohbau widerspiegelt. Hier war eine deutlich geringere Bereitschaft der Bieter zu vermerken sich im Vorfeld eines Auftrages in innovative Bauprozesse umfangreich einzuarbeiten. Hierzu ist bei der konsequenten Verwendung von Fertigteilen der Rohbauer in der Regel auf Zulieferer angewiesen. Bei der meisten Bieter existiert hierfür nicht die gleiche Kalkulationssicherheit wie bei eigenen Leistungen oder routinemäßig zugestellten Fremdleistungen. Die eingekauften, in diesem Bauvorhaben für den Wohnungsbau sicherlich teilweise besonderen Fremdleistungen bergen ein gewisses Kalkulationsrisiko. Entsprechend wird dieses im Angebot an den Auftraggeber weitergegeben bzw. kein Angebot abgegeben, wenn die Baumaßnahme eine gewisse Größe unterschreitet. Im größeren Bauvorhaben, in Bochum waren diese Auswirkungen wegen des größeren Bauvolumens abgeschwächter wahrnehmbar. In Wuppertal hat dies zur Aufhebung des 1. Ausschreibungsverfahrens geführt. Auch im 2. Verfahren konnte eine wesentliche Preissteigerung nicht verhindert werden. Grundsätzlich kann keine allgemeine Bewertung zum Kostenvergleich "Fertigteil/konventionelle Herstellung vor Ort" erfolgen. Der Kostenvorteil ist jeweils von Einsatzort und von den entsprechenden Neben- und Nacharbeiten abhängig. Fertigteile können in besonderen Fällen auch im Wohnungsbau kostengünstiger sein. Im Vergleich zum Industriebau ist hier jedoch noch ein erhöhter Abstimmungsbedarf notwendig. Im öffentlichen Vergabeverfahren werden hierzu Hemmnisse gesetzt, siehe nachfolgender Abschnitt.

Für die vorgefertigten Fassadenelemente sind neue gewerkeübergreifende Vergabeeinheiten notwendig, hierzu hat sich auf dem Markt bereits eine begrenzte Anzahl von Unternehmen etabliert. Weiterführende Innovationen, welche teilweise auch neuer Produktionsabläufe bedürfen, benötigen jedoch auch besondere Bauvorhaben spezifische Abstimmungen zwischen Planung und Ausführung. Im öffentlichen Vergabeverfahren sind hierzu jedoch keine Kooperationen zwischen Planer und ausführendem Unternehmen vor Auftragserteilung möglich. Dies führte in Wuppertal zur notwendigen Ausschreibungswiederholung. Die Holztafelelemente wurden hinsichtlich ihrer Kosten pro qm Wandfläche untersucht und verglichen mit der konventionellen Ausführung laut BKI. Zusammenfassend zu der Kostenauswertung nichttragende Außenwand ist zu sagen, dass die Ausschreibungsergebnisse ca. 35 % besser sind als der Vergleichswert BKI. Die äußere Beplankung erzielte im direkten Vergleich zum BKI ebenfalls zufriedenstellende Ergebnisse. Je nach Ausführung bzw. Materialität sind hier Einsparungen von bis zu 75 % möglich.

In der Summe hat dies in Wuppertal zu einer Kostensteigerung von 14 % geführt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Bauen mit vorgefertigten Bauteilen die Vorteile zunächst vornehmlich in der Bauzeitverkürzung und der Qualitätssicherung liegen. Kostenvorteile können unter bestimmten, gut abgestimmten Bedingungen erzielt werden. Dies bedarf jedoch noch einer gewissen Routine in den für den Wohnungsbau noch neuen Abläufen. Diese kann sich jedoch erst einstellen, wenn die Baukonjunktur wieder ein wenig beruhigt ist und Zeit zum Erarbeiten von und Einarbeiten in neue Ausführungsabläufe zur Verfügung steht.

5 Literatur und Quellen

Überschrift	Quelle
[ACMS Architekten GmbH]	ACMS Architekten GmbH 2019
[Bart, B. et al.]	Bart, B., Kalthoff, I., Wiederkehr, R., Lignum-Dokumentation Brandschutz; 7.1 Aussenwände - Konstruktion und Bekleidungen, 1. Auflage, Schweiz, Januar 2009
[bauforumstahl, 2013]	bauforumstahl e.V. Arbeitshilfe Geschossbau, Spannbeton-Fertigdecke URL: https://www.bauforumstahl.de/stahlbau-arbeitshilfen (abgerufen: 24.04.2018) bauforumstahl e.V., Düsseldorf, 2013
[bba 2014]	bba - bau beratung architektur, Dossier Beton, bba, Leinfelden-Echterdingen, 2015
[BBSR-Förder-Rili]	BBSR Förderrichtlinie für Modellvorhaben zum nachhaltigen und bezahlbaren Bau von Variowohnungen, Berlin, 2015
[BKI, 2017]	BKI Baukosteninformationszentrum, BKI Baukosten 2017 Neubau - Statistische Kostenkennwerte für Gebäude, BKI, Stuttgart, 2017
[BKI, 2019]	BKI Baukosteninformationszentrum, BKI Baukosten 2019 Neubau - Statistische Kostenkennwerte für Gebäude, BKI, Stuttgart, 2019
[BVSF(a), 2016]	Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e.V. Technisches Merkblatt Entwurf URL: https://www.spannbeton-fertigdecken.de/index.php/aktuelles/technische-merkblaetter (abgerufen: 24.04.2018) Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e.V., Berlin, 2016
[BVSF(b), 2016]	Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e.V. Technisches Merkblatt Produkt URL: https://www.spannbeton-fertigdecken.de/index.php/aktuelles/technische-merkblaetter (abgerufen: 24.04.2018) Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e.V., Berlin, 2016
[BVSF(c), 2016]	Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e.V. Technisches Merkblatt Details URL: https://www.spannbeton-fertigdecken.de/index.php/aktuelles/technische-merkblaetter (abgerufen: 24.04.2018) Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e.V., Berlin, 2016
[dataholz.eu]	dataholz.eu, URL: https://www.dataholz.eu/ (abgerufen: 25.04.2019)
[DBV, 2004]	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Merkblatt Sichtbeton, DBV, Berlin/Köln, 2004
[Deba Badsysteme GmbH]	Deba Badsysteme GmbH Montageplanung der Fertignasszellen Wuppertal
[Dennert Baustoffe]	Dennert Baustoffe Beton trifft Holz (abgerufen: 25.09.2019)
[DGNB]	DGNB System, URL: https://www.dgnb-system.de/de/ (abgerufen: 11.12.2019)

Überschrift	Quelle
[DIN 1045-3]	DIN 1045-3, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung, Beuth Verlag, Berlin, 2008
[DIN 18195]	DIN 18195, Bauwerksabdichtungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2012
[DIN 18202]	DIN 18202, Toleranzen im Hochbau – Bauwerke, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2013
[Dr. Rabold, Andreas, 2015]	Dr. Peterson, L., Dr. Rabold, A., Dr. Rapp, A., Cordes, U., Dehne, M., Kaden, T., Tagungsband Holzbau Hochschultag 2015, Leibniz Universität Hannover, 2015
[DW Systembau GmbH]	DW Systembau GmbH Spannbetonhohlplattendecke
[DW Systembau, 2014]	DW Systembau GmbH Produktdatenblatt für BRESPA®-Decken URL: https://www.dw-systembau.de/node/72 (abgerufen: 24.04.2018) DW Systembau GmbH, Schneverdingen, 2014
[DW Systembau, 2015]	DW Systembau GmbH Technische Broschüre über BRESPA®-Decken URL: https://www.dw-systembau.de/node/72 (abgerufen: 24.04.2018) DW Systembau GmbH, Schneverdingen, 2015
[EnoB]	EnoB - Forschung für Energieoptimiertes Bauen, Evaluierung eines Niedrigenergie- und Passivhauses in der Sanierung - "Neue Burse" Wuppertal, Bergische Universität Wuppertal, 2008
[Fa. Lütkenhaus]	Firma Lütkenhaus Botenwerk Dülmen
[Fachvereinigung Betonbauteile, 2009]	Fachvereinigung Betonbauteile mit Gitterträgern e.V., Montageanleitung Elementwand, Fachvereinigung Betonbauteile, Burgwedel, 2009
[Fischer, O. et al.]	Fischer, O., Lang, W., Winter, S., Hybridbau Holzaußenwände Detail Verlag 2019
[Fouad, 2013]	Fouad, Nabil A., Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2013
[Gantner]	Gantner, Johannes - Fraunhofer IBP, Einfluss des Rohbaus auf die Nachhaltigkeitszertifizierung, URL: https://www.kompetenzzentrum-planen-und-bauen.digital/kos/WNetz?art=File.download&id=1159&name=BIMiD-Pr%C3%A4sentation_Neumarkt_Gantner%3ARohbau.pdf (abgerufen: 15.04.2019) Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart
[Hansen Ingenieure]	Hansen Ingenieure Schallschutz (Blower Door) Wuppertal, 2019
[Hegger et al., 2007]	Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., Zeumer, M. (TU Darmstadt) Energie Atlas - Nachhaltige Architektur Edition Detail, München, 2007
[Hochschule Bochum]	Hartmann, Julia Hochschule Bochum 2019
[Holz vom Fach]	Holz vom Fach URL: https://www.holzvomfach.de (abgerufen: 30.07.2019)

Überschrift	Quelle
[Informationsdienst Holz, 2007]	Informationsdienst Holz Merkblatt Bäder und Feuchträume im Holzbau und Trockenbau, Holzabsatzfonds, Bonn, 2007
[informationsdienst-holz]	informationsdienst-holz.de URL: https://informationsdienst-holz.de/ (abgerufen: 25.04.2019)
[Informationsverein Holz, 2015]	Informationsverein Holz e.V., Holzrahmenbau (Holzbau Handbuch / Reihe 1 / Teil 1 / Folge 7), Informationsverein Holz e.V., Düsseldorf, 2015
[IZB]	InformationsZentrum Beton (IZB), URL: https://www.beton.org/wissen/wirtschaftshochbau/doppelwand-elemente/ (abgerufen: 07.06.2019)
[Kaufmann et al., 2017]	Kaufmann, H., Krötsch, S., Winter S. Atlas - Mehrgeschossiger Holzbau, Edition Detail, ORT, 2017
[Kaufmann, H. et al.]	Kaufmann, H., Stiegelmeier, M., Schuster, S., Huß, W., leanWOOD, Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise Technische Universität München, 2017
[Kind-Barkauskas et al., 2009]	Kind-Barkauskas, F., Kauhsen, B., Polonyi, S., Brandt, J., Beton Atlas, Edition Detail, München, 2009
[MNP Ingenieure]	MNP Ingenieure 2019
[Nutzungsdauern von Bauteilen, 2017]	Nutzungsdauern von Bauteilen, für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) BBSR, Stand 24.02.2017
[Peck, 2013]	Peck, Martin, Moderner Betonbau Atlas, Edition Detail, München, 2013
[Peikko 02/2007]	Peikko Deutschland GmbH, DELTABEAM Verbundträger, Peikko Deutschland GmbH, Waldeck, 02/2007
[Peikko Group]	Peikko Group Verlegeplan
[Peikko, 2007]	Peikko Deutschland GmbH, DELTABEAM Verbundträger, Peikko Deutschland GmbH, Waldeck, 2007
[Peikko, 2013]	Peikko Group, HPKM Stützenschuh für geschraubte Stützenanschlüsse, Peikko Group, 2013
[Peikko, 2017]	Peikko Deutschland GmbH, Statische Berechnung der Peikko Stahlbetonstützen-Anschlüsse, Peikko Deutschland GmbH, Waldeck, 05.09.2017
[Peikko, DW Systembau, 2013]	Peikko Deutschland GmbH und DW Systembau GmbH Slim-Deck Flachdecken im System URL: https://www.dw-systembau.de/node/72 (abgerufen: 24.04.2018) Peikko Deutschland GmbH, Waldeck und DW Systembau GmbH, Schneverdingen, 2013
[Peri, RCS MP 375]	Fa. Peri, Aufbau- und Verwendungsanleitung, RCS MP Ausfahrbühne 375/350
[Prof. Schlüter, C.]	Prof. Schlüter, C. Holzbaulösungen im Geschosswohnungsbau Fortbildung Architektenkammer Hessen, Wiesbaden, 2018

Überschrift	Quelle
[Quack et al., 2010]	Dr. Quack, D., Liu, R. (Öko-Institut e.V.), Ökobilanz Betondecken - Eine vergleichende Analyse von Spannbeton-Fertigdecken mit Halbfertigteildecken und Massivdecken aus Ortbeton, URL: https://www.dw-systembau.de/content/downloads-0 (abgerufen: 11.07.2019), Öko-Institut e.V., Freiburg, 2010
[Rubner Holzbau GmbH]	Rubner Holzbau GmbH Augsburg, 2018
[Steinprinz, S]	Steinprinz, S. Fotodesign, Düsseldorf, 2019
[Stengel GmbH]	Stengel GmbH Montageplanung der Fertignasszellen Bochum
[Teibinger et al.,2013]	Teibinger, M., Matzinger, I., Bauen mit Brettsper Holz im Geschossbau, Holzforschung Austria, Wien, 2013
[Wortmann&Wember]	Wortmann&Wember Bochum, 2019
[Zimmerei Sieveke GmbH]	Zimmerei Sieveke GmbH Bakumer Straße 24 49393 Lohne
[ÖkoPot]	Albrecht, S., Rüter, S., Welling, J., Knauf, M., et al. Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt Fördern Universität Stuttgart, Universität Stuttgart, Stuttgart/Hamburg, 2008

6 Anlagen

Zu 3.0 Aufbau und Methodik der durchgeführten Forschungsleistung



Abbildung 183: Screenshot - Vorlage Notizseite, HS Bochum, 13.07.2018

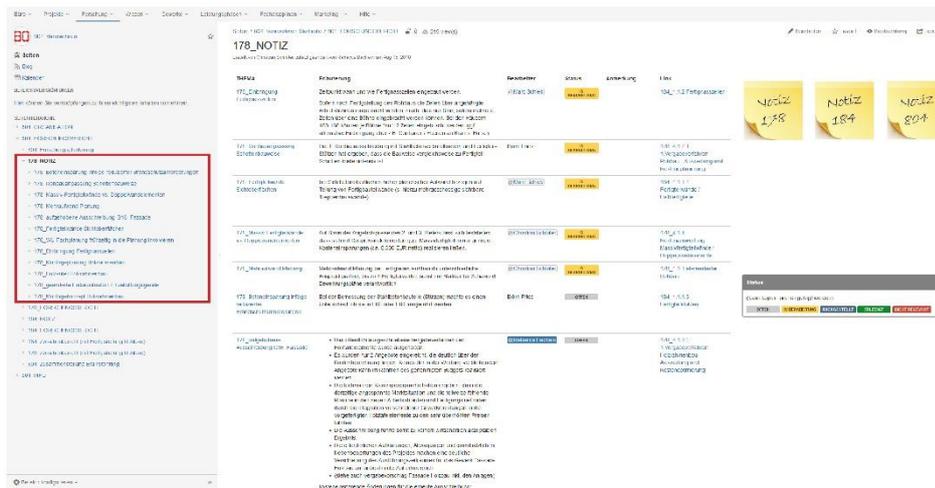


Abbildung 184: Screenshot - Übersicht Notizen, HS Bochum, 05.03.2019

Zu 4.a_1.1 Elementierter Rohbau

Hersteller	Typ	Dicke in cm	Breite in cm	Hohlkammeranzahl	Berechnungsgewicht kN/m ²	Transportgewicht kN/m ²	Brandschutzklasse	Anmerkung	Link / Quelle
DW Systembau	Brespa A20B	20	120	7	3,05	2,94	F90	Verwendung bei 184	184_G13_02_DW Deckentypen.pdf
DW Systembau	Brespa A20N	20	120	7	3,15	2,74	F90	ursprüngliche Planung bei 184 mit A20N → wurde aus dem Lieferprogramm genommen → Ersatz durch vergleichbaren Typ A20B	DW SYSTEMBAU PRODUKTDATENBLATT WEB.pdf
DW Systembau	Brespa A20Q	20	120	11	3,50	3,44	F90	Verwendung bei 178 Verwendung bei 184 (nur für manche Passplatten)	184_G13_02_DW Deckentypen.pdf
Kastell GmbH	Variax V6-200	20	120	6	2,95	3,70	F90	vom Rohbauer angledachtes Alternativprodukt bei 184	http://www.kastell-pro.com/technische-daten.html, 22.06.2018 Technische_Grunddaten.pdf Technische_Details_Querschnitte_und_Bohrbereiche.pdf
Kastell GmbH	Variax V8-200	20	120	8	3,70	3,50	F90		s.o.
Ketonia	VSD 20	20	120	11	3,61	3,44	F90		http://www.ketonia.de/spann-beton-fertigdecken.html, 22.06.2018 KETONIA-Datenblatt (Technische Infos).pdf
Ketonia	SCD 20	20	120	6	3,04	2,87	F90	Ketonia stellt auch Deckentypen unter 15 cm her (12 cm und 14 cm dick), dann aber nur in F30!	s.o.
H+L Baustoff Werke	Varioplus VP200	20	120	6	3,38	3,22	F90		https://www.hi-baustoff.com/produkte/spann-betondecke/#tech, 22.06.2018 DATENBLATT_VP200.pdf
ELBE Decken	EFD 20/120	20	120	11	3,61	3,44	F90	auf Anfrage auch in der Sonderbreite mit 60 cm lieferbar	https://www.elbedecken.de/#decken, 22.06.2018 170417_Produktpalette_web_NEU.pdf
ECHO	VSD 20/120	20	120	11	3,40	3,15	REI30	entspricht nicht F90	https://www.echo-betonfertigteile.de/spann-beton-hohlplatten/, 22.06.2018 ECHO-VSD20_120_REI30.pdf

Abbildung 185: Recherche Typen-Herstellervergleich Spannbetonhohlplatten, [ACMS Architekten GmbH]

Zu 4.a_1.2. Vergleich Terminplanung mit tatsächlicher Bauzeit

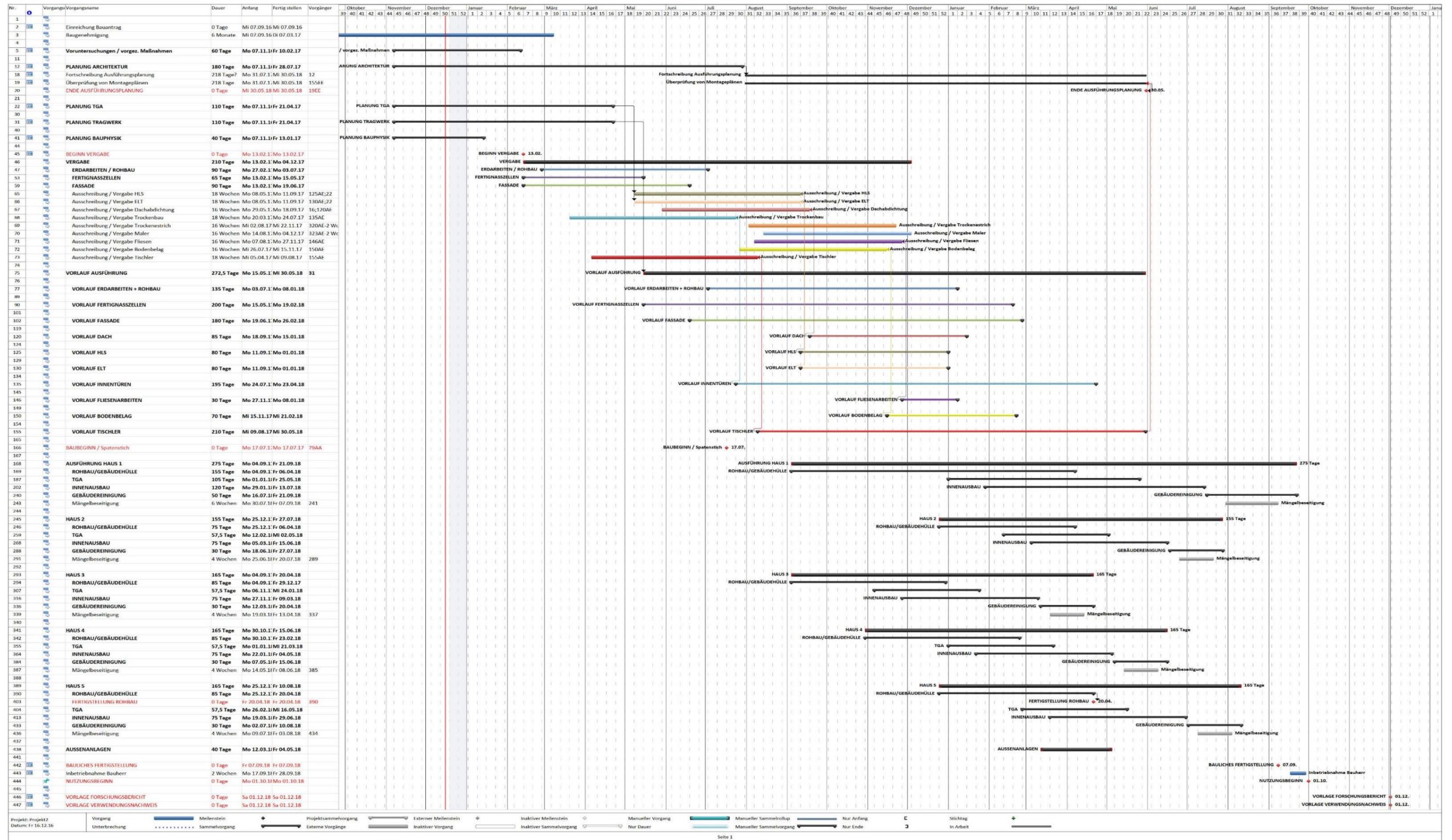
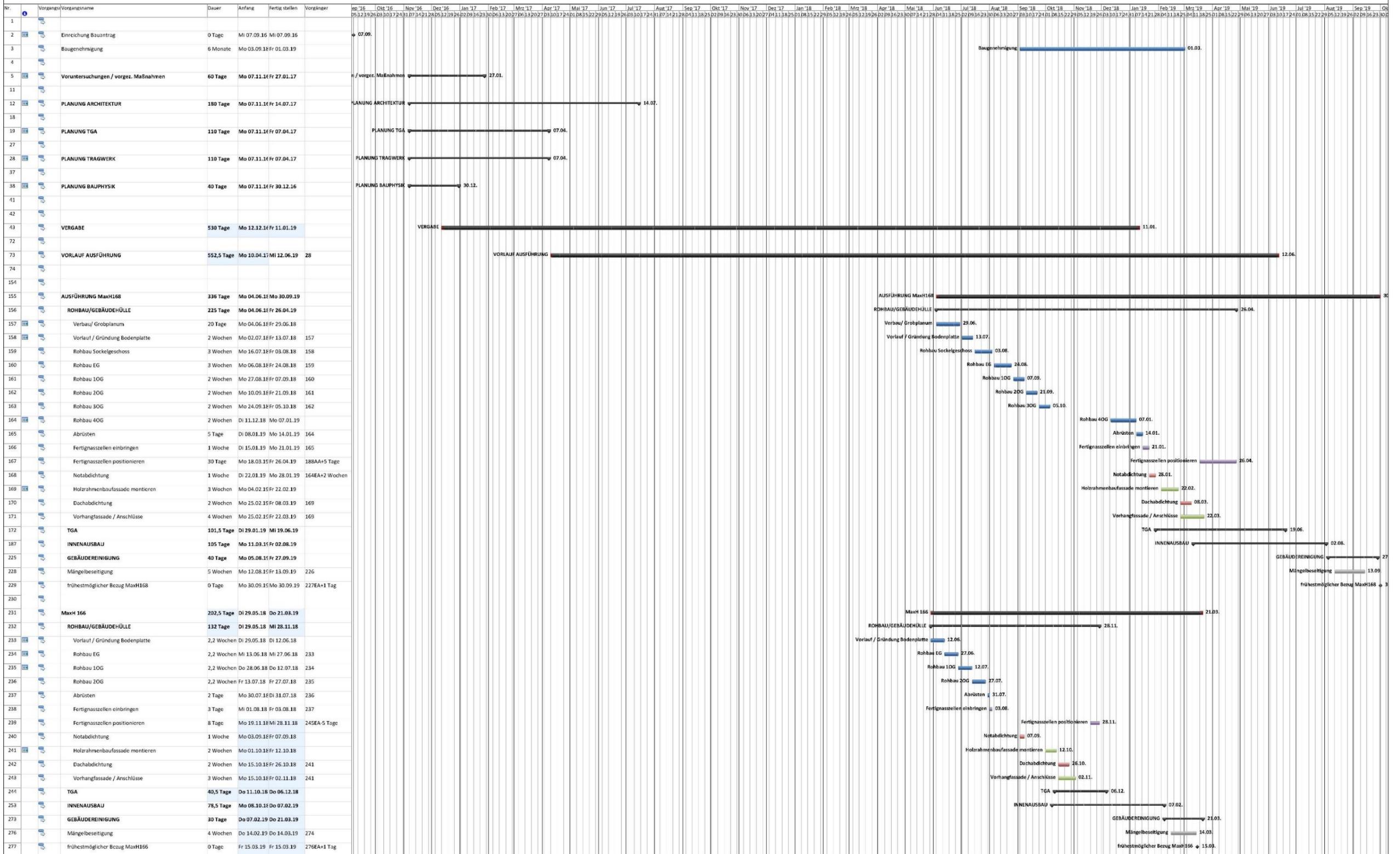


