







H. Fritschi, J. Fuchs, M. Haist, M. Hauer, J. P. Höffgen, A. Jurecka, V. Malárics-Pfaff, Prof. H. S. Müller, K. Rupp, Prof. F. Schilling, F.-J. Strauß

HighTechMatBau-Konferenz, Berlin, 31.01.2018

KIT - Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft

### **Problemstellung**

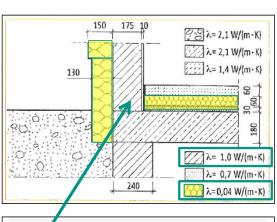


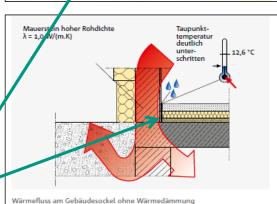
#### Wärmebrücke am Gebäudesockel

- ca. 40 % des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf die Heizenergie von Gebäuden
- Wärmebrücken verursachen bis zu 30 % des Transmissionswärmeverlusts von Gebäuden
- ungedämmter Gebäudesockel bei Gebäuden mit Außenwand aus Wärmedämmverbundsystem (WDVS) → gravierende Wärmebrücke bei unbeheiztem Keller/Tiefgarage (große Abwicklungslänge!)

Unterbrechung der thermischen Gebäude-Dämmhülle

Hoher Wärmeverlust









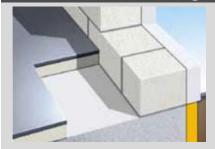




### Aktuelle Lösungen

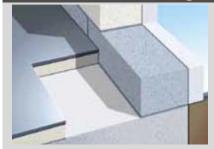


#### Konstruktive Dämmung



- wärmetechnisch ineffizient
- Gefahr der Schimmelbildung an der Wandinnenseite
- Zeit- und kostenaufwändig

#### Porige Dämmsteine



- ggf. stark kapillar saugend und hohe Wasserspeicherkapazität
- ggf. Verlust der Dämmwirkung durch starke Durchfeuchtung





31.01.2018

HighTechMatBau Tagung Berlin THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.





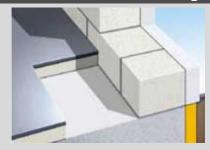




### Aktuelle Lösungen

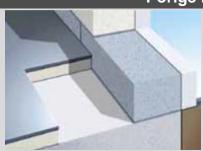


#### Konstruktive Dämmung



- wärmetechnisch ineffizient
- Gefahr der Schimmelbildung an der Wandinnenseite
- Zeit- und kostenaufwändig

#### Porige Dämmsteine



- ggf. stark kapillar saugend und hohe Wasserspeicherkapazität
- ggf. Verlust der Dämmwirkung durch starke Durchfeuchtung





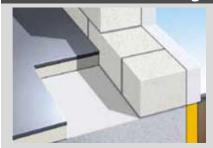




### Aktuelle Lösungen

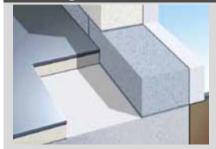


#### Konstruktive Dämmung



- wärmetechnisch ineffizient
- Gefahr der Schimmelbildung an der Wandinnenseite
- Zeit- und kostenaufwändig

#### Porige Dämmsteine



- ggf. stark kapillar saugend und hohe Wasserspeicherkapazität
- ggf. Verlust der Dämmwirkung durch starke Durchfeuchtung

#### Schöck Novomur®



- praktisch nicht kapillar saugend
- Wärmedämmwirkung unabhängig von Feuchtezufuhr
- trockene Wandoberfläche für nachfolgende Gewerke

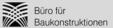


Ausgangsbasis für THELMA Entwicklung

31.01.2018

HighTechMatBau Tagung Berlin THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.









