

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Universität Stuttgart – Fakultät 1 Architektur und Stadtplanung –
Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen

Förderkennzeichen:

01RI0722A

Vorhabenbezeichnung:

„Homes (24) – Das schnellste Haus der Welt – Praxisnahe Untersuchung und Demonstration der Einsatzfähigkeit innovativer Montagetechnologie für den integrierten Fertighausbau im Bereich des Massivbaus an konkreten Objekten

Laufzeit des Vorhaben:

01.11.2007 – 31.08.2009



Inhaltsverzeichnis

Schlussbericht	1
Inhaltsverzeichnis	2
I Kurzdarstellung.....	3
I.1 Aufgabenstellung	3
I.2 Voraussetzung für die Vorhabensdurchführung	4
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand	6
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
II Eingehende Darstellung.....	9
II.1 Verwendung der Zuwendung	9
II.2 Zahlenmäßiger Nachweis	11
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	12
II.4 Voraussichtlicher Nutzen – fortgeschriebener Verwertungsplan	14
II.5 Fortschritt bei anderen Stellen	15
II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	16
Anhang A: Verwendete Literatur	17

I Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Das Schnellverbindersystem munitec bildet den Ausgangspunkt zur Entwicklung einer integrierten Systembauweise. Neben der Möglichkeit, Bauteile kraftschlüssig miteinander zu verbinden, beinhaltet das System gleichzeitig die notwendigen Komponenten, bereits in das Element integrierte Medienleitungen für Wasser oder Strom über die Elementfuge hinweg zu koppeln. Die Verkettung erfolgt im Moment der Montage durch das Zusammenfahren im Prinzip gleichartiger, jedoch spezialisierter Verbinder.

Dieses Konzept ermöglicht und erfordert eine Neubewertung der bekannten Bauabläufe. Dem Rohbau normalerweise nachfolgende Ausbauarbeiten werden bereits vor der Montage bei der Fertigung der Elemente im Werk durchgeführt. Das System ermöglicht damit die Integration von Gewerke im Prozess der stationären Vorfertigung. Um das Schnellverbindersystem erfolgreich im Elementbau einsetzen zu können, muss sich sowohl die Fertigungs- als auch die Montagetoleranz in definierten Grenzen bewegen. Es galt zu klären, inwieweit die Anforderungen des Systems mit dem heutigen Stand der Fertigungsgenauigkeit korrelieren bzw. die Bedingungen herauszufinden, unter denen ein Einsatz möglich ist. Die zum Ausgleich von Toleranzen und zur Ausbildung einer linearen Kraftübertragung zwischen den Bauteilen weit verbreitete eingesetzte Mörtelfuge steht dem Wunsch entgegen, die hochwertigen Elemente möglichst schnell und sauber zu versetzen. Es wurde deshalb eine alternative Fugenausbildung entwickelt und untersucht, welche sowohl einen zuverlässigen Lastabtrag als auch einen bauphysikalisch korrekten Fugenabschluß gewährleistet. Da die Ausbildung einer trockenen Fuge einen großen Einfluss auf das Nachhaltigkeitskonzept des Gebäudes bezüglich Demontage und Wiederverwertung der Elemente hat, stellt die Entwicklung eines funktionsfähigen Fugenkonzepts einen Schwerpunkt der wissenschaftlichen Bearbeitung dar.

In einer weiterführenden Fragestellung sollte die Möglichkeit geklärt werden, die Elemente als monolithische Konstruktion in Leichtbetonbauweise auszuführen. Dabei wurde der aktuelle Stand der Dämmbetontechnologie den statischen und bauphysikalischen Erfordernissen heutiger Gebäude gegenübergestellt. Zusätzlich wurden während des Vorhabenszeitraums neu veröffentlichte Werkstoffalternativen untersucht, die ein großes Potential aufweisen, die gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Ziel des Vorhabens ist, die erarbeiteten Grundlagen in die Errichtung eines Prototyps einfließen zu lassen. Dazu wurde ein Wohnhaus entworfen, welches die Besonderheiten der Bauweise gut sichtbar widerspiegelt.

I.2 Voraussetzung für die Vorhabensdurchführung

Für die Durchführung des Vorhabens haben sich die Firmen munitec GmbH als Entwickler und Patentinhaber der Verbindungstechnologie und die Beton Kemmler GmbH als Betonfertigteilhersteller mit großer Erfahrung im aktuellen Stand der Technik bezüglich medienintegrierter Bauteile durch den Abschluss von F&E Verträgen am Projekt beteiligt. Im Rahmen der Projektaufstockung, die eine Ausweitung der Fragestellung in Richtung monolithische Wandkonstruktionen mit sich brachte, wurde als weiterer Partner ebenfalls durch Abschluss eines F&E-Vertrages das Forschungsinstitut solites in das Projekt involviert. Dieser Schritt erwies sich als richtig auch hinsichtlich der komplexen bauphysikalischen Fragestellung bezüglich der Fugenentwicklung und des Gesamtenergiekonzepts des Prototyps.

Die Beton Kemmler GmbH kann als typischer mittelständischer Vertreter der Fertigteilindustrie gesehen werden. Der technische Stand der Anlagentechnik im vorhabensrelevanten Werksabschnitt ist repräsentativ für den Automatisierungsgrad und die Produktionsgenauigkeit deutscher Fertigteilwerke. Die Firma ist an mehreren, thematisch unterschiedlich ausgerichteten Forschungsprojekten beteiligt und hat sich bereits in Vorarbeiten mit dem munitec-System als sehr innovationsfreudig gezeigt.

Die Entwicklung des Schnellverbindersystem, ursprünglich begonnen an der TU München, wird durch die Firma munitec GmbH vorangetrieben. Im Rahmen einer Objekt-orientierten Entwicklung wird die Produktfamilie ständig verbessert und erweitert.

