

Förderprojekt:
NP 379

Aktenzeichen:
1024-12

**Abschlussbericht des Forschungsvorhabens:
Konstruktiv materialtechnologische Verbesserung von
Betonfertigteilwandkonstruktionen**

Antragsteller:

Technische Universität München
Fakultät für Architektur
Institut für Entwerfen und Bautechnik
Lehrstuhl f. Baukonstruktion und Baustoffkunde (Abkürzung: EBB)
Prof. Dipl.-Ing. Florian Musso
Dipl.-Ing. ETH Matthias Pätzold
Arcisstraße 21
80333 München
tel. +49-89-289-22302
web. www.ebb.ar.tum.de
mail. paetzold@ebb.ar.tum.de

Projektpartner:

- Technische Universität München
Fakultät Bau Geo Umwelt
Lehrstuhl für Massivbau (Abkürzung: MB)
Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer
Dipl.-Ing. Thomas Lechner
Arcisstraße 21
80333 München
tel. +49-89-289-23036
mail. oliver.fischer@tum.de
mail. thomas.lechner@tum.de
- Technische Universität München
Fakultät Bau Geo Umwelt
Fachgebiet für Gesteinshüttenkunde
Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz
Dr.-Ing. Liudvikas Urbonas
Baumbachstraße 7
81245 München
tel. +49-89-289-27056
mail. heinz@cbm.bv.tum.de
mail. urbonas@cbm.bv.tum.de
- Rohrdorfer Betonwerke GmbH & Co. KG
Dipl.-Ing. Manfred Platzer
Dipl.-Ing. Peter Huttarsch
Lanhofen 7
84367 Zeilarn
tel. +49-8572-9684-111
web. www.rohrdorfer.eu
mail. manfred.platzer@rohrdorfer.eu
mail. peter.huttarsch@rohrdorfer.eu

Berichtszeitraum:
02.11.2014 – 14.10.2015

Förderzeitraum:
15.02.2013 – 14.10.2015



Technische Universität München



Inhaltsverzeichnis

Übersicht / Zusammenfassung	Seite 3
Ausgangssituation	Seite 4
Veränderung des Erkenntnisstandes seit dem Zwischenbericht	
Untersuchung Tragschicht innen	Seite 5
Untersuchung IR-reflektierende Folie	Seite 9
Untersuchung Aerogelvliesmatte	Seite 9
Untersuchung Oberflächentechnik	Seite 10
Untersuchung Grossmuster	Seite 18
Soll-/Ist-Vergleich der Meilensteine	Seite 25
Wirtschaftliche Auswirkungen für Bayern	Seite 28
Aufgabenverteilung der Forschungspartner	Seite 28
Danksagung	Seite 29
Ausblick	Seite 29
Anlagen	
Lehrstuhlprojekte	Seite 30
Hochschulseminar	Seite 32
Betonmischungen Großmuster	Seite 34
Bauphysikalische Berechnung	Seite 37
Zeichnung Großmuster	Seite 38
Auswertungen Oberflächenversuche	Seite 39
Tauwasserdiagramm	Seite 41

Übersicht / Zusammenfassung

Nach dem Weltklimagipfel in Paris im Dezember 2015 scheint die Weltgemeinschaft einen Kompromiss zwischen der Erkenntnis der Gründe der Klimaerwärmung und der damit zusammenhängenden Wirtschaftlichkeit als Konsens gefunden zu haben. Durch die momentanen niedrigen Preise fossiler Brennstoffe sind diese Klimaziele durch den damit verbundenen Wegfall der Motivation zum Energiesparen in Gefahr.

Die Anfang des Jahres eingeführte EnEV 2016 gilt als Optimierung der vorhergehenden und hat weniger die Anforderungen an Dämmstandards verschärft, sondern verstärkt den regenerativen Anteil an Gebäudeheizung und -kühlung.

Das so genannte „Nachhaltige Bauen“ sorgt für einen Ausgleich aus dem energetischen Aufwand, an Erstellung des Gebäudes, am Betrieb und am Rückbau zu finden. Diese Überlegungen sind in die Verabschiedung der aktuellen EnEV eingeflossen.

Dank der guten Trag-, Brandschutz-, Schallschutz und Vergüsseigenschaften und der hohen Verfügbarkeit ist Beton an keiner Baumaßnahme entbehrlich. Die Herstellung und der Rückbau sind sehr energieintensiv. Das Recycling findet immer als so genanntes „Downcycling“ statt.

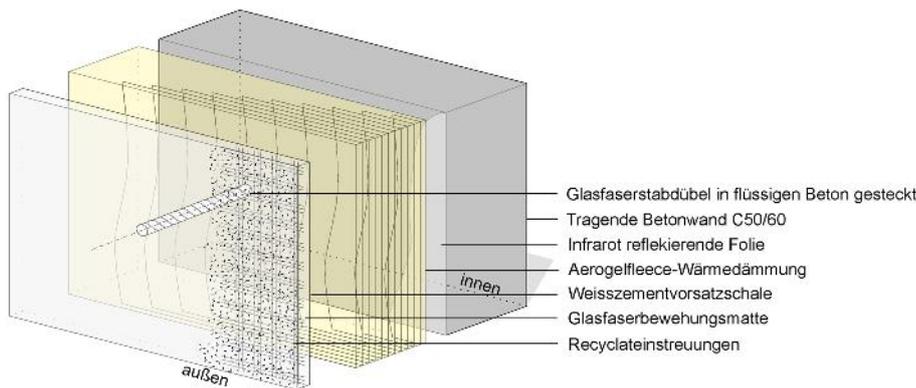


Bild 1: M. Pätzold, Prinzip des Betonfertigteilwandaufbaus am Ende des Forschungsvorhabens, 2016

Im Rahmen mehrerer paralleler Bestrebungen versucht der Lehrstuhl im Forschungsverbund Ansätze zu finden, methodisch diesem Umstand entgegen zu wirken. Die so genannte Resouceneffizienz soll gefördert werden.

Vorgefertigte Bauteile ermöglichen unter idealeren Bedingungen die Fertigung von Bauteilen in Qualität, in Wirtschaftlich- und Schnelligkeit zu optimieren als in der „In-Situ-Fertigung“ (auf der Baustelle) üblich [1]. Konstruktionsweisen können verwendet werden, die auf der Baustelle gar nicht möglich sind. Mittels Einstreuungen organischer, nachwachsender Rohstoffe und recycelten Baustoffen kann der Anteil regenerativer Baustoffe, möglichst mit Verbesserung der Eigenschaften, erhöht werden.

Doppelschalige Betonfertig- und -halbfertigteilwandkonstruktionen haben großes Potential zur Optimierung [2]. Hier sollen zwei konstruktive Ansätze

[1] Schmidt, M., Fehling, E., Bornemann, R., Bunje, K., Teichmann, T., „Ultrahochfester Beton (UHPC)“, in: Beton- und Stahlbetonbau 96, Heft 7, S. 468-477, 2011, Kassel.

[2] Jakubowski, G., in Ifeu-Institut, UFO-Plan-Vorhaben (FKZ 205 33 313), 2008, Heidelberg.

untersucht werden: tragende Wände mit vorgehängter Schale und zweischalige Verbundkonstruktionen. Für jede Variante werden unterschiedliche Aufbauten und Materialien für Schalen, Bewehrung, Verbund und Dämmung verglichen. Das Ziel ist ein minimaler Wärmedurchgang bei gegebener Wandstärke oder eine minimale Wandstärke bei gegebenen Dämmeigenschaften. Zusätzlich sollen Lösungen zur Verbesserung der Oberflächenqualität von Sichtbeton durch die Verbesserung der Betonmatrix und die Wahl von Zuschlägen gefunden werden.



Bild 2: M. Pätzold, Bild 3: , 08.04.2016, Steuerpult der Plattenumlaufanlage, im Hintergrund fahrbare und um 180° kehrbare Schaltische. Auf diesen vollautomatisierten Anlagen werden flächige Beton- und Betonhalbfertigteile als Elementdecken, Doppel-, Massiv-, Leichtbeton- und Sandwichwände sowie Fassadenelemente mit unterschiedlichen Automatisierungsgrad hergestellt, 2015

Ein erstes Ergebnis der Untersuchung ergab, dass mit Rücksicht auf den automatisierten Herstellungsprozess nicht ultra-hochfester Beton (UHPC), sondern der leistungsfähigste Normalbeton C50/60 verwendet werden soll. Die dadurch vereinfachte Herstellung großer Stückzahlen ermöglicht als Folgeergebnis eine Optimierung der bis zu sechsgeschossigen Betonfertigteile in der Dicke von 20 cm. Trotzdem können die Gebäude Passivhauseigenschaften besitzen. Von einem Passivhaus spricht man bei einem maximalen Heizwärmebedarf von 15kWh/m². Innerhalb der Versuchreihe zur Verbesserung der Oberflächenqualität und Akzeptanz von Sichtbetonflächen gab es bei systematisierten Kleinversuchen große Fortschritte. Diverse Oberflächen mit Einstreuungen nachwachsender Rohstoffe und recylierten Stoffen ließen sich gleichmässig und nach Bewitterung dauerhaft herstellen. Bei der Übertragung der positiven Ergebnisse auf Großmuster gab es in dem geplanten einen Großversuch in Zusammenhang mit der Einbringung der GFK-Stabanker radiale Entmischungen auf der Schal- und damit sichtbaren Oberfläche. Hier ergibt sich ein weiterer Bedarf an neuen Versuchen.

Ausgangssituation

In der ersten Projekthälfte wurde verstärkt mit dem relativ neu entwickelten und hochleistungsfähigen duktilen Material Ultra-Hochfester-Beton (engl. Ultra-High-Performance-Concrete / UHPC) experimentiert. Es stellte sich heraus, dass die Tragkraft wegen Temperaturzwängen im Gegensatz zu ersteren Annahmen [3] besser ausschließlich über die Innenschale erfolgen sollte. Hier

[3] Gintars, D., Vakuumgedämmte Fertigteile in der Baupraxis, BINE Projekt Info (2007) H.09, S. 1-4 in Forschungsprojekt BINE (BMW, Projektträger Jülich GmbH, M. Kratz, Förderkennzeichen 0327321D), 2007, Jülich.

sind profilierte Tragwände und unprofilierte Tragwände getestet worden. Der Mischprozess für UHPC, als auch die Nachbehandlung sind sehr aufwändig.

Zur Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften ist der Wärmedämmstoff Vakuuminulationspaneel verwendet worden. Bei diesem hat sich gezeigt, dass voraussichtlich trotz sorgsamer Verarbeitung und Schutz durch die äußere Betonschale die Vakuumeigenschaften verloren gehen können.

Die ersten Oberflächenversuche ohne Weisszementanteil haben gezeigt, dass die Einstreuungen aus Natursteinsplitter oder Ähnlichem auf dem dunklen UHPC nicht zur Geltung kommen. Auch kann durch die Konsistenz des Betons das Material nicht so gut von der Betonmatrix aufgenommen werden.

Veränderung des Erkenntnisstandes seit dem Zwischenbericht

Untersuchung Tragschicht innen

— In der ökobilanzierenden Betrachtung von UHPC wird der verhältnismäßig große „ökologische Fussabdruck“ gegen eine erwartete längere Lebensdauer des Materials abgeglichen: Inhaltsstoffe von UHPC, wie spezifische Zementmengen und Mikrostauffaserbewehrung beinhalten eine hohe Herstellungsenergie, auch graue Energie genannt. Ebenfalls ist der Rückbau sehr energieintensiv. Durch die hohe Tragfähigkeit und nicht notwendige Bewehrungsüberdeckung können UHPC-Bauteile deutlich dünner erzeugt werden, dass diese Energiebilanz zu Normalbetonen so verbessert, diese in Bezug auf die zu erwartende Lebensdauer nachhaltiger eingestuft werden [4].

— Diese Betrachtung bezieht sich auf eine der ersten hybriden Ingenieurbauwerke aus UHPC, der Gärtnerplatzfussbrücke in Kassel mit 133m Länge [5]. Gegenstand des Forschungsprojekt ist eine als sinnvoll beurteilte, gegen Witterungseinflüsse geschützte, innere Tragschicht. Hier können diese Vorteile in der Dauerhaftigkeit nicht so ausgespielt werden, sodass der hohe Anteil von „grauer Energie“ nicht gerechtfertigt ist. Anmerkung: Eine sinnvolle Chance kann nur ein Bauteilrecycling sein, indem Wandbauteile nur partiell aus Tragfähigkeits und Brandschutzgründen vergossen werden und wieder verwendet werden können.

Zusammengefasst lässt sich feststellen:

1. UHPC ist in der Energiebilanz für diesen geplanten Einsatz sehr energieintensiv in Herstellung und Rückbau.
2. UHPC ist sehr aufwändig in der großindustriellen Herstellung und Betonnachbehandlung.

Aus diesem Grund wird bei der Untersuchung der Tragschicht auch der sehr leistungsfähige Normalbeton C50/60 mit einbezogen.

Die Herstellung der Probekörper und Stempelversuche dienen der

[4] Stengel, T., Schliefl, P., Life cycle assessment (LCA) of ultra high performance concrete (UHPC) structures, in: Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L., F., Labincha, J. , Magalães, A. de, Eco-efficient construction and building materials, S. 528-562, 2014, u. a. Oxford.