Abbildung 186: Zeitplan Förderantrag, [ACMS Architekten GmbH], Stand 16.12.2016

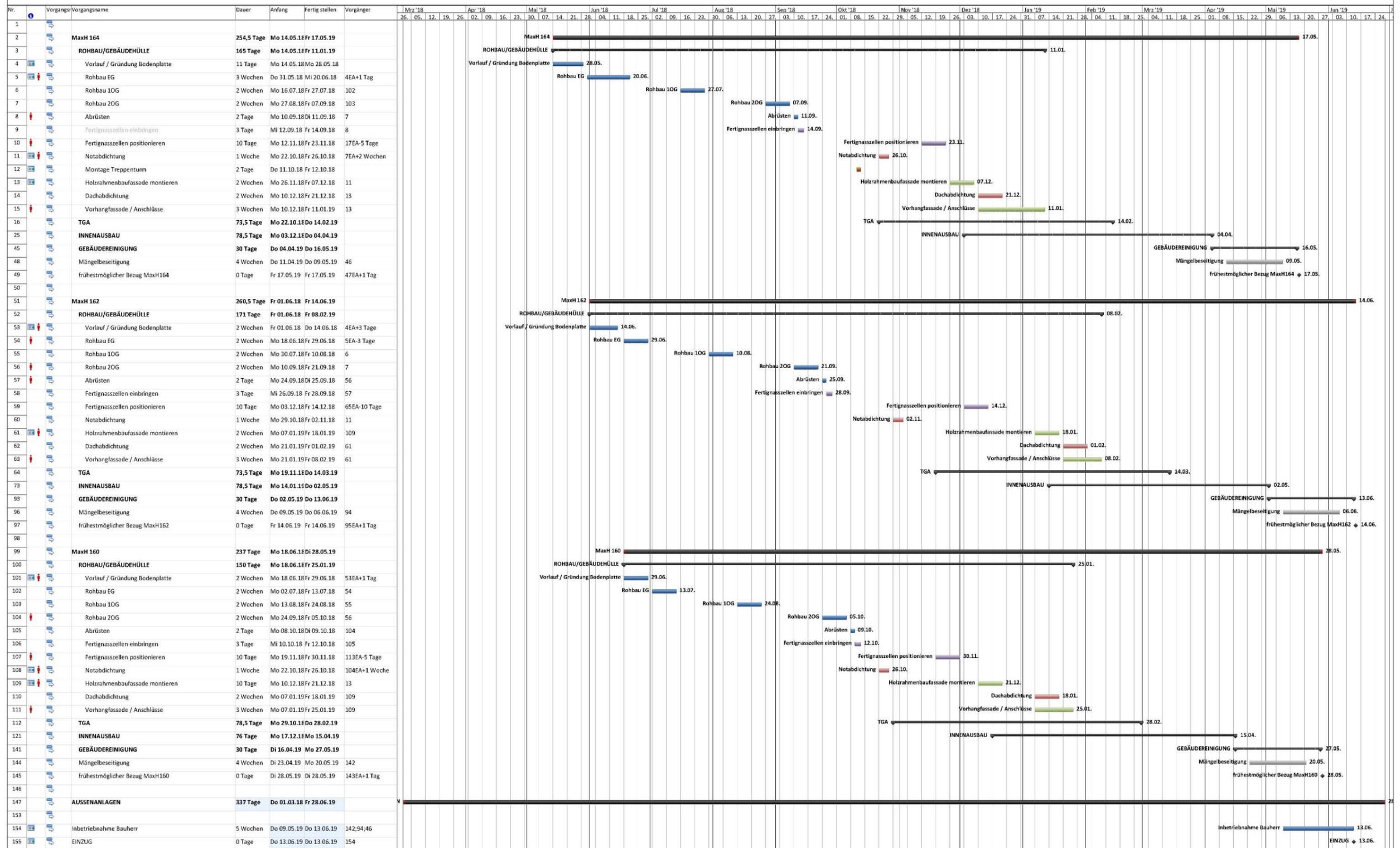


Projekt: Projekt2 Datum: Mi 08.01.20

█ Vorgang █ Meilenstein █ Projektsammelvorgang █ Externer Meilenstein █ Inaktiver Meilenstein █ Manueller Vorgang █ Manueller Sammelrolup █ Nur Anfang █ Stichtag █ In Arbeit
█ Unterbrechung █ Sammelvorgang █ Externe Vorgänge █ Inaktiver Vorgang █ Inaktiver Sammelvorgang █ Nur Dauer █ Manueller Sammelvorgang █ Nur Ende

Stand: 25.10.2018

Abbildung 187: Terminplan Ausführung 178_T01_016_1, Seite 1 [ACMS Architekten GmbH], Stand 25.10.2018



Projekt: Projekt2 Datum: Mi 08.01.20

Vorgang: Meilenstein, Unterbrechung, Sammelvorgang, Externe Vorgänge

Projektsammelvorgang: Externer Meilenstein, Inaktiver Vorgang, Inaktiver Sammelvorgang, Nur Dauer

Inaktiver Meilenstein, Manueller Vorgang, Manueller Sammelrollup, Manueller Sammelvorgang, Nur Anfang, Nur Ende

Stichtag, In Arbeit

Stand: 25.10.2018

Abbildung 188: Terminplan Ausführung 178_T01_016_1, Seite 2 [ACMS Architekten GmbH], Stand 25.10.2018



Bauvorhaben

Neubau Studentenwohnheim 178 HSW Wuppertal Fuhlrottstraße

Bewertung Nachhaltiges Bauen NaWoh 3.1

Objekt: Neubau HSW Wuppertal Fuhlrottstraße
System: BNB NaWoh 3.1
Planungsstand:
Bauherr: Hochschul- Sozialwerk- Wuppertal A.ö.R.
Bewertung durch:  MNP Ingenieure
Bearbeiter: Hendrik Müller





Inhalt

1. Einleitung	4
1.1. Aufgabenstellung.....	4
1.2. Untersuchungsansatz	4
1.3. Kriterienübersicht.....	6
2. Wohnqualität.....	7
2.1. Indikator 1.1.1-1 Funktionalität der Wohnbereiche	7
2.2. Indikator 1.1.1-2 Funktionalität der Koch- und Essbereiche	9
2.3. Indikator 1.1.1-3 Funktionalität der Sanitärbereiche	11
2.4. Indikator 1.1.1-4 Vorhandensein von Stau- und Trockenraum	13
2.5. Indikator 1.1.2 Vorhandensein von Balkon, Terrasse, Mietergärten	14
2.6. Indikator 1.1.3-1 Barrierefreiheit des Zugangs zum Gebäude	15
2.7. Indikator 1.1.3-2 Barrierefreiheit des Zugangs zu Wohnungen	16
2.8. Indikator 1.1.3-3 Grad der Barrierefreiheit innerhalb der Wohnungen	17
2.9. Indikator 1.1.4-1 Stellplätze für Fahrräder	18
2.10. Indikator 1.1.4-2 Stellplätze für Kinderwagen / Rollatoren	20
2.11. Indikator 1.1.4-3 Stellplätze für PKW / Mobilitätskonzept	21
2.12. Indikator 1.1.5-1 Freiflächen für die Allgemeinheit	23
2.13. Indikator 1.1.5-2 Freiflächen für Kinder	24
2.14. Indikator 1.1.5-3 Freiflächen für Jugendliche.....	25
2.15. Indikator 1.1.6 Thermische Behaglichkeit im Sommer	26
3. Technische Qualität	27
3.1. Indikator 2.1.1-1 Schallschutz gegen Außenlärm	27
3.2. Indikator 2.1.1-2 Luft- und Trittschallschutz	28
3.3. Indikator 2.1.1-3 Schallschutz gegen Körperschall / Installationen	29
3.4. Indikator 2.1.2 Energetische Qualität.....	30
3.5. Indikator 2.1.3 Effizienz der Haustechnik.....	31
3.6. Indikator 2.1.4. Lüftung	32
4. Ökologische Qualität	33
4.1. Indikator 3.1.1 Ökobilanz Teil 1 - Treibhauspotenzial	33
4.2. Indikator 3.1.2-1 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	34
4.3. Indikator 3.1.2-2 Primärenergiebedarf erneuerbar	35
4.4. Indikator 3.1.3-1 Flächeninanspruchnahme	36
4.5. Indikator 3.1.3-2 Flächenversiegelung	37



5. Ökonomische Qualität	38
5.1. Indikator 4.1.1 Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus	38
5.2. Indikator 4.1.2 Investitionskosten/ Marktwert	40
6. Prozessqualität	41
6.1. Indikator 5.1.1 Qualität der Bauausführung/ Messungen	41
7. Anhang	42
7.1. Pflichtumsetzungen	42
7.2. Anpassungsvorschläge NaWoh	44

1. Einleitung

1.1. Aufgabenstellung

Für den Neubau für studentisches Wohnen des Hochschul Sozialwerks Wuppertal soll eine Zertifizierung NaWoh¹ 3.1 erfolgen. Für eine Vorabschätzung inwieweit dies umzusetzen ist, wird ein Pre-Check erstellt.

Da die Anforderungen an studentisches Wohnen in Teilen von den Anforderungen an den Wohnungsbau für Mehrfamilienhäuser abweichen sind entsprechende Abweichungen mit dem NaWoh abzustimmen. Hierbei werden Vorschläge für die Optimierung der Steckbriefe erstellt um eine Anwendung auf studentisches Wohnen auszuweiten.

1.2. Untersuchungsansatz

Untersucht wird das Projekt 178 HSW Wuppertal mit fünf Gebäuden als Gesamtkomplex. Anhand des Lageplans lässt sich erkennen, dass die Häuser 2 bis 5 in ihrer Kubatur identisch sind. Lediglich Haus 1 weist eine abweichende Gebäudestruktur auf.

Da alle fünf Häuser eine sehr ähnliche Grundrissstruktur aufweisen (s. Abbildung 2 und 3), stützt sich die Untersuchung auf Haus 1, lässt sich jedoch ebenfalls auf die Häuser 2 bis 5 übertragen.

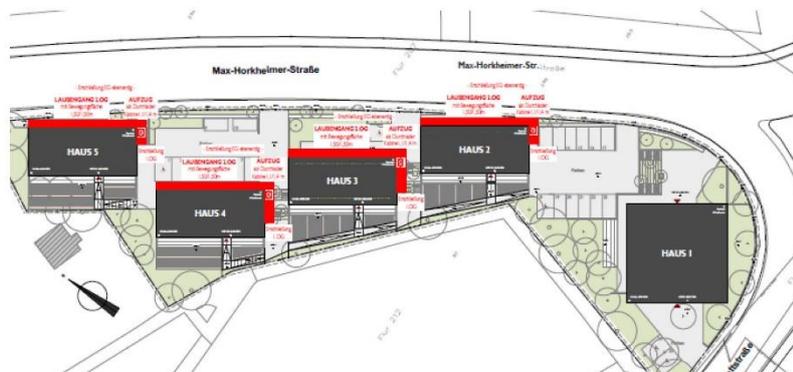


Abbildung 1: Auszug Lageplan

¹ Nachhaltiger Wohnungsbau

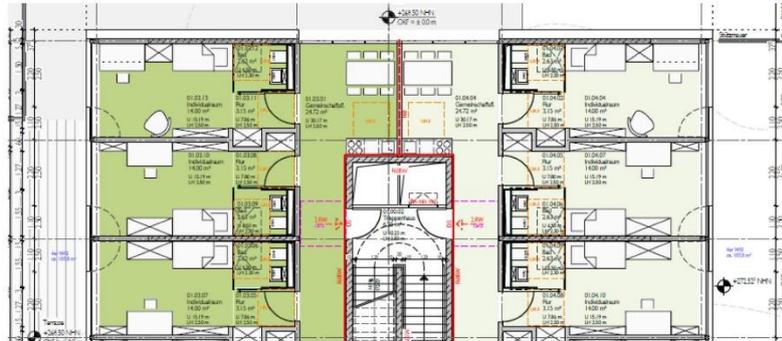


Abbildung 2: Auszug Planunterlagen, Grundriss EG Haus 1



Abbildung 3: Auszug Planunterlagen, Grundriss EG Haus 2

Für die Wohnqualität werden jeweils ein Ein- Personen- Apartment und ein Mehr- Personen- Apartment mit jeweiligen Gemeinschaftsräumen betrachtet. Aufgrund der wiederkehrenden Struktur kann diese Bewertung auf alle weiteren Apartments angewendet werden.

1.3. Kriterienübersicht

Im NaWoh 3.1 gibt es insgesamt 29 Kriterien, die es zu erfüllen gilt. Es besteht keine Möglichkeit durch Übererfüllung eines Kriteriums nicht erfüllte Kriterien auszugleichen. Die einzelnen Kriterien sind den Bereichen Wohnqualität, Technische Qualität, Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität und Prozessqualität zugeordnet.

Nr.	Kriterium	Bewertung
1.1.1-1	Funktionale Qualität der Wohnbereiche	nicht anwendbar
1.1.1-2	Funktionalität der Koch- und Essbereiche	offen
1.1.1-3	Funktionalität der Sanitärbereiche	nicht anwendbar
1.1.1-4	Vorhandensein von Stau- und Trockenraum	nicht anwendbar
1.1.2	Vorhandensein von Balkon, Terrasse, Mietgärten	nicht anwendbar
1.1.3-1	Barrierefreiheit des Zugangs zum Gebäude	erfüllt
1.1.3-2	Barrierefreiheit des Zugangs zu Wohnungen	erfüllt
1.1.3-3	Grad der Barrierefreiheit innerhalb der Wohnungen	erfüllt
1.1.4-1	Stellplätze für Fahrräder	offen
1.1.4-2	Stellplätze für Kinderwagen/Rollatoren	nicht anwendbar
1.1.4-3	Stellplätze für PKW/Mobilitätskonzept	nicht anwendbar
1.1.5-1	Freiflächen für die Allgemeinheit	erfüllt
1.1.5-2	Freiflächen für Kinder	nicht anwendbar
1.1.5-3	Freiflächen für Jugendliche	nicht anwendbar
1.1.6	Thermische Behaglichkeit im Sommer	erfüllt
2.1.1-1	Schallschutz gegen Außenlärm	erfüllt
2.1.1-2	Luft- und Trittschallschutz	erfüllt
2.1.1-3	Schallschutz gegen Körperschall/Installationen	erfüllt
2.1.2	Effizienzniveau	erfüllt
2.1.3	Effizienz der Haustechnik	erfüllt
2.1.4	Lüftung	erfüllt
3.1.1	Treibhauspotenzial	erfüllt
3.1.2-1	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	erfüllt
3.1.2-2	Primärenergiebedarf erneuerbar	erfüllt
3.1.3-1	Flächeninanspruchnahme	erfüllt
3.1.3-2	Flächenversiegelung	offen
4.1.1	Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus	nicht anwendbar
4.1.2	Investitionskosten/Marktwert	offen
5.1.1	Qualität der Bauausführung/Messungen	erfüllt

2. Wohnqualität

2.1. Indikator 1.1.1-1 Funktionalität der Wohnbereiche

2.1.1. Vorgabe

- Die baurechtlichen Anforderungen für Aufenthaltsräume werden eingehalten (Größe, Belichtung, Belüftung etc.).
- Mindestens ein Raum muss sich als Wohnbereich eignen. Der Wohnbereich ist angemessen dimensioniert, um allen Personen gemäß Normalbelegung der Wohnung Platz zu bieten (Plätze von Sesseln, Couch, Schrank).
- Mindestens ein Raum muss sich als Schlafbereich eignen. Der Schlafbereich ist angemessen dimensioniert für Bett, Kleiderschrank, Nachttisch in Abhängigkeit der Anzahl der unterzubringenden Erwachsenen gem. Normalbelegung.
- In Wohnungen mit mindestens 3 Zimmern muss sich mindestens ein Raum als Kinderbereich eignen. Der Kinderbereich ist angemessen dimensioniert für Bett, Kleiderschrank, Nachttisch, Arbeitsplatz, Spiel-/Freizeitecke in Abhängigkeit der Anzahl der pro Raum unterzubringenden Kinder gem. Normalbelegung.

Zwischen den Einrichtungsgegenständen verbleiben ausreichend große Verkehrswege für deren funktionsgerechte Nutzung.

2.1.2. Bewertung

Die baurechtlichen Anforderungen für Aufenthaltsräume sind eingehalten.

Die Ausführung der Wohnungen als Studentenapartments bedingt die Beschränkung des Wohn- und Schlafbereiches in einem Raum. Es wurde darauf geachtet, dass der Wohnraum optimal nutzbar ist. Der Wohnraum verfügt so über einen Schlafbereich, einen Arbeitsbereich und einen zusätzlichen Sitzbereich.

In den Zwei- bzw. Vier-Personen-Apartments ist die Aufteilung ähnlich. Hier gibt es pro Person einen Wohnraum mit Schlafbereich. Im Gemeinschaftsraum sind die Küchenzeile sowie der Essbereich vorgesehen.

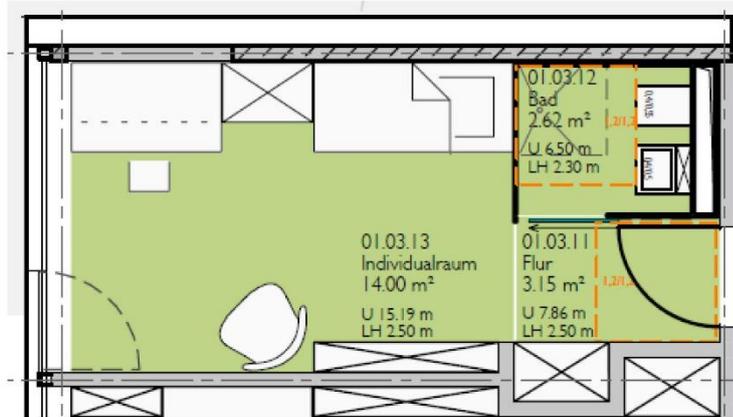


Abbildung 4: Auszug Planunterlagen, Wohneinheit

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.1-1 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden. Dieser sollte die Anforderungen an ein nachhaltiges 1-Zimmer Apartment beschreiben (Individualraum mit geteiltem Wohn-, Arbeits- und Schlafzimmer möglich, Einbauschränk, Schreibtisch, separater Esstisch, etc.)

2.2. Indikator 1.1.1-2 Funktionalität der Koch- und Essbereiche

2.2.1. Vorgabe

- Die baurechtlichen Anforderungen für Aufenthaltsräume werden eingehalten.
- Essbereich:
 - Es ist ein Essbereich vorhanden (entweder in der Küche oder im Wohnbereich), der angemessen dimensioniert ist, um allen Personen gemäß Normalbelegung der Wohnung Platz zu bieten (Plätze von Stühlen mit einem entsprechend großen Tisch und notwendige Bewegungsfläche).
- Kochbereich:
 - Das Platzangebot und die vorhandenen Anschlüsse gewährleisten, dass alle Grundfunktionen erfüllt werden können (Herd, Backofen, Dunstabzug, Spüle, Abtropffeld, Kühlschrank).
 - Die Größe der möglichen Arbeitsfläche beträgt mind. 1,2 m (bis 3-PHH) bzw. 1,8 m (ab 4-PHH).

2.2.2. Bewertung

Die Ein- Personen- Apartments verfügen über eine kleine Einbauküche mit Herdplatten, Spüle und Kühlschrank. Des Weiteren ist ein Essbereich vorhanden.

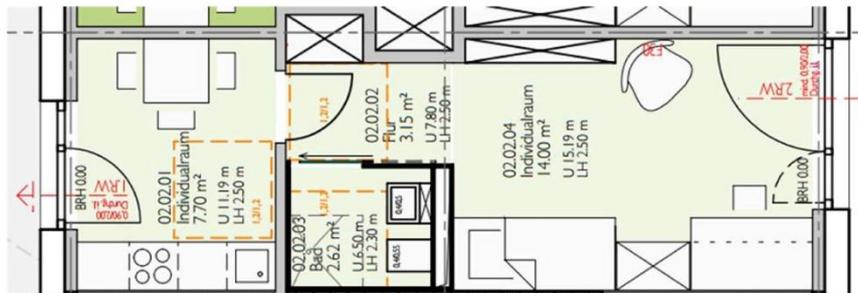


Abbildung 5: Auszug Planunterlagen, Grundriss Ein- Personen- Apartment

In den Mehr- Personen- Apartments sind im Gemeinschaftsraum ein der Personenanzahl entsprechend großer Essbereich und die Küchenzeile vorhanden.

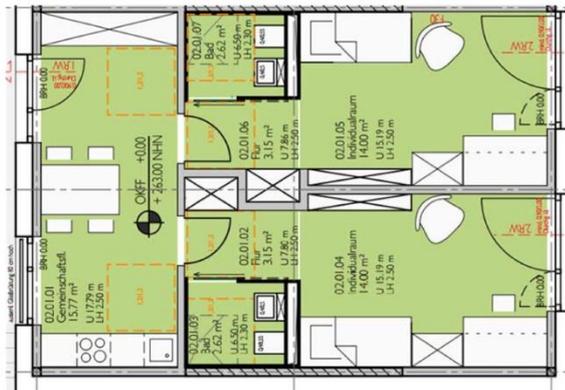


Abbildung 6: Auszug Planunterlagen, Grundriss Mehr- Personen- Apartment

Die Erfüllung des Kriteriums 1.1.1-2 ist noch offen. 

Hinweis: Gemeinschaftlicher Koch- und Essbereich in den Aufenthaltsräumen, Ausstattung der Küchen muss bedacht werden. Es sind Dunstabzug und Backofen erforderlich. Die Arbeitsfläche muss der geforderten Größe entsprechen.

2.3. Indikator 1.1.1-3 Funktionalität der Sanitärbereiche

2.3.1. Vorgabe

Bedarf an Ausstattungsgegenständen für Sanitärbereiche (Bad)

PHH	In Sanitärräumen					in Wohnung oder Nebenraum
	WC	WB	BW	DU	BD oder UR	WM
1-2	1	1	1			1
3-4	1	1	1			1
5-7	2	2	1	1		1

Die Art der Ausstattungsgegenstände ist bei barrierefreien Wohnungen entsprechend gewählt.

2.3.2. Bewertung

Es ist pro Ein- Personen-Apartment eine Toilette (WC), ein Handwaschbecken (WB) und eine Dusche (DU) geplant. Auch in den Mehr- Personen- Apartments verfügt jeder Bewohner über ein separates Bad mit WC, Handwaschbecken und Dusche.

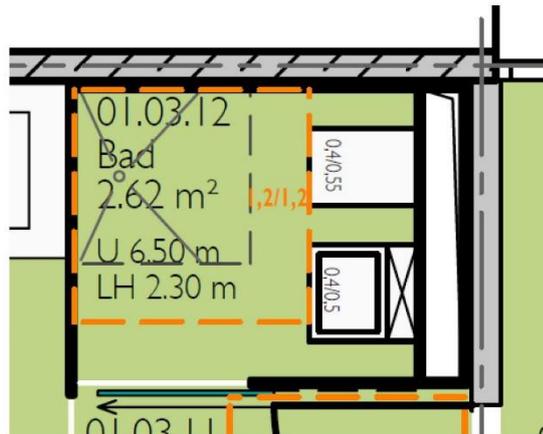


Abbildung 7: Auszug Planunterlagen, Grundriss Haus 1, Bad

Weiterhin stehen den Nutzern ein Wasch- und Trockenraum im Untergeschoss des Hauses 1 zur Verfügung. Die Vorgabe eines Waschmaschinenanschlusses pro Wohnung ist somit nicht erfüllt, jedoch sind für ein Studentenwohnheim übliche Kapazitäten vorgesehen.