Das ITKE verfügt über ein Prüflabor, in dem die Festigkeitseigenschaften der relevanten Systemkomponenten getestet und dokumentiert wurden. Im Rahmen der Leichtbetonuntersuchungen wurden Materialparameter für die untersuchten Mischungen ermittelt. Weitreichende Erfahrungen im Bereich der Tragwerksentwicklung und Simulation ermöglichen eine fundierte Beurteilung des Systems nach statischen Gesichtspunkten.

Das Forschungsinstitut solites verfügt über ein weitreichendes Erfahrungsspektrum im Bereich der energetischen Optimierung, welches beginnend bei Detailfragen in der Fuge bis hin zu Fragen des Energiekonzepts des Gesamtgebäudes wertvolle Entwicklungsimpulse liefert.

Als unmittelbare Auswirkung der Finanz- und Immobilienkrise ist die Firma munitec durch die Ausgliederung aus der Firma mammut 2009 in einen finanziellen Engpass geraten. In dieser Situation ist die Finanzierung des Bauvorhabens zum aktuellen Zeitpunkt durch den Bauherrn nicht möglich. Aktuell laufen Bemühungen die Zukunft der Firma munitec durch einen neuen Käufer und Vertriebspartner zu sichern. Im direkten Anschluss wird die Realisierung des Prototyps in Angriff genommen werden.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeitsplanung des Prototyps wurde thematisch auf Arbeitsgruppen aufgeteilt. Die Koordination der Arbeitssitzungen wurde abhängig vom thematischen Schwerpunkt durch die munitec GmbH und das ITKE wahrgenommen. Die beteiligten Fachpartner erbrachten Ihre Entwicklungsleistung aus betriebseigenen Ressourcen.

Einen ersten Schwerpunkt in der Projektarbeit bildete die Ausarbeitung eines aussagekräftigen Entwurfs, an dessen Beispiel die neue Bauweise demonstriert werden kann. Diese Aufgabe wurde durch Herrn Prochiner in seiner Funktion als Architekt und Bauherr übernommen. Die Objektplanung schritt dabei sowohl in architektonischen als auch in statischen Fragen in enger Abstimmung mit dem ITKE voran. Die Genehmigungsphase des Bauprojekts erstreckte sich im Anschluss daran von Mai 2008 bis Februar 2009. Durch eine Modifikation des Entwurfs mit geneigten Dachflächen (Pultdach) und einer Anhebung der Traufhöhe konnte die geforderte städtebauliche Einbindung erzielt werden, deren Verfehlung durch die ursprüngliche Planung noch im August 2008 zu einer vorläufigen Ablehnung führte. Ab November 2008 wurde die Objektplanung zusätzlich vom Aspekt des Gesamtenergiekonzepts des Hauses beeinflusst. Mit dem beauftragten Statikbüro wurde gemeinsam ein statisches Konzept des Gebäudes erarbeitet, das eine möglichst weitreichende Aktivierung des Powercon Verbinders als lastabtragendes Verbindungselement vorsieht. Das ITKE liefert durch Bauteilversuche den Nachweis, dass der Powercon Verbinder die auftretenden Lasten sicher übertragen kann. Aus der Rückkopplung der energetischen Optimierung und den statischen Erfordernissen ergaben sich Entwurfsänderungen, die in mehreren Schritten zu einem insgesamt kompakteren Baukörper führten.



Abb. 1: Prototyp Homes (24)

Neben der eigentlichen Objektplanung liefen parallel Materialuntersuchungen an drei unterschiedlichen Leichtbetonrezepturen, die für das Objekt in Erwägung gezogen wur-

den. Die Untersuchungen zeigten jedoch, dass der erzielbare Dämmwert mit einer Wand aus gefügedichtem Leichtbeton nur mit einer für den Fertigteilbau inakzeptablen Wandstärke erfüllt werden kann. Mit der Novellierung der EnEV 2009 und der zukünftigen, weiteren Herabsetzung der Grenzwerte kann Leichtbeton nur unter Einsatz zusätzlicher Dämmung die Anforderungen erfüllen. Hier besteht Entwicklungsbedarf, um weiterhin Leichtbeton als Baustoffalternative für zukünftige Anwendungen einsetzen zu können. Als direkte Folge wurde der Wandaufbau des Objekts als Sandwichwand festgelegt. In weiterführenden Untersuchungen im Rahmen der Projektaufstockung konnte bereits ein Material identifiziert werden, welches in der Lage ist, die steigenden Anforderungen zu erfüllen.

Das entwickelte Wand- und Fugenkonzept wurde in einem Produktions- und Montageversuch an zwei Wandelementen getestet. Die gewonnenen Erfahrungen werden im Erfolgskontrollbericht aufgeführt.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Werkstoffeigenschaften der Leichtbetonproben wurden durch genormte Versuche und Untersuchungsmethoden ermittelt. Die Festigkeiten sowie das elastische Verformungsverhalten wurde entsprechend DIN 1048 – Prüfverfahren für Beton – ermittelt. Die Biegezugversuche wurden nach den Vorgaben aus der DIN EN 12390-5 mit mittigem Lasteintrag durchgeführt. Die Auszugsprüfungen der Bewehrung wurden nach den Empfehlungen der RILEM für Auszugsversuche durchgeführt. Die Wärmeleitfähigkeit der Proben wurde gemäß DIN 52612 in der Zweiplattenapparatur ermittelt.

