



Small House I



**Small House I.**  
**Ein Forschungsgebäude aus Architekturleichtbeton.**



## **Inhalt**

Vom opus cementitium zum Architekturleichtbeton	7
Die Gestalt	10
Die Konstruktion	11
Das Material	15
Bauwerksmonitoring mit Multiringsensorelektroden (MRSE)	20
Projektbeteiligte	24
Partner	29



## **Forschungsgebäude aus Architekturleichtbeton: Das „Small House I“ der TU Kaiserslautern**

### **Vom opus cementitium zum Architekturleichtbeton**

Die Entwicklung neuer Baumaterialien prägt die Architektur seit Jahrtausenden. Bereits die Griechen entwickelten ein Gussmauerwerk, das seit hellenistischer Zeit mit Kalkmörtel vermischt wurde. Erst die Römer setzten allerdings Bindemittel ein, die an Luft und unter Wasser erhärten konnten und so eine hohe Festigkeit erreichten. Die Verwendung eines leichten, porigen Zuschlagstoffes, des Bimssteines, lies schließlich eine Mischung entstehen, die dem heutigen Leichtbeton vergleichbar ist und den Römern zu architektonischen Höchstleistungen wie der Kuppel des Pantheon verhalf.

Doch erst die Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Beton durch Eisenbewehrung führte im 19. und frühen 20. Jahrhundert zu Gebäuden mit weit auskragenden Bauteilen, riesigen Hallen- und hauchdünnen Kuppelkonstruktionen, die bei so manch einem Zeitgenossen ein mulmiges Gefühl ob ihrer Tragfähigkeit hinterließen. Schon immer waren Architekten neben der Leistungsfähigkeit des Betons von dessen ästhetischen Qualitäten begeistert. Es galt, eine für das „neue“ Material entsprechende architektonische Formgebung zu finden. Insbesondere der durch den Herstellungsprozess des Gießens erzeugte ebene und monolithische Charakter der Oberfläche versprach Gebäude, die wie aus einem Guss wirken. Architekten und Bauingenieure experimentierten gemeinsam, um die Leistungsfähigkeit des Materials zu optimieren, eine entsprechende Schalungstechnik zu entwickeln und den monolithischen Charakter auch durch die Architektur zum Ausdruck zu bringen.

Heute hat Beton zusätzliche Anforderungen zu erfüllen. Neben den ökologischen Ansprüchen, werden hohe energetische Erwartungen an Baumaterialien gestellt. Mit sogenanntem Dämmbeton wird versucht, diesen

Erwartungen zu entsprechen. Er ist ein gefügedichter Leichtbeton, d. h. er besteht aus unterschiedlich großen Gesteinskörnungen, die sich eng aneinanderfügen und die sogenannte Sieblinie entstehen lassen, vom Zement vollständig eingeschlossen werden und ein geschlossenes Gefüge bilden.

Die in den letzten Jahren weiterhin steigenden Energieanforderungen führen bei Leichtbetonbauten zu großen Wandstärken bis zu 50 cm, die entsprechend hohe Baukosten verursachen. Das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion der TU Kaiserslautern hat daher unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell 2008 das Modellprojekt „Small House I“ initiiert, das den Einsatz von hochwärmedämmendem Infraleichtbeton in Kombination mit verschiedenen Wandaufbauten untersucht. Als Infraleichtbeton oder Architekturleichtbeton wird Beton bezeichnet, dessen spezifisches Gewicht unter dem Gewicht von genormten Leichtbeton liegt. Als Grenze hierfür gilt der Wert von  $800 \text{ kg/m}^3$ .

Die neue Betonrezeptur wurde von dem Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit entwickelt. Der neue Architekturleichtbeton sollte eine ausreichend hohe Druckfestigkeit und gleichzeitig einen möglichst tiefen  $\lambda$ -Wert (Wärmeleitfähigkeit, Lambda) aufweisen.

Unter Leitung von Univ.-Prof. Helmut Kleine-Kraneburg, Lehrgebiet Baukonstruktion II und Entwerfen des Fachbereichs Architektur, wurden anhand des Experimentaltalbaues die ästhetischen Eigenschaften des monolithischen Baustoffes von Studierenden getestet und das Small House I in seiner endgültigen Gestalt entworfen. Schließlich wurde das Fachgebiet Energieeffiziente Gebäude (Jun.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn) mit den messtechnischen Untersuchungen betraut. Auf einer Fläche von  $5 \times 7$  Metern und einer Höhe von etwa 4 Metern wird das Small House I als studentischer Arbeitsraum interdisziplinärer Forschungsvorhaben den beiden Fachbereichen dienen.