## Handlungsbedarf aus stark verschärften Anforderungen



#### Steigende Anforderungen an Wärmedämmung von Gebäuden

- **EU-Gebäuderichtlinie:** Niedrigstenergiegebäude werden ab 2020 in Europa obligatorisch (CO<sub>2</sub>-Minimierung / Klimaschutz)
  - → deutliche Verschärfung beim Primärenergiebedarf von Gebäuden
  - → deutliche Verschärfung beim Dämm-Niveau der thermischen Gebäudehülle
- Entwicklung hin zum Niedrigstenergiegebäude: Energieeinsparverordnung (EnEV 2014/2016): 20 % höhere Anforderungen an Wärmedämmhülle
- Zusätzlicher Trend zur Passivhausbauweise: 2020 ca. 30 % der Mehrfamilienhäuser in Passivhausbauweise erwartet
- Stellenweise erhöhte Lastabtragung erforderlich

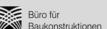


**Neuartige** 

hoch-wärmedämmende wasserabweisende hoch-tragfähige

Dämmelemente erforderlich









### **Ziele und Arbeitsschritte**



Ziel

Gezielte Reduktion des Wärmedurchlasswiderstands des Sockelbausteins bei Gewährleistung hoher Tragfähigkeit und minimaler Feuchteaufnahme

Wärmedurchlasswiderstand  $R_{eq} = h/\lambda_{eq}$ 

Optimierung der Bauteilgeometrie und Tragstruktur

Minimierung Wärmeleitfähigkeit Leichtbeton

Bauteilhöhe h· äquivalente Wärmeleitfähigkeit Kraftfluss Wärmefluss

31.01.2018

HighTechMatBau Tagung Berlin THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.









### **Ziele und Arbeitsschritte**



Ziel

Gezielte Reduktion des Wärmedurchlasswiderstands des Sockelbausteins bei Gewährleistung hoher Tragfähigkeit und minimaler Feuchteaufnahme

Wärmedurchlasswiderstand  $R_{eq} = h/\lambda_{eq}$ 

> Optimierung der Bauteilgeometrie und Tragstruktur



Minimierung Wärmeleitfähigkeit Leichtbeton

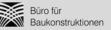


- Reduktion der Wärmeleitfähigkeit der Zementsteinmatrix von Beton durch gezielte Beeinflussung des Phononentransports
- Ш Reduktion der Wärmeleitfähigkeit von Beton durch Adaption der Porenstruktur
- Ш Verbesserung des Wärmetransport- und Tragverhaltens auf Bauteilebene
- IV Fertigungstechnologien für hoch-wärmedämmende Bauelemente

**Projektende** 

30. Juni 2018









# Verbundpartner





- Umsatz 2016: 155 Mio. €
- ca. 800 Mitarbeiter
- Experte von Baulösungen für tragende Wärmedämm- und Schallschutzprodukte
- Beispiele: Isokorb, Tronsole, Isolink, Novomur, ...



- 16 Mitarbeiter, davon 8 im Außendienst
- Hersteller von Sanierputzen und Spezial-Additiven mit Schwerpunkt auf Putzsystemen für feuchtes und salzhaltiges Mauerwerk



- 35 Mitarbeiter
- Umsatz: 3,2 Mio. €
- Ingenieurbüro für Tragwerksplanung: Holzbau, Betonbau, neuzeitliche und historische Mauerwerksbauten

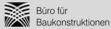


- ca. 9.000 Beschäftigte
- 25.000 Studierende
- Budget 2016: 851 Mio. €
- Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
- Institut für Angewandte Geowissenschaften

31.01.2018

HighTechMatBau Tagung Berlin THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.









# Ansätze zur Reduktion der Betonwärmeleitfähigkeit

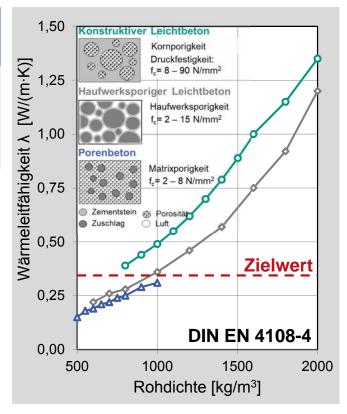


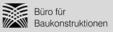
# $\lambda = \rho \cdot c_p \cdot D$

- Wärmeleitfähigkeit des Betons λ
- Rohdichte des Betons
- Wärmekapazität des Betons  $c_p$
- Temperaturleitfähigkeit D