[5] Stengel, T., Schliefl, P., Sustainable Construction with UHPC – from Life-Cycle Inventory Data Collection to Environmental Impact Assessment. Proc. 2nd. Int. Symp. On UHPC, Structural Materials and Engineering Series, 2008, Kassel.

Untersuchung der Tragfähigkeit wandartiger Scheiben aus UHPC und Normalbeton unter exzentrisch wirkender Normalkraft.

Dabei werden Scheiben mit verschiedenen Abmessungen, verschiedenen Exzentrizitäten und Scheiben aus UHPC und Normalbeton miteinander verglichen. Ziel der Untersuchungen ist eine Abschätzung, welche Last von einer Wand unter Annahme von bei der Bauausführung auftretenden Ungenauigkeiten aufgenommen werden kann, um daraus die mögliche Anzahl von Etagen in einem Gebäude zu berechnen.

Versuchsaufbau

Alle Versuchskörper weisen eine Länge von 120 cm und eine Breite von 40 cm auf. Die Dicke der Platten variiert je nach Versuchskörper zwischen 3, 4 oder 6 cm. Die mit UA bezeichneten Platten weisen auf der der Exzentrizität abgewandten Seite (Zugseite) eine mittige Aussparung mit den Abmessungen 100 x 36 x 20 cm auf (vor Zwischenbericht). Je nach Versuch ist der drehbar gelagerte Exzenterrundstab unterschiedlich weit von der Plattenmitte entfernt angebracht. Durch diese Exzentrizität werden die Platten sowohl mit Normalkraft als auch mit einem Biegemoment belastet. Auf der Plattenvorderseite werden Verschiebungen über ein optisches Messsystem aufgenommen. Auf der Plattenrückseite sind auf halber Höhe zwei horizontale Wegaufnehmer angebracht, die jeweils 10 cm vom linken bzw. rechten Rand Entfernung haben. Mit je 20 cm senkrechtem Abstand sind jeweils noch drei Wegaufnehmer darüber und darunter in Plattenmitte angebracht.



Bild 4: Th. Lechner, Prüfung Probekörper C50/60, 2015

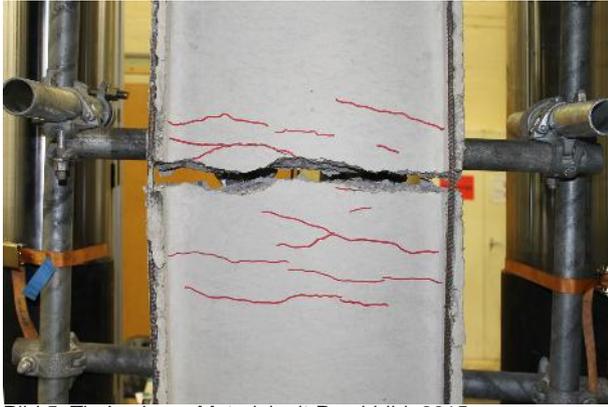


Bild 5: Th. Lechner, Material mit Bruchbild, 2015

Zur Prüfung verschiedener Formen von Glasfaserstabdübeln zur kraftschlüssigen Verbindung in das Materialgefüge des Betons C50/60 wird eine Prüfreihe von Düberauszugversuche ausgeführt.

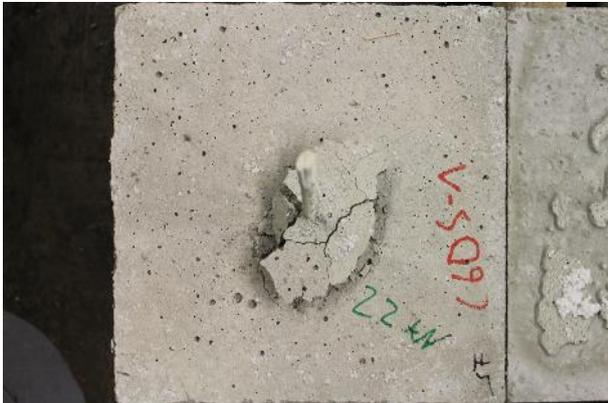


Bild 6: Th. Lechner, Zugversuch Glasfaserstabanker System Combar®, 2015



Bild 7: Th. Lechner, Zugversuch Glasfaserstabanker System Thermomass®, 2015

Zusammenfassung der Ergebnisse für Normalbetonwände
 Aufgabe ist zu verifizieren, welche Geschossanzahl unter bestimmten Randbedingungen mit verschiedenen Dicken Normalbetontragwänden möglich ist.

Ausgangspunkt bildet die Geschosshöhe von 2,50 m. Die Wände sind oben und unten gelenkig gelagert und besitzen somit auch eine Knickhöhe von 2,50 m. Die Exzentrizität wird unabhängig von der Dicke der Wände zunächst auf 1,0 cm oben und unten beschränkt. Die Wände werden aus einem Beton gefertigt, der nach 28 Tagen mindestens eine mittlere Betondruckfestigkeit von 75 N/mm² aufweist. Der E-Modul wird auf mindestens 36.500 N/mm²

festgelegt. Variiert wird also lediglich die Wanddicke, sofern nichts anderes angegeben ist. Eine Beziehung zur Ermittlung der Tragfähigkeit von unbewehrten oder gering bewehrten Einzeldruckgliedern und Wänden mit Normalkraftbeanspruchung nach Theorie II. Ordnung wurde Kapitel 12.6.5 der DIN EN 1992 (Eurocode 2) [6] entnommen.

$$N_{Rd} = b \cdot h_w \cdot f_{cd,pl} \cdot \phi$$

mit: $\phi = 1,14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{tot}}{h_w}\right) - 0,02 \cdot \frac{l_0}{h_w} \leq 1 - 2 \cdot \frac{e_{tot}}{h_w}$

b Querschnittsbreite

h_w Querschnittsdicke

$f_{cd,pl}$ Bemessungswert der Zylinderdruckfestigkeit

e_{tot} Lastausmitte gesamt ($e_o + e_i$)

Die Belastung der zweiseitig gehaltenen Wände erfolgt mit 120 kN pro laufendem Meter je Geschoss. Dieser Wert ergibt sich aus dem Eigengewicht der Decke mit einer Dicke von 30 cm und einer Ausbaulast in Höhe von 1,5 kN multipliziert mit dem Teilsicherheitsfaktor 1,35 und einer Verkehrslast in Höhe von 5,0 kN multipliziert mit dem Teilsicherheitsfaktor 1,5.

$$p = \gamma_G \cdot (d \cdot \rho_C + g_2) + \gamma_Q \cdot q = 1,35 \cdot (0,3 \cdot 25 + 1,5) + 1,5 \cdot 5,0$$

Dabei wird dann schließlich noch ein zweiachsiger Lastabtrag und eine maximale Spannweite von 12 m, also eine Einzugsbreite von 6,0 m, angesetzt. Selbstverständlich müssen für jedes Gebäude diese Randbedingungen überprüft werden.

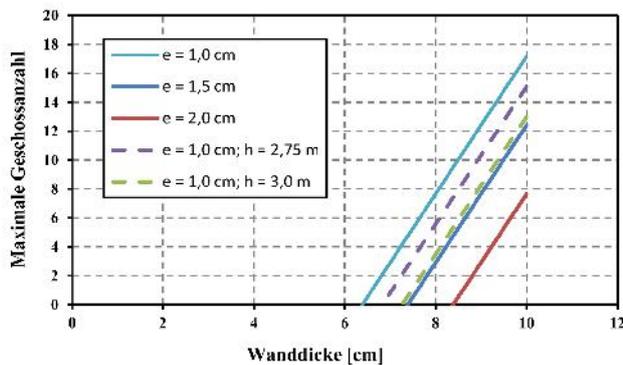


Bild 8: Th. Lechner, Abhängig der maximalen Geschosszahl zu Wanddicke bei verschiedenen Aussermitten, 2015

Es wird empfohlen die Wanddicke der Innenwand mindestens mit 8 cm zu wählen. Besser sind 9 cm, da dann auch größere Exzentrizitäten erlaubt sind.

Prüfungen 2013									
Versuchskörper	Baustoff	Dicke	Exzentrizität	Maximale Last	Verformung bei max. Last	Verformung vor Versagen	Biegezugspannung	Knicklast Euler	Mögliche Geschosszahl
		mm	mm	kN	mm	mm	N/mm²	kN	
U60_10-1	UH-PC	80	10	435,54	10,33	19,25	36,0	2517	6,2
U60_10-2	UH-PC	80	10	940,91	10,15	13,27	39,8	2517	7,0
U60_5	UH-PC	80	5	1652,48	10,62	15,39	37,7	2517	11,8
U400_15-1	UH-PC mit Aussparung	80	6,43	599,17	8,32	12,84	84,1	965	4,5
U400_15-2	UH-PC mit Aussparung	80	6,43	547,11	7,92	14,39		965	4,1
U40_3	UH-PC	40	3	656,20	5,95	12,57	14,0	746	4,9
U40_5_1-1	UH-PC	40	5,5	293,99	6,09	22,71	20,8	746	2,1
U40_5_1-2	UH-PC	40	5,5	446,69	6,24	19,85	23,6	746	3,3
U30_5-1	UH-PC	30	5	204,98	7,02	15,37	24,0	315	1,5
U30_5-2	UH-PC	30	5	207,02	6,61	21,47	23,5	315	1,5
N60_10-1	Normalbeton	80	10	500,50	8,57	13,81	18,2	1626	3,8
N60_10-2	Normalbeton	80	10	482,64	7,73	12,39	15,6	1626	3,0

Prüfungen 2015									
Versuchskörper	Baustoff	Dicke	Exzentrizität	Maximale Last	Verformung bei max. Last	Verformung vor Versagen	Biegezugspannung	Knicklast Euler	Mögliche Geschosszahl
		mm	mm	kN	mm	mm	N/mm²	kN	
N60RB-10-1	Normalbeton	80	10	470,69				1626	3,0
N60RB-10-2	Normalbeton	80	10	480,99				1626	3,0
N60R-10-1	Normalbeton	80	10	441,32				1626	3,3
N60R-10-2	Normalbeton	80	10	481,82				1626	3,6
N60-E	UH-PC	80	5	581,82				1626	4,3
N60_10-1	Normalbeton	80	10	401,66				1626	3,0
N60_10-2	Normalbeton	80	10	423,55				1626	3,3

Bild 9: Th. Lechner, Zusammenstellung der Prüfungen 2013 bis 2015, 2015

[6] DIN EN 1992-1-1, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1, Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Beuth-Verlag, Berlin, Ausgabe: Januar 2011.

Untersuchung IR-reflektierende Folie

Die Verwendung infrarot-reflektierender Folien kann die thermische Übertragung reduzieren. Während des Herstellungsprozesses kann die Folie auf die äußere Seite der tragenden inneren Wand aufgetragen werden. Die zusätzliche Folie verbessert die Wärmedämmung ungefähr $0,3\text{m}^2\text{K/W}$. Dies steht für eine Verbesserung von eine Zentimeter konventioneller Wärmedämmung mit einer üblichen Wärmeleitzahl von $0,40$. Der Dampfdruckwiderstand der Folie könnte einen Feuchtigkeitsausfall auf der Innenseite dieser Folie bewirken [6].



Bild 10: M. Pätzold, infrarot reflektierende Folie, Aluminium, $d=0,010$ bis $0,015\text{mm}$, 2016

Untersuchung Aerogelvliesmatte

Vakuumisulationspaneel

Der ursprünglich verfolgte Gedanke, die Betonschale schütze Vakuumisulationspaneele und sei daher eine ideale Kombination mit den Fertigsteilen [7], wird aufgegeben. Grund hierfür sind die negativen Erfahrungen mit Verlust des Vakuums. Studien des Fraunhofer Instituts in Freiburg ergaben, dass auch bei Einbau unter Idealbedingungen mittels Wärmebildkamera nach Fertigstellung Platten mit abgeminderter Wärmedämmfunktion sichtbar waren. Die Industrie ist mittlerweile dazu über gegangen, zwei Werte für diese Wärmedämmart anzugeben: Den Wert mit Vakuum von $\pm 0,006\text{ W/mK}$ und den Wert ohne Vakkum. Der Wert ohne Vakkum ist mit $0,020\text{ W/mK}$ immer noch überdurchschnittlich (vgl. Mineralwolle $0,035\text{ W/mK}$). Betonfertigteile mit dan zu erwartenden Unterschiedlichen Wärmedämmeigenschaften könnten auf Dauer an der Oberfläche unterschiedliche Verfärbungen durch Algen- und Pilzbildung zeigen.

Vorteile der Aerogelvliesmatte

Sehr guter Lambda-Wert bei großer Robustheit und Flexibilität durch weiche Mattenform.

[6] Künzel, H., M., Sedlbauer, K., Klarstellung zur bauphysikalischen Wirkung Infrarot reflektierender Schichten, in: IBP-Mitteilung Nr. 479, Fraunhofer Institut Bauphysik, 2007, Stuttgart.

[7] Bassi, A. in Voellinger, Th, Schlank und effizient / KTI/EPFL/CH, Werk, Bauen + Wohnen (2011) H. 1-2, S. 37.