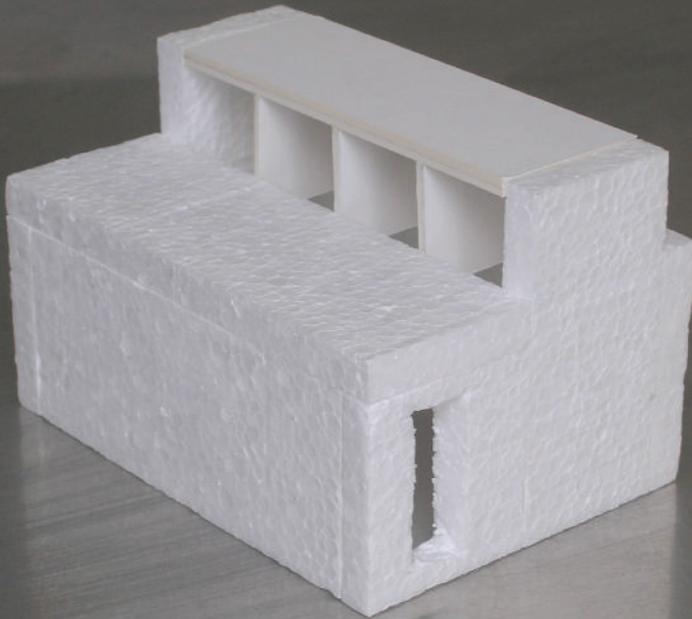


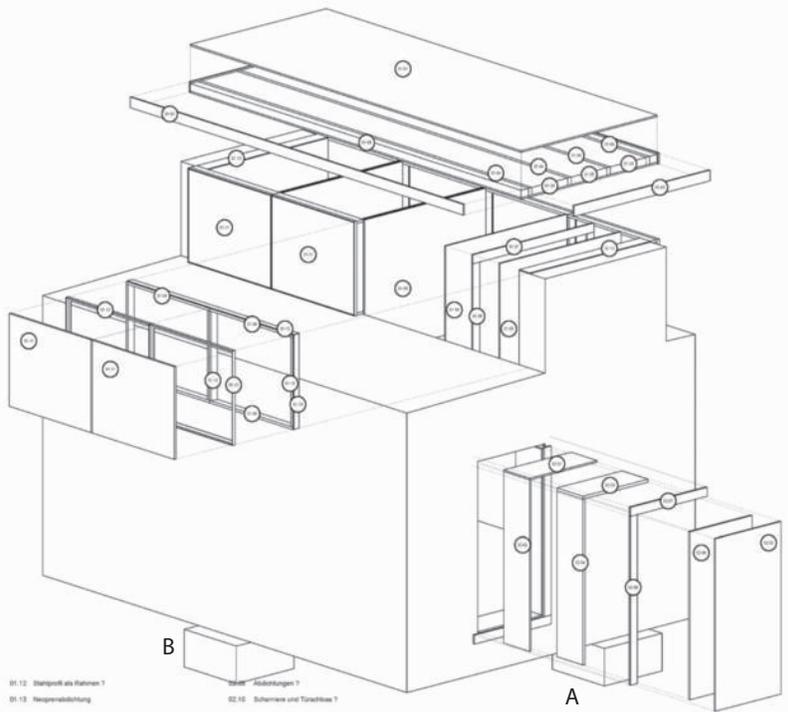
Abb. 2: Modell, Sarah Dichter, 2008

## Die Gestalt

2008 wurde von dem Fachgebiet Baukonstruktion II und Entwerfen die Stegreifaufgabe zum Small House I herausgegeben. Die Studierenden hatten die Aufgabe eine architektonische Gestalt zu entwickeln, die in Entwurf und Detail dem Thema des Leichtbetons gerecht sein sollte. Die damalige Studentin Sarah Dichter konnte sich mit ihrem einfachen, doch klaren Entwurf, der die Sichtbetonqualität mit gefügedichteter Oberfläche deutlich zum Ausdruck bringt, durchsetzen.

