

**Kurzbericht:** **Forschungsvorhaben SF-10.08.18.7-09.32**

**„Klebtechnik im Hochbau – Konzeptionierung und messtechnische Begleitung des Baus eines Großdemonstrators“**

**Auftraggeber:** Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

**Projektbeteiligte:** Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz, Prof. Dr.-Ing. Paul Ludwig Geiß

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

**Sachbearbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Frank Schuler, M.Eng

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.  
(Aktenzeichen: SF- 10.08.18.7-09.32 / II 3 -F20-09-1-176)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

Datum:



---

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell



---

Dipl.-Ing. (FH) Frank Schuler, M.Eng.  
(TU Kaiserslautern)

## 1 Ziel der Forschungsaufgabe

An der Technischen Universität Kaiserslautern entsteht unter dem Namen „Small House Village“ eine Siedlung von Großdemonstratoren (vgl. Abbildung 1). Diese Musterbauten bieten die Möglichkeit, neue innovative Bauweisen, die im Labormaßstab entwickelt wurden, unter realen Umweltbedingungen an echten Gebäuden zu testen.

Neben der Untersuchung des Langzeitverhaltens, kann auch die Praxistauglichkeit der Herstellverfahren an Gebäuden mit einem Grundriss von 5 x 7 m erprobt werden.

Im Fokus des geförderten Forschungsprojektes steht die praktische Erprobung und Umsetzung der bisher an der TU Kaiserslautern gesammelten Erfahrungen im Bereich der adhäsiven Fügetechnik. In der Vergangenheit konnten neue Erkenntnisse über das Zusammenspiel verschiedener Werkstoffpartner beim Fügen durch Kleben erlangt werden. So konnten z.B. geeignete Klebstoffe und Vorbehandlungsverfahren für das Fügen von Stahl-Beton-, Stahl-Glas- oder GfK-Beton-Bauteilen gefunden werden.<sup>1,2</sup>

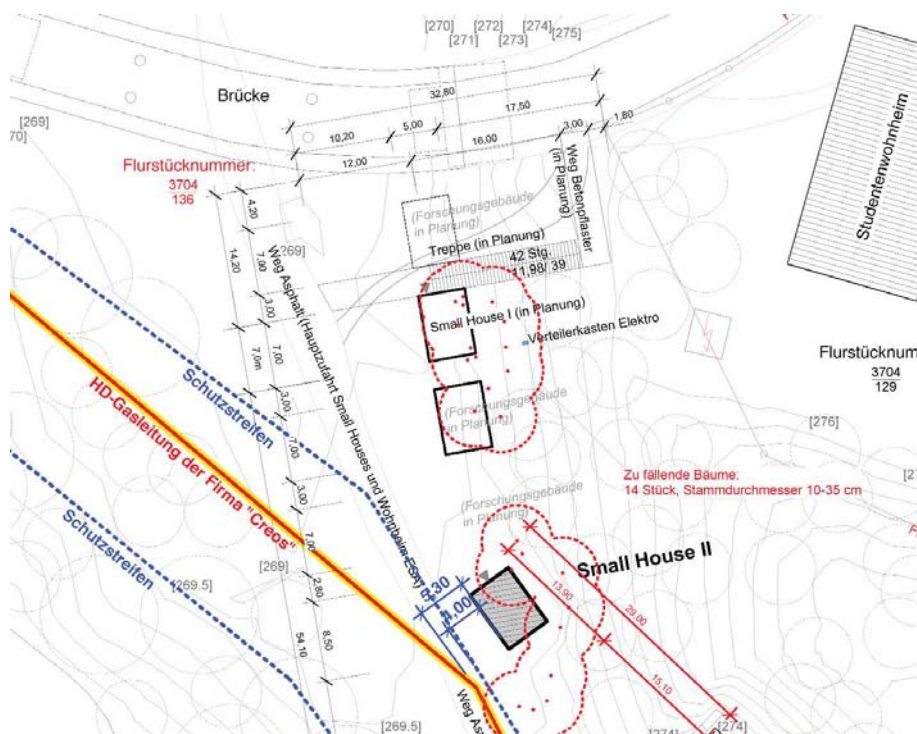


Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Lageplan

Der Großdemonstrator „Small House II, Klebtechnik im Hochbau“ ermöglicht zudem die Entwicklung, Durchführung und Überprüfung eines umfangreichen Messprogramms zur Erfassung der klimatischen Randbedingungen sowie des Verformungsverhaltens der geklebten