Bauphysikalische Eigenschaften

- Wärmeleitfähigkeit: 0,013 W/mK
- Wasserdampfdiffusionswiderstand: μ : 5,5
- Temperaturbeständigkeit langfristig: -200 °C bis +200 °C
- Druckfestigkeit: 70 KPa
- Brandverhalten Baustoffklasse: B1, Euroklasse (Feuer): C
- Dichte: ca. 142 kg/m³
- Lieferform: Matten mit d=10mm, b=1.450mm, l=(auftragsbezogen)

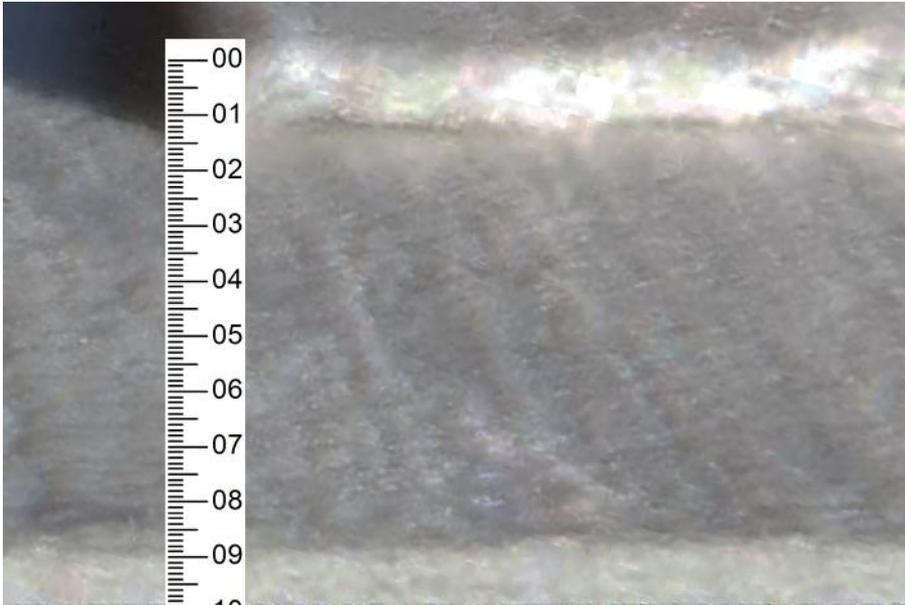


Bild 11: M. Pätzold, Aerogelvliesmatte, 2015

Untersuchung Oberflächentechnik

Mittels Einstreuungen sollen durch ein einfach industriell anwendbares Verfahren sollen Betonoberflächen optisch aufgewertet werden. Hierzu sind technologisch 3 verschiedene Vorgehensweisen mit unterschiedlichen Ergebnissen durchgespielt worden:

- A Versuch mittels einer auf eine Klebefolie applizierte Einstreuung
- B Versuch auf einen Abbindeverzögerer getreuten Einstreuung
- C Versuch mit auf einen Abbindeverzögerer applizierten Einstreuung inkl. dünner pastöser Betonmischung aus Weisszement und Einstreuung

A Versuch mittels einer auf eine Klebefolie applizierte Einstreuung

Schalung

Eine Schalung aus nichtsaugenden glatten Holzplattenwerkstoff wird hergestellt. Auf eine flächige doppelseitige Klebefolie wird möglichst gleichmäßig und vollflächig eine Einstreuung aufgebracht.

Beton

Als Betonrezeptur wird anfänglich UHPC ausgeführt.

Betontechnologische Untersuchung

-Keine-

Ausschalen

Nach einem Tag Aushärtung werden die Probekörper ausgeschalt: Der



Bild 12: M. Pätzold, Schalung mit doppelseitiger Klebefolie und applizierter Naturstein- und Glimmereinstreuung, 2015

Holzplattenwerkstoff wird entfernt und die Muster werden mit Sichtseite nach Oben umgedreht. Die Klebefolie wird entfernt.

Betonnachbehandlung
-Keine-

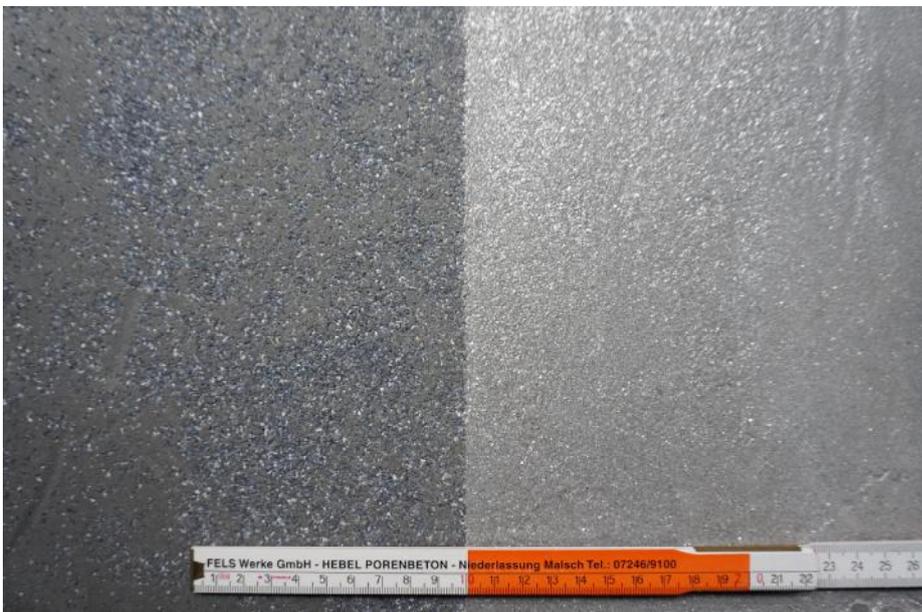


Bild 13: M. Pätzold, UHPC-Probekörper mit Naturstein- und Glimmereinstreuung, 2015

Ergebnisse

Aufgrund von Erwärmung während des Abbindens hat sich die Klebefolie erhitzt und ist in Bereichen wellig geworden. Die Verteilung der Einstreuungen kann als bedingt gleichmäßig beurteilt werden. Bei diesem Verfahren gibt es keine negativ erscheinende Umschließung der Partikel mit Zementschleim.

Fazit und Strategie

Das Verfahren ist aufgrund der Klebefolie sehr aufwendig. Die Welligkeit der Oberfläche kann als störend gesehen werden. Bei der Verwendung von

Abbindeverzögerer kann dies vermieden werden und negative Auswirkungen von Zementschleim können auch vermieden werden [9].

B Versuch auf einen Abbindeverzögerer getreuten Einstreuung

Schalung

Durch den Heiss Schneider werden Styroporstreifen mit 30mm Höhe zugeschnitten und mittels Heißkleber auf den blanken großformatigen Stahlschaltisch geklebt. Zur besseren Sichtbarkeit der Mineralien wird die Schalungsunterseite beim horizontalen Betonieren zur Vermeidung von Betonschleim mit Erstarrungsverzögerer eingestrichen. Es wird das Material CR Type N der Fa. Reckli angewendet. Zur besseren Kenntlichkeit ist der Betonverzögerer mit Farbstoff gekennzeichnet. Der Verzögerer wird nach Aufstreichen dann mit den Mineralien mit Korngröße von 0,5mm (blau), 1,5mm (grün) und 2,5mm (rot) bestreut.

Folgende Verzögerer werden mit Einstreuungen folgender Größe kombiniert:

blau	0,5mm	Calcit weiß	0 – 1,0mm
		Intensiv gelb	0 – 1,0mm
grün	1,5mm	Glimmersand	0 – 2,0mm
		Blau S	1,2 – 1,8mm
		Dunkelrot	0 – 2,0mm
rot	2,5mm	Kristallweiss	1,0 – 3,0mm

Beton

Folgende Betonrezeptur wird tauglich für den Großmengenmischer abgestimmt und hergestellt:

Zuschläge wie Zellulose werden nach genauerem Ermessen vor Ort iterativ nach Prüfung der Konsistenz eingemischt. Die Zellulose verhindert das Absinken der Zuschläge Im Beton während des Aushärtens.

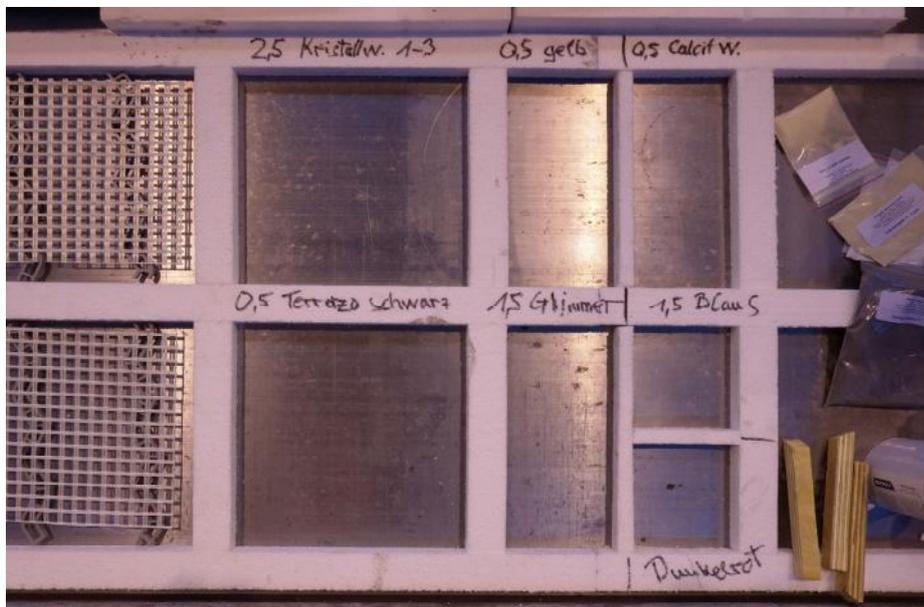


Bild 14: M. Pätzold, Schaltisch mit Probeaufbau, 2015

Betontechnologische Untersuchung

Nach der Herstellung wird durch den Betontechnologen der Fa. Sika der Wasserzementwert bestimmt.

[9] König, G., M., Dehn, F., Heller hochfester Beton, in: fb_T_2942, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, 2001, Stuttgart.

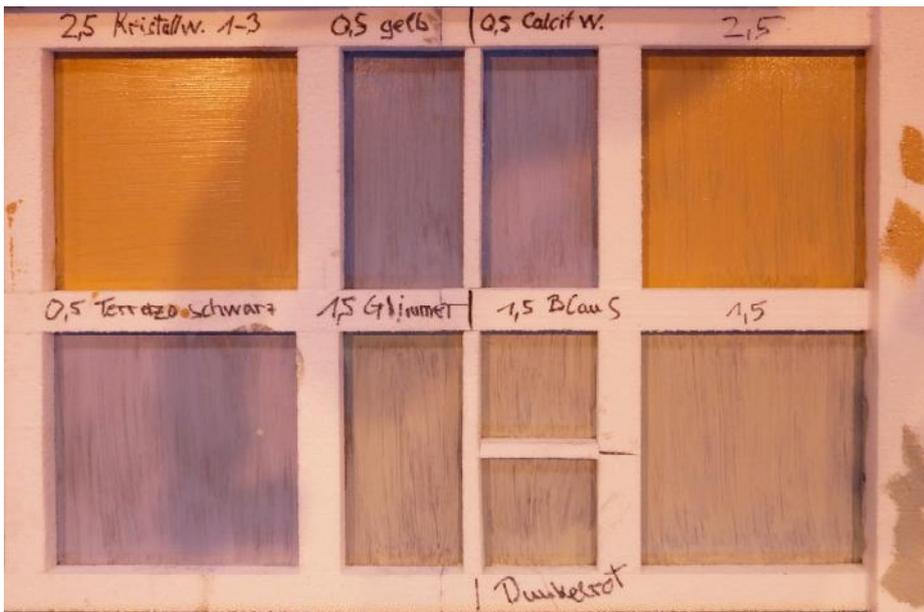


Bild 15: M. Pätzold, Schaltisch mit Abbindeverzögerer unterschiedlicher Eindringtiefen gemäß Notiz an oberen Rand in mm, 2015

Ausschalen

Nach einem Tag Aushärtung werden die Probekörper ausgeschalt: Die Styroporschalung wird entfernt und die Muster werden mit Sichtseite nach Oben umgedreht.

Betonnachbehandlung

Mittels Hochdruckwasserstrahl werden auf der Oberfläche Verzögerer und Betonschlemme gleichmäßig entfernt. Der starke Strahl ist notwendig, da durch die Chemikalie nicht ausreichend abgebundener Beton entfernt wird und nicht nachträglich abfällt.



Bild 16: M. Pätzold, ausgeschaltete und gewaschene Probekörper div. Eindringtiefen, Ergebnisse sind negatives Absanden diverser Einstreuungen und wenig Konstrastbildung zum dunklen Betonuntergrund, 2015

Ergebnisse

Je kleiner der mineralische Kornzuschlag, desto geringer das optische Erscheinungsbild der Mineralien und desto stärker die Auswaschung.

blau	0,5mm	Calcit weiß	0 – 1,0mm	starke Auswaschung
		Intensiv gelb	0 – 1,0mm	
grün	1,5mm	Glimmersand	0 – 2,0mm	mittlere Auswaschung
		Blau S	1,2 – 1,8mm	
		Dunkelrot	0 – 2,0mm	
rot	2,5mm	Kristallweiss	1,0 – 3,0mm	sichtbare Auswaschung

Die in verschiedene Korngrößen abgestuften Einstreuungen werden durch den Zusatz von Verzögerer zu stark ausgespült und kommen somit nicht zur optischen Erscheinung.