Dichter entwarf einen Ort der Ruhe und Konzentration. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, schottet sich das Gebäude als monolithische Betonskulptur ab. Jedwede Ablenkung von außen wird vermieden; lediglich ein baulanger „Oberlichtaufsatz“ dient mit seitlichen Fensterbändern der natürlichen Belichtung des Gebäudes. Durch diese seitliche, obere Beleuchtung entsteht im Inneren des Gebäudes eine ruhige, fast sakrale Atmosphäre für die Studierenden.





**Materialverzeichnis - Small House I**

**01. Stahl**

- 01.01 Kartplatte 21mm - 230K - 8050 X 2300 mm
- 01.02 Kartplatte 21mm - 230K - 5400 X 142 mm
- 01.03 Kartplatte 21mm - 230K - 2050 X 142 mm
- 01.04 Vollholz - 400K - 100 X 80 X 6300 mm
- 01.05 Mineralwolle - + 13,2m<sup>2</sup>
- 01.06 Kartplatte 21mm - 630K - 2100 X 1910 mm
- 01.07 Kartplatte 21mm - 630K - 2100 X 120 mm
- 01.08 Kartplatte 21mm - 630K - 1670 X 120 mm
- 01.09 Vollholz - 600K - 33 X 106 X 1600 mm Kartplatten?
- 01.10 Vollholz - 600K - 33 X 106 X 1100 mm Kartplatten?
- 01.11 Holzbohlenbohlen 1200 X 1070 mm

**01.12 Stahlprofil als Rahmen 1**

**01.13 Aussparungsbildung**

**02. Türen**

- 02.01 Kartplatte 21mm - 400K - 1170 X 500 mm
- 02.02 Kartplatte 21mm - 400K - 2270 X 500 mm
- 02.03 Kartplatte 20mm - 400K - 1120 X 500 mm
- 02.04 Kartplatte 20mm - 400K - 2200 X 500 mm
- 02.05 Kartplatte 21mm - 230K - 2200 X 1140 mm
- 02.06 Kartplatte 21mm - 230K - 2200 X 1000 mm
- 02.07 Kartplatte 21mm - 400K - 1302 X 120 mm
- 02.08 Kartplatte 21mm - 400K - 2242 X 120 mm
- 02.09 Abdeckungen ?

B

Abdeckungen ?

02.10 Schwellen und Türschwellen ?

A

Abb. 4: Axonometrische Darstellung, Vasil Grigorov, 2012; Abb. 5: Montage der Innenschalung

Wandaufbaues Mineralschaumdämmplatten. Die Bewehrungen aller Wände wurden verzinkt und sind so dauerhaft korrosionsgeschützt.

Das Gebäude ruht auf nur drei Einzelfundamenten mit zwei Gleitlagern (A). Lediglich eine Wand ist mit einem Fundament fest verbunden (B). Dadurch ist das Gebäude ‚frei beweglich‘ und Zwangsspannungen werden vermieden. Die Gefahr, die der Leichtbeton birgt, vermehrt Risse auszubilden, kann dadurch entscheidend verringert werden.

Durchgang  
verboten





## Das Material

Der neue Architekturleichtbeton sollte folgende Ziele erfüllen:

- ausreichende Druckfestigkeit des Festbetons
- geringe Wärmeleitfähigkeit
- den Anforderungen der ENEC 2009 entsprechen
- ausreichender Widerstand gegen eindringende Gase (CO<sub>2</sub>) und Wasser
- Verwendung nachhaltiger Ausgangsstoffe
- Sichtbetonqualität mit gefügedichteter Oberfläche

Die umfangreichen Vorversuche im Labor des Fachgebietes Werkstoffe im Bauwesen ergaben, dass industriell gefertigtes Blähglas gegenüber Blähton bzw. Bimsstein als Zuschlag für den Architekturleichtbeton erhebliche Vorteile besitzt. Denn im Gegensatz zu diesen gängigen, z. T. bereits in der Antike verwendeten Materialien weist es eine geringe Wasseraufnahme und Wasserdurchlässigkeit auf. Eine Kombination aus drei verschiedenen Korngrößen lässt die Baurezeptur zu einem gefügedichten Leichtbeton werden.