Im Bereich des Montagebaus mit Betonfertigteilelementen existieren eine Vielzahl von Systemen und Hersteller, welche auf diesem Markt miteinander konkurrieren. Allen diesen Systemen ist gemeinsam, dass die vollständige statische Aktivierung der Verbindung in der Regel durch einen nachträglichen Fugenverguss erfolgt. Beiträge zur Steigerung der Nachhaltigkeit bei Betonbauwerken durch den Einsatz trockener Verbindungsmethoden erfolgten seit Mitte der 1970er Jahre. Diesen Bemühungen lag die Erkenntnis zugrunde, dass eine Wiederverwertung des Verbundwerkstoffs Beton aufgrund der schwierigen Trennung der Werkstoffkomponenten nur die letzte Wahl im Recyclingprozess sein kann. Vielmehr ist eine Wiederverwendung auf Elementebene anzustreben. Dieses Konzept erfordert jedoch den zerstörungsfreien Rückbau des Gebäudes. Um dieses Ziel zu erreichen, werden vielfältige Anstrengungen auf diesem Gebiet unternommen. Das Institut für Fertigteiltechnik Weimar errichtete 2001 eine Skelettkonstruktion auf der Basis lösbarer Verbindungen ohne Verguss. Zu diesem Zweck wurde ein Last übertragendes Stahldetail entwickelt, welches die Erweiterung bzw. die zerstörungsfreie Demontage der Struktur ermöglichte. Die erforderliche Bauteilinformation wurde in diesem Fall durch oberflächennah eingebaute Funkchips in den Elementen selbst archiviert und kann bei Bedarf berührungslos ausgelesen werden (Horschig). Alle recherchierten Beispiele befassen sich jedoch ausschließlich mit dem statischen Aspekt der Verbindungsfrage. Nach dem aktuellen Stand der Literatur-

recherchen stellt das System munitec nach wie vor den einzigen Ansatz dar, der die kraftschlüssige Verbindung zwischen Bauteilen und die Verbindung bereits integrierter Medienleitungen über die Fuge konzeptionell vereint.

Die Recherche der Fachliteratur erfolgte durch die systematische Abfrage diverser Datenbanken nach relevanten Schlagworten. Die wichtigsten drei sind in diesem Zusammenhang:

- RSWB Plus (WWW)
- ZDB-OPAC Zeitschriftendatenbank
- Perinorm / DIN Normen

Die relevanten, in Literaturangaben aufgeführten Quellen wurden recherchiert und beschafft. Die Literaturneuerscheinungen während des Projektzeitraums wurden gesichtet und auf ihre Relevanz bewertet. Eine Liste der verwendeten Literatur findet sich im Anhang des Berichts.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In dieser Auflistung sind die Firmen aufgeführt, die das Forschungsprojekt durch Materialspenden oder anderweitige Hilfestellung unterstützt haben:

- | | |
|----------------------------|---|
| – Cabot | Materialspende Aerogele |
| – German Sucon GmbH | Unterstützung Suspensionsbetonversuche |
| – Halfen | Materialspende Sandwichanker |
| – Hanno | Materialspende Kompriband |
| – IBP | Wärmedurchgangsmessungen |
| – ITW | Wärmedurchgangsmessungen |
| – Misapor | Materialspende Glasschaumgranulat |
| – Neopor GmbH | Unterstützung Laborversuche Schaumbeton |
| – Pagel Spezial Beton GmbH | Quellzement für Fugenverpressung |
| – Wiesbauer Krane | Beratung Montageplanung |
| – Xella (Ytong) multipor | Entwicklung nachhaltige Sandwichfassade |

Des Weiteren wurde mit folgenden Firmen innerhalb der Arbeitsgruppen bei der Entwicklung und der Integration des Verbindersystems zusammengearbeitet. Die Aufzählung erfolgt in alphabetischer Reihenfolge

Tabelle 1: freie Entwicklungspartner

Firma	Tätigkeitsfeld
BASF	Materialentwicklung dämmender Leichtbeton (EPS-Beton)
BT-Innovation	Lösbare Fugendichtung beim wasserdichten Bauen mit Betonfertigteilen
CAD-Dietrich	Integration in System Software für Holzfertigbau
German Sucon	Materialentwicklung dämmender Leichtbeton (Zuschläge Misapor und Liapor)
Glatthaar	trocken errichtbare Fertiggeller
Halfen	Nachhaltiges Sandwichfassadensystem
Knecht	trocken errichtbare Fertiggeller
Miele	Küchenmöbel mit integrierter Stecktechnik
Nemetschek AG	Integration in System Software - Fertigteilversion von Allplan
Strähle	voll integrierte Trennwände im Büro Innenausbau
Villa Rocca	Badezimmermöbel aus Beton zum Andocken
Walch Fenster	Herstellung andockbarer Fenstermodule
Wicona Ulm	Herstellung andockbarer Fassadenmodule
Würth Solar	Direkte Integration von PV-Module in Fertigteilelemente
Xella	Nachhaltiges Sandwichfassadensystem

II Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendung ist für die Demonstration des Verbindungssystems munitec in einem prototypischen Versuchsbau gewährt worden, mit dem Ziel, die Funktionsweise des Systems einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren. Neben der Beschleunigung des Montageablaufs kann durch den Wegfall nachfolgender Gewerke auf der Baustelle ein Bauvorhaben wesentlich schneller durchgeführt werden. Diesem Umstand wurde im Projekttitel durch den Zusatz „24“ Rechnung getragen.

Das Konzept der Steckverbindung von Elementen beinhaltet jedoch auch die Möglichkeit, das Gebäude nach seiner geplanten Lebensdauer zerstörungsfrei rückzubauen und die Elemente einem neuen Verwendungszweck zuzuführen. Dieser Ansatz erfordert jedoch eine vertiefte Untersuchung der Last übertragenden Komponenten des Systems munitec in Bezug auf statische Aspekte. Die zu beantwortende Frage lautet: Auf welche Weise kann man das ursprünglich auf Montageunterstützung ausgelegte System für einen derartigen Paradigmenwechsel ertüchtigen? Der Verguss der Fugen ermöglicht die einfache Ausbildung eines als zuverlässig bekannten statischen Systems. Um die Elemente jedoch sauber trennen zu können, muss von einem Verguss der Elemente zu einem monolithischen Ganzen abgesehen werden. Ein untersuchter Ansatz ist deshalb die Übertragung der statischen Lasten durch die punktuelle Verbindung der Bauteile durch das System munitec. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz verschiedener Materialien in der Fuge, die jeweils spezialisiert unterschiedliche Aufgaben wahrnehmen. So wird ein nachträglicher Verguss in einem abgeschlossenen Fugenraum untersucht, der durch Einsatz von Trennfolien keinen Verbund mit benachbarten Bauteilen eingeht. Die Dämmung und Dichtung der Fuge erfolgt wiederum mit anderen Materialien, die auf die Bedürfnisse des Montagebaus abgestimmt werden müssen. Eine Materialauswahl, sowie die Konzeption einer trockenen Fuge wurden mit Hilfe von solites erarbeitet und untersucht. Die experimentelle Auswertung zeigt die Belastbarkeit und Festigkeit der Komponenten des Systems munitec. Durch eine gezielte Überarbeitung lässt sich das System zur Anwendung als statisches Verbindungsmittel ertüchtigen.