Fazit und Strategie

Versuche mit Abbindeverzögerern minimaler Eindringtiefe soll weiter experimentiert werden. Eine Sichtmischung aus einer pastösen Betonmischung mit äußerst geringen Kornanteil mit Einmischungen aus mineralischen Körnungen sollte zuerst aufgebracht werden. Dann könnte der statisch notwendige Beton folgen. Bei einer Mindestschichtdicke von 3-5mm kann so der kostspielige Anteil von Einmischungen reduziert werden.

C Versuch mit auf einen Abbindeverzögerer applizierten Einstreuung inkl. dünner pastöser Betonmischung aus Weisszement und Einstreuung

Für die Sichtoberflächen mit Einstreuungen eignet sich besser ein hellerer Normalbeton C50/60, der mittels Weisszement zusätzlich aufgehellt werden kann und somit Einstreuungen besser zur Geltung kommen lässt.

Es werden grundsätzlich zu jeder Einstreuungsart zwei Musterstücke, davon eines für die Bewitterung, angefertigt.

Schalung

Durch den Heiss Schneider werden Styroporstreifen mit 30mm Höhe zugeschnitten und mittels Heißkleber auf den blanken großformatigen Stahlschaltisch geklebt. Zur besseren Sichtbarkeit der Mineralien wird die Schalungsunterseite beim horizontalen Betonieren zur Vermeidung von Betonschleim mit Erstarrungsverzögerer eingestrichen. Es wird das Material CR Type N der Fa. Reckli, Türkis 0,25mm Typ Mikro angewendet. Der Verzögerer wird nach Aufstreichen und Trocknungszeit mittels diverser Einstreuungen überstreut.

Der Verzögerer mit der geringsten Eindringtiefe wird mit allen Einstreuungsgrößen kombiniert:

türkis	0,25mm	Einstreuung 1-2	Ziegelrecyclat
“		Einstreuung 3-4	Mineralisiertes Holzrec.
“		Einstreuung 5-6	Alkaliresistentes Glassp.
“		Einstreuung 7-8	Polyethylenrecyclat
“		Einstreuung 9-10	Polypropylenrecyclat
“		Einstreuung 11-12	Messingrecyclat
“		Einstreuung 13-14	Titanrecyclat
“		Einstreuung 15-16	Humus

Beton

Sichtschale: Beton aus dem Großmengenmischer wird zum Erreichen eines farbneutralen Erscheinungsbildes mit Weisszement versetzt.



Bild 17: M. Pätzold, Schaltisch, blanker Edelstahl mit Polystyrolschalung, 2015



Bild 18: M. Pätzold, Schaltisch, Abbindverzögerer mit 0,25mm Einbringtiefe und Einstreuung Messinggranulat, 2015

Tragschale: Die Betonrezeptur wird für den Großmengenmischer tauglich abgestimmt und hergestellt:

Zuschläge wie Zellulose werden nach genauerem Ermessen vor Ort iterativ nach Prüfung der Konsistenz eingemischt. Die Zellulose verhindert das Absinken der Zuschläge während des Aushärtens.

Betontechnologische Untersuchung

Nach der Herstellung wird durch den Betontechnologen Herrn Schärfl (Fa. Sika) der Wasserzementwert der Tragschale bestimmt.

Ausschalen

Nach einem Tag Aushärtung werden die Probekörper ausgeschalt: Die Styroporschalung wird entfernt und die Muster werden mit Sichtseite nach Oben umgedreht.



Bild 19: M. Pätzold, Schaltisch, Auftragener Weisszement mit Einmischung und Glasfaserbewehrungsmatte, 2015



Bild 20: M. Pätzold, Schaltisch, Auftragener Normaöbeton C50/60 auf Glasfaserbewehrungsmatte, 2015

Betonnachbehandlung

Mittels Hochdruckwasserstrahl wird die Oberfläche vom Verzögerer und Betonschlemme gleichmäßig entfernt.

Ergebnisse

Je kleiner der mineralische Kornzuschlag, desto geringer das optische Erscheinungsbild der Mineralien und desto stärker die Auswaschung.

türkis	0,25mm	Einstreuung 1-2	Ziegelrecyclat
“	“	Einstreuung 3-4	Mineralisiertes Holzrec.
“	“	Einstreuung 5-6	Alkaliresistentes Glassp.
“	“	Einstreuung 7-8	Polyethylenrecyclat
“	“	Einstreuung 9-10	Polypropylenrecyclat
“	“	Einstreuung 11-12	Messingrecyclat
“	“	Einstreuung 13-14	Titanrecyclat
“	“	Einstreuung 15-16	Humus

Die in Korngrößen der Einstreuungen werden durch den Zusatz von Verzögerer passend ausgespült und kommen somit optisch zur Geltung [siehe Anhang Auswertungen Oberflächenversuche].



Bild 21: M. Pätzold, fertig gestellter, ausgeschalter und ausgewaschene Probekörper mit unterschiedlichen Einstreuung, von oben links bis unten rechts Naturstein Blau S, Messinggranulat, Schaumglas, Substrat, Eisengranulat, PET-Recyclat A-PET-Tiefziehqualität, 2015

Strategie

Aufgrund der guten Ergebnisse sollen als nächster Schritt Großmuster mit innerer Tragwandkonstruktion und Wärmedämmung hergestellt werden.

Freilandbewitterung

Von 15.08.2015 bis 15.02.2016 sind die Mustertafeln in Richtung Süden ausgerichtet in einem 45°-Winkel der Witterung mit üblichen Sonnenschein und Frost ausgesetzt worden. Das Wasser der mit Kupfergranulat versehenen Probekörper ist aufgrund der schädlichen Bestandteile aufgefangen worden. Als Ergebnis nach dieser im Verhältnis zur gewünschten Gesamtlebensdauer der Fassadenbauteile geringen Dauer lässt sich folgendes fest halten:

1. Bei Musterflächen mit organischen Bestandteilen verfärbt sich Gesamtbetonfläche leicht bräunlich.
2. Weder metallische, mineralische, noch organische Bestandteile lösen sich aus dem Betongefüge.
3. Frost kann das Betongefüge im Untersuchungszeitraum nicht beeinträchtigen.

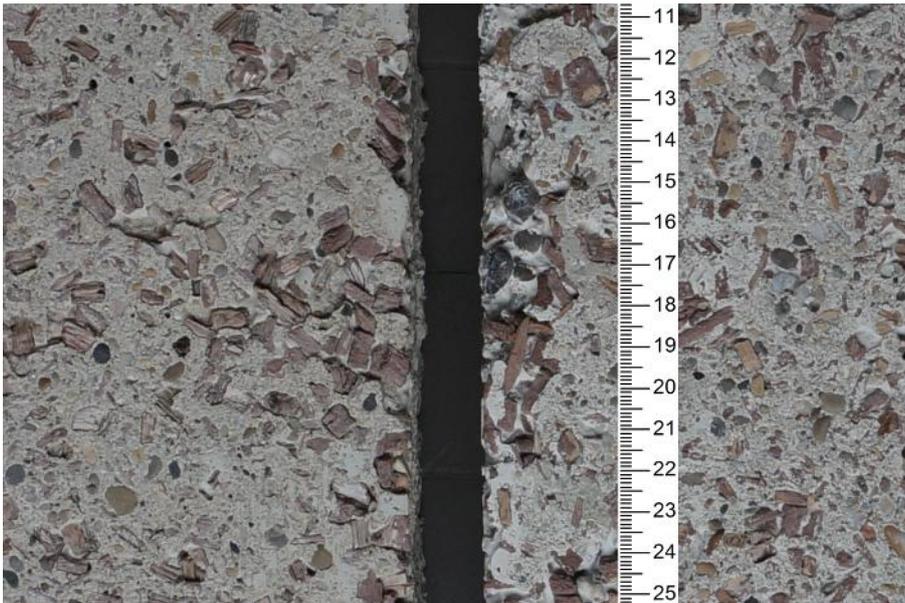


Bild 22: M. Pätzold, Mineralisiertes Holz in Probekörper rechts bewittert, links unbewittert mit Verfärbungen auf dem rechten Körper, 2016



Bild 23: M. Pätzold, alkaliresistente Glassplitter in Probekörper rechts bewittert, bei nicht alkaliresistenten Glassplittern besteht die Gefahr, dass die Einstreuungen ausgewaschen werden, links unbewittert, etc., 2016

Untersuchung Grossmuster

Mit der an Kleinmustern erprobten Technik werden zwei Grossmusterversuche durchgeführt mit Anwendung der Optimierung der Tragfähigkeit, Wärmedämmung und dem optischen Erscheinungsbild

1. Betonierschritt

Schalung

Spanplatten werden auf die betonierende Gesamthöhe als Streifen geschnitten und mittels Schraubzwingen in Lage gebracht und zur Sicherung des

Betondrucks mit Latten verstärkt. Die Flanken werden mit Schalöl eingestrichen. Ferner werden die Höhenmarkierungen angezeichnet. Die Fensteröffnung wird ausgeschalt. Der aus Vorversuchen ermittelte Abbindeverzögerer mit einer Eindringtiefe von 0,25mm wird dünn aufgerollt und nach Herstellerangaben ausgehärtet.



Bild 24: M. Pätzold, Aufbringen des Abbindeverzögerer auf Stahlschaltisch, 2015

Anschließend werden die Einstreuungen gleichmäßig auf den eintrocknenden Abbindeverzögerer aufgestreut. Mineralisiertes Holz wird in der Menge von 2,15kg für die Mischung verwendet. Das mineralisierte Holz hat Abmessungen von 1-5mm und sind farblos (grau). 50% davon werden direkt auf den Abbindeverzögerer gestreut und 50% in die Weisszementpaste gemischt.



Bild 25: M. Pätzold, Schaltisch mit Abbindeverzögerer und Eintreuung, 2015

Als Abschluss des ersten Betonageprozesses wird der Beton mit Weisszementanteil aus dem Grossmengenmischer mit einer Dicke von ca. 10mm verteilt und mittels Kellen auf die an der Schalung angebrachten Linien angeglichen.



Bild 26: M. Pätzold, Aufbringen von Weisszement, 2015

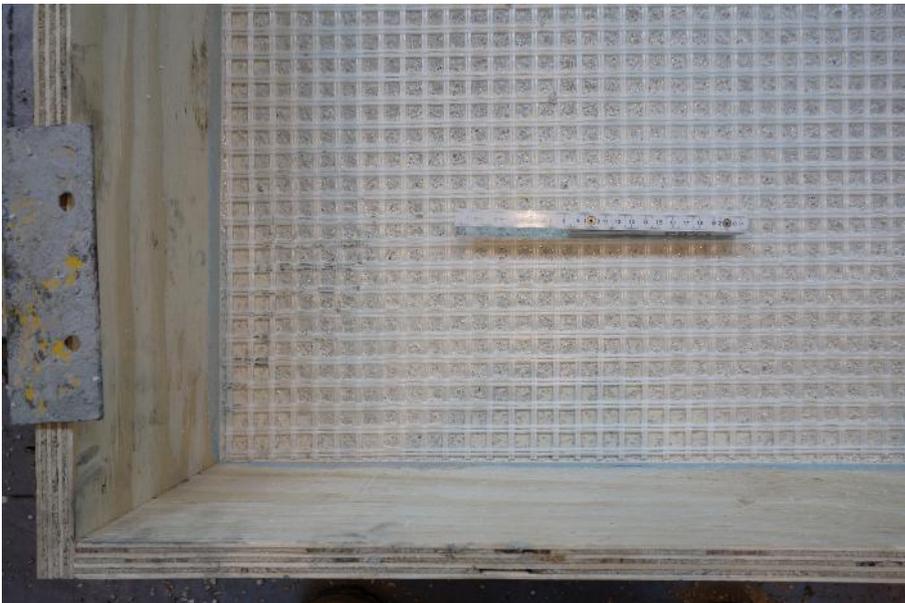


Bild 27: M. Pätzold, Weisszement mit Glasfaserbewehrungsmatte, 2015

Bewehrung

Die zuvor zugeschnittene Bewehrung aus Glasfasergewebematten wird auf den abbindenden Beton aufgelegt, Abmessung für die Außenschale mit Maschenweite als Quadratraster von 18/18mm [8].