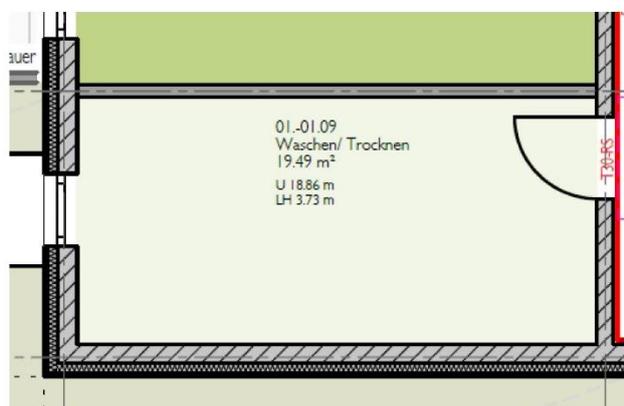


Abbildung 8: Auszug Planunterlagen, Grundriss Haus 1 UG, Wasch- und Trockenraum

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.1-3 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden. Die Vorgabe eines Waschmaschinenanschlusses pro Wohnung ist nicht erfüllt, jedoch sind für ein Studentenwohnheim übliche Kapazitäten vorgesehen.

2.4. Indikator 1.1.1-4 Vorhandensein von Stau- und Trockenraum

2.4.1. Vorgabe

Der Stauraum wird durch die Stellmöglichkeit für Hochschränke der Mindestmaße $l \times b \times h = 60 \times 60 \times 200 \text{ cm}$ (darf nicht aufgeteilt werden) beschrieben und kann sich im Keller, in einem anderen Abstellraum oder auch im Flur, im Bad, im Schlafzimmer (zusätzlich zum Kleiderschrank) oder in der Küche befinden. Ein Teil der Module muss aber innerhalb der Wohnung liegen.

Die genauen Anforderungen sind:

- Soweit die jeweilige Landesbauordnung keine strengeren Vorgaben enthält, soll mindestens die folgende Anzahl solcher Stauraummodule pro Wohnung vorhanden sein:

Haushaltsgröße	1-PHH	2-PHH	3-PHH	4-PHH	5-PHH	6-PHH	7-PHH
Anzahl der Module	2	2	3	4	5	6	7
davon mindestens in der Wohnung	1	1	1	2	2	2	3

UND

- Es gibt eine zweckbestimmte Möglichkeit zur Lufttrocknung von Wäsche innerhalb oder außerhalb der Wohnung.
- Wenn sich die Möglichkeit innerhalb des Gebäudes befindet, wird ausreichende Belüftung garantiert – diese ist zu beschreiben.

Wo Landesbauordnungen höhere Anforderungen enthalten, müssen diese erfüllt werden.

2.4.2. Bewertung

Die Apartments werden mit Einbauwandschränken, Schreibtisch und Wandschrank ausgestattet. Damit steht der geforderte Stauraum im Apartment zur Verfügung. Außerhalb der Wohnung steht kein weiterer Stauraum zur Verfügung.

Es besteht die Möglichkeit Wäsche im vorhandenen Wasch- und Trockenraum mittels Wäschetrockners zu trocknen. Auf einen zusätzlichen Raum zur Lufttrocknung der Wäsche wurde zu Gunsten einer optimierten Grundrissgestaltung verzichtet.

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.1-4 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden: Hinweis auf die zweckbestimmte Möglichkeit (Trockner im gesonderten Wäscheraum steht zur Verfügung), dass wenn Stauraum durch einen Einbauschränk im Apartment gegeben ist, kein weiterer Stauraum im Gebäude vorhanden sein muss.

2.5. Indikator 1.1.2 Vorhandensein von Balkon, Terrasse, Mietergärten

2.5.1. Vorgabe

- Jeder abgeschlossenen Wohnung ist ein privater Außenbereich zugeordnet.
- Anforderungen an die Größe ergeben sich aus der Normalbelegung einer Wohnung. Dabei gilt in jedem Fall: die schmalste Seite der Grundfläche darf 1,45 m (lichtes Maß) nicht unterschreiten.

Bei der Ermittlung der Flächen im Außenbereich ist die reale Grundfläche [Länge x Breite] maßgeblich – nicht die Angabe in der Wohnflächenberechnung.

Haushaltsgröße	1-PHH	2-PHH	3-PHH	4-PHH	5-PHH	6-PHH	7-PHH	8-PHH
Außenbereich	3 m ²	3 m ²	3 m ²	4 m ²	4 m ²	5 m ²	5 m ²	6 m ²

2.5.2. Bewertung

Die Erdgeschoss- Apartments aller Gebäude verfügen über eine Terrasse. Die Apartments der Obergeschosse sind nicht mit einem Austritt versehen. Gemeinschaftlich nutzbare Außenanlagen stehen den Bewohnern jeweils im gebäudenahen Umfeld zur Verfügung.

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.2 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden. Gemeinschaftlich nutzbare Außenanlagen, anstelle von privaten Außenbereichen.

2.6. Indikator 1.1.3-1 Barrierefreiheit des Zugangs zum Gebäude

2.6.1. Vorgabe

Ein barrierefreier Zugang zum Gebäude nach gültiger Landesbauordnung ist vorhanden. Wo keine spezifischen Anforderungen bestehen, werden alternativ die Anforderungen der Anlage 1 erfüllt. Wohnungen mit Außenzugang erfüllen dieselben Anforderungen.

2.6.2. Bewertung

Der barrierefreie Zugang zum Gebäude ist gewährleistet. Die Türbreiten der Haupteingänge sind ausreichend groß dimensioniert. Es gibt keine Stufen oder Treppen, die den Zugang erschweren würden. Des Weiteren sind die Wohnungen im Erdgeschoss Haus 2 bis 5 von außen zugänglich.

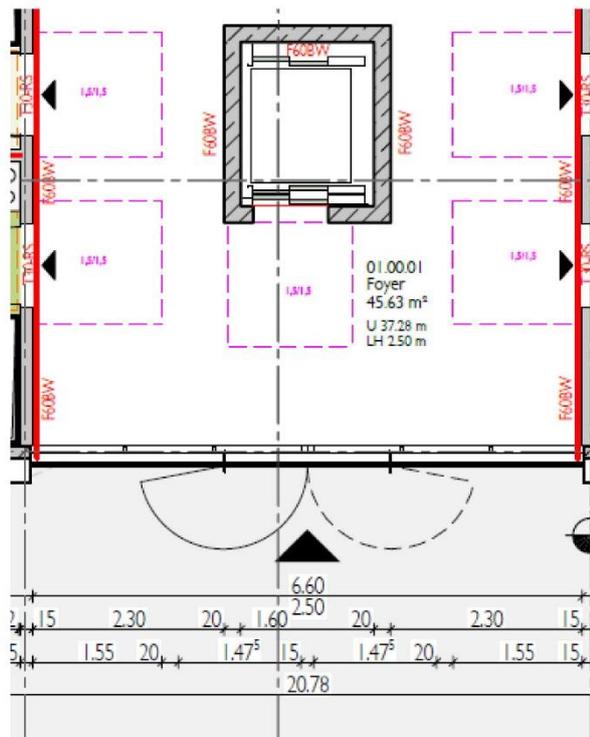


Abbildung 9: Auszug Planunterlagen, Grundriss EG Haus 1

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.3-1 sind erfüllt.

2.8. Indikator 1.1.3-3 Grad der Barrierefreiheit innerhalb der Wohnungen

2.8.1. Vorgabe

Die Anforderungen der gültigen LBO werden erfüllt. Wo keine Anforderungen bestehen, ist mindestens ein Geschoss (Erdgeschoss oder andere) barrierefrei nach DIN 18025-2 gestaltet. Einbezogen werden sämtliche abgeschlossenen Wohnungen des betreffenden Geschosses.

2.8.2. Bewertung

Alle Wohnungen des Gebäudes 1 sowie die Erdgeschosswohnungen der Gebäude 2 bis 5 werden barrierefrei ausgeführt.

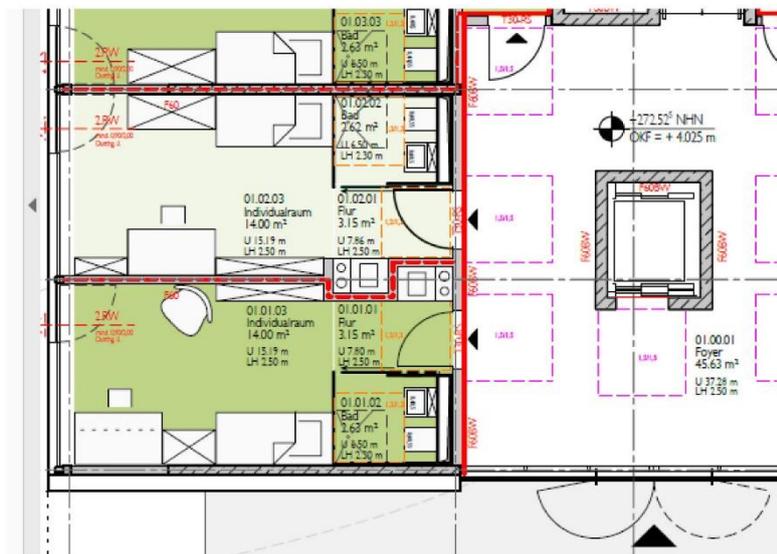


Abbildung 11: Auszug Planunterlagen, Grundriss EG Haus 1

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.3-3 sind erfüllt.



2.9. Indikator 1.1.4-1 Stellplätze für Fahrräder

2.9.1. Vorgabe

Die Vorgaben der gültigen LBO bzw. kommunale Auflagen wurden erfüllt. Wo keine besonderen Anforderungen bestehen, gelten die folgenden Anforderungen:

1. Anzahl der Plätze:

Haushaltsgröße	1-PHH	2-PHH	3-PHH	4-PHH	5-PHH	6-PHH	7-PHH	8-PHH
Anzahl Stellplätze	1	1	2	2	3	3	4	4

Für Wohnungen, die uneingeschränkt den Anforderungen an Barrierefreiheit genügen, ist kein Fahrradstellplatz erforderlich, wenn stattdessen Stellplätze für Krankenfahrstühle oder Rollatoren vorgesehen werden (vgl. Steckbriefe 1.1.3-2 und 1.1.3-3).

2. Standort und Gestaltung der Plätze

Von der unter 1. ermittelten Anzahl der Plätze sind 1/3 unter folgenden Kriterien vorzuhalten:

- Anordnung in der Nähe des Hauseingangs (bis zu 50 m)
- Vorrichtung zum Anschließen des Rahmens (nicht allein des Reifens)
- Die Stellplätze sind als solche gekennzeichnet und eine anderweitige Nutzung wird ausgeschlossen.

Von der unter 1. ermittelten Anzahl der Plätze sollen bei 2/3 die folgenden Qualitätskriterien erfüllt werden:

- Die Stellplätze sind wettergeschützt und überdacht.
- Die Fahrräder sind am Rahmen anschließbar (Fahrradständer bzw. Anlehnbügel), oder die Fahrräder sind gegen Zugriff Unbefugter gesichert (abschließbares Tor und Sichtschutz gegenüber öffentlichen Bereichen wie Straßen).
- Der Bereich kann barrierefrei erreicht werden (Rampen/Treppenschienen über 1 Stockwerk oder Tiefgaragenzufahrt werden akzeptiert).
- Der Bereich ist weniger als 35m vom Hauseingang entfernt.
- Es muss kein öffentlicher Raum überquert werden.

Stellplätze auf Laubengängen werden anerkannt, sofern die obigen Anforderungen eingehalten werden.

2.9.2. Bewertung

Aufgrund der Vorlage eines Stellplatzes pro Wohneinheit werden 132 Stellplätze für Fahrräder benötigt. Dem Gestaltungskonzept der Freianlagen sind nur wenige Stellplätze im gebäudenahen Umfeld zu Haus 1 erkennbar.

Die Anzahl der geplanten Stellplätze für Fahrräder müssen geprüft und angepasst werden.

Die Erfüllung des Kriteriums 1.1.4-1 ist noch offen. 

Hinweis: Die oben genannten Anforderungen des NaWoh sind einzuhalten.

2.10. Indikator 1.1.4-2 Stellplätze für Kinderwagen / Rollatoren

2.10.1. Vorgabe

Die Anforderungen der gültigen LBO bzw. kommunale Anforderungen werden erfüllt. Wo keine spezifischen Anforderungen bestehen, gelten die Folgenden:

- Für Häuser mit bis zu 10 WE: Eine Fläche von mindestens 2 m² in unmittelbarer Nähe eines jeden Hauseingangs steht zur Verfügung für das sichere Abstellen von Kinderwagen oder Rollatoren, ohne Verkehrswege zu beeinträchtigen (keine Markierung erforderlich).
- Für Häuser mit mehr als 10 WE: ein Stellplatz mit angemessener Bewegungsfläche für je 5 Wohneinheiten muss an geeigneter Stelle vorhanden sein, z.B. beim Haupteingang oder, wenn Aufzug vorhanden, in der Nähe der Wohnungstür oder des Aufzugs (ohne Verkehrswege zu behindern).

ODER

- Ein Konzept ist vorhanden zur sinnvollen Unterbringung einer vergleichbaren Anzahl von Kinderwägen/ Rollatoren.

2.10.2. Bewertung

Es sind keine Flächen für die Unterbringung von Kinderwagen oder Rollatoren in den Gebäuden vorgesehen. Durch die vorgesehene Nutzung als Studentenwohnheim ist jedoch davon auszugehen, dass Abstellflächen für Mobilitätshilfsmittel nicht notwendig sind.

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.4-2 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden: Nutzerorientierte Nutzung beachten, bei Studentenwohnheimen ist nicht generell damit zu rechnen Kinderwagen oder Rollatoren Abstellflächen vorzusehen, dies wären Sondernutzungen; Stellplätze mit angemessener Bewegungsfläche sind hinfällig.

2.11. Indikator 1.1.4-3 Stellplätze für PKW / Mobilitätskonzept

2.11.1. Vorgabe

Die Anforderungen der gültigen LBO bzw. kommunale Anforderungen werden erfüllt. Wo keine spezifischen Anforderungen bestehen, gelten die Folgenden:

- Es wird pro Wohnung je 1 Stellplatz auf dem eigenen Grundstück zur Verfügung gestellt.

ODER

Die geforderten Stellplätze wurden bei der Gemeinde abgelöst.

ODER

Es besteht ein Mobilitätskonzept.

UND

- Es ist mindestens ein Parkplatz je 20 WE für Besucher mit Mobilitätseinschränkungen vorhanden oder ein Konzept zur Nach-/Umrüstbarkeit liegt vor. (Abmessungen nach DIN 18040-2)

2.11.2. Bewertung

Insgesamt sind 25 PKW-Stellplätze im gebäudenahen Umfeld geplant. Es ist jeweils ein rollstuhlgerechter PKW-Stellplatz je Gebäude vorgesehen.

Dies entspricht nicht der Vorgabe von einem Stellplatz je Wohneinheit (gesamt 132 Wohneinheiten). Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einer Belegung mit Studenten nicht jeder Bewohner einen PKW-Stellplatz benötigt.

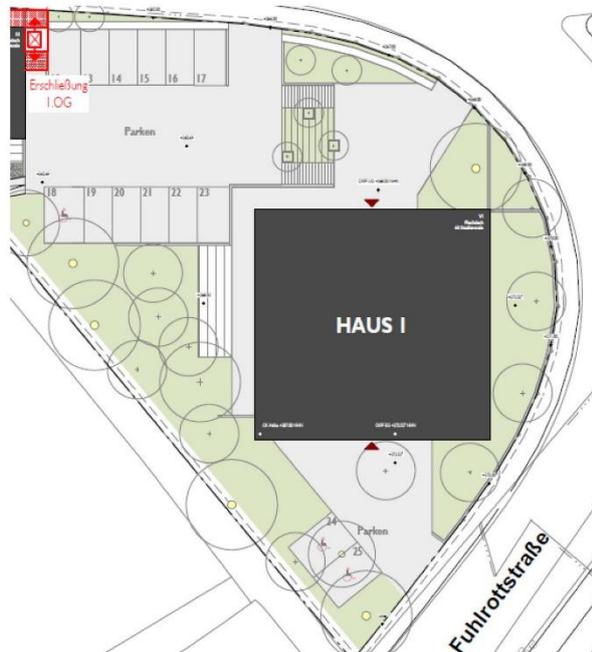


Abbildung 12: Auszug Lageplan H1

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.4-3 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden: Die rollstuhlgerechte Stellplatzanzahl für Studentenwohnheime sollte ggf. angepasst und minimiert werden, sowie die generelle Stellplatzanzahl mit 1 Stellplatz pro Wohneinheit.

2.12. Indikator 1.1.5-1 Freiflächen für die Allgemeinheit

2.12.1. Vorgabe

- Es sind ausreichend große Freiflächen vorhanden, die von den Bewohnern zum Aufenthalt und Spiel genutzt werden dürfen.
- Die Freiflächen wurden landschaftlich gestaltet.
- Es existieren Sitzgelegenheiten.

Als ausreichend groß gelten 10 m² pro Person. (Synergieeffekte sind erlaubt, z.B. Feuerwehraufahrt).

Bei Abweichungen sind eine Begründung und ein alternatives Konzept erforderlich. Das Konzept führt die kommunalen Anforderungen auf.

2.12.2. Bewertung

Es ist mit 1.325 m² eine ausreichend große Freifläche vorhanden. Zudem kommt ein begrünter Dachflächenanteil von 536 m² hinzu, was eine gesamte begrünte Fläche von 1.861 m² ausmacht.

Ein Gestaltungskonzept für die Außenanlagen liegt vor. Es sind Sitzgelegenheiten vorhanden.

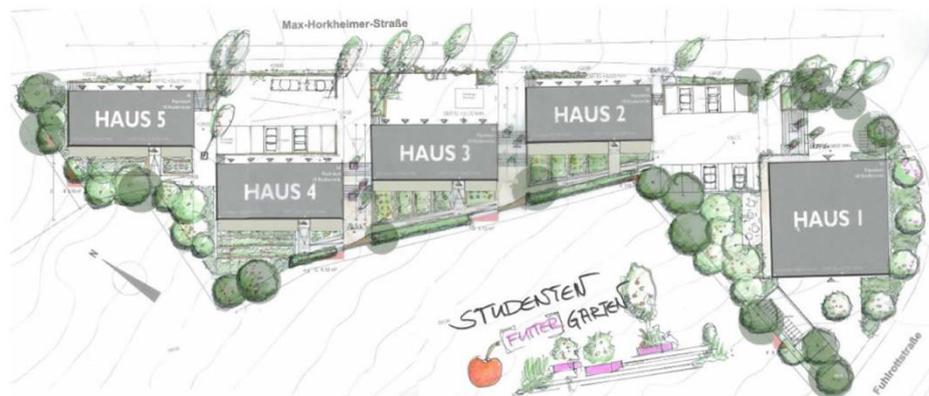


Abbildung 13: Auszug Gestaltungskonzept Außenanlagen

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.5-1 sind erfüllt. 

2.13. Indikator 1.1.5-2 Freiflächen für Kinder

2.13.1. Vorgabe

- Es ist ein Spielplatz vorhanden, der für kleinere Kinder im Alter von bis zu 7 Jahren geeignet ist.
- Die Ausstattung entspricht den Standards der Normenreihe DIN EN 1176 und DIN EN 1177.
- Es gelten die Anforderungen der gültigen Landesbauordnung bzw. Gemeindegesetzungen.

Bei Abweichungen sind eine Begründung und ein alternatives Konzept erforderlich. Das Konzept führt die kommunalen Anforderungen auf.

2.13.2. Bewertung

Es ist kein Spielplatz vorgesehen. Für die Nutzung als Studentenwohnheim ist dieser nicht notwendig. Die Freiflächen für die Allgemeinheit sind hier maßgebend und erforderlich.

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.5-2 sind erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden: Nutzung eines Spielplatzes für Studentenwohnheime nicht notwendig.

2.14. Indikator 1.1.5-3 Freiflächen für Jugendliche

2.14.1. Vorgabe

Es werden die Regelungen der gültigen Landesbauordnung eingehalten.

2.14.2. Bewertung

Es sind keine Freiflächen für Jugendliche vorgesehen. Für die Nutzung als Studentenwohnheim sind diese nicht notwendig. Es ist davon auszugehen, dass im Studentenwohnheim keine Jugendlichen im Alter von 8 bis 14 Jahren wohnen.

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.5-3 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss ein Bewertungsmaßstab „Studentenwohnen“ formuliert werden: Nutzung Freiflächen für Jugendliche für Studentenwohnheime nicht notwendig.



2.15. Indikator 1.1.6 Thermische Behaglichkeit im Sommer

2.15.1.Vorgabe

Die Anforderungen der aktuell gültigen EnEV für sommerlichen Wärmeschutz werden eingehalten, d.h. die Erfüllung der Anforderungen der DIN 4108-2 ist gegeben.

2.15.2.Bewertung

Die Vorgabewerte sind der DIN 4108-2 entnommen. Die Werte zum sommerlichen Wärmeschutz sind somit gesetzlich vorgeschrieben, sodass dieses Kriterium als erfüllt angenommen werden kann.

Die Anforderungen des Kriteriums 1.1.6 sind erfüllt. 

Hinweis: Die Anforderungen des NaWoh müssen eingehalten werden.

3. Technische Qualität

3.1. Indikator 2.1.1-1 Schallschutz gegen Außenlärm

3.1.1. Vorgabe

Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Außenlärmpegels werden die Anforderungen des zutreffenden Lärmpegelbereiches erfüllt.

Lärmpegelbereich	Maßgeblicher Außenlärmpegel L_{MAP} in dB(A)	Klassifizierung nach erf. $R'_{w,res}$ des Außenbauteils in dB
I	≤ 55	30
II	56 - 60	30
III	61 - 65	35
IV	66 - 70	40
V	71 - 75	45
VI	76 - 80	50

3.1.2. Bewertung



Abbildung 14: Auszug Lärmpegelkarte Wuppertal

Der maßgebliche Außenlärmpegel entspricht dem Lärmpegelbereich II. Somit besteht für die Außenbauteile die Anforderung von 30 dB als Schalldämmmaß. Dieser Wert ist der in der DIN 4109 geforderte Mindestwert und kann somit als erfüllt angenommen werden.

Die Anforderungen des Kriteriums 2.1.1 sind erfüllt. 

Hinweis: Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Außenlärmpegels müssen die Anforderungen des zutreffenden Lärmpegelbereiches erfüllt werden.

3.2. Indikator 2.1.1-2 Luft- und Trittschallschutz

3.2.1. Vorgabe

Einhaltung der Anforderungen entsprechend Niveau A der Tabelle.

Luft- und Trittschallschutz	Klassifizierung	Niveau A
horizontaler Luftschallschutz (Wände) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	R'_w in dB	≥ 55
vertikaler Luftschallschutz (Decken) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	R'_w in dB	≥ 55
Luftschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Treppenhäusern bzw. Fluren	R'_w in dB	≥ 55
Trittschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	$L'_{n,w}$ in dB	46
Trittschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Treppenhäusern	$L'_{n,w}$ in dB	46
Wohnungseingangstüren	R'_w in dB	37

3.2.2. Bewertung

Die Vorgabewerte für den Luft- und Trittschallschutz wurden aus der DIN 4109 Beiblatt 2 für den erhöhten Schallschutz gegenüber fremden Wohn- oder Arbeitsbereichen übernommen. Eine Einhaltung dieser Werte ist somit gut umsetzbar, sodass dieses Kriterium als erfüllt angenommen werden kann.

Die Anforderungen des Kriteriums 2.1.1-2 sind erfüllt. 

Hinweis: Es müssen die Anforderungen des Luft- und Trittschallschutzes entsprechend Niveau A erfüllt werden. Dies entspricht den erhöhten Anforderungen an den Schallschutz gegenüber fremden Wohn- und Arbeitsräumen.

3.3. Indikator 2.1.1-3 Schallschutz gegen Körperschall / Installationen

3.3.1. Vorgabe

Einhaltung der Anforderungen entsprechend Niveau A der Tabelle.