Aufgrund fertigungstechnischer Ansprüche ist es erstrebenswert mit monolithischen Wänden zu arbeiten. Zum einen fällt in der Fertigung ein Minimum an Prozessschritten an, zum anderen wird der Einbau der zu integrierenden Medienleitung erheblich vereinfacht, da wesentlich mehr Platz zur Verfügung steht. Um die erforderliche Integration der Dämmfunktion in der Wand zu erreichen, erfolgte eine intensive Beschäftigung mit Leichtbetonbauweisen. Das grundsätzliche Dilemma dieses Werkstoffs liegt darin begründet, dass Dämm- und Festigkeitseigenschaften gegenläufig gerichtet sind. Als erster Schritt wurde die vorhandene Bandbreite an Leichtbetonmaterialien recherchiert.

Die vorhandenen Materialien unterscheiden sich im Wesentlichen durch die verwendeten Zuschläge und dem Porenanteil in der Zementmatrix. Aus dieser Bandbreite wurden zwei leistungsfähige, marktübliche Zuschläge ausgewählt. Unter Anwendung der Suspensionsbetontechnologie wurden drei verschiedene Mischungsentwürfe hergestellt, welche auf ihre Festigkeits- und Wärmeleitfähigkeit hin untersucht und ausgewertet wurden. In einem weiteren Schritt wurde die Rückverankerung der Verbinder in Wandbauteilen experimentell an großen Probekörpern untersucht (Abb.2). Da die erzielten Dämmeigenschaften der Leichtbetonproben nicht den Erfordernissen des modernen Wohnungsbaus genügen, wurde für die Objektausführung eine Sandwichwand gewählt. Die Arbeiten zum Thema monolithischer Wandaufbau wurden jedoch durch einen Fachartikel in der Zeitschrift Stahlbetonbau 4/2008 in eine neue, vielversprechende Richtung gelenkt. Neue Leichtbetonwerkstoffe bestehend aus einer gefügedichten Zementmatrix und Aerogele als Zuschlag weisen ein enormes Dämmvermögen, eine hohe Brandbeständigkeit sowie einen hohen Schallschutz auf. Es wurde eine Reihe von Mischversuchen und Untersuchungen der Wärmeleitfähigkeit unternommen, um das Potential des Materials zu verdeutlichen.

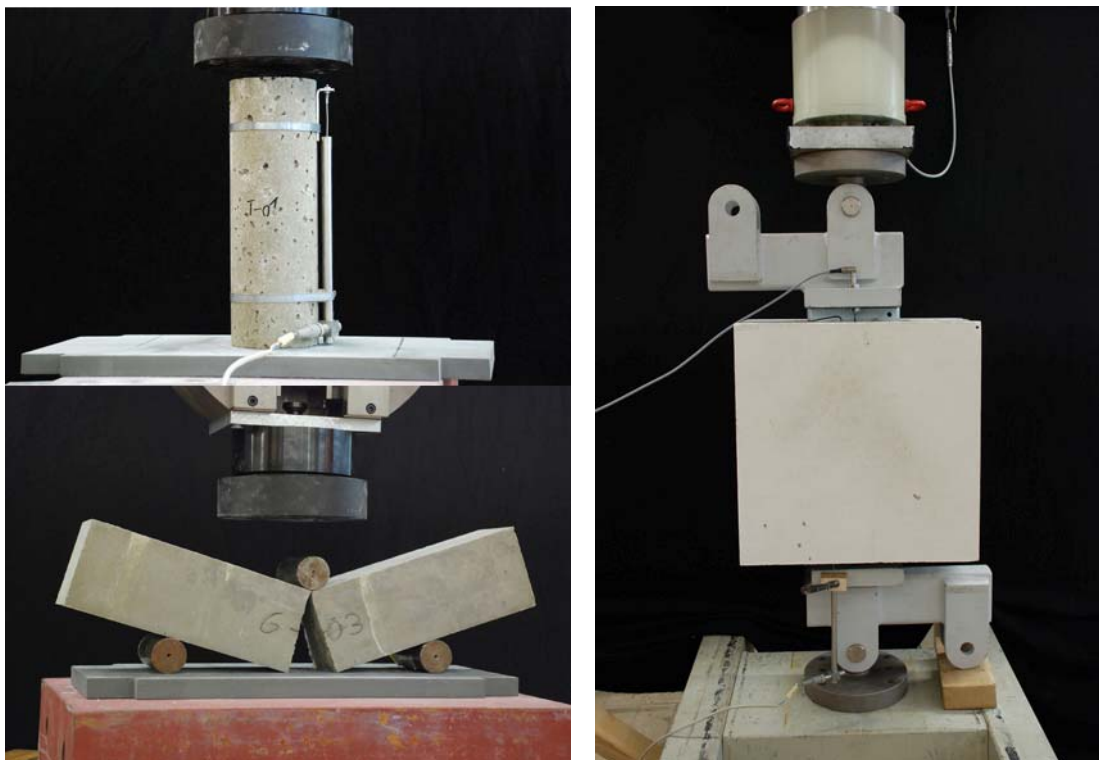


Abb.2: Material- und Bauteilversuche mit munitec System

Die Zuwendung teilt sich in den Anteil für die Vergabe von Aufträgen an die externen Partner (50%) und den Anteil an das ITKE (50%) auf. Der Institutsanteil setzt sich aus dem Personalanteil der wissenschaftlichen Mitarbeiter (67%) und der Hiwis (22%), insgesamt 89% und den sächlichen Ausgaben mit 11% zusammen. Innerhalb der sächlichen Ausgaben wurden Messaufnehmer und Prüfeinrichtungen für die experimentelle Untersuchung und eine Videoausrüstung zur Dokumentation aller experimentellen

Vorhaben angeschafft. Zusätzlich wurde die Einrichtung eines leistungsfähigen Arbeitsplatzes und der zugehörigen Software zur Erstellung eines Animationsfilms sowie der Bearbeitung der Dokumentation und der Durchführung der Simulationen ermöglicht.