<sup>1</sup> Schnell, J.; Geiß, P. L.: „Leicht Bauen mit Beton – Innovative Klebe-Verbindungstechnik für filigrane Fassadenplatten aus Hochleistungsbeton, BBR-Endbericht, 2009.

<sup>2</sup> Geiß, P. L.: "Teiltransparente tragende Verbundbauteile aus Stahl und Glas", IGF-Projekt Nr. 15058 N / FOSTA P740.

Bauteile.

Ziel ist es, bisher nicht erreichbare Anwendungsgebiete für geklebte Konstruktionen im Bauwesen zu erschließen und mit neuen innovativen Bauweisen einer ambitionierten Architektur neue Möglichkeiten zu bieten.

## **2 Durchführung der Forschungsaufgabe**

### **2.1 Allgemeine Vorbemerkung zur Bauweise**

Zum Einsatz kommt ein hinterlüftetes Fassadensystem. Ein solches System verhindert einen Wärmestau und schützt durch die Ableitung von Feuchtigkeit die dahinterliegenden Schichten (Wärmedämmung und Tragschale).

Als Vorsatzschale dienen filigrane Platten aus glasfaserverstärktem Feinkornbeton (d= 12 mm), die liegend in einem Spritzverfahren hergestellt werden. Neben dem Wetterschutz bietet diese Betonfassade die Möglichkeit von der Geometrie der Tragschale abweichende Fassadenformen zu gestalten. Scharfkantige offene Fugen können in beliebiger geometrischer Form realisiert werden.

Die Verbindung zwischen Vorsatzschale und Tragschale besteht aus Glasfaserkunststoffstäben (GfK). Bei der Herstellung im Fertigteilverk wird die Wärmedämmung, die der Verbesserung des Wärme- und/oder Schalldämmvermögens dient, auf den frischen Beton der Tragschale gelegt. Die GfK-Stäbe werden über ein vorgebohrtes Raster durch die Wärmedämmung in den noch frischen Beton gedrückt. Der Ersatz der üblichen Stahlanker bzw. -rahmen durch leichtes, schlecht wärmeleitendes und korrosionsbeständiges GfK-Material ermöglicht neben der Materialkostensparnis und der Reduzierung des Wärmestroms, eine dauerhafte und nachhaltige Konstruktion.

### **2.2 Architektur und Planung**

Die Gliederung der Fassade in Dreiecke und Trapeze beruht im Entwurf auf dem Prinzip des horizontalen und vertikalen Schneidens des Kubus; die Schnittlinien stellen die Fugen der Fassade dar. Durch Abwandlung der Schnittwinkel und der Abstände der Schnittebenen entstehen die unterschiedlich großen Fassadenstücke und definieren so eine formale Spannung im Erscheinungsbild.

Einzelne Fassadenstücke werden als rahmenlose Fensterflächen ausgebildet und sorgen so – neben der Funktion des Lichteinfalls – für eine weitere asymmetrische Flächengliederung. Auch der Eingang wird so formal erzeugt, wobei ein eingestellter Rahmen (Edelstahl oder anderes Metall, im Kontrast zu den Beton-Fassadenflächen) als zusätzliches Element die Zugangsfunktion betont (vgl. Abbildung 2).