Körperschall	Klassifizierung	Niveau A
Wasserinstallationen	$L_{AFmax,nT}$ in dB(A)	≤ 35
sonstige hausinterne, fest installierte Schallquellen der technischen Ausrüstung, Ver- und Entsorgung sowie Garagenanlagen	$L_{AFmax,nT}$ in dB(A)	≤ 30
sonstige fest installierte technische Schallquellen (ohne Wasserinstallationen) im eigenen Wohnbereich	$L_{AFmax,nT}$ in dB(A)	≤ 30
Armaturengeräuschpegel	L_{ap} in dB(A)	≤ 20 Armaturengruppe I ≤ 30 Armaturengruppe II

3.3.2. Bewertung

Die Werte für den Luft- und Trittschallschutz wurden aus der DIN 4109 übernommen. Diese Mindestwerte sind somit gesetzlich vorgeschrieben, sodass dieses Kriterium als erfüllt angenommen werden kann.

Die Anforderungen des Kriteriums 2.1.1-3 sind erfüllt. 

Hinweis: Es müssen die Anforderungen gegen Körperschall/ Installationen entsprechend Niveau A erfüllt werden.

3.4. Indikator 2.1.2 Energetische Qualität

3.4.1. Vorgabe

Die EnEV, die zum Zeitpunkt des Bauantrags galt, wird erfüllt.

3.4.2. Bewertung

Die Vorgaben der aktuell gültigen EnEV sind erfüllt.

Bauvorhaben: Neubau Wohnheim für Studierende - Haus 1

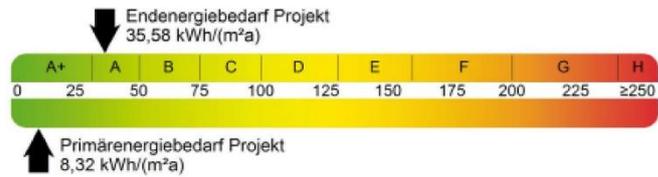


Abbildung 15: Auszug Energieausweis, Erfüllung EnEV

Die Anforderungen des Kriteriums 2.1.2 sind erfüllt. 



3.5. Indikator 2.1.3 Effizienz der Haustechnik

3.5.1. Vorgabe

Strom für Lüftung

Wo vorhanden:

- Abluftanlagen: $\leq 0,25 \text{ Wh/m}^3$ (entspricht SFP 1-2)
- Wärmerückgewinnungsanlagen $\leq 0,5 \text{ Wh/m}^3$ (entspricht SFP 3-4)

Beleuchtung Gemeinschaftsbereiche innen und außen

- gesteuert/geregelt über Photosensor/ Tageslichtsensor/ Bewegungsmelder
- Alle Lampen am Standort müssen energieeffizient sein, d.h. Lichtausbeute muss im Durchschnitt höher als 60 Lumen pro Watt sein (Notbeleuchtung ausgenommen).

Aufzug

Wo vorhanden:

- Aufzüge müssen dem neuesten Stand der Technik entsprechen – als Minimum:
 - müssen Treibscheibenaufzüge frequenzgeregelt sein
 - müssen hydraulische Aufzüge geregelte Systeme haben
 - muss eine Energiebedarfsberechnung nach VDI 4707 Blatt 1 durchgeführt und das Ergebnis deklariert werden

3.5.2. Bewertung

Die SFP- Werte können der DIN EN 13779 (2009) entnommen werden. Die Werte für die Effizienz der Haustechnik entsprechen dem heutigen Standard und werden somit als erfüllt angenommen. Die geforderte Beleuchtungseffizienz kann mit Leuchtstofflampen mit EVG oder LED Beleuchtung gut erreicht werden. Für die Gemeinschaftsbereiche muss eine automatische Steuerung vorgesehen werden.

Die Anforderungen des Kriteriums 2.1.3 sind erfüllt. 

Hinweis: Die Vorgaben des NaWoh müssen entsprechend den oben genannten Anforderungen eingehalten werden.

3.6. Indikator 2.1.4. Lüftung

3.6.1. Vorgabe

Es wurde ein Lüftungskonzept nach DIN 1946-6 (oder vergleichbar) erstellt – dafür wurden folgende Punkte dokumentiert:

- Festlegung lüftungstechnischer Maßnahmen (Lüftungskonzept) für vier Lüftungsstufen (Lüftung zum Feuchteschutz, reduzierte Lüftung, Nennlüftung, Intensivlüftung); Nachweis der Lüftung fensterloser Räume nach DIN 18017-3
- Festlegung der Luftvolumenströme
- Aufbau und Ausführung der Einrichtungen zur freien Lüftung bzw. der Lüftungsanlage
- Hinweise für die Nutzer zum richtigen Gebrauch der Lüftung

3.6.2. Bewertung

Es liegt ein Lüftungskonzept nach DIN 1946-6 vor.

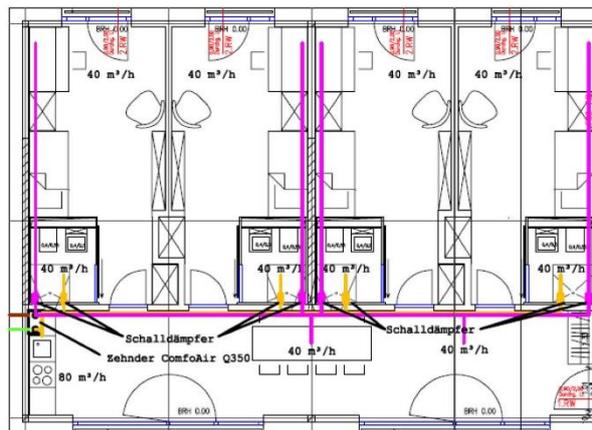


Abbildung 16: Auszug Entwurfsplanung Lüftung

Die Anforderungen des Kriteriums 2.1.4 sind erfüllt. 

4. Ökologische Qualität

4.1. Indikator 3.1.1 Ökobilanz Teil 1 - Treibhauspotenzial

4.1.1. Vorgabe

Treibhauspotenzial $\leq 24 \text{ kg CO}_2\text{-Äqu.} / (\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$.

zusätzlich Angabe pro m^2 Wohnfläche (nachrichtlich, nicht bewertend)

4.1.2. Bewertung

Das Treibhauspotenzial beträgt $19,4 \text{ CO}_2\text{-Äqu.} / (\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$. Es wurde eine Ökobilanz erstellt, bei der die Konstruktion mit den Referenzwerten der DGNB angenommen wurde. Für die Nutzung wurde der Wärmebedarf aus der Energiebedarfsberechnung mit dem Fernwärmedatensatz angesetzt.

		(GWP 100) Treibhaus- potential
Variante 1: Ist Planung		
Nutzung	Summe Jahr	49.574
Nur Konstruktion		
Variante 1: Ist Planungmanuel eingeben:	pro NGF und Jahr	9,4
Nur Nutzung		
Variante 1: Ist Planung	pro NGF und Jahr	10,0
Ergebnis gesamt		
Variante 1: Ist Planung	pro NGF und Jahr	19,4

Abbildung 17: Ergebnis Ökobilanz, Treibhauspotenzial

Die Anforderungen des Kriteriums 3.1.1 sind erfüllt. 

4.2. Indikator 3.1.2-1 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar

4.2.1. Vorgabe

$$PE_{ne} \leq 105 \text{ kWh} / (\text{m}^2\text{NRF}\cdot\text{a})$$

4.2.2. Bewertung

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energien beträgt 87 kWh / (m²NRF*a). Es wurde eine Ökobilanz erstellt, bei der die Konstruktion mit den Referenzwerten der DGNB angenommen wurde. Für die Nutzung wurde der Wärmebedarf aus der Energiebedarfsberechnung mit dem Fernwärmedatensatz angesetzt.

		Primärenergie nicht regenerierbar
Variante 1: Ist Planung		
Nutzung	Summe Jahr	159.462
Nur Konstruktion		
Variante 1: Ist Planungmanuel eingeben:	pro NGF und Jahr	55
Nur Nutzung		
Variante 1: Ist Planung	pro NGF und Jahr	32
Ergebnis gesamt		
Variante 1: Ist Planung	pro NGF und Jahr	87

Abbildung 18: Ergebnis Ökobilanz, Primärenergiebedarf nicht erneuerbar

Die Anforderungen des Kriteriums 3.1.2-1 sind erfüllt. 

4.3. Indikator 3.1.2-2 Primärenergiebedarf erneuerbar

4.3.1. Vorgabe

$$PE_{e,G} / PE_{ges,G} = 0,075$$

(erneuerbarer Primärenergieanteil mind. 7,5 %)

4.3.2. Bewertung

Der Primärenergiebedarf erneuerbarer Energien beträgt 42,4%. Es wurde eine Ökobilanz erstellt, bei der die Konstruktion mit den Referenzwerten der DGNB angenommen wurde. Für die Nutzung wurde der Wärmebedarf aus der Energiebedarfsberechnung mit dem Fernwärmedatensatz angesetzt. Aufgrund der neuen Datensätze der ÖkobaDat mit einem höheren Anteil erneuerbarer Energien ist hier eine deutliche Übererfüllung gegeben.

		Primärenergie reg. erneuerbar
Variante 1: Ist Planung		
Nutzung	Summe Jahr	15.762
Nur Konstruktion		
Variante 1: Ist Planungmanuel eingeben:	pro NGF und Jahr	61
Nur Nutzung		
Variante 1: Ist Planung	pro NGF und Jahr	3
Ergebnis gesamt		
Variante 1: Ist Planung	pro NGF und Jahr	42,4%

Abbildung 19: Ergebnis Ökobilanz, Primärenergie erneuerbar

Die Anforderungen des Kriteriums 3.1.2-2 sind erfüllt. 

4.4. Indikator 3.1.3-1 Flächeninanspruchnahme

4.4.1. Vorgabe

- Der aktuell gültigen Bauleitplanung wird entsprochen.
- Für die bauliche Nutzung werden Flächen verwendet, die bereits der Kategorie „Gebäudefläche“, „Betriebsfläche“ oder „Verkehrsfläche“ zugeordnet waren bzw. bisher bereits überwiegend als Gebäude-, Industrie- und Gewerbe- oder Verkehrsfläche genutzt wurden, darunter auch Baulücken und Brachflächen, jedoch ohne nennenswerte Belastung aus der Vornutzung.

ODER

- Wo unbebaute (auch neu ausgewiesene Flächen) bebaut werden, werden mit (real ausgeführten und öffentlich anerkannten) Ausgleichsmaßnahmen bzw. Gründächern Kompensationen vorgenommen. Der Umfang der Ausgleichsmaßnahmen richtet sich nach dem örtlichen Baurecht (i.d.R. im Verhältnis 1:1).

4.4.2. Bewertung

Die Fläche, welche für die Studentenwohnheime vorgesehen ist, ist derzeit nicht bebaut. Es wird eine begrünte Dachfläche von 536 m² geplant.



Abbildung 20: Auszug Konzeptmappe

Die Anforderungen des Kriteriums 3.1.3-1 sind erfüllt. 

4.5. Indikator 3.1.3-2 Flächenversiegelung

4.5.1. Vorgabe

Bei baulich noch nie genutzten Grundstücken: dürfen nicht überbaubare Flächen maximal 10 % versiegelt werden. $((\text{Grundstücksfläche} - \text{maximal zulässiger GRZ}) \times 0,1)$. Ein Ausgleich ist möglich, z.B. begrünte Unterbauung, Tiefgaragen mit Pflanzenbett, Dicke mind. 60 cm, Entsiegelung auf anderen Grundstücken im Verhältnis 1:1.

Bei bereits zuvor baulich genutzten Grundstücken: bleibt der Anteil der versiegelten Flächen an der Grundstücksfläche gleich.

Für Grundstücke mit hoher GRZ und geplanter starker Nutzung der nicht überbaubaren Flächen: durch z.B. gewerbliche Nutzungen oder Wege für barrierefreie Zugänge zum Gebäude sind Ausnahmen zulässig. Es ist eine Begründung zur Abweichung vom Steckbrief vorzulegen. Der Umgang mit Regenwasser ist darzulegen.

4.5.2. Bewertung

Auf der Grundstücksfläche von 4.673 m² werden durch die Baumaßnahme (fünf Gebäude) 1.310m² bebaut. Somit liegt die GRZ bei 0,28.

Laut Freiflächenplan ist eine Gesamtgrünfläche von 1.861m² (inklusive Gründachflächen) geplant.

Den Freianlagenplanungen kann derzeit noch nicht entnommen werden, in welchem Umfang Fläche versiegelt wird.

Die Erfüllung des Kriteriums 3.1.3-2 ist noch offen. 

Hinweis: Die Vorgaben des NaWoh müssen entsprechend den oben genannten Anforderungen eingehalten werden.

5. Ökonomische Qualität

5.1. Indikator 4.1.1 Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus

5.1.1. Vorgabe

1.600 €/m² BGF netto

bei Sonderbedingungen: 2.000 €/m² BGF netto

zusätzlich Angabe pro m² Wohnfläche (nachrichtlich, nicht bewertend)

Sonderbedingungen sind ausführlich zu beschreiben und zu begründen. Besondere Fälle sind insbesondere gegeben, wenn:

- erschwerte Baugrundbedingungen einen erhöhten baulichen Aufwand für die Gründung erfordern,
- Besonderheiten am Standort einen erhöhten baulichen Aufwand zur Gewährleistung der Standsicherheit und/ oder Verkehrssicherheit erfordern,
- der Einsatz innovativer Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und des Umweltschutzes erfolgt, die derzeit noch nicht wirtschaftlich sind,
- Besonderheiten am Standort zu besonderen Maßnahmen für die Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität führen, die einen erhöhten baulichen Aufwand erfordern,
- Besonderheiten der konkreten Markt- und Standortsituation zu deutlichen Abweichungen der Baupreise von Durchschnittswerten führen.

5.1.2. Bewertung

Es wurde eine Lebenszyklusberechnung mit dem derzeitigen Stand der Kosten erstellt. Hieraus ergeben sich Lebenszykluskosten von 1.827€/ m² BGF.

	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Reinigung	Wasser + Abwasser	Energie	Ersatzinvestition	Gesamt
Barwert Gebäude	6.732.451 €	539.573 €	730.535 €	73.570 €	8.461 €	452.510 €	926.477 €	9.463.577 €
Barwert/m ² _{BGF}	1.299,48 €	104 €	141 €	14 €	2 €	87 €	179 €	1.827 €
Barwert [%]	71,1%	5,7%	7,7%	0,8%	0,1%	4,8%	9,8%	100,0%
Zahlungen	6.732.451 €	1.960.080 €	2.653.779 €	267.253 €	30.736 €	2.026.706 €	4.063.097 €	17.734.101 €
Zahlungen/m ² _{BGF}	1.299 €	378 €	512 €	52 €	6 €	391 €	784 €	3.423 €
Zahlungen [%]	38,0%	11,1%	15,0%	1,5%	0,2%	11,4%	22,9%	100,0%

Tabelle 1: Ergebnis LCC-Berechnung

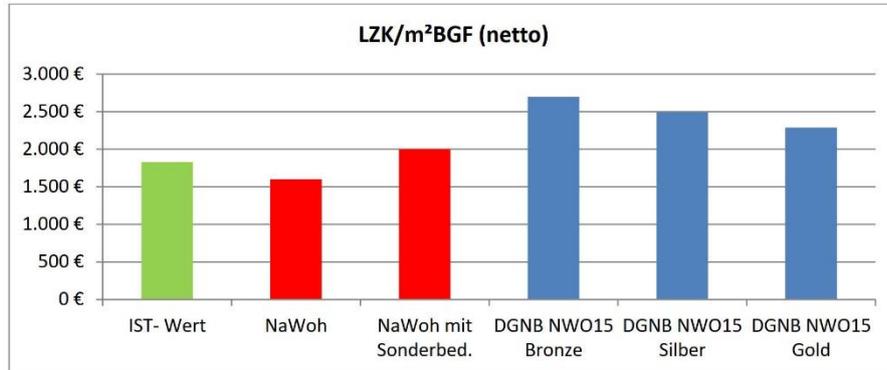


Abbildung 21: LZK für IST- Wert, NaWoh 3.1 und DGNB NWO15

Die berechneten Lebenszykluskosten würden im DGNB System die Anforderungen Gold erfüllen. Beim NaWoh wird das Kriterium mit diesem Ergebnis nicht erfüllt.

Die Anforderungen des Kriteriums 4.1.1 sind nicht erfüllt. 

Hinweis: Für eine NaWoh-Zertifizierung muss der Bewertungsmaßstab mit Sonderbedingungen genutzt werden dürfen.

5.2. Indikator 4.1.2 Investitionskosten/ Marktwert

5.2.1. Vorgabe

Das Verhältnis von Investitionskosten und Verkehrswert ist kleiner oder gleich 1,2.

Damit dürfen die Investitionskosten um bis zu 20% über dem aktuellen Verkehrswert liegen.

Der Verkehrswert (Marktwert) ist in § 194 Baugesetzbuch definiert als der Wert, der "durch den Preis bestimmt (wird), der in dem Zeitpunkt, auf den sich die Ermittlung bezieht, im gewöhnlichen Geschäftsverkehr nach den rechtlichen Gegebenheiten und den tatsächlichen Eigenschaften, der sonstigen Beschaffenheit und der Lage des Grundstücks (...) ohne Rücksicht auf ungewöhnliche und persönliche Verhältnisse zu erzielen wäre".

Der Verkehrswert wird mittels ertragsorientierter Verfahren für solchen Immobilien ermittelt, die nach allgemeiner Marktauffassung und unabhängig von der tatsächlichen Nutzung der Erzielung von Erträgen dienen. Das sind Wohnimmobilien regelmäßig. Die Bestimmung kann auf der Grundlage verschiedener anerkannter Bewertungsverfahren erfolgen. Es eignen sich einperiodische Verfahren (z.B. das Ertragswertverfahren gemäß ImmoWertV) oder mehrperiodische Verfahren (z.B. Discounted-Cashflow-Methode).

Die Ermittlung des Verkehrswertes muss dabei nicht durch Sachverständigengutachten erfolgen, sondern kann auch im Unternehmen durch Eigenberechnungen durchgeführt werden. Je nach Art des Verfahrens wird von einer erzielbaren Miete oder bei mehrperiodischen Verfahren von den erwarteten Mieterträgen der einzelnen Periode ausgegangen. Damit geht in diesen Wert auch eine Langfristprognose bezüglich der Bewertungsparameter (insbesondere der Markt- und Kostenentwicklung) und somit der Wertstabilität ein.

Eine stark vereinfachte Bewertungsmethode für den Verkehrswert ist das stark vereinfachte Vergleichswertverfahren (Maklermethode):

Voraussichtlich jährliche Netto- Mieteinnahmen x lokaler Mietmultiplikator

Der lokale Mietmultiplikator muss dem Auditor vom Wohnungsunternehmen/ Gebäudeeigentümer zur Verfügung gestellt werden. Die entsprechende Quelle ist zu dokumentieren.

5.2.2. Bewertung

Eine entsprechende Verkehrswertermittlung wurde zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht durchgeführt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Vorgabe eingehalten wird.

Die Erfüllung des Kriteriums 4.1.2 ist noch offen. 

Hinweis: Die Vorgaben des NaWoh müssen entsprechend den oben genannten Anforderungen eingehalten werden.

6. Prozessqualität

6.1. Indikator 5.1.1 Qualität der Bauausführung/ Messungen

6.1.1. Vorgabe

Es wird **eine** der folgenden Messungen durchgeführt:

- Luftdichtheit des Gebäudes
- Luftschallmessung (bewertetes Schalldämmmaß der Trennwände)
- Trittschallmessung (Trittschallpegel der Decken)
- Thermografie
- Schadstoffmessung
- Lichtmessung

Die Ergebnisse werden umfassend beschrieben und dokumentiert.

6.1.2. Bewertung

Die Durchführung einer Luftdichtheitsmessung ist vorgesehen.

Die Anforderungen des Kriteriums 5.1.1 sind erfüllt. 

7. Anhang

7.1. Pflichtumsetzungen

Nr.	Kurzbeschreibung	Hinweis	Anforderungen
1.1.1-2	Funktionalität der Koch- und Essbereiche	Gemeinschaftlicher Koch- und Essbereich in den Aufenthaltsräumen, Ausstattung der Küchen muss bedacht werden (Dunstabzug und Backofen erforderlich).	Das Platzangebot und die vorhandenen Anschlüsse gewährleisten, dass alle Grundfunktionen erfüllt werden können (Herd, Backofen, Dunstabzug, Spüle, Abtropffeld, Kühlschrank). Die Größe der möglichen Arbeitsfläche beträgt mind. 1,2 m (bis 3-PHH) bzw. 1,8 m (ab 4-PHH).
1.1.4-1	Stellplätze für Fahrräder	Die Vorgaben des NaWoh müssen eingehalten werden.	pro 1-PHH ein Fahrradstellplatz (2/3 davon überdacht und wettergeschützt)
1.1.5-1	Freiflächen für die Allgemeinheit	Die Vorgaben des NaWoh müssen eingehalten werden.	Die ausreichend große Freifläche muss landschaftlich gestaltet werden und den Nutzern Sitzgelegenheit bieten.
1.1.6	Behaglichkeit im Sommer	Die Vorgaben des NaWoh müssen eingehalten werden.	Anforderungen DIN 4108-2 müssen eingehalten werden.
2.1.1-1	Schallschutz gegen Außenlärm	Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Außenlärmpegels müssen die Anforderungen des zutreffenden Lärmpegelbereiches erfüllt werden.	Lärmpegelbereich III: erf. $R'w_{res}$ des Außenbauteils = 35 in dB
2.1.1-2	Luft- und Trittschallschutz	Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Luft- und Trittschallschutzes müssen die Anforderungen erfüllt werden.	Niveau A (erhöhte Anforderung an den Schallschutz gegenüber fremden Wohn- und Arbeitsräumen nach DIN 4109 Beiblatt 2) muss eingehalten werden: - horizontaler Luftschallschutz (Wände) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen: $R'w \geq 55$ dB - vertikaler Luftschallschutz (Decken) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen: $R'w \geq 55$ dB - Luftschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Treppenhäusern bzw. Fluren: $R'w \geq 55$ dB - Trittschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen: $L'n,w = 46$ dB - Trittschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Treppenhäusern: $L'n,w = 46$ dB - Wohnungseingangstüren: $R'w = 37$ dB
2.1.1-3	Schallschutz gegen Körperschall/ Installationen	Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Schallschutzes gegen Körperschall/ Installationen müssen die Anforderungen erfüllt werden.	Niveau A muss eingehalten werden: - Wasserinstallationen: $LAF_{max,nT} \leq 35$ dB(A) - sonstige hausinterne, fest installierte Schallquellen der technischen Ausrüstung, Ver- und Entsorgung sowie Garagenanlagen: $LAF_{max,nT} \leq 30$ dB(A) - sonstige fest installierte technische Schallquellen (ohne Wasserinstallationen) im eigenen Wohnbereich: $LAF_{max,nT} \leq 30$ dB(A) - Armaturengeräuschpegel: $Lap \leq 20$ dB(A) Armaturengruppe I - Armaturengeräuschpegel: $Lap \leq 30$ dB(A) Armaturengruppe II



Nr.	Kurzbeschreibung	Hinweis	Anforderungen
2.1.3	Effizienz der Haustechnik	Die Vorgaben des NaWoh müssen eingehalten werden.	<p>Strom für Lüftung: Wo vorhanden: - Abluftanlagen: $\leq 0,25 \text{ Wh/m}^3$ - Wärmerückgewinnungsanlagen $\leq 0,5 \text{ Wh/m}^3$</p> <p>Beleuchtung Gemeinschaftsbereiche innen und außen - gesteuert/geregelt über Photosensor/ Tageslichtsensor/ Bewegungsmelder - Alle Lampen am Standort müssen energieeffizient sein, d.h. Lichtausbeute muss im Durchschnitt höher als 60 Lumen pro Watt sein (Notbeleuchtung ausgenommen).</p> <p>Aufzug, wo vorhanden: Aufzüge müssen dem neuesten Stand der Technik entsprechen – als Minimum: - müssen Treibscheibenaufzüge frequenzgeregelt sein - müssen hydraulische Aufzüge geregelte Systeme haben - muss eine Energiebedarfsberechnung nach VDI 4707 Blatt 1 durchgeführt und das Ergebnis deklariert werden</p>
3.1.3-2	Flächenversiegelung	Die Vorgaben des NaWoh müssen eingehalten werden.	<p>Bei baulich noch nie genutzten Grundstücken: dürfen nicht überbaubare Flächen maximal 10 % versiegelt werden. ((Grundstücksfläche - maximal zulässiger GRZ3)x0,1). Ein Ausgleich ist möglich, z.B. begrünte Unterbauung, Tiefgaragen mit Pflanzenbett, Dicke mind. 60 cm, Entsiegelung auf anderen Grundstücken im Verhältnis 1:1.</p> <p>Bei bereits zuvor baulich genutzten Grundstücken: bleibt der Anteil der versiegelten Flächen an der Grundstücksfläche gleich. Für Grundstücke mit hoher GRZ und geplanter starker Nutzung der nicht überbaubaren Flächen: durch z.B. gewerbliche Nutzungen oder Wege für barrierefreie Zugänge zum Gebäude sind Ausnahmen zulässig. Es ist eine Begründung zur Abweichung vom Steckbrief vorzulegen. Der Umgang mit Regenwasser ist darzulegen.</p>
4.1.2	Investitionskosten/ Marktwert	Die Vorgaben des NaWoh müssen eingehalten werden.	Das Verhältnis von Investitionskosten und Verkehrswert ist kleiner oder gleich 1,2 Damit dürfen die Investitionskosten um bis zu 20% über dem aktuellen Verkehrswert liegen.
5.1.1	Qualität der Bauausführung/ Messungen	Die Vorgaben des NaWoh müssen eingehalten werden.	<p>Es wird eine der folgenden Messungen durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Luftdichtheit des Gebäudes - Luftschallmessung (bewertetes Schalldämmmaß der Trennwände) - Trittschallmessung (Trittschallpegel der Decken) - Thermografie - Schadstoffmessung - Lichtmessung <p>Die Ergebnisse werden umfassend beschrieben und dokumentiert.</p>