II.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Die Position 0812 umfasst die Personalausgaben des ITKE. Insgesamt wurde die Summe von 109.021,00€ zu 98,6% verwendet. Diese Position beinhaltet ebenfalls die Mittel für die Wärmeleitfähigkeitsmessungen am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik in Höhe von 4.960,21€. Diese Summe wurde in Form eines Personalmonats abgegolten.

Die Position 0822 umfasst die Personalausgaben für wissenschaftliche Hilfskräfte. Die genehmigte Summe von 29.440,00€ wurde zu 119,2% verwendet. Der große Arbeitsumfang im Bereich der Vorbereitung des experimentellen Teils aber auch die anschließende Ausarbeitung machte eine Ausweitung des dafür vorgesehenen Aufwands erforderlich.

In Position 0831 wurde eine Summe von 1.967,99€ genehmigt. Dieser Betrag wurde zu 119,1% ausgeschöpft. Sowohl unvorhergesehener Aufwand bei der Vorbereitung der ersten Probekörper für die Wärmeleitfähigkeitsmessungen als auch die Anschaffung von Laborausstattung für die Untersuchungen am Aerogel Leichtbeton waren der Grund für die Überziehung der Position. In diesem Zusammenhang wurden eine hochauflösende Waage und diverse Behälter zu Mess- und Lagerungszwecken angeschafft.

In der Position 0834 waren 400€ für Gerätemiete berücksichtigt, die mit 338,20€ ausgenutzt wurde. Da die geplanten Mietgebühren für die Ausleihe von Schalungen für weitere Leichtbetonversuche nicht erforderlich wurde, sondern die Schalungen von Beton Kemmler entweder direkt hergestellt oder aus dem betriebseigenen Laborbestand verwendet wurden, wurde aus dieser Position die Mietkosten für eine Fußhebelpumpe bestritten. Da die Pumpe nur für einen Versuch benötigt wurde, war eine Anschaffung zu diesem Zweck nicht wirtschaftlich.

Die zahlenmäßig stärkste Position 0835 war mit 159.979,00€ genehmigt. Diese Position wurde zu 100,7% fast nach Plan verwendet. Die dieser Summe zugrunde liegenden Abrechnungen der Partner liegen dem rechnerischen Teil des Schlussberichts bei. Zur Feststellung der Vertragserfüllung wurde mit den einzelnen Forschungspartnern eine Schlussniederschrift vorgenommen.

Die Position 0843 wurde pauschal in einer Höhe 12.221,00€ für Verwaltungsausgaben genehmigt. Dieser Summe standen tatsächliche Ausgaben in Höhe von 2.209,64€ (18,1%) gegenüber. Aus dieser Position werden zum größten Teil die entsprechenden Mehrausgaben aus überzogenen Positionen finanziert.

Die Position 0846 wurde von den ursprünglich gewährten 5.000,00€ für Reisen bereits durch Umwidmung auf 3.732,05€ reduziert. Dieser Betrag wurde dennoch nur zu 59,2% verwendet. Obwohl sogar mehr als die geplanten Reisen durchgeführt wurden, konnte durch sparsame Verwendung eine entsprechende Mittelschöpfung erreicht werden.

Die Position 0850 wurde nicht, wie ursprünglich geplant, für die Anschaffung einer Montagesimulationssoftware verwendet. Es hat sich gezeigt, dass die auftretende Fragestellung sich auch durch das bereits vorhandene CAD-Programm bearbeiten ließ. Der mit diesem Programm verbundene Zusatznutzen der Erstellung von Montageanimationen konnte durch eine explizite Erstellung dieser Sequenzen erfüllt werden. Die dafür erforderliche Aufrüstung von Hard- und Software konnte im Rahmen einer Umwidmung bewerkstelligt werden. Der Restbetrag wurde ebenfalls umgewidmet in eine Prüfausstattung des Labors sowie zusätzliche Aus- und Anbauteilen der Prüfanlage, um die Festigkeitsuntersuchungen des Systems munitec durchführen zu können. Für die Dokumentation wurde eine Videoausrüstung angeschafft. Die dafür genehmigten 10.166,96€ wurden zu 96,1% verwendet.

Insgesamt beträgt die genehmigte Projektsumme 326.928,00€. Über die gesamte Projektlaufzeit traten Ausgaben in Höhe von 320.647,91€ auf. Die genehmigte Projektsumme wurde zu 98,1% verwendet. Augenblicklich befindet sich noch ein negativer Kassenstand von 14.992,88 auf dem Projektkonto, der mit Genehmigung des Verwendungsnachweises ausgeglichen werden muss.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Um einen Prototypen wie das Objekt Homes(24) realisieren zu können, sind alle Leistungsphasen für die Planung eines Hauses durchzuführen. Durch die intensive Abstimmung von Architekt, Statiker und Energieplaner und dem gleichzeitigen Neuheitscharakter des Projekts durch den Einsatz einer Steckverbindung im Elementbau sind eine Vielzahl der Planungsaufgaben durch das Institut übernommen worden. Für die Erstellung von Planunterlagen ist dabei ein deutlicher Anteil der Hiwi-Stunden aufgewendet worden. Die Arbeitszeit wird jedoch effektiver eingesetzt, da Rückfragen sehr schnell geklärt werden können.