[8] Brameshuber, W., Hegger, J., Gries, T., Dilger, K., Böhm, S., Mott, R., Voss, S., Barlé, M., Hartung, I., Serielle Einzelfertigung (Stückfertigung) von Bauteilen aus textilbewehrtem Beton, ibac-Forschungsbericht Nr. F 882, Aachen, Institut für Bauforschung, Institut für Massivbau, Institut für Textiltechnik (alle RWTH Aachen), Institut für Füge- und Schweißtechnik (TU Braunschweig), 2007

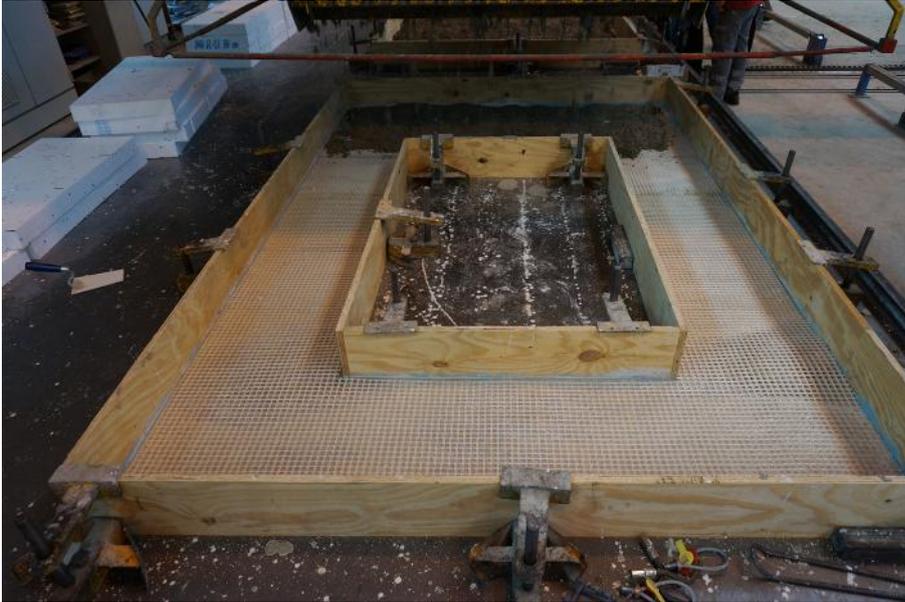


Bild 28: M. Pätzold, Aufbringen des Betons für die Verankerung der äußeren Sichtschale mittels Verteileranlage, 2015

Wärmedämmung

Die Polystyrolwärmedämmung wird zugeschnitten und mit Löchern für die Stabbewehrung hergerichtet. Die Stabbewehrung wird vorbereitend, um dann nach Aufbringen der 80mm Styroporschalung auf den frischen Beton die Bewehrungsstäbe schnell einbringen zu können.

Außenschale $d= 30,0\text{mm}$ C50/60 mit Weissbeton und Einstreuungen



Bild 29: M. Pätzold, Einbringen der GFRK-Stabdübel, 2015



Bild 30: M. Pätzold, Aufbringen Tragschicht mittels Verteileranlage, 2015

2. Betonierschritt

Beton

Die Betonrezeptur wird tauglich für den Großmengenmischer abgestimmt und hergestellt. Zuschläge, wie Zellulose werden vor Ort iterativ nach Prüfung der Konsistenz eingemischt. Die Zellulose verhindert das Absinken der Zuschläge während des Aushärtens. Nachdem der Beton auf die auf Abstand gehaltenen Bewehrung aufgebracht und exakt auf Höhe abgezogen ist, wird der Beton gerüttelt. Die Wärmedämmung wird nach Plan aufgelegt und die Stabbewehrung durchgesteckt. Danach wird der Beton nochmals gerüttelt.

Betontechnologische Untersuchung

Nach der Herstellung wird durch den Betontechnologen Herrn Schärfl (Fa. Sika) der Wasserzementwert bestimmt.

Ausschalen

Fällt weg, mit der gleichen seitlich umgebenden Sperrholzschalung wird die Innenseite ebenso geschalt.

Betonnachbehandlung

Die Temperatur im Fertigteilwerk ist für das Abbinden optimal (20°C). In den Aushärteofen wird das Muster nicht gefahren.



Bild 31: M. Pätzold, Rütteln der Gesamtkonstruktion, 2015

Abbau des Versuchskörpers

Der zum Betonieren in der horizontalen Lage befindliche Betoniertisch wird hydraulisch schräg gestellt. Mittels des Hallenkranes wird das fertig gestellte Wandelement senkrecht in ein Trägergestell gehoben, mittels Keilen gegen Kippen gesichert und auf den Lagerhof gefahren. Der Probekörper wird anschließend im Werk Lanhofen gelagert.

Ergebnis der Großversuche

Die Ergebnisse der Probekörperherstellung mit der Oberflächenverbesserung unterstreicht die früheren Ergebnisse der Geschoss hohen Probekörper. Die Probekörperherstellung wurde in die Fertigungsstraßen integriert. Die Mischung, das Abbinden und die Anwendung der Verzögerungspaste zum Abbinden des Betons erfordert eine exakte Terminierung. Verfahrensmäßig kann das Fertigteil sehr einfach und zufriedenstellen produziert werden. Die Einstreuungen sind bei der Musterfertigung manuell gleichmäßig aufgebracht werden, ein maschinelles Aufbringen ist mit Mehraufwand möglich. Nester und Fehlstellen dunkel gefärbten Betons sind nach dem Ausschalen und Auswaschen des Abbindeverzögerers sichtbar. Die Lage ist exakt an den Durchstoßpunkten der Glasfaserstabdübel in die äußere Betonschale angepasst. Die unterschiedliche Oberflächenstruktur in Zusammenhang mit der mineralisierten Holzeinstreuung könnte durch die unterschiedliche Verdichtungsenergie um die Stabbewehrung bei Abbinden entstanden sein. Ein glatter weislicher Film ist auf den bis auf die durch die Fehlstellen ausgenommenen Flächen zu erkennen. Grund sind die unterschiedlichen Bedingungen, während des Abbindeprozesses unter Ausscheidung von Calcium Hydroxid oder Calcium Carbonat [10]:



[10] Strehlein, D., E., Fleckige Dunkel-färbung an Sichtbetonflächen, Charakterisierung – Entstehung – Vermeidung, Diss. TU München, 2012, München.

Trotz dieser Beobachtungen zeigen die Ergebnisse, dass die Herstellung von 20- bis 24cm dicken Betonwänden zur Ablastung sechs geschossiger Gebäude mit Wärmedämmeigenschaften eines Passivhauses möglich ist. Die Kleinmuster der Sichtschale zeigen, dass mit geringem Mehraufwand hochwertigere Betonoberflächen ohne Egalisationsanstrich möglich sind. Bei den Großmustern besteht noch Optimierungsbedarf [siehe Anhang Betonmischungen Großmuster].

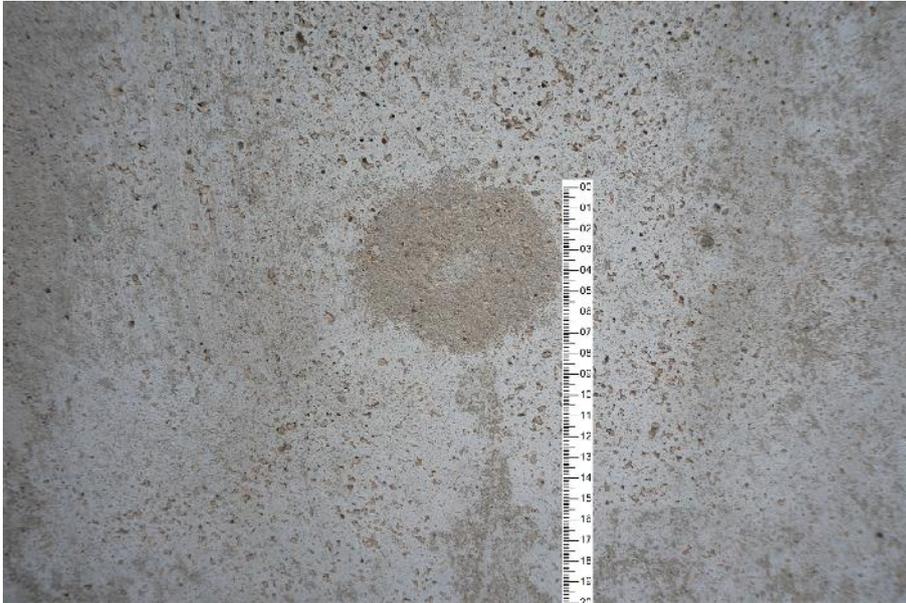


Bild 32: M. Pätzold, Einflussradius (D = ca. 80mm) des Stabdübels nach dem Ausschalen, 2015



Bild 33: M. Pätzold, Fehlstellen ca. alle 36cm nach Stabdübelbild, 2015

Soll-/Ist-Vergleich der Meilensteine

Block 1

Untersuchung des Entscheidungsspielraums im Bereich der "Stellschrauben"

- Baukonstruktion und Baustoffkunde (EBB)
Aufzeigen und Abschätzen von Ideallösungen. (Erfüllt).
- Massivbau (MB)
Erarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung der statischen Eigenschaften. Abschätzung von Szenarien unter Berücksichtigung des Brandverhaltens. (Erfüllt).
- Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm)
Alternative Lösungswege zur Senkung des hohen Primärenergiebedarfs zur Herstellung von Beton werden erörtert. Entwicklung und Anwendung von Holzleichtbeton und weiteren ressourceneffizienten Betonen spielen hier eine zentrale Rolle. (Erfüllt).
- Rohrdorfer Beton Werke (RBW)
Problemspezifische Erfahrungen aus der Herstellung werden gesammelt, bewertet und in die Diskussion eingebracht. (Erfüllt).

Zum Start und zum Ende des Blocks wird eine koordinierende Sitzung mit Teilnahme aller an dem Forschungsprojekt Beteiligten abgehalten. (Erfüllt).

Block 2

Variantenbildung Konzepte

- EBB
Festlegung und Gegenüberstellung der Regelaufbauten konstruktiv und materialwissenschaftlich sinnvoller Varianten. (Erfüllt).
- MB
Überprüfung der o.g. Vorschläge zur Verbesserung der Bauteile hinsichtlich Brandschutz und Statik und Weiterentwicklung. (Erfüllt).
- cbm
Die alternativen Lösungswege zur Reduktion des Primärenergiegehalts von Beton werden auf Ziel führende Varianten reduziert. (Erfüllt).
- RBW
Die Vorschläge der Forschungsinstitute werden mit Herstellungsanforderungen verglichen und bewertet. (Erfüllt).

Abschließend wird eine Koordinationssitzung aller an dem Forschungsprojekt Beteiligten abgehalten. (Erfüllt).

Block 3

Potentialabschätzung und Kleinversuche

- EBB
Die Vorschläge aus Block 2 werden nach einem zuvor entwickelten Kriterienkatalog bewertet und auf wenige viel versprechende Varianten reduziert. (Erfüllt).
- MB

Für die festgelegten Varianten werden Versuchsaufbauten geplant.
(Erfüllt).

- cbm
-/-
- RBW
Nach der Überprüfung der Herstellbarkeit der Werkstücke werden die Varianten konkretisiert und Kleinmuster hergestellt. (Erfüllt).

Abschließend wird eine Sitzung aller an dem Forschungsprojekt Beteiligten abgehalten. (Erfüllt).

Block 4

Systembildung

- EBB
Mit den Ergebnissen aus der Herstellung von Kleinmusterstücken werden etwa 3 Systeme skizziert (Regeldetails, Anschlüsse, Wärmedurchgang und Erscheinungsbild). (Erfüllt).
- MB
Die viel versprechender Varianten werden hinsichtlich Statik, Regeldetails, Anschlüssen und Brandschutz überprüft.

Aufgrund besserer Eigenschaften in dem industriellen Herstellungsprozess in der Befahranlage wird entschieden, weitere Versuche mit dem sehr leistungsfähigen „Normalbeton“ C50/60 durchzuführen. Aus diesem Grund wird entschieden, den Schwerpunkt weg von den Brandschutzbetrachtungen auf statische Untersuchungen des Material mit der Bewehrung, etc. zu setzen. Bei dem Beton C50/60 ist der Brandschutz sehr gut erforscht.

- cbm
Die materialspezifischen Ergebnisse der Kleinversuche werden in Erfolg versprechende Systeme eingearbeitet. (Erfüllt).
- RBW
Die durch Kleinmusterstücke erprobten Varianten werden untersucht. Realistische Ausführungsalternativen werden zusammengestellt. (Erfüllt).

Block 5

Großversuche

- EBB
Von den in Block 4 beschriebenen Ergebnissen für Erfolg versprechende Ergebnisse werden konstruktive und materialwissenschaftliche Grundlagen für 3 + 1 Großversuche (ein Fehlversuch) erarbeitet (Erfüllt).
- MB
Die Verbesserungsvorschläge für den Brandschutz und das Tragverhalten auf die Großversuche werden angepasst (Erfüllt/Brandschutz ausgeklammert).
- cbm
-/-
- RBW
In Zusammenarbeiten mit den Lehrstühlen wird die Arbeitsvorbereitung der Bewehrung, Schalung, An- und Einbauteile geplant. Halbzeuge werden gefertigt und anschließend die Großmuster erstellt (Erfüllt).

Unter Berücksichtigung der Kleinmuster werden im Werk des Industriepartners Projektsitzungen begleitet von Probemischungen und -betonagen abgehalten.

