

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 Holzbauelementen 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 Fertigteilsystemen. Jeder Fertigteilerhersteller hat seine eigenen Zulassungen und herstellereigene Verwendungsvorschriften. Dem zur Folge kann eine Fertigteilverplanung nicht systemunabhängig erfolgen. Allgemeingültige statische Berechnungen, wie sie der Tragwerksplaner in einer

konventionellen Rohbauplanung fertig, 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 herstellerspezifisch angepasst werden, kann dies zu erheblichen Zeitverzögerungen in der technischen Vorbereitung der Baustelle führen. Insbesondere wenn in einem Bauvorhaben mehrere Fertigteilsysteme 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 ungeregelt 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 Platzmehrbedarf 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.

Holztafelelemente

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 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 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.

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 unverständlichlicherweise 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 CO₂äq. eher teuer sind im Vergleich zu alternativen Dämmstoffen aus Holzfaser oder Zellulose mit ca. 0,4 Euro/ Tonne eingespartes CO₂äq.

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 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 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 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. 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.