7.2. Anpassungsvorschläge NaWoh

Kriterium	Kurzbeschreibung	Hinweis
1.1.1-1	Funktionalität der Wohnbereiche	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) gibt es im NaWoh System derzeit keine Bewertung für 1-Zimmer-Apartments. Eine Ergänzung der Anforderungen für 1-Zimmer-Apartments wäre für Studentenwohnen und ähnliche Projekte notwendig.
1.1.1-3	Funktionalität der Sanitärbereiche	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) sollte die Anzahl der benötigten Waschmaschinenanschlüsse angepasst werden. Bei den Studentenwohnungen handelt es sich um 1-Zimmer-Apartments, sodass eine übliche Anzahl an Waschmaschinenanschlüssen im Gebäude gewählt wurde.
1.1.1-4	Vorhandensein von Stau- und Trockenraum	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) sollte auf zusätzlichen Stauraum außerhalb der Wohnung (wenn bereits in WE vorhanden) verzichtet werden. Zusätzlich sollte ein Trockner eine Alternative Möglichkeit zum Trockenraum sein.
1.1.2	Vorhandensein von Balkon, Terrasse, Mietergärten	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) sollte auf private Außenbereiche zugunsten der gemeinschaftlich nutzbaren Außenanlagen verzichtet werden. Für Studentenwohnen ist ein Campus mit vielen Gemeinschaftsflächen üblich, sodass dieses mit in die Bewertung einfließen sollte.
1.1.4-2	Stellplätze für Kinderwagen/ Rollatoren	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) sollte die Anzahl der benötigten Stellplätze für Kinderwagen/ Rollatoren angepasst werden. Da es sich um 1-Zimmer-Apartments handelt sind keine Kinderzimmer geplant und somit auch keine Stellplätze für Kinderwagen erforderlich.
1.1.4-3	Stellplätze für Pkw/ Mobilitätskonzept	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) sollte die benötigte Anzahl der Stellplätze für Pkw angepasst werden. Für die 1-Zimmer-Apartments von Studenten sollte nicht pro Wohneinheit ein Stellplatz für PKW vorhanden sein. Hier ist stattdessen die Anzahl der Fahrradstellplätze sowie die Anbindung an den Personennahverkehr maßgebend.
1.1.5-2	Freiflächen für Kinder	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) sollte auf Kinderspielplätze zugunsten der gemeinschaftlich nutzbaren Außenanlagen verzichtet werden. Da es sich um 1-Zimmer-Apartments handelt sind keine Kinderzimmer geplant und somit auch keine Spielplätze erforderlich.
1.1.5-3	Freiflächen für Jugendliche	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) sollte auf Freiflächen für Jugendliche zugunsten der gemeinschaftlich nutzbaren Außenanlagen verzichtet werden. Da es sich um 1-Zimmer-Apartments handelt sind keine Kinderzimmer geplant und somit auch Freiflächen für Jugendliche (8-14 Jahre) erforderlich.
4.1.1	Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus	Für die Bewertung des hier geplanten Wohnkonzepts (Studentenwohnheim) ist die Anpassung des Benchmarks aufgrund des kleinteiligen Ausbaus sinnvoll. Es ist zu prüfen ob aufgrund dessen die Sonderbedingungen um Studentenwohnen/ 1-Zimmer-Apartments erweitert werden kann.

Zu 4.c_2 Zertifizierung DGNB

Nr.	Kurzbezeichnung	Anteil Ist Gesamt- bewertung	Anteil Ist/ Kriterium	Risiko
ENV1.1	Ökobilanz - emissionsbedingte Umweltwirkungen	8,47%	108%	R0
ENV1.2	Risiken für die lokale Umwelt	2,36%	70%	R3
ENV1.3	Umweltverträgliche Materialgewinnung	1,13%	100%	R1
ENV2.1	Ökobilanz - Ressourcenverbrauch	5,85%	104%	R0
ENV2.2	Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	1,13%	50%	R1
ENV2.3	Flächeninanspruchnahme	1,69%	75%	R0
ECO1.1	Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus	5,63%	50%	R2
ECO2.1	Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit	4,88%	65%	R0
ECO2.2	Marktfähigkeit	1,93%	52%	R0
SOC1.1	Thermischer Komfort	4,69%	75%	R0
SOC1.2	Innenraumluftqualität	2,25%	60%	R3
SOC1.4	Visueller Komfort	2,22%	59%	R0
SOC1.5	Einflussnahme des Nutzers	1,17%	47%	R0
SOC1.6	Aufenthaltsqualitäten Innen/Außen	1,80%	72%	R0
SOC1.7	Sicherheit	0,75%	60%	R0
SOC2.1	Barrierefreiheit	2,50%	100%	R0
TEC1.2	Schallschutz	2,45%	60%	R1
TEC1.3	Tauwasserschutz der Gebäudehülle	3,68%	90%	R0
TEC1.4	Anpassungsfähigkeit der technischen Systeme	2,15%	53%	R0
TEC1.5	Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers	3,48%	85%	R0
TEC1.6	Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit	2,05%	50%	R0
TEC3.1	Mobilitätsinfrastruktur	1,15%	56%	R0
PRO1.1	Projektvorbereitung und Planung	0,77%	55%	R0
PRO1.3	Konzeptionierung und Optimierung in der Planung	1,12%	80%	R0
PRO1.4	Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe	0,75%	75%	R0
PRO1.5	Voraussetzungen für opt. Nutzung und Bewirtschaftung	0,60%	60%	R0
PRO1.6	Verfahren zur städtebaulichen und gestalterischen Konzeption	0,14%	10%	R0
PRO2.1	Baustelle / Bauprozess	0,50%	50%	R0
PRO2.2	Qualitätssicherung der Bauausführung	0,84%	60%	R0
PRO2.3	Geordnete Inbetriebnahme	0,70%	50%	R0
Summe:		68,8%		

Abbildung 189: Bewertung im Detail, [MNP Ingenieure], Dezember 2018

Aufgabenstellung

Auf der Basis des NaWoh 3.1. Pre-Check ist eine Bewertung nach DGNB NWO 15 für das Projekt 178_HSW Wuppertal zu erstellen. Das Projekt besteht aus insgesamt fünf Gebäuden. Vier Häuser sind identisch und ein Haus besitzt einen ähnlichen Grundriss, sodass für den Pre-Check die fünf Gebäude als Studentenwohnheim Gesamtprojekt bewertet werden. Der vorwiegende Anteil der Wohneinheiten sind dabei 1- Zimmer- Apartments, zudem sind einige wenige 2- und 4- Personen- Apartments geplant.

Ziel des Pre-Check ist es eine erste Abschätzung zur Bewertung des Projektes im DGNB System zu erhalten.

Bei einigen Kriterien wurden hierzu Annahmen getroffen, welche in der nachfolgenden Tabelle kurz erläutert werden.

Ergebnis

Der Pre-Check ergibt für das Projekt 178_HSW beim derzeitigen Planstand eine Gesamtpunktzahl von 68,6%. Dies entspricht DGNB Gold inkl. Sicherheitspuffer.

Gesamtbewertung	Gesamterfüllungsgrad
Platin	≥80%
Gold	65% bis < 80%
Silber	50% bis < 65%

Optimierungen

Mit kleineren Optimierungen kann die Bewertung noch verbessert werden, was aus Bewertungssicht jedoch aktuell nicht erforderlich wäre.

Zusätzliche Berechnungen zum NaWoh

Für eine DGNB Zertifizierung muss eine Energiebilanzierung nach DIN 18599 erfolgen. Ein DEGA Schallschutznachweis ist zu erstellen.



Projekt-/Vertragsnr.:	NWO15	Ökologie	159,4 P.	79,7%	Technik	66,4 P.	60,4%	Gesamterfüllungsgrad
Bauvorhaben:	178_HSW Wuppertal Fuhrrottstraße	Ökonomie	47,9 P.	79,8%	Prozess	123,5 P.	58,8%	
DGNB Auditor:		Sozio-kulturell Funktional	105,6 P.	58,7%	Standort	43,5 P.	48,3%	



Gewichtungstabelle Neubau Wohngebäude, Version 2015 // Erstellt durch die DGNB Geschäftsstelle, Stand 10.08.2015 // Copyright DGNB GmbH

Nr.	Krit.	Indikator	Checklisten-Punkte (CLP - Auditor)			Bewertungspunkte (max. 10 Punkte)	spezifischer Bedeutungsfaktor	Kommentar / Bemerkung AUDITOR
			Ist CLP (Krit.)	Ist CLP (Indik.)	Max			
ENV1.1	Ökobilanz - emissionsbedingte Umweltwirkungen		92,00		120	9,20	7	
		1. GWP		95,00	120			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
		2. ODP		75,00	120			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
		3. POCP		95,00	120			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
		4. AP		95,00	120			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
		5. EP		95,00	120			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
ENV1.2	Risiken für die lokale Umwelt		70,00		100	7,00	3	
		1. Erreichte Qualitätsstufe		20,00	50			Standardanforderungen an Allgemeinbereiche
		2. Anforderungen Wohnungen		50,00	50			hochwertige Innenraumprodukte mit Siegel wie Blauer Engel



ENV1.3	Umweltverträgliche Materialgewinnung	100,00		100	10,00	1	
	1.1 Verwendung von Holz- und Holzwerkstoffen - Allgemeinflächen und Gebäudehülle		30,00	30			80% zertifiziertes Holz
	1.2 Verwendung von Holz- und Holzwerkstoffen - Mietbereich / Wohnflächen		20,00	20			80% zertifiziertes Holz
	2.1 Verwendung von Natursteinen - Allgemeinflächen		30,00	30			keine oder nur Natursteine mit CE Kennzeichen
	2.2 Verwendung von Natursteinen - Mietbereich / Wohnflächen		20,00	20			keine oder nur Natursteine mit CE Kennzeichen
ENV2.1	Ökobilanz - Ressourcenverbrauch	98,00		120	9,80	5	
	1. Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf		90,00	120			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
	2. Gesamtprimärenergiebedarf		90,00	120			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
	3. Anteil erneuerbarer Primärenergie		40,00	50			Umsetzung Gebäudehülle und Energiekonzept als Passivhaus
	4. Abiotischer Ressourcenverbrauch - Werte bereitgestellt?		Ja				wird mit LCA ausgegeben
	5. Wasserverbrauch - Werte bereitgestellt?		Ja				wird mit LCA ausgegeben
ENV2.2	Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	65,00		100	6,50	2	Wasserspararmaturen, Gründächer
ENV2.3	Flächeninanspruchnahme	10,00		100	1,00	2	bisher keine Angabe zu Flächenversiegelung
ECO1.1	Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus	99,00		100	9,90	3	berechneter Wert für LP2: 1.827€/m² BGF
ECO2.1	Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit	65,00		100	6,50	2	
	1. Flächeneffizienz		7,00	15			Annahme: Flächeneffizienzfaktor >= 0,7
	2. Raumhöhe		7,00	15			Raumhöhe ca. 2,55m
	3. Gebäudetiefe		5,00	10			
	5. Grundrisaufteilung		20,00	20			



	4.	Temperaturen außerhalb der Heizperiode (Kühlung)		0,00	35			keine Kühlung geplant
SOC1.6	Aufenthaltsqualitäten Innen/Außen		71,00		100	7,10	2	
	1.1	Gemeinschaftsanlagen und Kommunikationszonen		5,00	5			Gemeinschaftsräume im Innenbereich
	1.2	Zusätzliche Angebote für die Nutzer		1,00	3			Wasch- und Trocknungsbereiche sind vorhanden
	1.4	Aufenthaltsqualität Erschließungsbereich		3,00	5			Erschließungsbereiche belichtet und angemessen dimensioniert
	1.5	Zukunftsorientierte Raumkonzepte		15,00	15			
	1.6.1	Nutzungsbereiche, Ausstattungsqualität und Verbindungen - Anordnung der Nutzungsbereiche		3,00	5			
	1.6.2	Nutzungsbereiche, Ausstattungsqualität und Verbindungen - Ausstattungsqualität Sanitär		3,00	5			Dusche, Waschbecken, WC
	1.6.3	Nutzungsbereiche, Ausstattungsqualität und Verbindungen - Blickbezüge und Belichtung mit Tageslicht		2,00	18			
	1.6.4	Nutzungsbereiche, Ausstattungsqualität und Verbindungen - Einsehbarkeit und Verbindungen		4,00	14			
	2.1	Gestaltungskonzept für die Außenanlagen		15,00	15			A: Konzept wird erstellt
	2.2.1	Kommunikationsflächen im Außenbereich - Dach		0,00	10			Dach nicht begehbar
	2.2.3	Kommunikationsflächen im Außenbereich - Außenraum (ebenerdig)		10,00	10			
	2.3	Ausstattungsmerkmale		10,00	15			A: Sitzmöglichkeiten sind vorhanden



SOC1.7	Sicherheit		50,00		100	5,00	1	
	1.1	Sicherheitsempfinden und Schutz vor Übergriffen - Einsehbarkeit		30,00	40			
	1.2	Sicherheitsempfinden und Schutz vor Übergriffen - Ausleuchtung		20,00	30			
	1.3	Sicherheitsempfinden und Schutz vor Übergriffen - Technische Sicherheitsrichtungen		0,00	20			
	1.3	Sicherheitsempfinden und Schutz vor Übergriffen - Präventive Schutzmaßnahmen		0,00	10			WK Verglasung EG wäre zu prüfen
SOC2.1	Barrierefreiheit		50,00		100	5,00	2	A: Planstand LP2 plus 50% barrierefreie Außenflächen
TEC1.2	Schallschutz		50,0		100	5,00	2	A: DEGA Schallschutzausweis mit > 80 Punkten
	1.	Luftschallschutz Geschosshäuser		50,00	100			
TEC1.3	Tauwasserschutz der Gebäudehülle		90,0		100	9,00	2	
	1.	Transmission und Diffusion über Hüllflächenbauteile		40,00	40			Passivhaushülle
	2.	Transmission über Wärmebrücken		10,00	15			A: Wärmebrückenzuschlag 0,05 W/m²K
	3.1	Luftdichtheit der Gebäudehülle - Luftdichtheitsmessung		15,00	15			A: sehr luftdichte Gebäudehülle
	3.2	Luftdichtheit der Gebäudehülle - Fugendurchlässigkeit der Fenster und Türen		15,00	15			A: Fenster- und Außentüren in Klasse 4 DIN 12207 luftdicht
	4.	Sommerlicher Wärmeschutz		10,00	15			Einhaltung DIN 4108-2
TEC1.4	Anpassungsfähigkeit der technischen Systeme		52,5		100	5,25	2	



	1.1	Zugänglichkeit aller Komponenten der Anlagentechnik für eine Nachrüstung und einen späteren Austausch		10,00	15			
	1.2	Planung		10,00	10			
	1.3	Zugänglichkeit vertikaler Schächte/Trassen		10,00	10			
	1.4.1	Reserven vertikaler Schächte/Trassen - wasserführende Gewerke, Elektro- und IT- Versorgung		10,00	10			sehr hohe Anzahl an Schächten wg. kleinteiligem Ausbau
	1.4.2	Reserven vertikaler Schächte/Trassen - Lüftung und Aufzüge		5,00	5			sehr hohe Anzahl an Schächten wg. kleinteiligem Ausbau
	2.1	Anpassung der Betriebstemperaturen für eine Einbindung von regenerativen Energien - Wärmeverteilung und Übergabesystem		7,50	12,5			A: mittlere Systemtemperatur Heizen <60°C
	2.2	Anpassung der Betriebstemperaturen für eine Einbindung von regenerativen Energien - Kälteverteilung und Übergabesystem		0,00	12,5			keine Kälte geplant
	3.1	Systemintegration in die vorhandenen Gewerke - Zustand und Ausbaufähigkeit einer Systemintegration		0,00	15			A: keine GLT / Gebäudeautomation geplant
	3.2	Systemintegration in die vorhandenen Gewerke - integrierte Funktionen in ein übergeordnetes System		0,00	10			A: keine GLT / Gebäudeautomation geplant
TEC1.5	Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers		57,5		100	5,75	2	
	1.	Tragkonstruktion		15,00	15			



	2.1	Nichttragende Konstruktion außen - Zugänglichkeit der Außenglasflächen		10,00	20			
	2.2	Nichttragende Konstruktion außen - Außenbauteile		5,00	5			
	3.1	Nichttragende Konstruktion innen - Bodenbelag		10,00	20			
	3.2.1	Nichttragende Konstruktion innen - Schmutzfangzone vorhanden		0,00	15			A: Schmutzfangzonen im EG noch offen
	3.2.2	Nichttragende Konstruktion innen - Schmutzfangzone ausreichend lang		0,00	5			
	3.3	Nichttragende Konstruktion innen - Hindernisfreier Grundriss		17,50	20			
TEC1.6	Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit		60,0		100	6,00	2	
	1.	Recyclingorientierte Baustoffauswahl		35,00	70			Stahlbetonkonstruktion mit leicht optimierten Bauteilen
	2.	Recyclinggerechte Baukonstruktion		25,00	50			Stahlbetonkonstruktion mit leicht optimierten Bauteilen
TEC3.1	Mobilitätsinfrastruktur		44,00		100	4,40	1	
	1.1	Verkehrsträger - Radverkehrs-Infrastruktur		18,00	36			
	1.2	Verkehrsträger - ÖV-Infrastruktur		4,00	8			
	1.3	Verkehrsträger - Leihsysteme (öffentlich oder private)/ Mitfahrgelegenheiten		10,00	20			A: öffentliche Anbieter carsharing verfügbar
	2.1	Elektromobilität im Gebäude und auf dem Grundstück - MIV		0,00	10			
	2.2	Elektromobilität im Gebäude und auf dem Grundstück - Elektro Zweirad		0,00	10			



	2.3	Elektromobilität im Gebäude und auf dem Grundstück - Einbindung der Ladestationen	0,00	8		
	3.	Benutzerkomfort im Gebäude	12,00	28		
PRO1.1	Projektvorbereitung und Planung		70,0	100	7,00	3
	1.	Bedarfsplanung	20,00	40		A: Bedarfsplanung liegt vor
	2.	Information der Öffentlichkeit	10,00	20		A: Öffentlichkeit wird informiert
	3.	Pflichtenheft	40,00	40		A: Erstellung DGNB Pflichtenheft
PRO1.3	Konzeptionierung und Optimierung in der Planung		70,0	100	7,00	3
	1.	Energiekonzept	10,00	20		A: Energiekonzept in einfacher Form liegt vor
	4.	Mess- und Monitoringkonzept	10,00	20		A: Messkonzept wird erstellt
	5.	Konzept zur Unterstützung der Umbaubarkeit, Rückbaubarkeit und Recycling-freundlichkeit	15,00	15		A: Konzept wird erstellt
	6.	Konzept zur Sicherung der Reinigungs- und Instandhaltungs-freundlichkeit	15,00	15		A: Konzept wird erstellt
	7.	Variantevergleiche mittels einer Ökobilanz	10,00	15		A: Vergleich von Einzelbauteilen
	8.	Planungsbegleitende Lebenszykluskosten-planung	10,00	15		A: Vergleich von Einzelbauteilen
PRO1.4	Sicherung der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe		75,0	100	7,50	2
	1.	Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in die Ausschreibung	75,00	100		Integration in die LV's aber nicht als Wertungskriterium
PRO1.5	Voraussetzungen für eine optimale Nutzung und Bewirtschaftung		65,0	100	6,50	2



	1.	Einflussnahme auf den Nutzer- und nutzungsbed. Energieaufwand	15,00	20		A: wird in das Infopaket Mieter integriert
	2.	Erstellung von Wartungs-, Inspektions-, Betriebs-, und Pflegeanleitungen	20,00	30		A: Erstellung / Sammlung im üblichen Umfang
	3.	Anpassung der Pläne, Nachweise und Berechnungen an das realisierte Gebäude	20,00	30		A: Aktualisierung im Wesentlichen auf gebauten Zustand
	4.	Erstellung eines Nutzerhandbuchs	10,00	20		Infopaket Mieter wird erstellt
PRO1.6	Verfahren zur städtebaulichen und gestalterischen Konzeption		10,00	100	1,00	3
	1.1	Durchführung eines Planungswettbewerbs		20		kein Wettbewerb
	1.2	Wettbewerbsverfahren		40		
	1.3	Ausführung eines preisgekrönten Entwurfs		30		
	1.4	Beauftragung des Planungsteams		10		
	Alternativ: 2.	Auszeichnung mit einem Architekturpreis		100		
	Alternativ: 3.	Anerkennung durch ein unabhängiges Expertengremium		10		
	Alternativ: 4.	Vorgeschaltete Variantenuntersuchung	10,00	10		kein Wettbewerb nach RPW aber Variantenuntersuchung
PRO2.1	Baustelle / Bauprozess		50,0	100	5,00	2
	1.	Abfallarme Baustelle	12,50	25		
	2.	Lärmarme Baustelle	12,50	25		
	3.	Staubarme Baustelle	12,50	25		
	4.	Boden- und Grundwasserschutz auf der Baustelle	12,50	25		



PRO2.2	Qualitätssicherung der Bauausführung	85,0		100	8,50	3	
	1. Dokumentation der verwendeten Materialien, Hilfsstoffe und der Sicherheitsdatenblätter		50,00	50			A: umfassende Dokumentation mit SDB und digitaler Akte
	2. Messungen zur Qualitätskontrolle		35,00	50			VOC und Blower Door
PRO2.3	Geordnete Inbetriebnahme	50,0		100	5,00	3	A: übliche Abnahmen und Funktionsprüfungen