Block 6

Auswertung

- EBB
Die Großmusterstücke werden im Fertigteilwerk hinsichtlich Ihrer Leistungsfähigkeit analysiert. Hierbei spielt nicht nur das betonierte Ergebnis eine große Rolle, auch der eventuell fehlerbehaftete Fertigungsablauf wird überprüft (Erfüllt).
- MB
Auch der Lehrstuhl für Massivbau analysiert die gefertigten Stücke und den Herstellungsprozess. Dabei werden die Musterstücke nach Prüfung gegebenenfalls beflammt und probeweise zerschnitten (Keine Beflammung wegen ausgeklammerten Brandschutz).
Neu werden Druckversuche von profiliert ausgebildeten und nicht profiliert ausgebildeten Probekörpern durchgeführt.
- cbm
Im Zusammenspiel mit geänderten Zuschlägen und Abbindebeschleuniger oder -verzögerer werden die Fertigungsabläufe analysiert und Rückschlüsse auf den Erfolg des Großversuches gezogen. Das Optimierungsergebnis zur Verbesserung der Oberflächenqualität und die Reduktion des Primärenergieanteils im Fertigungsprozess werden mit den anderen Forschungsbeteiligten diskutiert (Erfüllt).
- RBW
Proben und Untersuchungen werden auf dem Werkgelände durchgeführt. Ein Aufstellen der Musterstücke im Freien oder einer klimatisch kontrollierten Halle ermöglicht, Vergleiche zwischen den einzelnen Großmustern zu ziehen
Neu: Je zwei Kleinmuster wurden identische hergestellt, wovon je eines 6 Monate bewittert wurde und dann mit dem Kontrollmuster abgeglichen wurde.
Neu: Mit den Ergebnissen der Oberflächenanalyse und Bewitterung wird ein abschließendes Großmuster im Werk hergestellt.

Block 7

Abschlußbericht

- EBB
Die Eigenschaften werden zusammengestellt und speziell nach Fragestellungen der Baustoffwissenschaften und Baukonstruktion mit den Forschungspartnern abgeglichen. Sie werden systematisiert und textlich, zeichnerisch und tabellarisch und fotografisch dokumentiert. Die Ergebnisse beziehen sich nicht nur auf die Optimierungen der Muster, sondern auch auf Optimierung des Herstellungs- und Montageprozesses im Zusammenspiel mit anderen Bauteilen (Erfüllt).
- MB
Die Ergebnisse der Probestücke werden hinsichtlich statischer Eigenschaften aufbereitet und in das Gliederungsmuster des

- Abschlußberichtes eingearbeitet. Mit Hilfe von Analysesoftware können über die Musterstücke hinaus Rückschlüsse gezogen werden (Erfüllt).
- cbm
- -/-
- RBW
Die Strategien der Arbeitsvorbereitung im Werk, die Herstellungsprozesse und die Interaktion mit Halbzeugen, Anbauteilen, Transport und Montage auf der Baustelle werden erörtert, systematisiert und textlich, zeichnerisch, und tabellarisch formuliert sowie fotografisch dokumentiert (Erfüllt).

Im Werk der Rohrdorfer Betonwerke GmbH & Co. KG hat das operative Geschäft mit strengen Terminvorgaben Vorrang. Aufgrund von Kapazitätsengpässen selbst im Schichtbetrieb und an Wochenenden hatten sich konjunkturbedingt in der Musterproduktion so Verzögerungen ergeben. Trotz dieser Zwänge des Industriepartners konnte die RBW die Herstellung der Musterstücke qualitativ und in sehr guter Zusammenarbeit leisten.

Wirtschaftliche Auswirkungen für Bayern

Wohnungsbauprojekte mit bis zu 6 Geschossen können laut dem abgeschlossenen Forschungsvorhaben mit einer Gesamtwandstärke von 20cm die Konstruktionsfläche bei Neubauvorhaben reduzieren. Die Vorfertigung sichert eine schnelle Herstellung bei gleichbleibender hoher Qualität. In Innenstadtbereichen mit einer hohen Ausnutzungsziffer und hohen Quadratmeterpreisen spielt die Reduktion der Konstruktionsfläche zur Vergrößerung der Nutzfläche eine entscheidende Rolle.

Ausgehend von den aus den Musterstücken abgeleiteten Ergebnissen schafft das Forschungsvorhaben die Voraussetzungen zur Entwicklung eines durch die Zusammensetzungen und Möglichkeiten nachhaltigen Betonbausystems mit Wandquerschnitte. Betonfertigteile mit besonders guter Wärmedämmung liefern einen entscheidenden Beitrag. Die Herstellung und Entsorgung kann durch in dem Projekt untersuchten Forschungsvorhaben co2-neutraler werden. Gleichzeitig ist die Vorfertigung Garant für eine schnelle und exakte Bauabwicklung.

Die Fertigteilherstellung mit dem im Forschungsvorhaben optimierten Gewicht kann den wirtschaftlichen Transport auf weiter entfernte Baustellen außerhalb von Bayern ermöglichen. Durch die industriennahe Fertigung der Musterstücke kann die Umsetzung sehr schnell erfolgen. Die wirtschaftliche Umsetzung in größeren Stückzahlen erfordert geringe Anpassungen. Der angestrebte Innovationsschub kann in der Beton- und Dämmstofftechnologie durch die Fertigteilbauweise zu einem Impuls führen.

Der aktuelle Zuzug in große Ballungsräume schafft einen Bezug zu diesem Forschungsvorhaben: Eine zeitnahe Umsetzung durch die Schnelligkeit der Industrieproduktion und die hohe mögliche Bebauungsdichte mit einer hohen Geschoszahl und geringen Konstruktionsflächen kann diesen Bedarf gerecht zu werden helfen. Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Projektergebnisse sind somit ein positives Zeichen auch für die Metropolregion München.

Aufgabenverteilung der Forschungspartner

Interdisziplinär wurden fachspezifische Kompetenzen in den Arbeitsschritten mit in den Entwicklungsprozess einbezogen. Systematisch wurden die Ergebnisse

der Variantenbildung ausgewertet und dokumentiert. Es fanden in der ersten Hälfte des Vorhabens sechs Forschungssitzungen unter der Leitung des Antragstellers statt. Die Zuständigkeiten im Rahmen des Arbeitsprogramms sind zum Antrag hin unverändert. Die Zusammenarbeit erwies sich als intensiv, kollegial und zielorientiert.

Danksagung

Wir möchten unserem Förderer, der Bayerischen Forschungsstiftung und unserem Forschungspartner und Drittmittelpartner, der Rohrdorfer Betonwerke GmbH & Co KG, für das Engagement danken.

Ausblick

Die Fehlstellen auf der Sichtbetonoberfläche des letzten Großmusters sind primäres Ziel einer Verbesserung. Hier ist die Auswirkung von Veränderungen der Betonmatrix an der Stabbewehrung zu reduzieren. Bezogen auf die technischen Möglichkeiten im Fertigteilwerk erscheint dies als wahrscheinlich. Mengenmäßig ist zwar der Anteil von Recyclaten oder co2-neutralen, nachwachsen Rohstoffen wie Holz in mineralisierter Form nicht groß, der Beitrag ist jedoch messbar und kann in der Sichtschale durch die Zugabe von Recyclingbeton ergänzt werden. In der optimierten Tragschale würde die Zugabe von Recyclatbetons die Tragfähigkeit reduzieren und ist somit nicht ratsam. Eine Verschiebung der Lage der IR-reflektierenden Folie anstatt auf der inneren Betonwand auf die Außenseite der Wärmedämmung muss geprüft werden.

Parallel zu den beschriebenen Fortschritten wurden im Zusammenhang mit dem Baustoff Beton unterschiedliche Eigenschaften weiter entwickelt und angewendet. In Zusammenhang mit der Herstellung von Betonfertigteilen können die Fertigteile durch folgende Eigenschaften ergänzt werden:

1. Risse im Beton ermöglichen das Eindringen von Feuchtigkeit, die Korrosion der Bewehrung ermöglicht. Es wird sowohl mit Bakterien experimentiert, die bei Berührung mit Wasser Kalziumkarbonat produzieren als auch mittels bereits in Windeln verwendeten Hydrogelen Wasser aufnehmen können.
2. Ein japanisches Forschungsvorhaben entwickelte einen Beton, der mittels widerstandsfähigen sog. Natto-Bakterien Wasser reinigen kann. Fertigteile im Bereich des Abwassersystems können diese Eigenschaft integriert haben.
3. Beton kann mit Titandioxid angereichert werden und hat dann die Fähigkeit über die Oberfläche bei Sonnenschein 20 bis 50 Prozent der Stickoxide zu reduzieren. Die Hochschule Ostwestfalen-Lippe hat hier belastbare Ergebnisse vorgelegt.
4. In der jeweiligen Auslegung von Verbindungspunkten und Vereinheitlichung von Bauteilen kann die Möglichkeit der Wiederverwendbarkeit von Wandelementen vorgesehen werden.
5. Aktuelle Bauvorhaben haben gezeigt, dass sowohl im Neu- als auch im Sanierungsbereich vorgehängte Fertigteile mittels Aktivierung durch Solarabsorber großes Energiesparpotenzial während der Nutzungsdauer haben.

Die Ergebnisse und die positive Zusammenarbeit geben uns Anlass, gemeinsam die Optimierung der Betonfertigteile in der Forschung und Realisierung weiter voranzutreiben.

Anlage

Aufstellung der in Zusammenhang mit dem geförderten Projekt stehende Lehrstuhlprojekte

Semesterarbeiten

- 1 Seminar: „Neue Werkstoffe“ zum Thema „Neue Betonoberflächen aus UHPC:“
Referenten aus den Bereichen Entwicklung und Anwendung zeigen die Mittel und Möglichkeiten zur Gestaltung von Beton auf. Parallel dazu erhalten die Studenten im Rahmen einer Entwurfswerkstatt die Aufgabe innovativ gestaltete Oberflächenstrukturen beispielhaft zu entwickeln. Zeitraum: Wintersemester 2013-2014.
- 2 Vertiefungsseminar: „Neue Werkstoffe“ zum Thema „Neue Betonoberflächen aus UHPC“: Aufbereitung der Ergebnisse des vorhergehenden Seminars in Zeichnung und Bild für die Buchveröffentlichung „Faszination Beton – Neue Oberflächen aus UHPC“ in Zusammenarbeit mit dem Betonmarketing Süd e.V. und der Firma Reckli.

Ausstellungen

- 1 Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde in Zusammenarbeit mit dem Betonmarketing Süd e.V und der Deutschen Doka Schalungstechnik GmbH vom 16.10.-29.10.2014: Titel „Faszination Beton“ Ergebnisse des Seminars „Neue Werkstoffe“ zum Thema „Neue Betonoberflächen aus UHPC.“ Ort: Bauzentrum München, Williy-Brandt-Alle 10, 81829 München.
- 2 Architekturfakultät der TUM: Jahresausstellung vom 17.07.-20.07.2014: Ergebnisse des Seminars „Neue Werkstoffe“ zum Thema „Neue Betonoberflächen aus UHPC.“ Ort: TUM, Vorhoelzerforum, Arcisstraße 21, 80333 München.
- 3 Architekturfakultät der TUM: Jahresausstellung vom 22.07.-24.07.2015: Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts „Konstruktiv materialtechnologische Verbesserung von Betonfertigteilwandkonstruktionen.“ Ort: Ehemaliges Heizkraftwerk, Katharina v. Bora-Straße 8, 80333 München.

Konferenztteilnahmen

- 1 Oral presentation, Design-engineering-based and material-based improvement of precast concrete façade elements, MSE-colloquium, TUM, Munich School of Engineering, 09 July.2015
- 2 Oral presentation, Design-engineering-based and material-based improvement of precast concrete façade elements, Sustainable Built Environment Conference, ETHZ, Chair of Sustainable Construction, 13-17 June 2016

Poster

- 1 Architekturfakultät der TUM: Schaukastenposter 2013 bis 2016 mit Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts „Konstruktiv materialtechnologische Verbesserung von Betonfertigteilwandkonstruktionen.“ Ort: TUM, Arcisstraße 21, 80333 München.

Publikationen

- 1 Pätzold, M., Musso, F., Konstruktiv materialtechnologische Verbesserung von Betonfertigteilwandkonstruktionen, Jahrbuch der Architekturfakultät der TU München 2013, München. S. 158-159.
- 2 Pätzold, M., Musso, F., Optimierung doppelschaliger Betonfertigteilelemente, Jahrbuch der Architekturfakultät der TU München 2014, München. S. 40, 46-47.
- 3 Pätzold, M., Musso, F., Betonfertigteilwandkonstruktionen, Jahrbuch der Architekturfakultät der TU München 2015, München. S. 74-77.
- 4 Pätzold, M., Lechner, Th., Urbonas, L., Design-engineering-based and material-based improvement of precast concrete façade elements, Programme of the 5th MSE Energy Colloquium 2015, TUM, Munich School of Engineering. P 13.
- 5 Pätzold, M., Musso, F., Lechner, Th., Fischer, O., Heinz, D., Design-engineering-based and material-based improvement of precast concrete façade elements, Sustainable Built Environment Conference, ETHZ, Zurich 2016, Scopus-Index

Anlage

Hochschulseminar

Parallel zu den wissenschaftlichen Recherchen wurde ein Seminar „neue Werkstoffe“ mit dem Titel „neue Betonoberflächen“ innerhalb des Curriculums für Architekturstudenten im Masterprogramm angeboten.

Studenten entwickelten anhand eines vorgegebenen Einfamilienhauses in Zeichnung, Holz- und Gipsmodell Musterelemente, die am Ende des Seminars mit einer selbst entwickelten Matrizenschalung mit UHPC betoniert wurden.