Abbildung 2: Visualisierung des Großdemonstrators „Klebtechnik im Hochbau“

Bei der Übertragung des Entwurfs in die Bauantrags- und Fertigungsplanung wurden die das formale Bild erzeugenden Schnittebenen leicht modifiziert, um das Auftreten zu großer (zu viel Fläche in einem Element) und zu kleiner (zu wenig Klebepunkt-Flächen) Fassadenplatten zu vermeiden.

Die Herstellbarkeit der asymmetrischen Fenster (formfolgende Rahmenkonstruktionen mit aufgeklebten Glasflächen, getöntes Isolierglas) und deren Einbaumöglichkeiten wurden im Zug der Planungsumsetzung positiv geprüft.

Die Anordnung, Integration, Einbau und Anschluss der Solarenergie-Kollektoren wurde im Konzept und im Prinzipdetail gelöst.

### 2.3 Entwicklung von Ausführungsdetails

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden alle für den Bau des Großdemonstrators relevanten Ausführungsdetails (Dachaufbau mit Solarkollektoren, Fenster, Technikwürfel, Fundamente, etc.) entwickelt. Aufgrund des großen Umfangs von Detaillösungen, wird im Folgenden lediglich auf die, die Klebtechnik betreffenden Bauteile sowie die geplante messtechnische Überwachung eingegangen.

#### *Glas-Beton-Stahl Verbundträger*

Während chemisch vernetzende strukturelle Klebstoffe sich im Bereich der Verbunddübelbefestigung im Bohrloch im Bauwesen bereits seit vielen Jahren erfolgreich bewährt haben, sind Klebverbunde mit tragender Funktion der Flächenklebung heute noch eine Ausnahme. Der Grund dafür sind häufig fehlende Erfahrungen bezüglich des Langzeitverhaltens und der Beständigkeit der Klebverbindung unter Klimaeinwirkung und die daraus resultierenden Vorbehalte bei der technischen Zulassung. Die hervorragende langzeitbeständige Adhäsion der Silikonklebstoffe zum SiO-Netzwerk der anorganischen Gläser, die unter anderem ausschlaggebend für die Eingrenzung der ETAG 002 auf diese spezielle Klebstoffgruppe war, kann heute auch durch die Verwendung von Haftvermittlern und die Modifizierung anderer

Basispolymere mit reaktiven Silangruppen von modernen Klebstoffen erreicht werden. Für die Konstruktion und den Einsatz bei Glas-Beton-Stahl Verbundträgersysteme steht damit eine breite Palette von Klebstoffsystemen zur Verfügung, die zur Realisierung von langzeitbeständigen und materialsparenden Konstruktionen eingesetzt werden können.

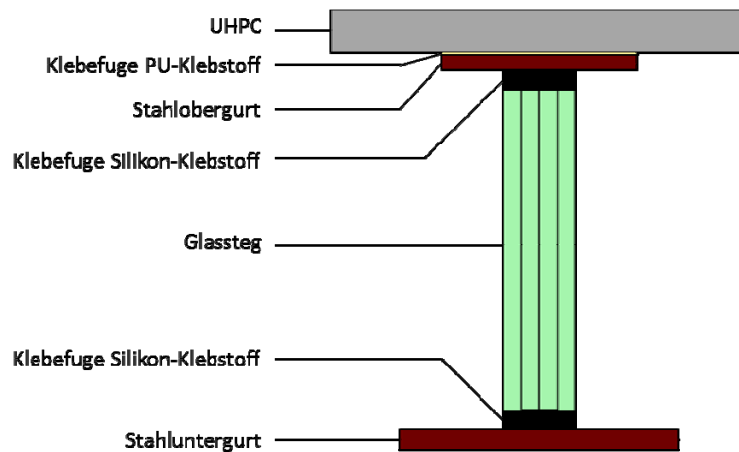


Abbildung 3: Verbundträgeraufbau

Die mechanischen Eigenschaften von Klebverbindungen in Bezug auf das mechanische Verhalten und die Beständigkeit werden insbesondere durch die konstruktive Gestaltung der Fügstellen, die Art der verwendeten Klebstoffe und den Zustand bzw. die Vorbehandlung der zu klebenden Oberflächen bestimmt.