#### Ansatz 1: Reduktion der Betonrohdichte z. B. durch Porosierung









# Reduktion der Wärmeleitfähigkeit durch Porosierung des Betons



Ziel Entwicklung geeigneter Additive zur gezielten Einstellung eines definierten, stabilen Porensystems





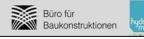
31.01.2018

11

Additivsystem mit folgenden Wirkungen:

- Porenbildung
- Verflüssigung
- Stabilisierung
- Hydrophobierung





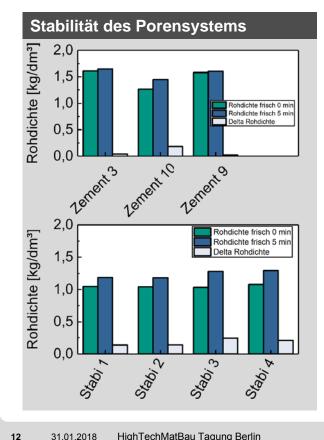




# Reduktion der Wärmeleitfähigkeit durch Porosierung des Betons

THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.





Parameterstudie Fließmitteleignung (FM)							
Zementsorte			FM 1	FM 2	FM 3	FM 4	
1	СЕМІ		+	n.m.	-	-	
2			- **	n.m.	-	-	
3			+	n.m.	0**	O**	
4			- **	n.m.	-	-	
5			n.m.	n.m.	-	-	
6							
7							
8			+	-	-	-	
9			+	-	-	-	
10	CEM III		++	-	-	-	
11			+	-	-	-	
12			++ *	-	-	-	
13							
14							
Ausbreitmaß	++ sehr gu		hr gut	Ø = 25 - 27 cm			
it	+	gut		Ø = 23 - 25 cm			
bre	0	befriedigend		Ø	Ø = 18 - 22 cm		
Aus	-	ungenügend		Ø = 13 - 18 cm			



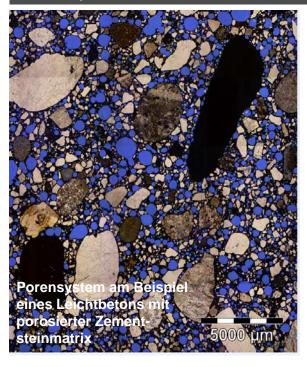


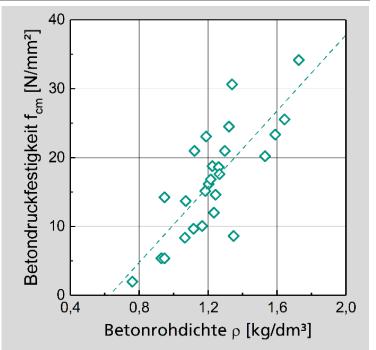


## Reduktion der Wärmeleitfähigkeit durch Porosierung des Betons



#### Porensystem und Einfluss auf die Betondruckfestigkeit





13 31.01.2018 HighTechMatBau Tagung Berlin THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.







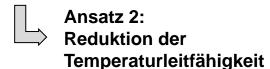


# Ansätze zur Reduktion der Betonwärmeleitfähigkeit



# $\lambda = \rho \cdot c_p \cdot D$

- Wärmeleitfähigkeit des Betons λ
- Rohdichte des Betons ρ
- Wärmekapazität des Betons
- Temperaturleitfähigkeit D

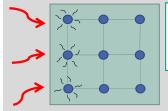


# $D = 1/3 \cdot v \cdot l$

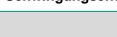
- Phononengeschwindigkeit
- mittlere freie Weglänge der Phononen