Bevor die Planung aufgenommen wurde, sind die zu klärenden Fragen im Rahmen von experimentellen Untersuchungen bearbeitet worden. Die ersten durchgeführten Versuche dienten der Untersuchung der Materialfrage. Da die Tendenz aus bereits genannten Gründen zu einer monolithischen Bauweise geht, wurde untersucht, welche Eigenschaften durch die Kombination der Suspensionsbetontechnologie mit den derzeit leistungsfähigsten, am Markt vorhandenen Zuschlägen (Misapor und Liapor) zu erreichen ist. Untersucht wurden drei Referenzmischungen bezüglich ihrer Festigkeitseigenschaften und der Wärmeleitfähigkeit. Ergänzend wurden als zweiter Schritt größere Probekörper hergestellt, an denen die Rückverankerung der Verbinder im Leichtbeton durch eine eigens entworfene Verankerung sowie der Bewehrungsschlupf getestet werden

konnte. Die Probekörper wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Munitec und der Firma sucon bei der Firma Beton Kemmler hergestellt. Die Prüfung und Auswertung der Probekörper erfolgte im Prüflabor des ITKE. Es zeigte sich, dass die statischen Eigenschaften voll ausreichend sind, jedoch die Wärmeleitfähigkeit aufgrund der zunehmenden Verschärfung der Grenzwerte den Anforderungen in dieser Form bei weitem nicht mehr folgen kann. Eine Anwendung wäre nur mit inakzeptabler Wandstärke oder einer zusätzlichen Dämmmaßnahme möglich gewesen, was jedoch das Konzept der monolithischen Wand „ad absurdum“ führt.

Als Konsequenz aus dieser Untersuchung wurde die Alternative einer Wand aus Schaumbeton untersucht. Um die erforderlichen Dämmwerte zu erzielen, ist jedoch eine Rohdichte um die 150-200 kg/m³ anzustreben. In diesem Dichtebereich ist eine Trennung von tragender und dämmender Funktion notwendig. Die Firma Neopor empfahl sich mit der Aussage, bereits Schaumbeton mit einer Rohdichte von 200 kg/m³ zielsicher hergestellt zu haben. In einer Versuchsreihe wurde geklärt, ab wann im Produktionsablauf auf die Dämmschicht eine schützende Vorsatzschale betoniert werden kann. Dieser Vorgang ist bei einer liegenden Wand diffizil, da die auf zu betonierende Schicht wesentlich schwerer ist, als die darunterliegende Dämmschicht. Es galt den Zeitpunkt herauszufinden, ab wann die Mindestfestigkeit der Schaumbetonschicht diesen Vorgang erlaubt. Die produktionstechnischen Vorteile durch die Verwendung von Schaumbeton wurden als ebenso hoch eingeschätzt, wie bei einer monolithischen Wand. Die Versuche zeigten, dass auch unter Einsatz von Wärmebehandlung eine Fortsetzung der Produktion erst 24h nach Einbringung der Schaumbetondämmschicht erfolgen konnte. Dieser lange Zeitraum erfordert entweder eine enorme Vergrößerung der Produktionskapazität oder eine Umorganisation der Fertigung, um die begonnenen Teile für diesen Zeitraum aus dem Prozess nehmen zu können. In beiden Fällen wären große Investitionen in die Produktionsanlage die notwendige Folge.

Aus diesem Grund entschloss man sich, die Dämmschicht der Sandwichwand aus Porenbetonsteinen der Marke multipor einzubauen. Dieses Bauprodukt ist speziell als Dämmelement im Einsatz und weist eine Rohdichte von 115 kg/m³ auf.

Es wurde ein Funktionsmodell des Objekts Homes24 im Maßstab 1:20 gebaut, um im kleinen Maßstab die Vor- und Nachteile verschiedener Montagefolgen zu zeigen.

Mit Hilfe eines Fugenmodells wurde die nachträgliche Verpressung horizontaler Wandfugen mit Quellschicht getestet. Dazu kam eine gemietete Kolbenpumpe von Desoi zum Einsatz.

Es wurde für die verschiedenen Entwicklungsstände ein FE-Modell des Objekts Homes24 modelliert, mit dem sowohl vermörtelte als auch trockene Fugen mit Punktlagerung durch die Verbindungselemente simuliert werden kann. Die Tragfähigkeit der Powerclip und Powercon wurde experimentell auf der ITKE Prüfanlage ermittelt. Des Weiteren sind im Zuge dieser Versuche die Kraft-Verformungslinien der Verbinder ermittelt worden. Dabei wurde die Steifigkeit der Lagerung schrittweise zugunsten einer höheren Toleranzaufnahme in der Fuge reduziert. Die ermittelten Werte fließen in Form von

nichtlinearen Federkennwerten in die Simulation ein. Damit kann der Einfluss der Lagerung der Verbinder bezüglich des gewählten statischen Systems beurteilt werden.

Das Sandwichkonzept mit einer tragenden Innenwand (11,5cm), einer Dämmschicht aus Multipor (18cm) und einer außen liegenden Vorsatzschale (7cm) wurde in einem Vorversuch von der Planung über den Fertigungsablauf im Werk bis hin zur Montage an einem 1:1 Ausschnittmodell des Prototyps getestet. Dabei wurde erstmals die Kombination von Kraft- und Medienverbinder in einer Fuge getestet. Die dabei gewonnenen Erfahrungen bilden die Basis für die weitere Planung der Elemente aber auch für die zukünftige Entwicklungsrichtung des Systems munitec. In diesem Versuch wurde überdies eine Reihe von Detaillösungen bezüglich der Fugenausführung getestet, die für den Prototyp Homes(24) entwickelt wurden.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen – fortgeschriebener Verwertungsplan

Das Konzept der Schnellverbindertechnologie wurde im Sommersemester 2009 im Rahmen eines Entwurfs mit dem Titel „Tilt-Up“ angewandt. Ausgangspunkt war ein ausgeschriebener Wettbewerb der amerikanischen Tilt-Up Association für den Entwurf eines nachhaltigen Cafe-Gebäudes. Wir ermutigten die Studenten als Besonderheit unseres Beitrages die Möglichkeiten des Schnellverbindersystems mit den Grundlagen der Herstellung eines Gebäudes mit dem Tilt-Up Verfahren zu kombinieren. Die aus unserer Sicht technisch wie architektonisch sehr interessanten Lösungen wurden fast geschlossen eingereicht. Leider sind bei dem nicht anonymen Wettbewerb nur einheitliche Konzepte bei der Preisvergabe berücksichtigt worden.