Der Einsatz von Glasträgern im Bauwesen ist bereits Stand der Technik. Sie finden Ihre Anwendung sowohl vertikal als auch horizontal als Biegeträger in Fassadenkonstruktionen oder Bauwerken des konstruktiven Glasbaus. Hierbei tragen sie beispielsweise Eigen- und Windlasten in Konstruktionen durch Biegung an Unterkonstruktionen weiter. Durch die Fähigkeit von Glas Zugkräfte nur bedingt aufnehmen zu können und bei Überschreitung der Festigkeitsgrenzen spontan zu versagen, sind diesen Elementen Grenzen hinsichtlich der aufnehmbaren Last sowie den Abmessungen gesetzt. Das Verhalten von Trägern aus Betonwerkstoffen ist dadurch gekennzeichnet, dass die Druckfestigkeit des Betons um ein mehrfaches höher ist als dessen Zugfestigkeit. Eingebettete Armierungseisen sorgen in den klassischen Stahlbetonbauteilen für eine ausreichende Festigkeit im Bereich der Zugzone von biegebelasteten Trägerelementen. Im Stahlbau bestehen Biegeträger meist aus Walz oder Schweißprofilen welche durch ihre charakteristische Doppel-T oder auch I-Form bekannt sind. Diese Geometrie ist geeignet um große Spannweiten zu überbrücken und Lasten durch Biegung abzutragen. Das Flächenträgheitsmoment um die designierte Biegeachse wird hier maßgebend durch die Höhe des Steges sowie die Steiner'schen Anteile der außen liegenden Flansche definiert. Eine Kombination dieser Trägerarten, eines Glasschwertes, eines Untergurtes aus Stahl und eines Obergurtes aus Beton zu einem Glas-Beton-Stahl Hybridträger bringt eine Vielzahl von Vorteilen mit sich. Nicht nur wird das Glasschwert stabilisiert,

ebenso lässt sich durch die Kopplung der Elemente eine erhöhte Biegetragfähigkeit erreichen als sich durch die Summe der Tragfähigkeiten der einzelnen Elemente ergeben würde.

#### *Geklebte Fassadenelemente*

Die verwendeten Anker ( $\varnothing$  12 mm) entstammen dem ComBAR® Programm der Fa. Schöck, diese bestehen aus einem Vinylesterharz mit ca. 70-80% Glasanteil (vgl. Abbildung 4). Der ComBAR® GfK-Teller besteht aus einem glasfaserverstärkten, teilkristallinen Polystyrol mit einem E-Modul von ca. 10 MPa und einem Schmelzpunkt von ca. 300°C. Beide Harze sind auf ihre Dauerhaftigkeit von der Fa. Schöck geprüft.

Verschiedene Klebstoffe für die Verbindung Beton-GfK wurden getestet<sup>3</sup>. Aufwändige Laborversuche, wie z. B. Haftzugversuche mit einem Dübelauszugerät (vgl. Abbildung 5) und Rechenmodelle haben gezeigt, dass die Standsicherheit des Fassadensystems bei entsprechender Dimensionierung der Klebfläche gegeben ist.

Bei der Auswahl des Klebstoffs wurden sowohl mechanische als auch wirtschaftliche Kriterien berücksichtigt.



Abbildung 4: Schöck ComBAR® GfK Anker – GfK Stab mit einem Kopfteller



Abbildung 5: Haftzugprüfung der GfK-Beton-Verbindung

Im Zuge der internationalen Baumessen Deubau und Bautec wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) die Bereitstellung eines Demonstrators für seinen Messestand angefragt. In den Monaten November und Dezember 2011 entstand die Messewand, die eine Gebäudeecke des späteren „Small House“ darstellt. Bei der Herstellung der Messewand konnte zugleich der Bauablauf für die Erstellung des Small Houses geübt werden. Die Erstellung der Probewand lieferte wertvolle Informationen für die späteren Bauarbeiten im großen Maßstab.