Einführend wurde eine begleitende Vorlesungsreihe mit folgenden Personen und Inhalten organisiert: Prof. Florian Musso (TUM EBB), Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen, Thema Betontechnologie (TUM CBM), Lutz Hammer, Thema Matrizenschalung (Fa. RECKLI), Christian Egenter, Thema Betongestaltung (Fa. Villa Rocca), Martin Peck, Thema Betontechnik (Betonmarketing Süd), Prof. Heike Klusmann, Thema Retroreflexiver Beton (Universität Kassel).

Die repetitive Anwendung der Fassadenplatten wurden anhand einer technischer Zeichnung und einer photorealistischen Ansicht dieses Hauses dokumentiert. Innerhalb eines Vertiefungsfaches wurden dann alle Arbeiten innerhalb eines kleinen Buches veröffentlicht.

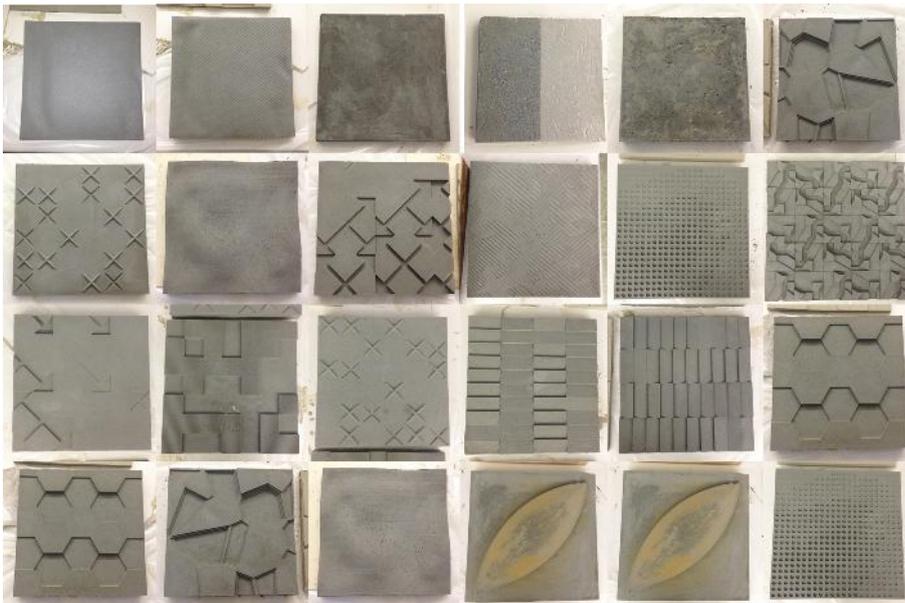


Bild 34: M. Pätzold, UHPC-Musterstücke 35/35cm, 2014



Bild 35: M. Pätzold, Betonage Mustertafeln, 2013



Bild 36: M. Pätzold, Ausstellung im Bauzentrum München, 2013

Anlage

Betonmischungen Großmuster

Tragschale

Werk: RBW Röhroerfer Datum: 30.09.2015 Zeit: 12:52
 Benutzer: Clemens Gröner

Rezept-Nr. C50/60 Kontrollwert 3967,58
 Suchbegriff C50/60 Rezepttyp Beton
 Bezeichnung C50/60

		Istwerttoleranz	90 %	Verzögerungszeit 1	s
		Sollwertabweichung	0 %	Zemententleerverz.	s
Luftgehalt	01	Mischerbefüllung	100 %	Wasserentleerverz.	s
Konsistenz-Solwe	130	max. Brauchwasserfaktor	100 %	Zusatzmittelentleerverz	s
WZ-Faktor max.	0,450	Mi-Beschickungsprogr.	1	Zusatzmittelbehälter ve	s
Warmwasser	Ja	Füllerbew. % v. Zement	0 %	Mischzeit	120,0 s
		Füllerbewertung	C %	Entleerung Teiloffen 1	s
				Entleerung Teiloffen 2	s
				Entleerung Offen	s

Langtext 1

Sieblinie Nr.

Rohmaterial	Bezeichnung	Sollwert	Istwert-Tol.	Waage entf.	Prüfzeichen
103	Sand 0/4	527,00 kg	0,000		
105	Gemisch 0/4	326,00 kg	0,000		
101	Kies 8/16	847,00 kg	0,000		
102	Kies 4/8	218,00 kg	0,000		
30	Frischwasser	181,00 kg	0,000		
202	CEM/A-S 42,5R	380,32 kg	0,000		
201	Kalketeln	0,02 kg	0,000		
401	Fließmittel	0,58 kg	0,000		

M 3

1,20 m³

Bild 37: M. Pätzold, Betonmischung Tragschale, 2015

Vorsatzschale!

Werk: RBW Rohrdorfer
Benutzer: C'errens Grüner

Datum: 30.09.20'5 Zeit: 12:52

Rezept-Nr. C50/60
Suchbegriff C50/60
Bezeichnung C50/6C

Rezepttyp Beton

Kontrollwert 3957,55

		Istwerttoleranz	90 %	Verzögerungszeit 1	s
		Sollwertabweichung	0 %	Zemententleerverz.	s
Luftgehalt	01	Mischerbefüllung	100 %	Wasserentleerverz.	s
Konsistenz-Sollwe	130	max. Brauchwasserfaktor	100 %	Zusatzmittelenleerverz	s
WZ-Faktor max.	0,450	Mi-Beschickungsprogr.	1	Zusatzmittelbehälter ve	s
Warmwasser	Ja	Füllerbew. % v. Zement	0 %	Mischzeit	120,0 s
		Füllerbewertung	0 %	Entleerung Teiloffen 1	s
				Entleerung Teiloffen 2	s
				Entleerung Offen	s

Langtext 1

Sieblinie Nr.

Rohmaterial	Bezeichnung	Sollwert	Istwert-Tol.	Waage entl.	Prüfzeigen
103	Sand 0/4	327,00 kg	425	0,000	
105	Gemisch 0/4	326,00 kg	425	0,000	
404	Kies 0/4	947,00 kg		0,000	
102	Kies 4/8	286,00 kg	1038	0,000	
301	Friedwasser	161,00 kg	176	0,000	
202	CEM III/A-S 42,5R	380,00 kg	420	0,000	
201	Kalkstein	0,00 kg		0,000	
401	Fleissmittel	0,88 %	0,62	0,000	

Rezept 3 pro m

Zugeben auf 0,60 m³

Stabi UV = 0,310gr (Silva Unterwasser Compound 100)

VZ 10 = 0,380gr.

Mikrofaser 150/12 = 550gr.

+ 5 LTR Wasser

+ 1 LTR FM

Berechnung Dampfdruckverlauf
Minimale Wandstärke mit Aerogelmatte ohne Gefache (schwer entflammbar B1)

Schichten Aufbau	Material	Berechnung Wärmedurchgangszahl			Berechnung des Temperaturverlaufs			Feuchte μ [-]	R=d/[m²K/W]	sd=d* μ [m]	sdtot [m]	Wasserdampfsättigungsdruck		Gewicht [kg/m²]	Tauwasser [Gew%]
		d [m]	[W/mK]	R=d/[m²K/W]	Rtot [m²K/W]	q=Ux [°CW/m²K [°C]	[°C]					Ps [Pa]	Temperatur [°C] min. max.		
Aussenluft															
Übergang aussen				20,000	0,050	0,050	0,235								
1.	Betonaussenschale m. Faserbewehrung	0,030	2,500		0,012	0,062	0,056		0,050		0,000				
2.	Wärmedämmung Aerogelmatte	0,040	0,013	9,000	3,077	3,139	14,475		0,012	3,900	3,900				
3.	Wärmedämmung Aerogelmatte	0,040	0,013		3,077	6,216	14,475		0,012	3,900	3,900				
4.	Betoninnenschale m. Faserbewehrung	0,090	2,500		0,036	6,252	0,169		0,036	11,700	16,040				
5.		0,000	0,000			6,252			0,000		16,040				
6.		0,000	0,000			6,252			0,000		16,040				
Dicke gesamt		0,200				6,252			0,000		16,040				
Übergang innen				8,000	0,125	6,377	0,588		0,125	0,588	16,040				
Innenluft							20,000								
Summe 1/U					6,377				6,377						
U-Wert gesamt					0,157				sdtot		16,040				



cbm
Centrum Baustoffe
und Materialprüfung



Bayerische
Forschungsstiftung

25.02.2015

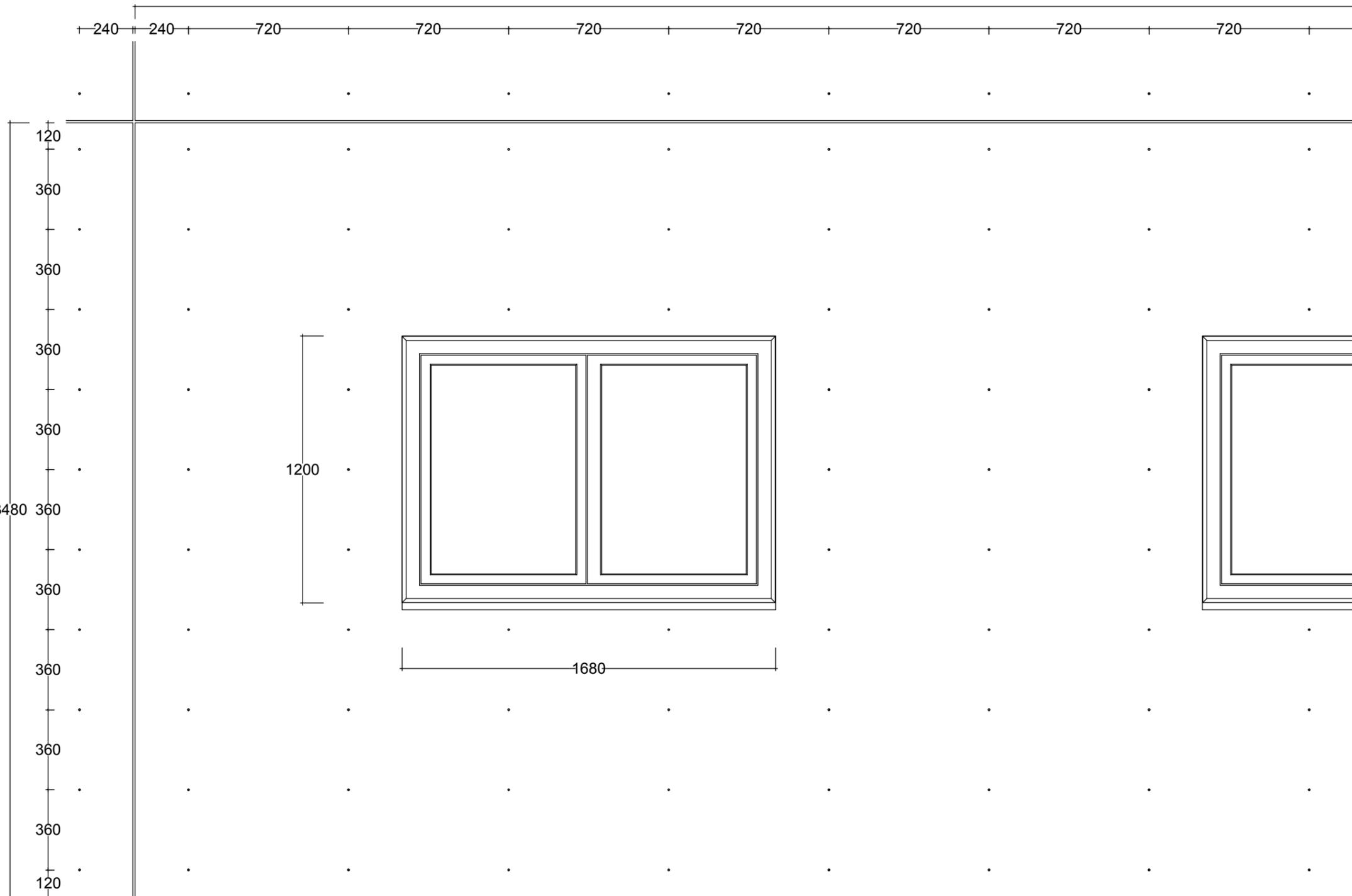
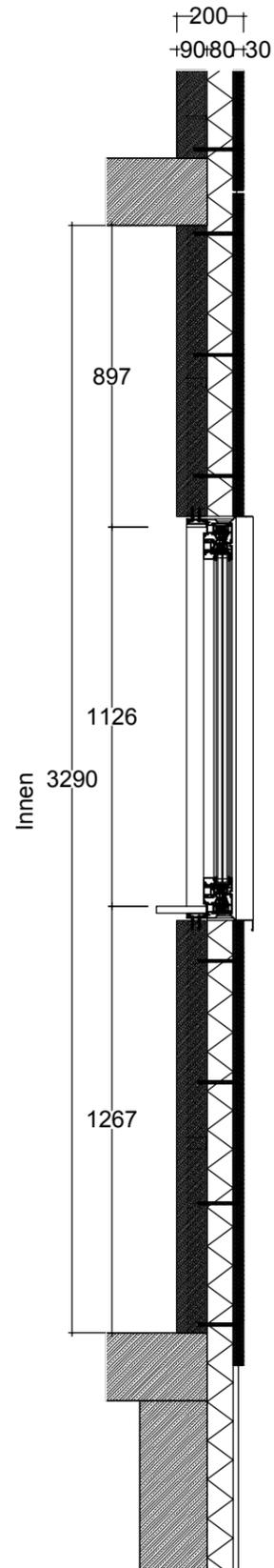
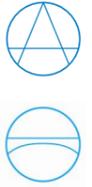
Fakultät für Architektur
Lehrstuhl für Baukonstruktion
und Baustoffkunde