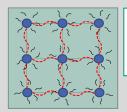
#### Grundlagen

In Festkörpern dominiert der Wärmetransport durch konduktive Wärmeleitung



Atome schwingen um Gleichgewichtslage Schwingungsenergie





Energieübertragung durch

elastische Wellen

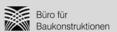


**Phononen** 



mittlere freie Weglänge der Phononen kann über Mineralogie gesteuert werden





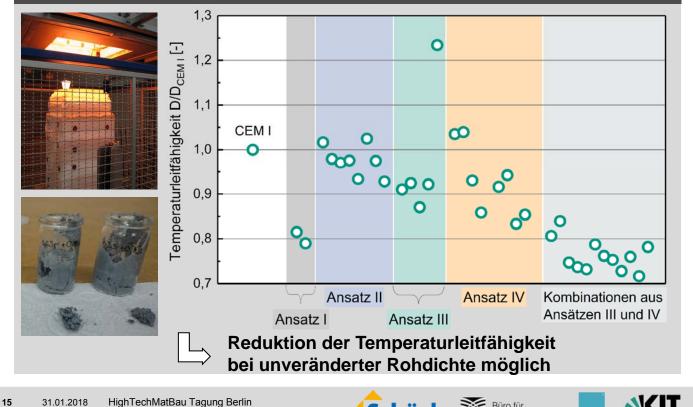




## Reduktion der Wärmeleitung durch Beeinflussung der Phononenstreuung



#### Einfluss unterschiedlicher Zusammensetzungen auf die Temperaturleitfähigkeit D

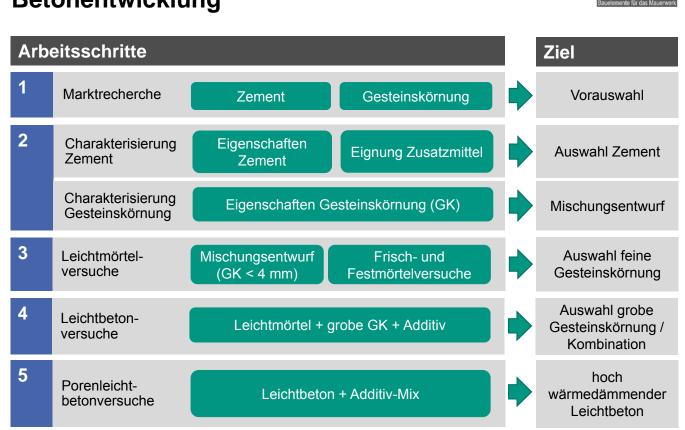


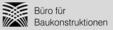
Schöck

## Betonentwicklung

THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.





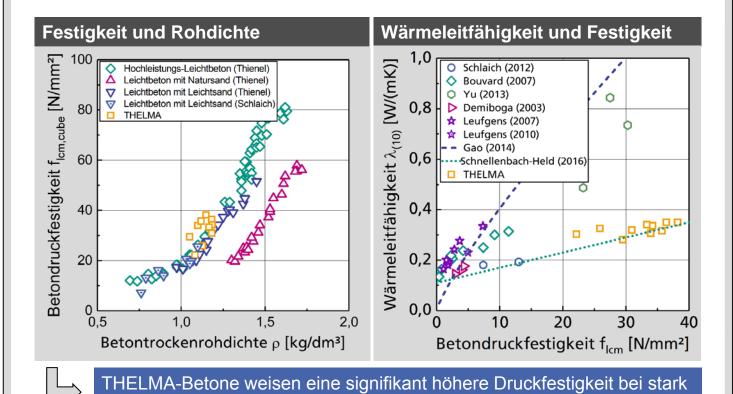






### Betonentwicklung **Ergebnisse**





reduzierter Wärmeleitfähigkeit und minimaler Wasseraufnahme auf

#### Ziele und Arbeitsschritte

HighTechMatBau Tagung Berlin

THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.