Zu 4.d Kosten und Effizienz

Leistungsphasen / Kostenbasis			3 Entwurfsplanung				6 / 7 Vergabe				8 Objektbetreuung		Absolut		Kostenstand XXXXXX		Bemerkung
			Budget Kostenber. 14.06.2017	Umbuchungen	Budget-Erhöhung Projektänderungsantrag	Kostenberechnung incl. Budget-Erhöhung	Auftragstragsumme	Nachträge	Prognose	Auftragsumme incl. NA u. Prognose	Belastungen u. Minderungen	Kostenfeststellung Schlußzahlung	aktueller Kostenstand	Differenz - / + Absolut	vorheriger Kostenstand	Differenz +/- vorheriger Stand	
Nr.	Gewerk	Firma	Kostenberechnung				Kostenanschlag				Kostenfeststellung		Kostenkontrolle				
KGR 200 Herrichten u. Erschliessen																	
B05	Versorgungsunternehmen	WSV	135.000,00			135.000,00			0,00				135.000,00	0,00		0,00	
Zwischensumme KGR 200 Herrichten u. Erschliessen			135.000,00	0,00	0,00	135.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135.000,00	0,00	0,00	0,00	
KGR 300 Bauwerk Baukonstruktion																	
G01	Gerüste			0,00	0,00	0,00			0,00				0,00	0,00		0,00	
G13	Rohbau	Rotterdam Bau	2.163.605,70	0,00	475.966,33	2.639.572,03	2.686.795,96		0,00		2.686.795,96		2.686.795,96	47.223,93	2.163.605,70	523.190,26	
G16	Holzbau		1.790.742,83	0,00	0,00	1.790.742,83			0,00		0,00		1.790.742,83	0,00	1.790.742,83	0,00	
G21	Dachabdichtung		262.059,50	0,00	0,00	262.059,50			0,00		0,00		262.059,50	0,00	262.059,50	0,00	
G24	Fiesen		30.982,35	0,00	0,00	30.982,35			0,00		0,00		30.982,35	0,00	30.982,35	0,00	
G25	Estrich		131.582,37	0,00	0,00	131.582,37			0,00		0,00		131.582,37	0,00	131.582,37	0,00	
G27	Tischler		367.144,50	0,00	0,00	367.144,50			0,00		0,00		367.144,50	0,00	367.144,50	0,00	
G28	Parkett					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G31	Schlösser		52.360,00	0,00	0,00	52.360,00			0,00		0,00		52.360,00	0,00	52.360,00	0,00	
G33	Gebäudereinigung		44.030,00	0,00	0,00	44.030,00			0,00		0,00		44.030,00	0,00	44.030,00	0,00	
G34	Maler		69.457,41	0,00	0,00	69.457,41			0,00		0,00		69.457,41	0,00	69.457,41	0,00	
G36	Bodenbeläge		225.010,89	0,00	0,00	225.010,89			0,00		0,00		225.010,89	0,00	225.010,89	0,00	
G39	Trockenbau		399.006,78	0,00	0,00	399.006,78			0,00		0,00		399.006,78	0,00	399.006,78	0,00	
G93	Fertignassellen	DEBA Badsysteme GmbH	900.296,00	-12.816,00	0,00	887.480,00	900.296,00	-4.877,40	0,00		895.418,60		895.418,60	7.938,60	900.296,00	-4.877,40	
G95	Schleifsanlage		15.000,00	0,00	0,00	15.000,00			0,00		0,00		15.000,00	0,00	15.000,00	0,00	
G97	Briefkastenanlage		25.500,00	0,00	0,00	25.500,00			0,00		0,00		25.500,00	0,00	25.500,00	0,00	
Zwischensumme KGR 300 Bauwerk Baukonstruktion			6.476.778,33	-12.816,00	475.966,33	6.809.928,66	3.587.091,96	-4.877,40	0,00	3.582.214,56	0,00	0,00	6.996.091,19	86.162,53	6.451.278,33	518.312,86	
KGR 400 Technische Anlagen																	
G40	Heizung, Warmwasser		220.000,00	12.816,00	0,00	232.816,00			0,00		0,00		232.816,00	0,00	220.000,00	12.816,00	
G45	Sanitärinstallation		317.760,00	0,00	0,00	317.760,00			0,00		0,00		317.760,00	0,00	317.760,00	0,00	
G47	techn. Dämmung					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G49	Feuerlöschanlagen					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G50	Blitzschutz					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G53	Elektroinstallation		408.442,34	0,00	0,00	408.442,34			0,00		0,00		408.442,34	0,00	408.442,34	0,00	
G58	Beleuchtung					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G61	Schwachstrom, EDV		83.322,00	0,00	0,00	83.322,00			0,00		0,00		83.322,00	0,00	83.322,00	0,00	
G62	Medientechnik					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G63	Gefahrenmeldeanlagen, BMA					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G64	Zutrittskontrolle, Zekerfassung					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G69	Aufzüge		40.000,00	0,00	0,00	40.000,00			0,00		0,00		40.000,00	0,00	40.000,00	0,00	
G75	Lüftungsanlagen		247.000,00	0,00	0,00	247.000,00			0,00		0,00		247.000,00	0,00	247.000,00	0,00	
Zwischensumme KGR 400 Technische Anlagen			1.316.824,34	12.816,00	0,00	1.329.340,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.329.340,34	0,00	1.316.524,34	12.816,00	
KGR 500 Aussenanlagen																	
G03	Landschaftsbau		711.060,47			711.060,47			0,00		0,00		711.060,47	0,00	711.060,47	0,00	
G80	Straßen und Wege					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
Zwischensumme KGR 500 Aussenanlagen			711.060,47	0,00	0,00	711.060,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	711.060,47	0,00	711.060,47	0,00	
KGR 600 Ausstattung und Kunstwerke																	
G90	Ausstattung allgemein			0,00	0,00	0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
G97	Beschilderung					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
Zwischensumme KGR 600 Ausstattung und Kunstwerke			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
KGR 700 Baunebenkosten																	
H01	Bauherrenaufgaben	nicht enthalten				0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	nicht enthalten
P02	Architektur	ACMS	1.075.672,92			1.075.672,92			0,00		0,00		1.075.672,92	0,00	1.075.672,92	0,00	
P03	StGeKo		6.365,00			6.365,00			0,00		0,00		6.365,00	0,00	6.365,00	0,00	
P04	Vermesser	Niedermeyer	10.384,11			10.384,11			0,00		0,00		10.384,11	0,00	10.384,11	0,00	
P05	Bodengutachten	IGW	13.420,00			13.420,00			0,00		0,00		13.420,00	0,00	13.420,00	0,00	
P06	Tragwerksplanung	TSB Ingenieurgesellschaft mbH	214.767,54			214.767,54			0,00		0,00		214.767,54	0,00	214.767,54	0,00	
P07	Prüfstark	Meisma	22.386,40			22.386,40			0,00		0,00		22.386,40	0,00	22.386,40	0,00	
P08.1	Schallschutz	TSB Ingenieurgesellschaft mbH	19.816,13			19.816,13			0,00		0,00		19.816,13	0,00	19.816,13	0,00	
P08.2	Wärmeschutz	Wortmann & Scheerer	28.584,38			28.584,38			0,00		0,00		28.584,38	0,00	28.584,38	0,00	
P08.3	sommerlicher Wärmeschutz	MNP Ingenieure		2.100,00		2.100,00			0,00		0,00		2.100,00	0,00		0,00	
P09	TGA	Wortmann & Scheerer	365.490,89			365.490,89			0,00		0,00		365.490,89	0,00	365.490,89	0,00	
P09.1	Überflutungsnachweis	Papadakis	4.160,00			4.160,00			0,00		0,00		4.160,00	0,00	4.160,00	0,00	
P12	Aussenanlagen	FSWLA	120.353,37			120.353,37			0,00		0,00		120.353,37	0,00	120.353,37	0,00	
P13	Brandschutz	Krätzig & Partner	4.683,00			4.683,00			0,00		0,00		4.683,00	0,00	4.683,00	0,00	
P24	Nachhaltigkeitszertifizierung	MNP		0,00		0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	nicht enthalten
	sonstige Baunebenkosten					0,00			0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
Zwischens. KGR 700 Baunebenkosten			1.886.083,74	0,00	2.100,00	1.888.183,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.886.083,74	0,00	1.886.083,74	0,00	
Gesamtsumme KGR 300 bis 500 netto			8.639.363,14	0,00	475.966,33	9.115.329,47	3.587.091,96	-4.877,40	0,00	3.582.214,56	0,00	0,00	9.170.492,00	55.162,53	8.478.863,14	531.128,86	Baukosten ohne NK incl. Ausstattung
Gesamtsumme KGR 200 bis 700 netto			10.525.446,88	0,00	478.066,33	11.003.513,21	3.587.091,96	-4.877,40	0,00	3.582.214,56	0,00	0,00	11.056.575,74	55.162,53	10.364.946,88	531.128,86	Kontrolle Budget: Kostenberechnung + Budget-Erhöhung
Reserve netto			0,00	0,00	0,00	0,00						0,00	0,00	369.999,94	-369.999,94	Verrechnung Reserve	
Gesamtsumme KGR 200 bis 700 incl. Res. netto			10.525.446,88	0,00	478.066,33	11.003.513,21	3.587.091,96	-4.877,40	0,00	3.582.214,56	0,00	0,00	11.056.575,74	55.162,53	10.734.946,82	161.128,92	
MwSt. 19%			1.999.834,91	0,00	90.832,60	2.090.667,51	681.547,47	-926,71	0,00	680.620,77	0,00	0,00	2.100.749,39	10.480,88	2.039.639,90	20.614,49	
GESAMTSUMME KGR 200 bis 700 brutto			12.525.281,79	0,00	568.898,93	13.094.180,72	4.268.639,43	-5.804,11	0,00	4.262.835,33	0,00	0,00	13.157.325,13	65.643,41	12.774.586,72	191.743,41	Kontrolle Budget: Kostenberechnung + Reserve + Budget-Erhöh.

9,74% Vergabestand

0,00 Veränderung zum letzten Stand

Leistungsphasen / Kostenbasis		3 Entwurfsplanung				6 / 7 Vergabe				8 Objektbetreuung		Absolut		Kostenstand		Bemerkung
		Budget Kostenber. 14.06.2017	Umbuchungen	Budget-Erhöhung Projektänderungsantrag	Kostenberechnung Incl. Budget-Erhöhung	Auftragssumme	Nachträge	Prognose	Auftragsumme Incl. NA u. Prognose	Belastungen u. Minderungen	Kostenfeststellung Schlusszahlung	aktueller Kostenstand	Differenz - / + Absolut	vorheriger Kostenstand	Differenz +/- vorheriger Stand	
Nr.	Gewerk	Firma	Kostenberechnung				Kostenanschlag				Kostenfeststellung		Kostenkontrolle			
KGR 200 Herrichten u. Erschliessen																
B05	Versorgungsunternehmen	WSW Strom + Fernwärme	135.000,00	-135.000,00		0,00			0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
		WSW Fernwärme		65.000,00		65.000,00	65.480,00		65.480,00			65.480,00	480,00	65.480,00	0,00	gem Angabe WSP 16.01.2018
		WSW Stromanschluss		15.000,00		15.000,00	16.550,00		16.550,00			16.550,00	1.550,00	16.550,00	0,00	gem Angabe WSP 16.01.2018
		WSW Trinkwasseranschluss		15.000,00		15.000,00			0,00			15.000,00	0,00	15.000,00	0,00	gem Angabe WSP 16.01.2018
		WSW Schutzwasseranschluss		40.000,00		40.000,00			0,00			40.000,00	0,00	40.000,00	0,00	gem Angabe WSP 16.01.2018
Zwischensumme KGR 200 Herrichten u. Erschliessen			135.000,00	0,00	0,00	135.000,00	82.030,00	0,00	0,00	82.030,00	0,00	0,00	137.030,00	2.030,00	137.030,00	0,00
KGR 300 Bauwerk Baukonstruktion																
G00	Baustelleneinricht. Ersatzvornahme	Diverse	0,00	16.950,84	0,00	0,00	16.950,84	0,00	0,00	16.950,84			16.950,84	16.950,84	16.950,84	0,00
G001	Baustelleneinricht. Ersatzvornahme	Bauwacht	0,00	0,00	18.615,00	18.615,00	18.615,00	0,00	900,00	19.515,00			19.515,00	900,00	19.515,00	0,00
G002	Baustelleneinricht. Ersatzvornahme	roba	0,00	2.755,00	0,00	2.755,00	2.755,00	0,00	0,00	2.755,00			2.755,00	0,00	2.755,00	0,00
G01	Gerüste	Stüben	0,00	540,00	0,00	540,00	4.700,00	1.800,00	2.000,00	8.500,00	15.857,50		15.857,50	15.857,50	15.857,50	0,00
G01	Gerüste Treppenturm Gartenseite	Stüben	0,00	0,00	0,00	0,00	1.900,00	0,00	1.800,00	3.700,00			3.700,00	2.900,00	800,00	Zugänge Kl. Häuser Gartenseite
G01	Gerüste Schächte H168	Stüben	0,00	0,00	0,00	0,00	2.920,00	0,00	880,00	3.800,00			3.800,00	3.800,00	0,00	Auftrag erf.
G01	Gerüste Ergänzung Fassade Garten	Stüben	0,00	0,00	0,00	0,00	6.370,00	0,00	6.370,00	6.370,00			6.370,00	6.370,00	0,00	Anpassung Fassade nach Stregmontage
G13	Rohbau	Rotterdam Bau	2.157.590,20	-73.263,34	475.966,33	2.560.293,19	2.666.795,96	138.731,22	-4.278,84	2.821.248,34			2.821.248,34	260.955,15	2.851.878,34	-30.630,00
G13.1	Rohbau	SanBau	0,00	26.000,00	0,00	26.000,00	18.612,32	0,00	7.387,68	26.000,00			26.000,00	0,00	26.000,00	Ersatzvornahme Montage Stege
G19	Fassade	E+S Brandschutz	0,00	95.045,00	0,00	95.045,00	95.045,00	0,00	0,00	95.045,00			95.045,00	0,00	95.045,00	0,00
G27	Metalldach	Kitzberger Möbel	367.144,50	-83.197,54	0,00	283.946,96	274.441,00	0,00	0,00	274.441,00			274.441,00	-9.505,96	274.441,00	0,00
G28	Parkett	Austermann GmbH	0,00	103.819,00	0,00	103.819,00	103.819,00	-1.225,00	0,00	102.594,00			102.594,00	-1.225,00	102.594,00	0,00
G31	Schlosser	Frenken Erdweg GmbH	52.380,00	54.500,00	0,00	106.880,00	149.012,00	0,00	0,00	149.012,00			149.012,00	42.152,00	149.012,00	0,00
G33	Gebäudereinigung	Remo	44.030,00	0,00	0,00	44.030,00	22.702,90	0,00	0,00	22.702,90			22.702,90	-21.327,10	22.702,90	0,00
G34	Malerei	Team Decker GmbH	69.457,41	18.130,00	0,00	87.587,41	64.760,80	18.130,00	9.500,00	92.390,80			92.390,80	4.803,39	87.890,80	4.500,00
G34	Malerei	Team Decker GmbH	225.010,00	-225.010,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8.879,90		8.879,90	8.879,90	62.067,00	-53.187,10
G36.1	Ersatzvornahme 1/2 Bodenbeläge	Austermann GmbH	0,00	78.630,69	0,00	78.630,69	37.739,00	0,00	0,00	37.739,00			37.739,00	-40.891,69	0,00	37.739,00
G36.2	Ersatzvornahme 2/2 Bodenbeläge	Sborgk GmbH	0,00	42.561,20	0,00	42.561,20	42.561,20	0,00	0,00	42.561,20			42.561,20	0,00	42.561,20	0,00
G39	Trockenbau	Wallintin Ausbau	399.006,78	28.440,00	0,00	427.446,78	488.915,78	30.023,68	30.000,00	548.939,46			548.939,46	121.492,68	543.939,46	5.000,00
G93	Fertignaszellen	DEBA Badsysteme GmbH	900.296,00	-12.816,00	0,00	887.480,00	900.296,00	5.509,01	0,00	905.805,01			905.805,01	18.325,01	905.805,01	0,00
G95	Schliessanlage	Wuppertaler Schlüsseldienst	15.000,00	25.500,00	0,00	40.500,00	10.779,23	0,00	13.500,00	24.279,23			24.279,23	-16.220,77	24.279,23	0,00
G97	Briefkastenanlage		25.500,00	-25.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	Umbuchung in G95
Zwischensumme KGR 300 Bauwerk Baukonstruktion			6.470.762,83	29.501,50	497.876,33	6.981.189,82	7.393.724,51	338.509,14	6.016,49	7.738.250,14	0,00	28.817,40	7.754.487,54	754.615,23	7.758.905,79	-4.418,25
KGR 400 Technische Anlagen																
G40	Heizung, Warmwasser	Rehms	317.780,00	123.436,00	0,00	441.196,00	437.698,00	53.782,77	0,00	491.480,77			491.480,77	50.284,77	491.480,77	0,00
G40.1	Contracting		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	Mehrkosten aus freiem Budget G40.1
G40.2	Kernbohrungen	SanBau	0,00	0,00	0,00	0,00	8.318,72	16.621,69	0,00	24.940,41			24.940,41	24.940,41	24.940,41	0,00
G40.3	Entwässerungsbohrungen	SanBau	0,00	18.198,00	0,00	18.198,00	18.198,00	0,00	0,00	18.198,00	19.094,10		19.094,10	896,10	19.094,10	0,00
G40.4	Rohbau Haustechnik	SanBau	0,00	0,00	0,00	0,00	1.247,76	0,00	0,00	1.247,76	1.205,63		1.205,63	0,00	1.205,63	0,00
G45	Sanitärinstallation	Rehms	220.000,00	-220.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	Mangelbeseitigung Rohbau Entwässerungsbohrungen - SZ
G49	Feuerlöschanlagen		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	Notwendig Anpassung Rohbau-SZ s. G40 - Auftrag Fa. Rehms
G50	Blitzschutz		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
G53	Elektroinstallation	Entlers	414.457,84	82.516,47	0,00	496.974,31	638.925,64	118.944,66	0,00	757.870,30			757.870,30	260.895,98	757.870,30	0,00
G61	Schwachstrom, EDV		83.322,00	-83.322,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	Entfall-Umbuchung in G53
G63	Gefahrenmeldeanlagen, BMA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
G69	Aufzüge	Haushahn	40.000,00	0,00	0,00	40.000,00	45.810,00	0,00	0,00	45.810,00			45.810,00	5.810,00	45.810,00	0,00
G75	Lüftungsanlagen	Leniger	247.000,00	47.300,00	0,00	294.300,00	290.682,34	18.333,30	12.272,79	321.288,43			321.288,43	26.986,43	321.288,43	0,00
G99.2	Baustrom	B plus L Infra Log	0,00	46.720,03	0,00	46.720,03	46.720,03	6.822,17	0,00	53.542,20			53.542,20	6.822,17	53.542,20	0,00
Zwischensumme KGR 400 Technische Anlagen			1.322.539,84	14.848,50	0,00	1.337.388,34	1.487.600,49	214.504,59	12.272,79	1.714.377,87	0,00	20.299,73	1.715.231,84	376.637,87	1.715.231,84	0,00
KGR 500 Aussenanlagen																
G03	Landschaftsbau	Tenwiege	711.060,47	-178.518,99	0,00	532.541,48	591.809,11	0,00	25.000,00	616.809,11			616.809,11	84.267,63	616.809,11	0,00
G03.1	Landschaftsbau (vorgezogen Maßnahm)	Tenwiege	0,00	101.368,99	0,00	101.368,99	101.368,99	23.951,39	0,00	125.320,38			125.320,38	23.951,39	125.320,38	0,00
G99.1	Baumrodung	Kinze	0,00	32.800,00	0,00	32.800,00	29.000,00	3.800,00	0,00	32.800,00	32.800,00		32.800,00	0,00	32.800,00	0,00
Zwischensumme KGR 500 Aussenanlagen			711.060,47	-44.350,00	0,00	666.710,47	722.178,10	27.751,39	25.000,00	774.929,49	0,00	32.800,00	774.929,49	108.219,02	774.929,49	0,00
KGR 600 Ausstattung und Kunstwerke																
G90	Ausstattung allgemein		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
G97	Beschilderung		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Zwischensumme KGR 600 Ausstattung und Kunstwerke			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KGR 700 Baunebenkosten																
H01	Bauherrenaufgaben	nicht enthalten				0,00				0,00			0,00	0,00	0,00	nicht enthalten
P02	Architektur	ACMS	1.075.672,92			1.075.672,92	1.075.672,92		150.000,00	1.225.672,92			1.225.672,92	150.000,00	1.225.672,92	0,00
P03	SiGeKo	Ing -Büro KM	6.365,00			6.365,00	6.365,00			6.365,00			6.365,00	0,00	6.365,00	0,00
P04	Vermesser	Niedermeyer	10.384,11			10.384,11	10.384,11			10.384,11	8.809,60		8.809,60	-1.574,51	8.809,60	0,00
P04.1	Vermesser	Klinger	0,00			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P05	Bodengutachten	IGW	13.420,00			13.420,00	13.420,00			13.420,00			13.420,00	0,00	13.420,00	0,00
P06	Tragwerksplanung	TSB Ingenieurgesellschaft mb	214.767,54			214.767,54	159.485,03	4.592,34		164.077,37			164.077,37	-50.690,17	164.077,37	0,00
P07	Prüfstatik	Meisma	22.386,40			22.386,40	22.386,40	26.668,81		49.055,21			49.055,21			

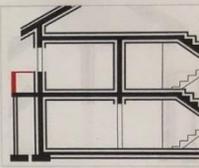


Abbildung 192: BKI_Bauelemente Neubau 2019_Titel

Abbildung 193: BKI_Bauelemente Neubau 2019_Impressum

Gebäudeart	€/Einheit	KG an 300	
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)			
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	79,00	161,00	220,00 0,8%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	—	159,00	— 0,3%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	89,00	207,00	267,00 0,6%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	97,00	112,00	126,00 0,4%
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	88,00	214,00	346,00 0,7%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, einfacher Standard	219,00	273,00	379,00 2,9%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, mittlerer Standard	—	108,00	— 0,1%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, hoher Standard	—	—	— —
Wohnhäuser mit mehr als 15% Mischnutzung	129,00	185,00	241,00 1,2%
Seniorenwohnungen			
Seniorenwohnungen, mittlerer Standard	65,00	108,00	195,00 0,0%
Seniorenwohnungen, hoher Standard	—	77,00	— 0,1%
Beherbergung			
Wohnheime und Internate	117,00	208,00	334,00 1,2%
7 Gewerbegebäude			
Gaststätten und Kantinen			
Gaststätten, Kantinen und Mensen	—	—	— —
Gebäude für Produktion			
Industrielle Produktionsgebäude, Massivbauweise	66,00	88,00	111,00 1,6%
Industrielle Produktionsgebäude, überwiegend Skelettbauweise	87,00	120,00	184,00 2,7%
Betriebs- und Werkstätten, eingeschossig	—	—	— —
Betriebs- und Werkstätten, mehrgeschossig, geringer Hallenanteil	—	277,00	— 0,1%
Betriebs- und Werkstätten, mehrgeschossig, hoher Hallenanteil	62,00	161,00	261,00 0,1%

332
Nichttragende Außenwände



Einheit: m²
Außenwandfläche, nichttragend

Lebensdauer

elementarten

Abbildung 194: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 319

Gebäudeart	▷	€/Einheit	◁	KG an 300	
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)					
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	460,00	583,00	811,00	5,3%	
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	305,00	423,00	613,00	7,2%	
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	321,00	420,00	555,00	7,6%	
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	415,00	571,00	743,00	9,0%	
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	375,00	452,00	577,00	7,2%	
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	469,00	569,00	715,00	10,1%	
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, einfacher Standard	399,00	536,00	630,00	9,8%	
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, mittlerer Standard	450,00	482,00	544,00	9,6%	
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, hoher Standard	–	769,00	–	5,6%	
Wohnhäuser mit mehr als 15% Mischnutzung	495,00	562,00	696,00	17,3%	
Seniorenwohnungen					
Seniorenwohnungen, mittlerer Standard	390,00	432,00	508,00	7,2%	
Seniorenwohnungen, hoher Standard	313,00	421,00	529,00	7,7%	
Beherbergung					
Wohnheime und Internate	549,00	620,00	781,00	12,9%	
7 Gewerbegebäude					
Gaststätten und Kantinen					
Gaststätten, Kantinen und Mensen	–	1.023,00	–	5,6%	
Gebäude für Produktion					
Industrielle Produktionsgebäude, Massivbauweise	380,00	561,00	654,00	14,1%	
Industrielle Produktionsgebäude, überwiegend Skelettbauweise	415,00	526,00	735,00	6,4%	
Betriebs- und Werkstätten, eingeschossig	583,00	681,00	779,00	7,2%	
Betriebs- und Werkstätten, mehrgeschossig, geringer Hallenanteil	363,00	447,00	614,00	6,2%	

334
Außenwand-
öffnungen



Einheit: m²
Außenwandöffnungs-
fläche

Abbildung 195: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 323

Gebäudeart	▷	€/Einheit	◁	KG an 300	
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)					
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	76,00	131,00	162,00	6,4%	
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	83,00	115,00	155,00	7,9%	
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	79,00	139,00	373,00	9,6%	
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	85,00	115,00	180,00	7,4%	
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	101,00	108,00	112,00	9,7%	
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	77,00	113,00	140,00	9,2%	
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, einfacher Standard	72,00	94,00	137,00	3,7%	
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, mittlerer Standard	99,00	134,00	169,00	7,0%	
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, hoher Standard	–	236,00	–	3,8%	
Wohnhäuser mit mehr als 15% Mischnutzung	89,00	160,00	196,00	8,7%	
Seniorenwohnungen					
Seniorenwohnungen, mittlerer Standard	86,00	95,00	111,00	6,1%	
Seniorenwohnungen, hoher Standard	83,00	118,00	153,00	6,8%	
Beherbergung					
Wohnheime und Internate	94,00	143,00	247,00	6,2%	
7 Gewerbegebäude					
Gaststätten und Kantinen					
Gaststätten, Kantinen und Mensen	–	225,00	–	2,9%	
Gebäude für Produktion					
Industrielle Produktionsgebäude, Massivbauweise	92,00	128,00	149,00	8,1%	
Industrielle Produktionsgebäude, überwiegend Skelettbauweise	32,00	77,00	166,00	4,8%	
Betriebs- und Werkstätten, eingeschossig	–	183,00	–	0,9%	
Betriebs- und Werkstätten, mehrgeschossig, geringer Hallenanteil	101,00	148,00	178,00	6,2%	