Zur besseren Darstellung des Wandaufbaus wurde vom Architekten ein Entwurf gewählt, der

---

<sup>3</sup> Schnell, J.; Geiß, P. L.: „Leicht Bauen mit Beton – Innovative Klebe-Verbindungstechnik für filigrane Fassadenplatten aus Hochleistungsbeton, BBR-Endbericht, 2009.

einen Einblick auf das „Innenleben“ des Wandsystems erlaubt. Aus der schräggeschnittenen Wärmedämmung ergeben sich freie Betonbereiche, die die Funktion der Klebeanker hervorheben (vgl. Abbildung 6).



Abbildung 6: Entwurf

Nach Beendigung der beiden Messen wurde die Probewand zur TU Kaiserslautern zurücktransportiert und neben dem geplanten Bauplatz des „Small Houses“ aufgestellt. Abbildung 7 stellt die planerische Visualisierung dem tatsächlich gebauten Objekt gegenüber.

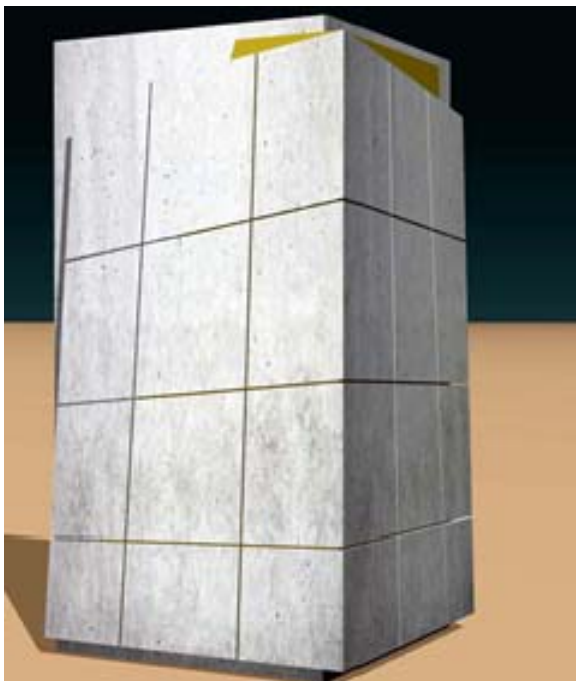


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Planung und Ausführung

### *Messtechnik*

Über die Entwicklung des hinterlüfteten Wandquerschnittes hinaus sind langfristige Messungen am Gebäude im Hinblick auf das tatsächliche Durchfeuchtungs- und Rücktrocknungsverhalten bei Bewitterung (Gradienten) und das Raum- und Außenklima (Aufheizen und Auskühlen der Bauteile, Behaglichkeit) unerlässlich.

Die Aufstellung eines Messprogramms zur Aufnahme von bauphysikalischen Kennwerten geschieht in Anlehnung an DIN EN ISO 7726. Das Messprogramm besteht aus:

- der Bestimmung der genannten Stoffkennwerte der verwendeten Baustoffe an Parallelproben im Labor
- der Messung der Temperatur und Feuchtigkeit im Bauteil mit z.T. kombinierten Temperatur-/Feuchtefühlern an je einer Messstelle in allen Himmelsrichtungen sowie dem Dach
- der Erfassung des Raumklimas (Raumlufttemperatur, operative Raumlufttemperatur, Oberflächentemperaturen, rel. Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit)
- der Aufnahme des Außenklimas (Außenlufttemperatur, rel. Luftfeuchte, globale Sonnenstrahlung)
- der Ermittlung der Wärmeströme in das Gebäude und aus dem Gebäude heraus

Die Messungen sollen mit Hilfe von autarken Datenloggern in festen Zeitabständen erfolgen. Die Datenverarbeitung wird wahlweise in einem angeschlossenen PC oder mittels W-LAN standortunabhängig durchgeführt.