Hinzu kamen fünf Zusatzmittel, die dem Beton seine endgültigen Eigenschaften verleihen. Im Gegensatz zu gängigem Leichtbeton, dessen Trockenrohddichte zwischen 900 bis 2000 kg/m<sup>3</sup> liegt, konnte jetzt eine Trockenrohddichte von 650 bis 700 kg/m<sup>3</sup> erreicht werden. Diese geringe Rohddichte wurde durch die Zugabe eines Schaumbildners erreicht, der die Zementmatrix aufschäumt. Durch hydrophobierende Zusatzmittel wurde die Wasseraufnahmefähigkeit des Architekturleichtbetons entscheidend reduziert. Zur weiteren Verbesserung der Dauerhaftigkeit wurde ein schwindreduzierendes Zusatzmittel zugegeben.

Mit der neuen Betonrezeptur wurde eine Druckfestigkeit von  $9 \text{ N/mm}^2$  nach 56 Tagen erreicht, die somit leicht über dem Wert vergleichbarer Infraleichtbetone liegt. Gebäude mit bis zu drei Etagen werden bei einer solchen Druckfestigkeit durchaus realistisch.

Die wichtigste Anforderung an den zu entwickelnden Leichtbeton waren seine Eigenschaften hinsichtlich der Wärmedämmung, wobei letztendlich ein Wärmeleitfähigkeitswert von  $\lambda=0,15 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$  erreicht werden konnte. Hieraus ergab sich bei einer Wandstärke von 50 cm ein Wärmedurchgangskoeffizient, der die Anforderungen der ENEC 2009 erfüllte.

Schließlich zeigt der Beton ausreichend Widerstand gegen eindringendes Wasser oder  $\text{CO}_2$ . Wasser dringt bei einem Druck von 2 Bar nach 72 Stunden lediglich bis zu 35 mm tief in den Beton ein. Witterungsschäden sind daher nicht zu erwarten.

Das Small House I überzeugt allerdings nicht nur durch seine bauphysikalischen und baustofftechnologischen Eigenschaften, sondern auch unter ökologischen Aspekten. Es wurde aufgeblähtes Recyclingglas und klinkerarmer Zement verwendet, der weniger Energiekosten bei der Herstellung und eine geringere Umweltbelastung verursacht; die Gesamtkonstruktion ist recyclefähig und die Baustoffe wiederverwertbar.

Abb. 8: Schließen der Schalung

Abb. 9: Vorbereitung der Schalung

Abb. 10: Fertiggestellte Innenschalung

Abb. 11: Betoniervorgang

Abb. 12: geschlossene, äußere Schalung









Abb.13: An der Außenschalung befestigte Multiringensorelektroden (MRSE) für das Bauwerksmonitoring

### **Bauwerksmonitoring mit Multiringensorelektroden (MRSE)**

Um die witterungsbedingte Korrosionsgefahr des Experimentalgebäudes aus Architekturleichtbeton abzuschätzen und somit die Dauerhaftigkeit voraussagen zu können, wurden Multiringelektroden zur Bestimmung der Feuchteverteilung in der Betonrandzone sowie im Wandinneren eingesetzt. Durch Messung des Wechselstrom-Widerstands wird ein Widerstandsprofil über die Einbautiefe des Sensors aufgezeichnet, das unter Verwendung von Kalibrierkurven in ein Feuchteprofil umgerechnet werden kann. Die Feuchteaufnahme des Betons hängt entscheidend von der Mikrostruktur des Zementsteins und der Porosität der Gesteinskörnung ab. Diesbezügliche Erkenntnisse sind entscheidend für die Beurteilung der wärmedämmenden Eigenschaften sowie der Dauerhaftigkeitsbetrachtungen, da durchfeuchtete Bauteile in beiderlei Hinsicht deutlich schlechtere Eigenschaften aufweisen.

Die Untersuchungen der Feuchteverläufe haben gezeigt, dass trotz der porösen Zementmatrix und der leichten Blähglasfraktionen bei Architekturleichtbeton die



Abb. 14: Small House I nach Abschluss der Betonierarbeiten

ausgeprägte Feuchtigkeitszunahme nur bis zu einem Bereich von ca. 20 mm Abstand von der Betonoberfläche auftrat. Die restlichen Bereiche der insgesamt 50 cm dicken Außenwand blieben von spontanen Niederschlagsereignissen nahezu unbeeinflusst und sind somit hinsichtlich der wärmedämmenden Eigenschaften voll funktionstüchtig.