335
Außenwand-
bekleidungen,
außen



Einheit: m²
Außenwandbekleidungs-
fläche, außen

Abbildung 196: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 325

Gebäudeart	▷	€/Einheit	◁	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)				
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	–	–	–	–
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	–	–	–	–
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	–	–	–	–
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	–	–	–	–
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	–	–	–	–
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	–	–	–	–
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, einfacher Standard	–	–	–	–
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, mittlerer Standard	–	–	–	–
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, hoher Standard	–	–	–	–
Wohnhäuser mit mehr als 15% Mischnutzung	–	–	–	–
Seniorenwohnungen				
Seniorenwohnungen, mittlerer Standard	–	–	–	–
Seniorenwohnungen, hoher Standard	–	–	–	–
Beherbergung				
Wohnheime und Internate	419,00	497,00	575,00	1,6%
7 Gewerbegebäude				
Gaststätten und Kantinen				
Gaststätten, Kantinen und Mensen	–	–	–	–
Gebäude für Produktion				
Industrielle Produktionsgebäude, Massivbauweise	–	–	–	–
Industrielle Produktionsgebäude, überwiegend Skelettbauweise	–	101,00	–	1,1%
Betriebs- und Werkstätten, eingeschossig	146,00	158,00	170,00	4,9%

337
Elementierte Außenwandkonstruktionen

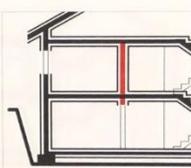


Einheit: m²
Außenwandfläche, elementiert

Abbildung 197: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 329

Gebäudeart	▷	€/Einheit	◁	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)				
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	90,00	100,00	106,00	3,2%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	87,00	104,00	119,00	5,5%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	87,00	126,00	174,00	4,4%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	76,00	99,00	155,00	4,6%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	82,00	91,00	110,00	3,4%
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	68,00	102,00	128,00	3,6%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, einfacher Standard	94,00	112,00	139,00	4,2%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, mittlerer Standard	–	103,00	–	1,8%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, hoher Standard	–	134,00	–	2,6%
Wohnhäuser mit mehr als 15% Mischnutzung	92,00	175,00	311,00	4,9%
Seniorenwohnungen				
Seniorenwohnungen, mittlerer Standard	71,00	88,00	99,00	4,8%
Seniorenwohnungen, hoher Standard	99,00	105,00	111,00	3,6%
Beherbergung				
Wohnheime und Internate	87,00	105,00	132,00	3,9%
7 Gewerbegebäude				
Gaststätten und Kantinen				
Gaststätten, Kantinen und Mensen	–	203,00	–	2,5%
Gebäude für Produktion				
Industrielle Produktionsgebäude, Massivbauweise	81,00	131,00	230,00	2,1%
Industrielle Produktionsgebäude, überwiegend Skelettbauweise	104,00	130,00	161,00	2,7%
Betriebs- und Werkstätten, eingeschossig	–	149,00	–	1,3%

341
Tragende Innenwände

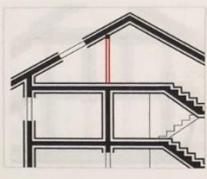


Einheit: m²
Innenwandfläche, tragend

Abbildung 198: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 335

Gebäudeart	▷	€/Einheit	◁	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)				
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	147,00	214,00	250,00	0,6%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	65,00	107,00	139,00	0,4%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	114,00	196,00	241,00	0,7%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	135,00	187,00	287,00	0,2%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	120,00	126,00	133,00	0,0%
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	98,00	138,00	213,00	0,3%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, einfacher Standard	129,00	182,00	235,00	0,2%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, mittlerer Standard	136,00	141,00	147,00	0,2%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, hoher Standard	–	187,00	–	0,1%
Wohnhäuser mit mehr als 15% Mischnutzung	–	140,00	–	0,0%
Seniorenwohnungen				
Seniorenwohnungen, mittlerer Standard	108,00	145,00	164,00	0,0%
Seniorenwohnungen, hoher Standard	83,00	124,00	165,00	0,6%
Beherbergung				
Wohnheime und Internate	122,00	165,00	186,00	0,5%
7 Gewerbegebäude				
Gaststätten und Kantinen				
Gaststätten, Kantinen und Mensen	–	566,00	–	0,1%
Gebäude für Produktion				
Industrielle Produktionsgebäude, Massivbauweise	111,00	167,00	277,00	0,7%
Industrielle Produktionsgebäude, überwiegend Skelettbauweise	102,00	268,00	438,00	1,3%
Betriebs- und Werkstätten, eingeschossig	–	273,00	–	0,2%

343
Innenstützen

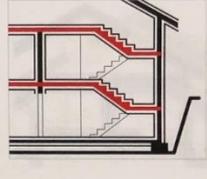


Einheit: m
Innenstützenlänge

Abbildung 199: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 339

Gebäudeart	▷	€/Einheit	◁	KG an 300
Mehrfamilienhäuser (Fortsetzung)				
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, einfacher Standard	158,00	166,00	181,00	10,6%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, mittlerer Standard	112,00	135,00	154,00	11,6%
Mehrfamilienhäuser, mit 6 bis 19 WE, hoher Standard	125,00	143,00	170,00	11,7%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, mittlerer Standard	118,00	153,00	223,00	12,9%
Mehrfamilienhäuser, mit 20 oder mehr WE, hoher Standard	140,00	167,00	221,00	13,7%
Mehrfamilienhäuser, Passivhäuser	129,00	158,00	186,00	11,7%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, einfacher Standard	170,00	186,00	215,00	13,3%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, mittlerer Standard	76,00	108,00	158,00	7,0%
Wohnhäuser, mit bis zu 15% Mischnutzung, hoher Standard	–	182,00	–	5,1%
Wohnhäuser mit mehr als 15% Mischnutzung	116,00	167,00	267,00	9,1%
Seniorenwohnungen				
Seniorenwohnungen, mittlerer Standard	104,00	126,00	154,00	9,4%
Seniorenwohnungen, hoher Standard	125,00	165,00	205,00	14,1%
Beherbergung				
Wohnheime und Internate	132,00	180,00	227,00	9,3%
7 Gewerbegebäude				
Gaststätten und Kantinen				
Gaststätten, Kantinen und Mensen	–	221,00	–	4,4%
Gebäude für Produktion				
Industrielle Produktionsgebäude, Massivbauweise	139,00	171,00	226,00	5,6%
Industrielle Produktionsgebäude, überwiegend Skelettbauweise	138,00	176,00	274,00	3,5%
Betriebs- und Werkstätten, eingeschossig	–	163,00	–	2,1%

351
Deckenkonstruktionen



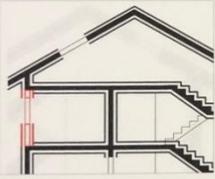
Einheit: m²
Deckenkonstruktionsfläche

Abbildung 200: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 351

337
Elementierte Außenwandkonstruktionen

KG.AK.AA ▶ €/Einheit ◀ LB an AA

337.21.00	Holzkonstruktionen			
02	Holzrahmenwand, zweischalig, äußere Schale 14cm, innere Schale 6cm, nichttragend (Installationsebene), OSB 3 Platten, d=12mm, auf der Außenseite, Dampfbremspappe, Mineralwolldämmung WLG 040, d=140mm (3 Objekte)	120,00	120,00	130,00
	Einheit: m ² Elementierte Fläche			
	016 Zimmer- und Holzbauarbeiten			100,0%



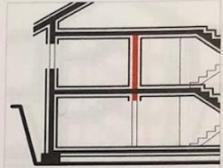
Kosten:
Stand 1.Quartal 2019
Bundesdurchschnitt
inkl. 19% MwSt.

Abbildung 201: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 538

KG.AK.AA ▶ €/Einheit ◀ LB an AA

341.21.00	Betonwand, Ortbeton, schwer			
01	Betonwände, Ortbeton, Schalung, Bewehrung, d=17,5cm, Wandöffnungen (5 Objekte)	110,00	150,00	160,00
	Einheit: m ² Wandfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
03	Betonwände, Ortbeton, d=20cm, Schalung, Bewehrung, Wandöffnungen, teilweise Sichtschalung (6 Objekte)	130,00	180,00	240,00
	Einheit: m ² Wandfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
04	Betonwände, Ortbeton, d=24cm, Schalung, Bewehrung, Wandöffnungen (11 Objekte)	150,00	190,00	240,00
	Einheit: m ² Wandfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
05	Betonwände, Ortbeton, d=30cm, Schalung, Bewehrung, Wandöffnungen (6 Objekte)	180,00	210,00	240,00
	Einheit: m ² Wandfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
341.24.00	Betonwand, Fertigteil, schwer			
01	Betonfertigteil-Wände, d=12-30cm, Bewehrung, Kleinsenteile, Verfugung (9 Objekte)	130,00	150,00	170,00
	Einheit: m ² Wandfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
341.31.00	Holzwand, Blockkonstruktion, Vollholz			
01	Holzrahmenkonstruktion, Dämmung, d=80-140mm, beidseitige Gipsfaser-Platten, d=15mm (6 Objekte)	130,00	140,00	170,00
	Einheit: m ² Wandfläche			
	016 Zimmer- und Holzbauarbeiten			100,0%
341.33.00	Holzwand, Rahmenkonstruktion, Vollholz			
01	Holzrahmenwände, d=120-180mm, KVH, Dämmung, beidseitige Beplankung (6 Objekte)	76,00	120,00	150,00
	Einheit: m ² Wandfläche			
	016 Zimmer- und Holzbauarbeiten			55,0%
	039 Trockenbauarbeiten			45,0%

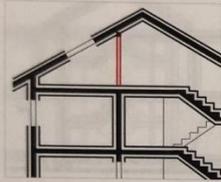
341
Tragende Innenwände



Lebensdauern
Grobelementarten
Stahlbau
Baubauarten

Abbildung 202: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 545

343 Innenstützen



Kosten:
Stand 1.Quartal 2019
Bundesdurchschnitt
inkl. 19% MwSt.

KG.AK.AA		€/Einheit		LB an AA
343.21.00 Betonstütze, Ortbeton, schwer				
01	Betonstütze, Ortbeton, Querschnitt bis 2.500cm², Schalung, Bewehrung (9 Objekte)	120,00	180,00	250,00
	Einheit: m Stützenlänge			
	013 Betonarbeiten			100,0%
02	Betonstütze, Ortbeton, Querschnitt 24x24cm, Schalung, Bewehrung (5 Objekte)	87,00	110,00	130,00
	Einheit: m Stützenlänge			
	013 Betonarbeiten			100,0%
03	Betonstütze, Ortbeton, Querschnitt 20x20cm, Schalung, Bewehrung (3 Objekte)	93,00	98,00	110,00
	Einheit: m Stützenlänge			
	013 Betonarbeiten			100,0%
04	Rundstütze, Ortbeton, D=20-30cm, Schalung, Bewehrung (5 Objekte)	120,00	150,00	170,00
	Einheit: m Stützenlänge			
	013 Betonarbeiten			100,0%
343.24.00 Betonstütze, Fertigteil, schwer				
01	Betonfertigteil-Stütze, bxd=40x40-70x70cm, l=8,50-12,28m, Bewehrung (3 Objekte)	180,00	250,00	300,00
	Einheit: m Stützenlänge			
	013 Betonarbeiten			100,0%
343.41.00 Metallstütze, Profilstahl				
01	Profilstahlstütze mit Rostschutzbeschichtung, Schraub- und Schweißverbindungen (5 Objekte)	110,00	150,00	190,00
	Einheit: m Stützenlänge			
	031 Metallbauarbeiten			100,0%

Abbildung 203: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 548

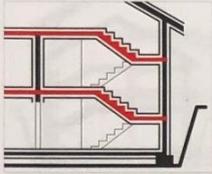
351	KG.AK.AA	€/Einheit	LB an AA	
Deckenkonstruktionen				
 <p>Kosten: Stand 1.Quartal 2019 Bundesdurchschnitt inkl. 19% MwSt.</p>	351.15.00	Stahlbeton, Ortbeton, Platten		
	01	Deckenplatten, Ortbeton, d=18-20cm, Unterzüge, Schalung, Bewehrung (31 Objekte)	110,00 130,00 180,00	
		Einheit: m ² Deckenfläche		
		013 Betonarbeiten		100,0%
	02	Deckenplatten, Ortbeton, d=25cm, Unterzüge, Schalung, Bewehrung (7 Objekte)	110,00 150,00 160,00	
		Einheit: m ² Deckenfläche		
		013 Betonarbeiten		100,0%
	03	Deckenplatten, Ortbeton, d=30-40cm, Unterzüge, Schalung, Bewehrung (5 Objekte)	140,00 170,00 190,00	
		Einheit: m ² Deckenfläche		
		013 Betonarbeiten		100,0%
	06	Deckenplatten, Ortbeton, d=20-22cm, Unterzüge, Schalung, Bewehrung (14 Objekte)	110,00 130,00 150,00	
		Einheit: m ² Deckenfläche		
		013 Betonarbeiten		100,0%
		351.25.00	Stahlbeton, Fertigteil, Platten	
	01	Stahlbeton-Deckenplatten als Fertigteile oder als teilelementierte Decken, d=16-20cm, Bewehrung (26 Objekte)	84,00 110,00 140,00	
	Einheit: m ² Deckenfläche			
	013 Betonarbeiten		100,0%	
	03	Stahlbeton-Deckenplatten als Fertigteile oder als teilelementierte Decken, d=22cm, Bewehrung (3 Objekte)	100,00 110,00 110,00	
	Einheit: m ² Deckenfläche			
	013 Betonarbeiten		100,0%	
	351.26.00	Stahlbeton, Fertigteil, Platten-Balken		
	01	Spannbeton-TT-Decken, l=6,10m, Plattenbreite 2,50-3,00m, d=10cm, Vernähen der Längsseiten, Verschweißen der TT-Platten, Überbeton, d=10cm, Bewehrung, Unterzüge (3 Objekte)	220,00 230,00 240,00	
	Einheit: m ² Deckenfläche			
	013 Betonarbeiten		100,0%	
	351.41.00	Vollholzbalken		
	01	Holzbalkendecke, BSH-Balken, 12/12cm, nicht sichtbar, Mineralfaserdämmung zwischen Deckenbalkenlage, Schalung d=22mm, Kleineisenteile (4 Objekte)	78,00 91,00 100,00	
	Einheit: m ² Deckenfläche			
	016 Zimmer- und Holzbauarbeiten		100,0%	

Abbildung 204: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S. 560

KG.AK.AA		€/Einheit	LB an AA	
361.15.00 Stahlbeton, Ortbeton, Platten				
01	Betondach, Ortbeton, d=18-20cm, Unter- und Überzüge, Schalung, Bewehrung (14 Objekte)	120,00	140,00	170,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
02	Betondach, Ortbeton, d=25cm, Unter- und Überzüge, Schalung, Bewehrung (9 Objekte)	130,00	140,00	160,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
03	Betondach, Ortbeton, d=30-40cm, Unter- und Überzüge, Schalung, Bewehrung (3 Objekte)	150,00	160,00	170,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
361.25.00 Stahlbeton, Fertigteil, Platten				
01	Dach aus Stahlbeton-Fertigteilen mit Ortbetonergänzungen, Beischalung, Aufbeton aus Normalbeton, d=13-15cm (5 Objekte)	76,00	82,00	89,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
02	Dach aus Stahlbeton-Fertigteilen mit Ortbetonergänzungen, Beischalung, Aufbeton aus Normalbeton, d=25cm (3 Objekte)	130,00	150,00	180,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
03	Dach aus Stahlbeton-Fertigteilen mit Ortbetonergänzungen, Beischalung, Aufbeton aus Normalbeton, d=20-30cm (8 Objekte)	120,00	130,00	140,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	013 Betonarbeiten			100,0%
361.34.00 Metallträger, Blechkonstruktion				
01	Stahlträger aus Profilstahl verschiedener Dimensionen als tragende Dachkonstruktion (7 Objekte)	92,00	180,00	220,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	017 Stahlbauarbeiten			100,0%
02	Fachwerkträger aus Profilstahl als tragende Konstruktion für Trapezblechdächer, mit aussteifender Trapezblechschale (3 Objekte)	290,00	310,00	350,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	017 Stahlbauarbeiten			71,0%
	020 Dachdeckungsarbeiten			8,0%
	022 Klempnerarbeiten			14,0%
	034 Maler- und Lackierarbeiten - Beschichtungen			7,0%
361.42.00 Vollholzbalken, Schalung				
01	Nadelholz-Dachkonstruktion, Holzschutz, Dachschalung, d=24mm (10 Objekte)	71,00	93,00	120,00
	Einheit: m ² Dachfläche			
	016 Zimmer- und Holzbauarbeiten			100,0%

361 Dachkonstruktionen



Lebensdauer
Grobelementarten
Stahlbau
Gebrauchsorten
Kostengruppen

© BKI Baukosteninformationszentrum; Erläuterungen zu den Tabellen siehe Seite 48

Kostenstand: 1.Quartal 2019, Bundesdurchschnitt, inkl. 19% MwSt.

Abbildung 205: BKI_Bauelemente Neubau 2019_S

6.b Planunterlagen Projekt Wuppertal

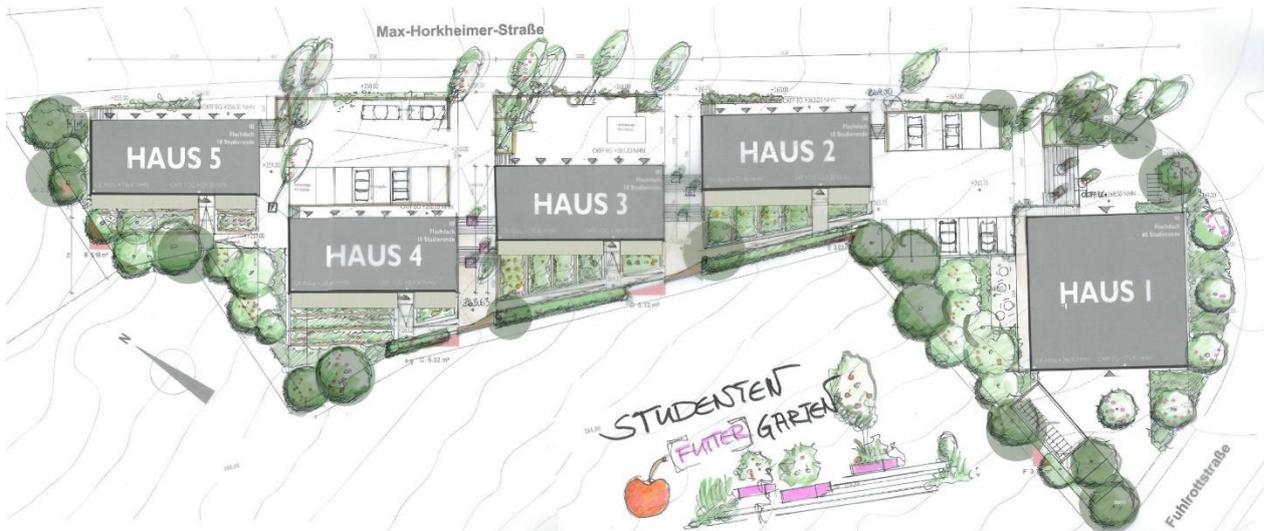


Abbildung 206: Übersichtslageplan o M, [FSWLA Landschaftsarchitektur GmbH]

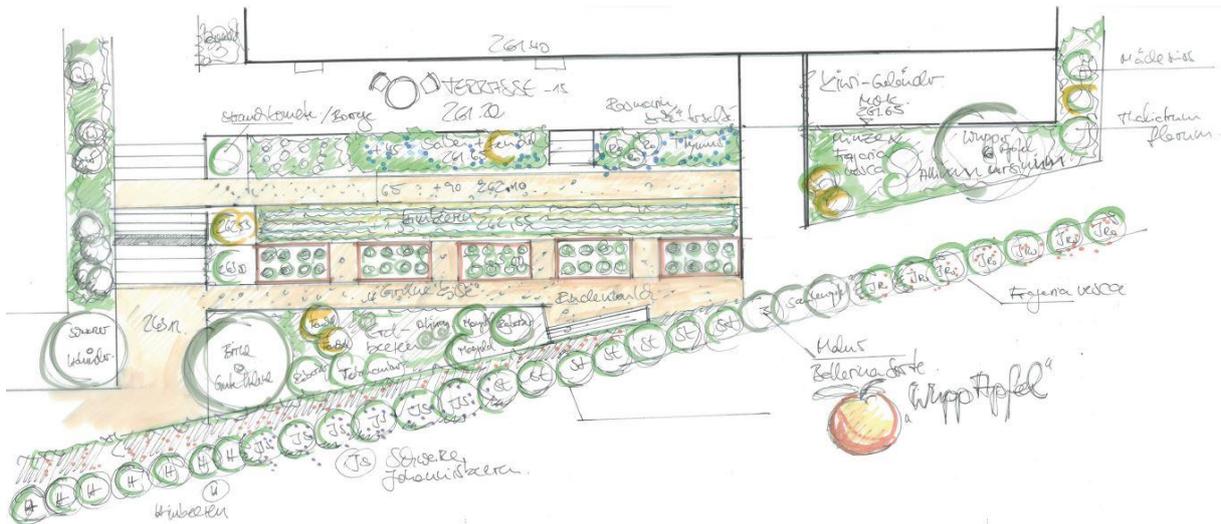


Abbildung 207: Skizze des Freiraumkonzepts o M, [FSWLA Landschaftsarchitektur GmbH]



Abbildung 208: Skizze des Freiraumes im Schnitt o M, [FSWLA Landschaftsarchitektur GmbH]



Abbildung 209: Haus 168 Ansicht Nord-West M 1:250, ACMS Architekten GmbH



Abbildung 210: Haus 168 Ansicht Nord-Ost M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 211: Haus 168 Ansicht Süd-Ost M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

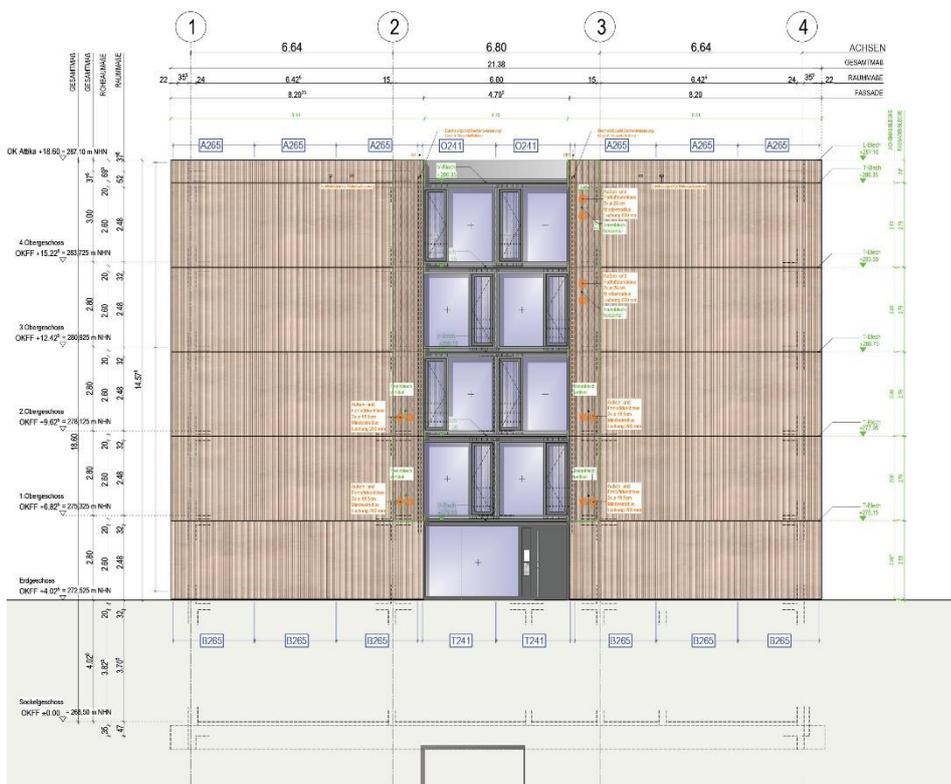


Abbildung 212: Haus 168 Ansicht Süd-West M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