Weiterführende Untersuchungen zum Thema Aerogelbeton werden im kommenden Sommersemester 2010 das Thema für ein Seminar stellen. Im Rahmen dieser Lehrveranstaltung werden in praktischer Labor-Arbeit von Studenten Probekörper hergestellt, die das Nachbearbeitungspotential von Aerogelbetonoberflächen aufzeigen wird. Die Aufwertung von Sichtbetonoberflächen durch diese Bearbeitungsmöglichkeiten wird bis jetzt an eigens dafür hergestellten Fassadenelementen aus Beton praktiziert und vor den eigentlichen Baukörper als Vorsatzschale gehängt. Wir wollen mit den Probekörpern zeigen, dass diese Veredelungsmaßnahmen auch an monolithischen Aerogelbetonwänden ansprechend angewendet werden können.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts werden im Zuge einer Dissertation im Detail aufbereitet und als Forschungsbericht des ITKE veröffentlicht. Der Fokus der Arbeit richtet sich dabei auf die Darstellung des Potentials durch die Kombination der Stecktechnik mit einem zukunftsfähigen, ökologischen Werkstoff Aerogelbeton.

Das Thema Aerogelbeton wird Bestandteil einer nachfolgenden Antragsinitiative zur Weiterentwicklung dieses Materials sein. Das im Rahmen des Projekts aufgezeigte Werkstoffpotential soll durch eine gezielte Feinabstimmung der Rezepturzusammensetzung ein deutlich verbessertes Verhältnis von Festigkeit und Wärmedämmvermö-

gen aufweisen. Derzeit wird die Möglichkeit der Patentfähigkeit dieser Vorgehensweise überprüft. Mit einer Praxistauglichen Rezeptur als Ergebnis dieser Bemühungen sollen in Kombination mit der Schnellverbindertechnik weitere Prototypen errichtet werden.

Die Suspensionsbetonanlage bei der Beton Kemmler GmbH wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts betrieben. Das Ziel dieses Projekts eine Einsparung von Zement und Wasser bei gleichbleibender Qualität zu erreichen konnte unter praktischen Bedingungen und nach einer Vielzahl von Versuchsläufen nicht erreicht werden. Aus diesem Grund wird eine Einführung der Suspensionsbetontechnologie bei Beton Kemmler nicht in Betracht gezogen.

Die Reaktion aus der Branche auf das Gesamtkonzept zeigt, dass ein Denkprozess angestoßen wurde, der das trockene Bauen mit Fertigteilen in Zukunft ernsthaft in Erwägung ziehen wird. Verguss-Systeme werden zunehmend hinterfragt, Normen kritisch geprüft. Großes Interesse ist vor allem im Ausland zu beobachten, da andere Bauformen und vor allem hohe Stückzahlen andere Randbedingungen stellen. In Deutschland jedoch sollte hier eine Technologieführerschaft angestrebt werden und deshalb das Bauen mit voll integrierten Fertigbausystemen weiter entwickelt werden. Es gibt eine erkennbare Tendenz zur Rationalisierung in den existierenden Fertigbausystemen inklusive dem jüngsten Vertreter aus dem Hause IKEA.

Es wurden eine Vielzahl von Interesse und Anfragen registriert. Im Einzelnen sind das:

- Betonwerk Rieder, Österreich Versuchsbauten
- Betonwerk Knecht 3 realisierte Bauprojekte (Spielplätze)
- Frankreich Anfrage für Musterbauten
- England Konzeption von Reihenhäusern
- Holland Projektierung von Musterbauten
- Dubai und Abu Dhabi Musterbauten für Villa Projekt

Anfragen für Systementwürfe wurden gemacht für Projekte in Russland, Griechenland, Cayman Islands, Saudi Arabia und Thailand

Das Projekt in Griechenland bildet die thematische Grundlage für eine aktuell im laufenden Wintersemester angefertigte Diplomarbeit. Der Student hat bereits mit großem Erfolg an unserem Entwurf Homes 24 im WS 07/08 teilgenommen und hat als freier Mitarbeiter am Forschungsprojekt partizipiert.

II.5 Fortschritt bei anderen Stellen

Während des gesamten Vorhabenszeitraums sind uns keine Hinweise auf weitere Tätigkeiten in Zusammenhang mit einer kombinierten Stecktechnologie bekannt geworden.

Im Bereich der Verbundwerkstoffentwicklung zementgebundener Aerogelpartikel ist Anfang 2008 das Forschungsprojekt SuRHiB an der EMPA in Dübendorf/Schweiz gestartet worden, mit dem Ziel, einen Dämmputz für die Altbausanierung zu entwickeln.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Mit Abschluss des Projektzeitraums sind noch keine Veröffentlichungen in Artikelform vorgenommen worden. Diese geplanten Veröffentlichungen beziehen sich hauptsächlich auf den noch zu bauenden Prototyp.

Veröffentlichungen anlässlich Tagungen und Vorträgen

- 13.11.2008 - bt-Innovationstag, Magdeburg – Innovative Schnellverbinder im Fertigteilbau
- 30.03.2009 – iccx oceania precast conference, Sydney – new ways of precast construction
- 11.05.2009 – international innovation day in precast construction, Amman, Jordan
- 3.-4.12.2009 – International engineering days, Wien – unicon Schnellverbinder für den industriellen Hausbau

Die inhaltlichen Ergebnisse der wissenschaftlichen Projektarbeit werden im Rahmen einer Dissertation als Forschungsbericht des ITKE veröffentlicht.