Abb. 15: Einbau des Holzaufbaus mit Fenstern; Abb. 16: Detailansicht der Holzkonstruktion der Fenster



## **Projektbeteiligte:**

### **Fachbereich Architektur**

#### **Fachgebiet Baukonstruktion II und Entwerfen**

Prof. Helmut Kleine-Kraneburg (Projektleitung)  
Dipl.-Ing. Marc Schützendorf (Bauantrag)  
Dipl.-Ing. Vasil Grigorov (Zeichnungen, Ausführungsplanung)  
Dipl.-Ing. Marcel Koch-Mehrin (Ausführungsplanung)  
Dipl.-Ing. Dirk Schluppkotten (Vorbereitung der Vergabe Holzbauarbeiten)  
Dipl.-Ing. Kerstin Rheinhard (Zeichnungen, Bauantrag)  
Dipl.-Ing. Sarah Dichter (Entwurf)

### **Fachbereich Bauingenieurwesen**

#### **Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion**

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell (Projektleitung)  
Dipl.-Ing. Torsten Weiler (Projektentwicklung)  
Rainer Becker (Bauausführung)

#### **Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen**

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit (Projektleitung)  
Dr. rer. nat. Joachim Schulze (Betontechnologie)  
Dipl.-Ing. (FH) Frank Schuler, M.Eng. (Projektentwicklung)  
Dipl.-Ing. Bianca Bund (Bauausführung)  
Karl Leidner (Bauausführung)  
Julia Priebe (Frischbetonuntersuchung)

### **Lehrgebiet Energieeffiziente Gebäude**

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn (Messtechnische Untersuchungen)

Abb. 17: Außenansicht nach Fertigstellung, April 2014

Abb. 18: Innenansicht nach Fertigstellung, April 2014









## Finanzielle Unterstützung

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR (Förderprogramm ZukunftBAU)  
Land Rheinland-Pfalz (Förderprogramm Experimenteller Wohnungs- und Städtebau ExWoSt)  
Bauforum Rheinland-Pfalz

### Schalungstechnik

PERI GmbH  
Schalung – Gerüst - Engineering  
Postfach 12 64  
89259 Weissenhorn

Max Frank GmbH & Co. KG  
Mitterweg 1  
94339 Leiblfing

### Bewehrungstechnik

Institut für Stahlbetonbewehrung e. V.  
Kaiserswerther Straße 137  
40474 Düsseldorf

Baustahl-Armierungsgesellschaft  
Mannheim mbH  
Eisen- und Stahlhandel  
Antwerpener Str. 6  
68219 Mannheim

GAV Gemeinschaftsausschuss  
Verzinken e.V.  
[www.gav-verzinken.de](http://www.gav-verzinken.de)

ZinkPower Willi Kopf  
Siemensstraße 27  
D-73278 Schlierbach

Schöck Bauteile GmbH  
Vimbucher Straße 2  
76534 Baden-Baden

### Betontechnik/Logistik/Baustoffe

BASF Construction Polymers GmbH  
Dr.-Albert-Frank-Str. 32  
83308 Trostberg

C. Dupré Bau GmbH & Co. KG  
Franz-Kirrmeier-Straße 17  
67346 Speyer

Dennert Poraver GmbH  
Mozartweg 1  
96132 Schlüsselfeld

GRACE BAUPRODUKTE GMBH  
Pyrmonter Str. 56  
32676 Lügde

Heidelberger Fließestrich  
Südwest GmbH  
Hermann-Wittmann-Str. 1  
69214 Eppelheim

MC-Bauchemie Müller GmbH  
& Co. KG, Am Kruppwald 1-8,  
46238 Bottrop

poratec GmbH  
Industriestr. 13  
96120 Bischberg

Sika Deutschland GmbH  
Kornwestheimerstr. 103-107 -  
70439 Stuttgart

Trapobet Transportbeton  
GmbH  
Werk Kaiserslautern  
Opelkreisel 20 – 22  
67663 Kaiserslautern



### **Fotonachweis**

Der Bildteil dieser Publikation speist sich aus Arbeiten von Studierenden und Darstellungen der einzelnen Fachbereiche.

### **Impressum**

Layout & Satz Dipl.-Ing. Lazarina Stoilkova  
Text Dr. des. Ulrike Weber

1. Auflage © 2014 Fachbereich Architektur und Fachbereich  
Bauingenieurwesen der TU Kaiserslautern 2014  
[www.uni-kl.de](http://www.uni-kl.de)