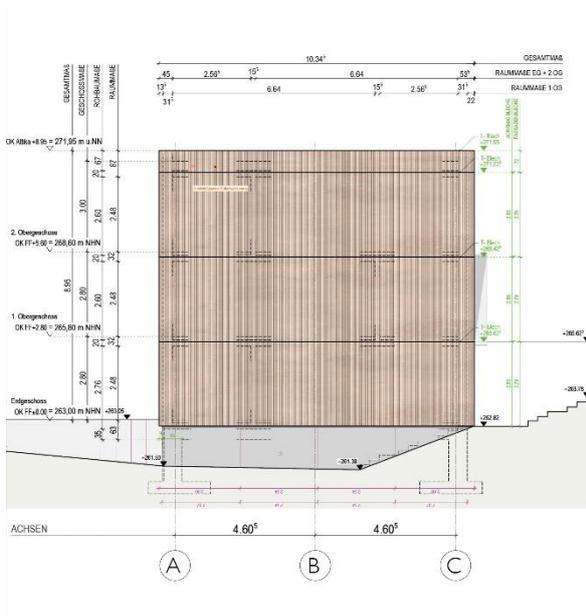


Abbildung 213: Haus 166 Ansicht Nord-West M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

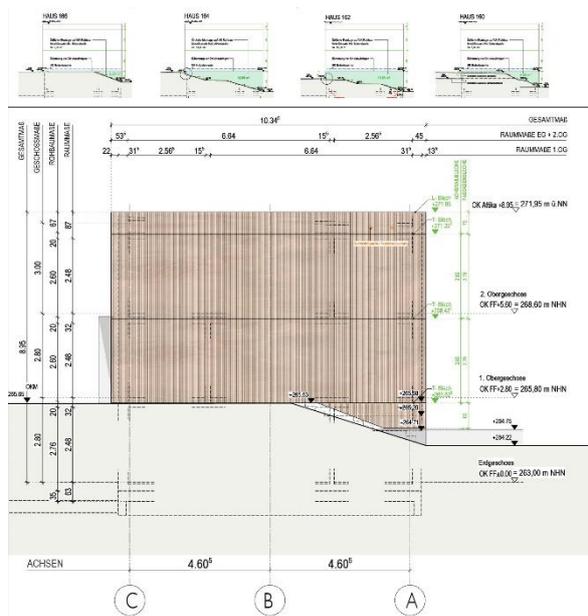


Abbildung 214: Haus 166 Ansicht Süd-Ost M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 215: Haus 166 Ansicht Nord-Ost M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

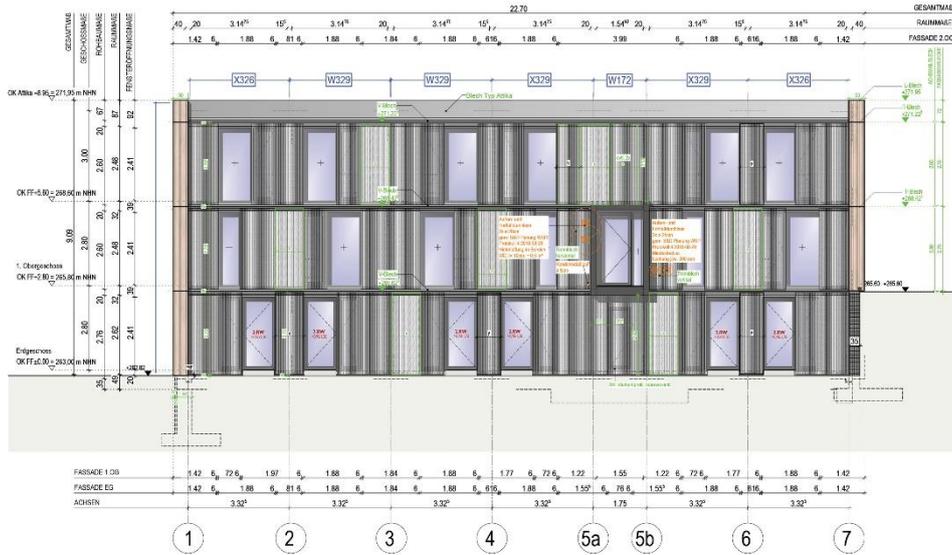


Abbildung 216: Haus 166 Ansicht Süd-West M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

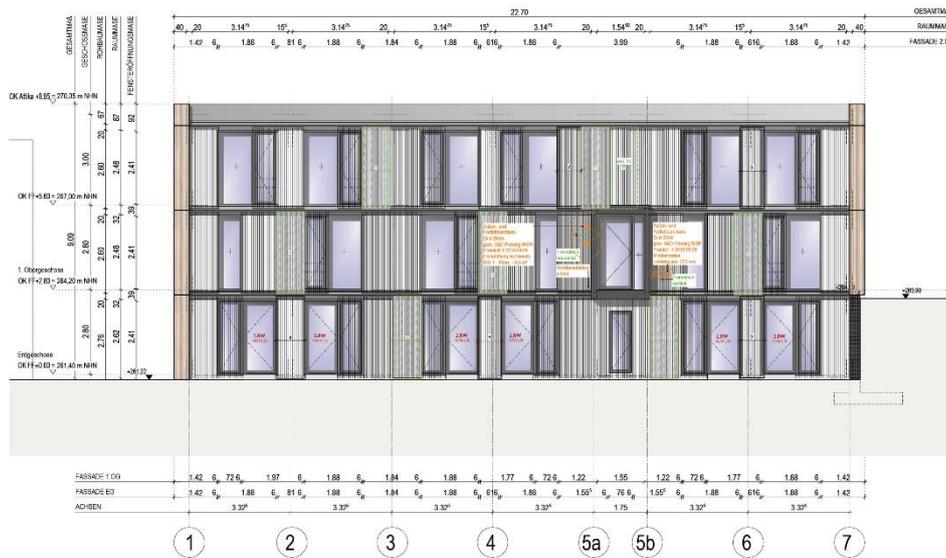


Abbildung 217: Haus 164 Ansicht Süd-West M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 218: Haus 164 Ansicht Nord-Ost M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

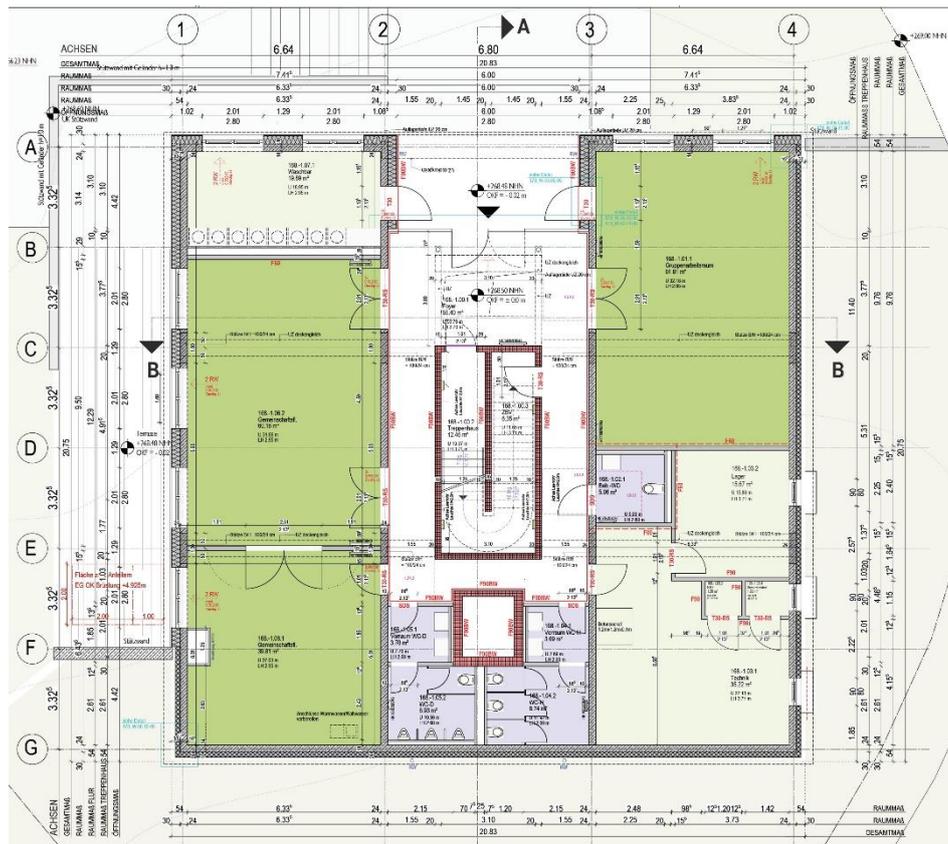


Abbildung 219: Haus 168 Grundriss Sockelgeschoss M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 220: Haus 168 Grundriss Erdgeschoss M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 221: Haus 168 Grundriss 1. Obergeschoss M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

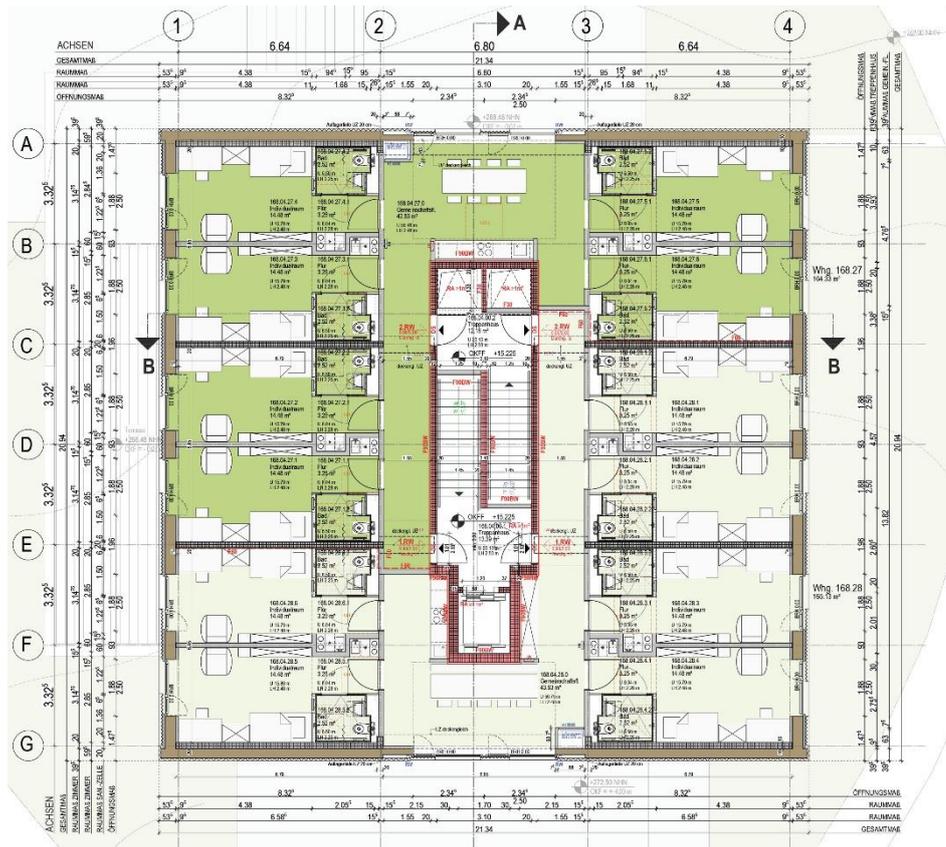


Abbildung 222: Haus 168 Grundriss 4. Obergeschoss M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

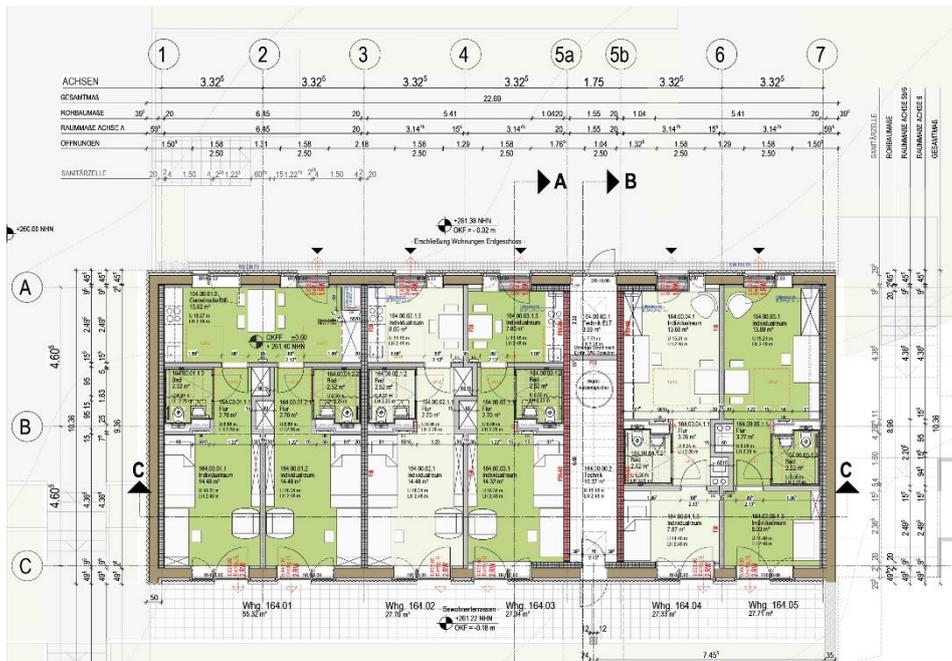


Abbildung 223: Haus 164 Grundriss Erdgeschoss M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

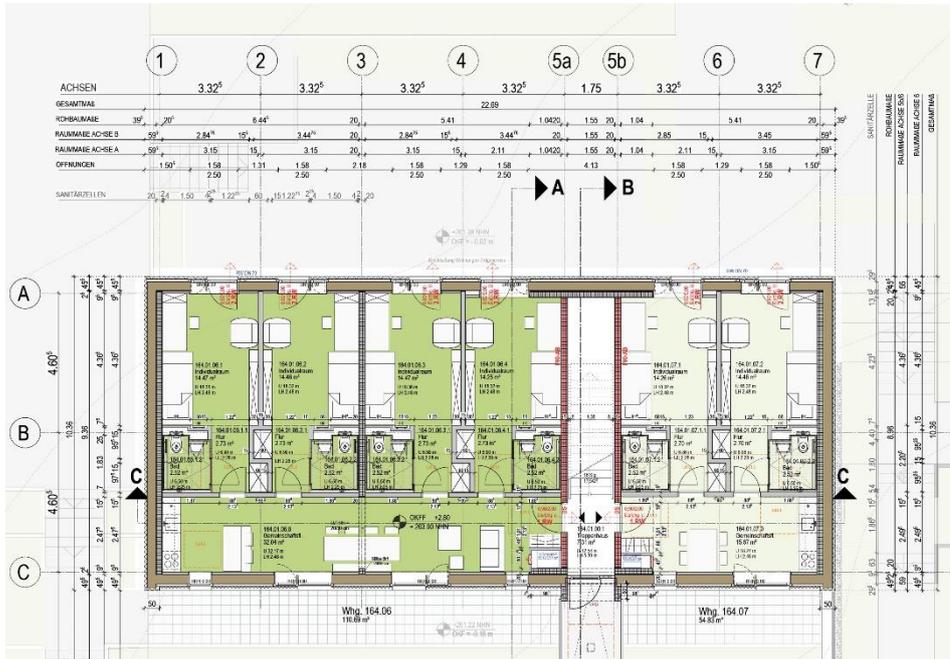


Abbildung 224: Haus 164 Grundriss 1. Obergeschoss M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

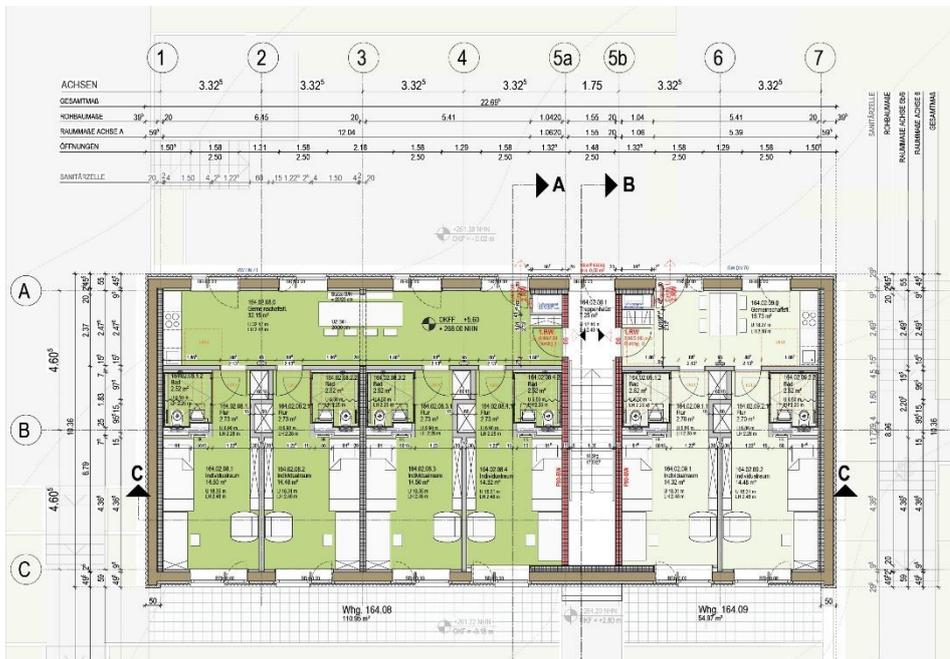


Abbildung 225: Haus 164 Grundriss 2. Obergeschoss M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

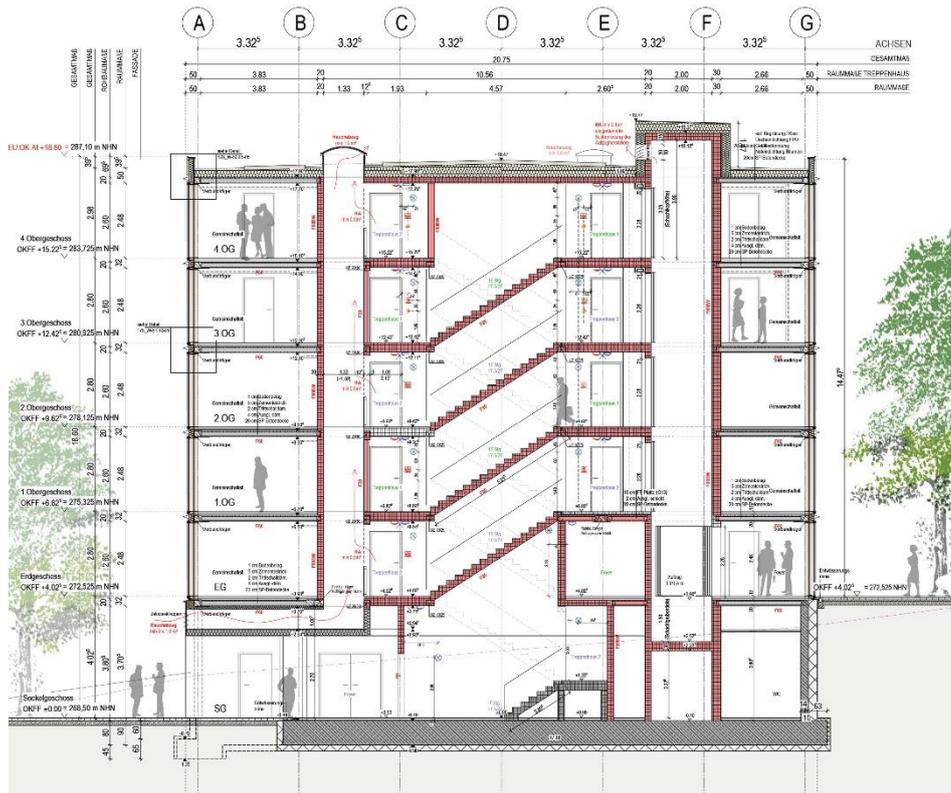


Abbildung 226: Haus 168 Schnitt A-A M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]



Abbildung 227: Haus 168 Schnitt B-B M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

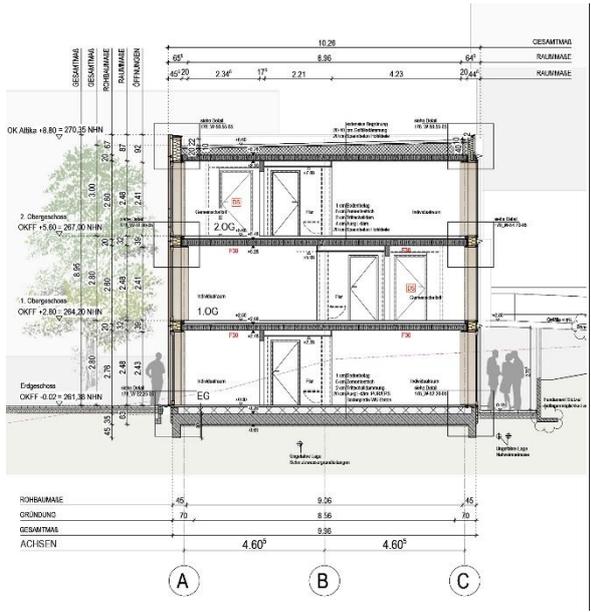


Abbildung 228: Haus 164 Schnitt A-A M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

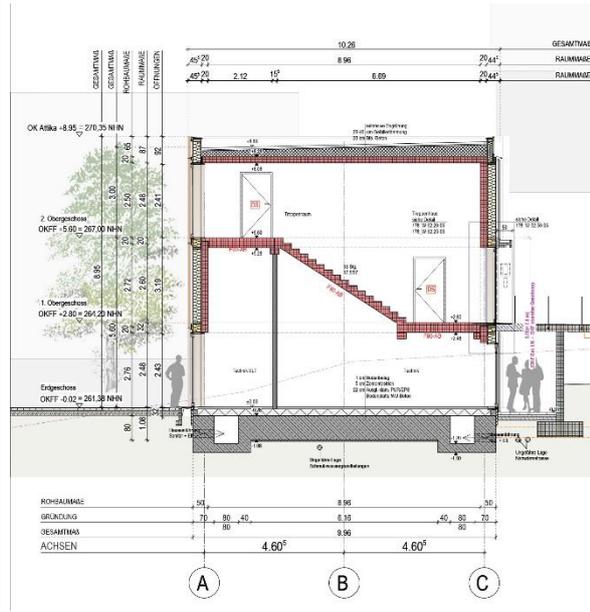


Abbildung 229: Haus 164 Schnitt B-B M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]

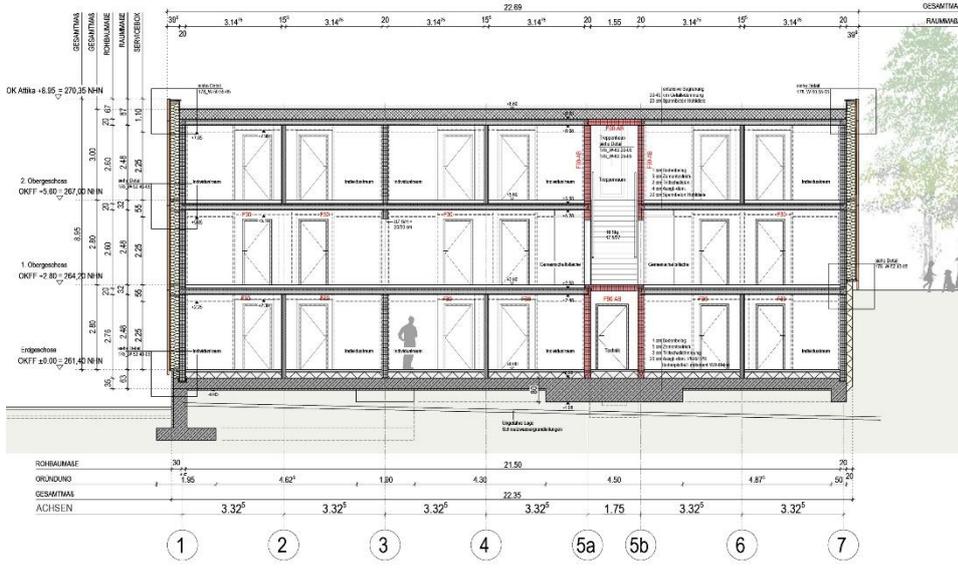


Abbildung 230: Haus 164 Schnitt C-C M 1:250, [ACMS Architekten GmbH]