Die Umsetzung eines Entwurfs in Dubai aus der Lehrveranstaltung HOMES 24 vom WS0708 durch zwei Werksstudenten wurde bedauerlicherweise durch die Auswirkungen der Finanz- und Immobilienkrise gestoppt. Die ausführende Firma Mammut ist von dieser Entwicklung sehr heftig betroffen und stellte in der Folge sämtliche Forschungs- und Entwicklungsprojekte ein. Die geplante Veröffentlichung der Entwurfsergebnisse in Buchform wurde kurzfristig zurückgestellt, da die Chance besteht, das Projekt bei einer Besserung der Lage fortzusetzen.

Anhang A: Verwendete Literatur

Bachmann, Hubert; Steinle, Alfred; Hahn, Volker (2009): Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. In: Bergmeister, Konrad Prof. Dipl.-Ing. DDr.; Fingerloos, Frank Dr.-Ing.; Wörner, Johann-Dietrich Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (Hg.): Betonkalender /// Beton-Kalender. Konstruktiver Hochbau Aktuelle Massivbaunormen /// 98,2. Konstruktiver Hochbau, aktuelle Massivbaunormen. Berlin: Ernst & Sohn (Beton-Kalender, 98 /// 98,2), S. 151–336.

Bergmeister, Konrad Prof. Dipl.-Ing. DDr.; Fingerloos, Frank Dr.-Ing.; Wörner, Johann-Dietrich Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (Hg.) (2009): Betonkalender /// Beton-Kalender. Konstruktiver Hochbau Aktuelle Massivbaunormen /// 98,2. Konstruktiver Hochbau, aktuelle Massivbaunormen. Berlin: Ernst & Sohn (Beton-Kalender, 98 /// 98,2).

Brandenburg, Hildegund (1973): Verbindungen ohne Mörtelverguß bei Stahlbeton-Großtafel-Bausystemen. Problematik und Möglichkeiten. Univ., Diss.--Karlsruhe, 1973. Wiesbaden: Bauverl.

Döring, Wolfgang H. (1973, 1970): Perspektiven einer Architektur. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp Taschenbuch, Bd. 109).

Enoekl, V. (Juli 1988): Entwicklung eines tragfähigen, beliebig formbaren Baustoffes mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit für den Wohnungs- und Industriebau. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben 03E - 8504 - A. Herausgegeben von Ed. Züblin AG. Stuttgart.

Faust, Thorsten (2003): Leichtbeton im konstruktiven Ingenieurbau. Berlin: Ernst & Sohn.

Filipaj, Patrick (2006): Architektonisches Potential von Dämmbeton. Zürich: vdf Hochsch.-Verl. an der ETH.

Geisenhanslüke, Carsten; Schmidt, Michael; Teichmann, Thomas (2007): Optimierung der Packungsdichte des Feinstkorns für Ultra-Hochleistungs und selbstverdichtende Betone. In: Schmidt, Michael; Fehling, Ekkehard (Hg.): Ultra high performance concrete (UHPC). 10 years of research and development at the University of Kassel - 10 Jahre Forschung und Entwicklung an der Universität Kassel. Kassel: Kassel Univ. Press, S. 165–183.

Hess, Jürgen (2003): First of its kind. In: Process news, H. 2, S. 6–9.

Horschig, Jola (2003): Modulares Bausystem mit Wiederverwendbaren Bauteilen. In: Deutsches Architektenblatt, Jg. 35, H. 11, S. 58–60.

Leydecker, Sylvia; Kölbl, Marius (2008): Nanomaterialien. In Architektur, Innenarchitektur und Design. Basel: Birkhäuser.

- Müller, Günter; Groth, Clemens** (2007): Grundlagen. Basiswissen und Arbeitsbeispiele zu FEM-Anwendungen - Lösungen mit dem Programm ANSYS Rev. 9/10 ; mit zahlreichen Beispielen auf CD-ROM. 8., neu bearb. Aufl. Renningen: expert-Verl. (FEM für Praktiker, Bd. 1).
- Peck, Martin; Thienel, Karl-Christian** (2007): Die Renaissance leichter Betone in der Architektur. In: DETAIL, H. 5, S. 522–534.
- Prochiner, Frank** (10.03.2006): Homes 24. Die (R)Evolution des industriellen Bauens. Dissertation. Betreut von Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen. München. Technischen Universität München, Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik.
- Ratke, Lorenz** (2008): Herstellung und Eigenschaften eines neuen Leichtbetons: Aerogelbeton. In: Beton und Stahlbetonbau, Jg. 103, H. 4, S. 236–243
- Schlaich, Mike** (2008): Infraleichtbeton. In: Beton und Stahlbetonbau, Jg. 103, H. 3, S. 175–182
- Schmid, Thomas; Testa, Carlo** (1969): Bauen mit Systemen. Zürich: Artemis Zürich.
- Schnell, J.; Breit, W.** (2009): Small house village Kaiserslautern. Experimentalgebäude mit kerngedämmten Leichtbeton. In: FBF Betondienst (Hg.): Concrete solutions. 53. Betontage. 53. Aufl.: bauverlag, S. 118–119.
- Schramm, Werner** (1993): Endbericht zum Forschungsprojekt Technikbewertung von Aerogelen. Unter Mitarbeit von M. Heckmann, T. Lendenfeld und T. Reichenauer. Wien: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Schriftenreihe der Sektion I des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie, 4).
- Schubert, Ulrich; Hüsing, Nicola** (1998): Aerogele - luftige Materialien: Chemie, Struktur und Eigenschaften. ISSN 0044-8249. In: Angewandte Chemie, Jg. 110, H. 1-2, S. 22–47
- Staib, Gerald** (2008): Elemente und Systeme. Modulares Bauen: Entwurf Konstruktion neue Technologien. 1. Aufl. Basel: Birkhäuser.
- Stephan, Dietmar** (2007): Nanooptimierte Hightech-Baustoffe. Nanotechnologie im Bauwesen ; 9. Mai 2007. Kassel: Kassel Univ. Press.
- Wendehorst, Reinhard; Vollenschaar, Dieter** (2006): Baustoffkunde. 26., überarb. Aufl. Wiesbaden: Teubner].