Ziel

31.01.2018

17

Gezielte Reduktion des Wärmedurchlasswiderstands des Sockelbausteins bei Gewährleistung hoher Tragfähigkeit und minimaler Feuchteaufnahme

Schöck

Wärmedurchlasswiderstand  $R_{eq} = h/\lambda_{eq}$ 

> Optimierung der Bauteilgeometrie und Tragstruktur

Minimierung Wärmeleitfähigkeit Leichtbeton

- Reduktion der Wärmeleitfähigkeit der Zementsteinmatrix von Beton durch gezielte Beeinflussung des Phononentransports
- Reduktion der Wärmeleitfähigkeit von Beton durch Adaption der Porenstruktur
- Wärmetransport- und Tragverhalten auf Bauteilebene
- Fertigungstechnologien für hoch wärmedämmende Bauelemente

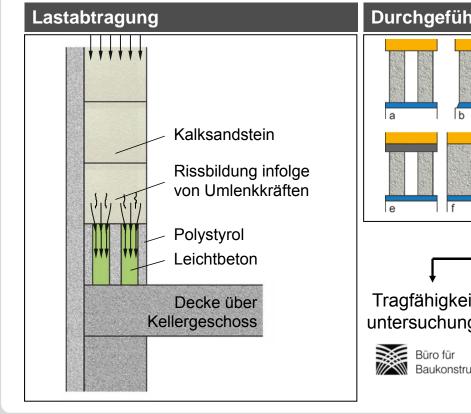


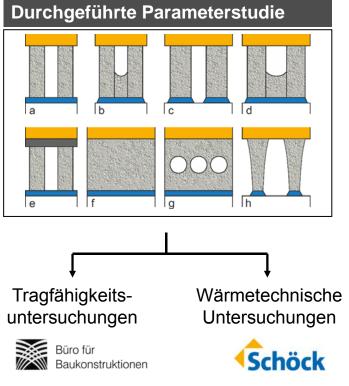




### Elemententwicklung







Büro für Baukonstruktionen



HighTechMatBau Tagung Berlin

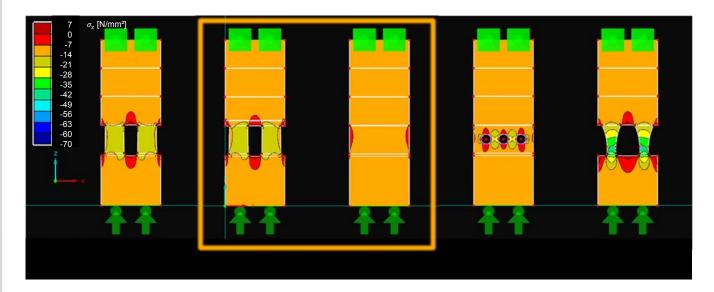
THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.