Neben den bauphysikalischen Messungen am Gebäude sind die Verbindungsmittel Gegenstand messtechnischer Untersuchungen. Die Dimensionierung der Verbindungsmittel und des Verbindungsmittelraster erfolgt auf Basis von Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Die dazu erforderlichen Verbindungsmittelwiderstände sind in Kurzzeitversuchen ermittelt worden. Als Kriterium für die Gebrauchstauglichkeit ist die dauerhafte Sicherstellung der Lage der Fassadenplatten zu nennen. Nur so kann für die Nutzungsdauer des Gebäudes ein unverändertes Fugenbild garantiert werden. Zur Untersuchung des Verformungsverhaltens werden Messungen am maximal beanspruchten GFK-Verbindungsmittel durchgeführt. Gemessen wird die Vertikalverschiebung der Fassadenplatte über einen induktiven Wegnehmer. Das Verbindungsmittel selbst unterliegt einer Biegebeanspruchung. Die maximale Beanspruchung tritt an der Einspannstelle im Beton auf. In diesem Bereich werden Dehmesstreifen (DMS) sowohl in der Druck- als auch in der Zugzone des Verbindungsmittels appliziert. Die Messungen geben Aufschluss über Langzeitverformungen über das Kriechen des Verbindungsmittels infolge Dauerlast.



### **3 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Hinterlüftete Fassadensysteme bieten eine optimale bauphysikalische Lösung für Außenverkleidungen und erfüllen alle Ansprüche sowohl in ästhetischer als auch in funktionaler Sicht. Die Vorsatzschale (Fassadenplatten) schützen die dahinterliegende Dämmung vor Witterungseinflüssen. Der Hohlraum zwischen Fassadenplatten und Dämmung führt von innen oder außen eingedrungene Feuchtigkeit ab.

Die Planung und die Erstellung der Musterwand für den Messestand des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) der internationalen Baumessen Deubau und Bautec lieferten wichtige Erkenntnisse, die den Bauablauf bei der anstehenden Herstellung des Großdemonstrators vereinfachen können. Zudem war es so möglich, die Klebverbindungen unter Einfluss der Witterung über einen gesamten Jahreszeitenzyklus zu beobachten und zu analysieren.

Die Arbeiten haben gezeigt, dass die Substitution herkömmlicher Befestigungsmethoden durch Klebverbindungen eine geringere Stärke der Vorsatzschale ermöglicht (12 mm). Bei dem Einsatz konventioneller Befestigungstechnik müssten die Fassadenplatten entweder durchschraubt oder mithilfe von Metallrahmen befestigt werden. Ein Kleben der Fassadenplatten auf die Befestigungsmittel (GfK-Anker mit Klebteller) ermöglicht weitaus filigranere und so leichtere Ausbildungen von Fassaden.

Das Wissensspektrum über die Anwendung von Klebstoffen bei neuen Konstruktionen wurde auf Glas-Beton-Stahl Hybridträger erweitert, um dem Glasbau neue Impulse verleihen zu können. Besonders hervorzuheben ist, dass diese neuen tragfähigen Elemente durch den gläsernen Steg ein hohes Maß an Transparenz besitzt und sich somit bestens für den Einsatz in leicht wirkenden Konstruktionen eignet.

Zur Zeit der Berichtsverfassung waren/sind die Fundamente und sämtlich Bauteile, die eine Vorfertigung erlaubten (Verbundträger, Auflagertaschen, etc.) hergestellt. Die Fertigteile der Tragschale werden aufgrund des Platzbedarfs „just in time“ im Fertigteilwerk hergestellt und zum Einbau auf die Baustelle geliefert. Mitte Dezember 2012 wurden die Bauarbeiten witterungsbedingt eingestellt und werden nach der Frostperiode weitergeführt.