19

31.01.2018



**SIVE** 



Schöck

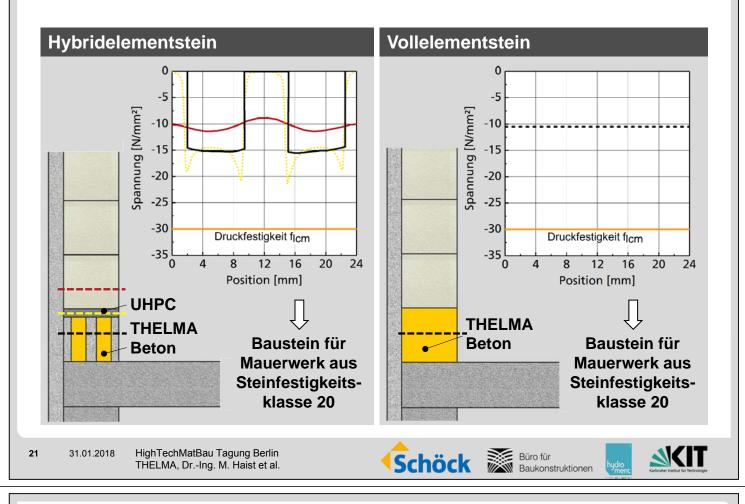






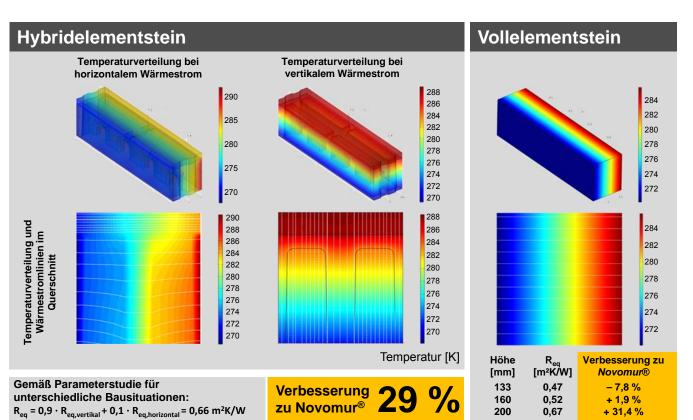
### Elemententwicklung **Entwickelte Varianten**

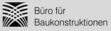




# Elemententwicklung Wärmetransporteigenschaften

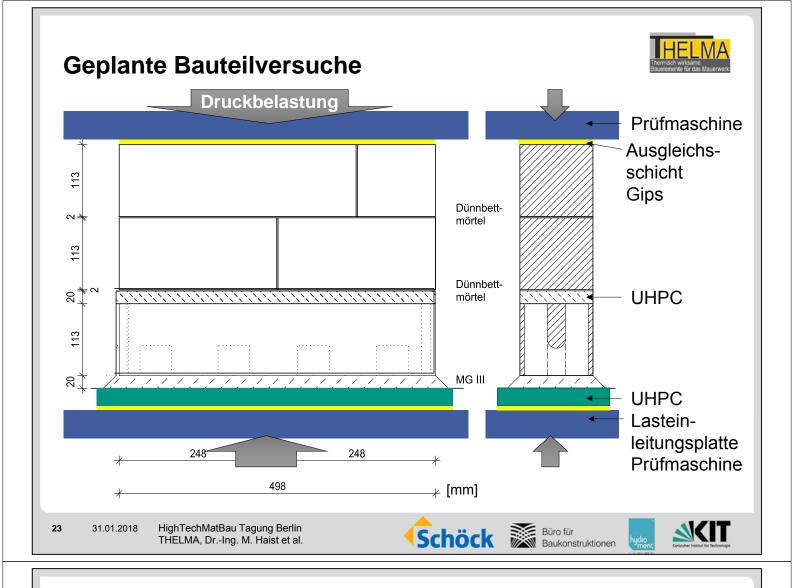












# Zusammenfassung



- Temperaturleitfähigkeit von Zementstein konnte um bis zu 30 % reduziert werden
- Entwickelte Additive erlauben gezielte Erzeugung eines stabilen Porensystems in wasserarmen Betonen
- Wärmeleitfähigkeit des Leichtbetons konnte um bis zu 40 % gegenüber bestehender Variante reduziert werden
- THELMA-Baustein zeigt um ca. 30 % verbesserten Wärmedurchlasswiderstand im Vergleich zu Vorgängermodel











### Verwertungsplanung





- Beantragung einer Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung für THELMA in Vorbereitung
- Mitwirkung in Normenausschüssen im Bereich Mauerwerksbau und Wärmedämmung
- Kooperation im Bereich Mischtechnologie



- Grundlagen zur Entwicklung neuer Konzentrate für zementgebundene Ausgleichsschüttungen
- Erschließung neuer Märkte mit noch leistungsfähigeren Sanierputzen



Weiterentwicklung der Simulation des Traqverhaltens von Lasteinleitungsbereichen



- Wissenschaftliche Weiterentwicklung und Schutzrechtanmeldung von Additiven zur Beeinflussung der Phononenstreuung
- Weiterentwicklung Leichtbetone
- Einbringen von Ergebnissen in Normungen

31.01.2018 25

HighTechMatBau Tagung Berlin THELMA, Dr.-Ing. M. Haist et al.













### Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Projekts unter den Förderkennzeichen 13N13281, 13N13282, 13N13283 und 13N13284.



Bundesministerium für Bildung und Forschung