Prof. Florian Musso
Matthias Pätzold

Berechnung Dampfdruckverlauf
Minimale Wandstärke mit Aerogelmatte ohne Gefache (schwer entflammbar B1)

Schichten Aufbau	Material	Berechnung Wärmedurchgangszahl			Berechnung des Temperaturverlaufs			Feuchte μ [-]	R=d/[m²K/W]	sd=d* μ [m]	sdtot [m]	Wasserdampfsättigungsdruck		Gewicht [kg/m²]	Tauwasser [Gew%]
		d [m]	[W/mK]	R=d/[m²K/W]	Rtot [m²K/W]	q=Ux [°CW/m²K [°C]	[°C]					Ps [Pa]	Temperatur [°C] min. max.		
Aussenluft															
Übergang aussen				20,000	0,050	0,050	0,190								
1.	Betonaussenschale m. Faserbewehrung	0,030	2,500		0,012	0,062	0,046		0,050		0,000				
2.	Wärmedämmung Aerogelmatte	0,070	0,013		5,385	5,447	20,439		0,012	3,900	3,900				
3.	Wärmedämmung Aerogelmatte	0,030	0,013		2,308	7,754	8,760		0,012	3,900	3,900				
4.	Betoninnenschale m. Faserbewehrung	0,060	2,500		0,024	7,778	0,091		0,024	7,800	12,250				
5.		0,000	0,000			7,778			0,000		12,250				
6.		0,000	0,000			7,778			0,000		12,250				
Dicke gesamt		0,190				7,778			0,000		12,250				
Übergang innen				8,000	0,125	7,903	0,474		0,125	0,474	12,250				
Innenluft							20,000								
Summe 1/U					7,903				7,903						
U-Wert gesamt					0,127				sdtot		12,250				

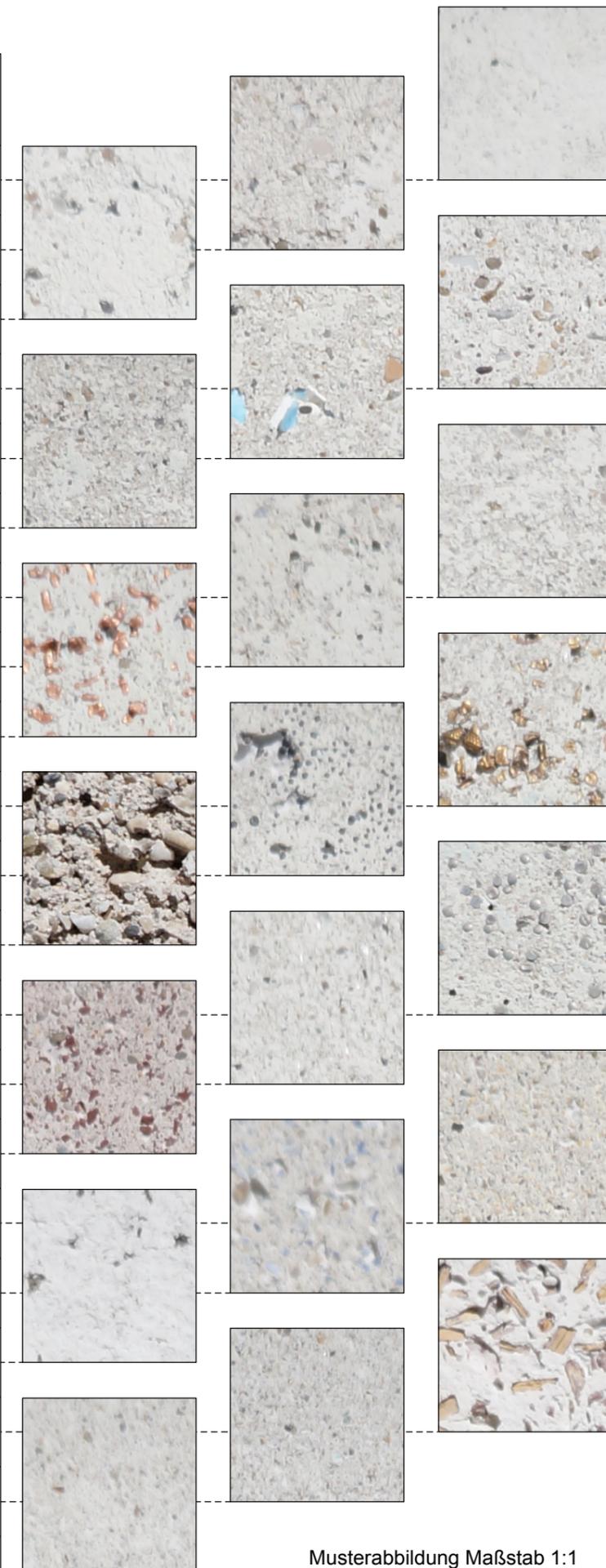
11.07.2013



hoch wärmegeädmmtes
 Aluminium-Fenstersystem mit
 optimierter Glasfalzdämmung,
 Mitteldichtung und Verglasungsdichtung
 $U_f = \text{ca. } 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 $U_w = 0,87 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 $U_g = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 z.B. Schüco-Fenster AWS 75.SI+

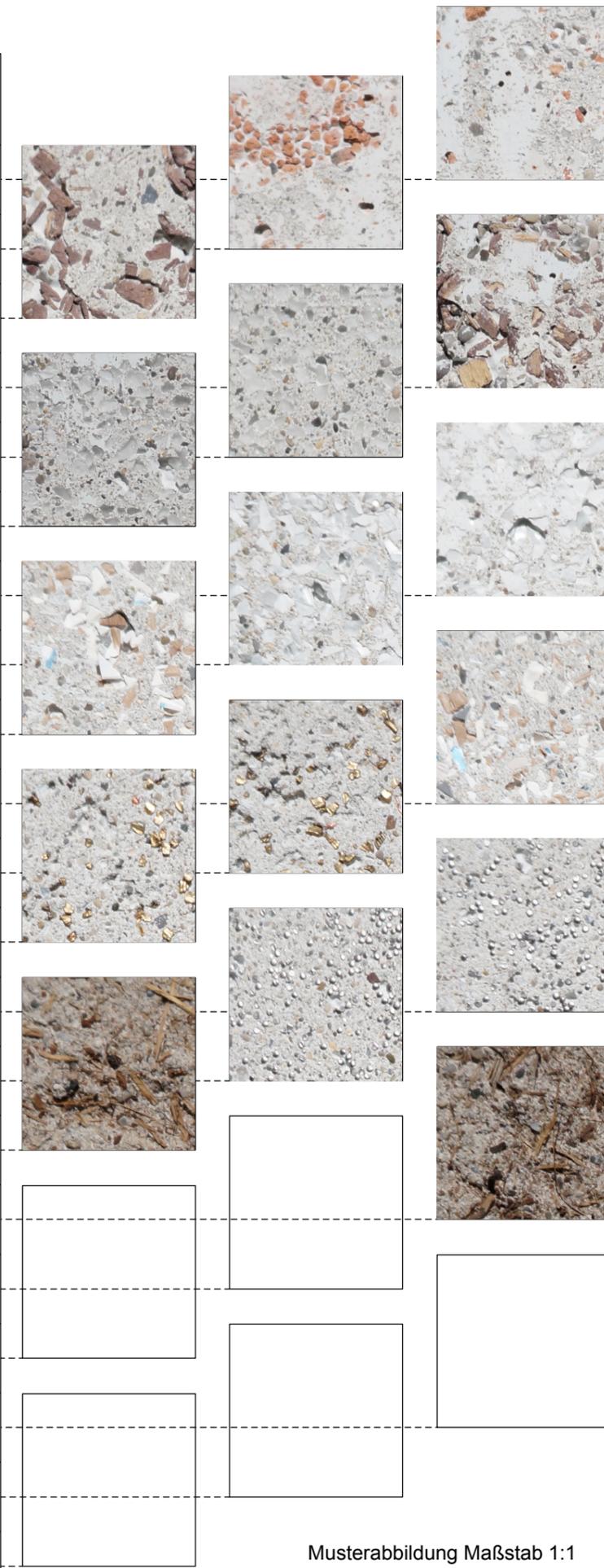
z.B.
 Schöck ComBAR oder baugleich
 Ankerstab
 Außendurchmesser 8,0 / 6,0 mm
 Innendurchmesser 7,1 / 5,3 mm
 gerade abgeschnitten
 Schnitt / Ansicht 1:20

Probe-körper	Beimischung in Betonmatrix (Recyclat o. ä.)	Gewicht	Sandanteil	E (Abbinde-verzögerer)	Wärme-leitfähigk.	Oberfläche	Beurteilung
1	Schaumglasschüttung 2-5mm	156g	normal	0,5	0,08-0,095	Wenig sichtbar	Verbesserung WÄDÄ
2	Ziegelgranulat 2-8mm	195g	normal	0,5	1,1	Wenig sichtbar	Verbesserung Kreislaufidee
3	Alkali resistente Glassplitter 2-4mm	290g	normal	0,5		Wenig sichtbar	Verbesserung Kreislaufidee
4	A-PET Tiefziehqualität Mahlgut klar	80g	normal	0,5		Wenig sichtbar	Verbesserung Kreislaufidee
5	ABS Extrusion ex Polylac 747 + ca. 7% PP Härtungsschicht	280g	normal	0,25		Besser sichtbar	Verbesserung Kreislaufidee
6	Mineralisiertes Holz 1-5mm farblos	150g	normal	0,25	0,08	Besser sichtbar	Verbesserung WÄDÄ/co2-Ant.
7	Mineralisiertes Holz 2-10mm rot		normal	0,25	0,08	Besser sichtbar	Verbesserung WÄDÄ/co2-Ant.
8	Holzspäne	40g	normal	0,25	0,048	Besser sichtbar	Verbesserung WÄDÄ/co2-Ant.
9	Kupfergranulat 1a grob	1000g	normal	0,25		Sehr gut sichtbar	Verbesserung Optik
10	Messinggranulat	1000g	normal	0,25		Sehr gut sichtbar	Verbesserung Optik
11	Eisengranulat 1,4mm	500g	normal	0,25		Sehr gut sichtbar	Verbesserung Optik/Veränderung
12	Humus	220g	normal	0,25		Ausgewaschen / Amorph	Verbesserung Schalldämmung
13	Titangranulat 99,9% (leicht entzündlich)	100g	normal	0,25		Sehr gut sichtbar	Verbesserung Optik
14	Glimmer		normal	0,25		Gegen das Licht sehr gut sichtbar	Verbesserung Optik
15	Dunkelrot 0-2mm		normal	0,25		Sehr gut sichtbar	Verbesserung Optik
16	Intensivgelb 0-1mm		normal	0,25		Besser sichtbar	Verbesserung Optik
17	Blau S 1,2-1,8mm		normal	0,25		Sehr gut sichtbar	Sehr gut sichtbar
18	Schaumglasschüttung 2-5mm	313g	kein	0,25	0,08-0,095	Besser sichtbar	Verbesserung WÄDÄ
19	Mineralisiertes Holz 1-5mm farblos	400g	kein	0,25	0,08	Sehr gut sichtbar	Verbesserung WÄDÄ/co2-Ant.
20	Schaumglasschüttung 2-5mm	215g	50%	0,25	0,08-0,095	Weniger sichtbar	Verbesserung WÄDÄ
21	Mineralisiertes Holz 1-5mm farblos	200g	50%	0,25	0,08	Weniger sichtbar	Verbesserung WÄDÄ/co2-Ant.



Musterabbildung Maßstab 1:1

Probekörper	Beimischung in Betonmatrix (Recyclat o. ä.)	Gewicht vora./gem.	Sand-, Kiesanteil	E (Abbindeverzögerer)	Wärmeleitfähigk.	Oberfläche	VC-2620
1	Ziegelgranulat 2-8mm	40g/100g	800g/500g	0,25	1,1	Hohe Qualität /unregelmäßig	7,5g
2	Ziegelgranulat 2-8mm	70g/100g	800g/500g	0,25	1,1	Hohe Qualität /unregelmäßig	9,5g
3	Alkali resistente Glassplitter 2-4mm	300g/600g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität /Kristalin	7,5g
4	Alkali resistente Glassplitter 2-4mm	300g/600g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität /Kristalin	12,0g
5	A-PET Tiefziehqualität Mahlgut klar	100g/100g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität /Lose Bestandteile	9,0g
6	A-PET Tiefziehqualität Mahlgut klar	100g/100g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität /Lose Bestandteile	12,0g
7	ABS Extrusion ex Polylac 747 + ca. 7% PP Härtungsschicht	80g/200g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität	9,0g
8	ABS Extrusion ex Polylac 747 + ca. 7% PP Härtungsschicht	80g/200g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität	12,0g
9	Mineralisiertes Holz 1-5mm farblos	80g/180g	800g/500g	0,25	0,08	Hohe Qualität	7,5g
10	Mineralisiertes Holz 1-5mm farblos	80g/180g	800g/500g	0,25	0,08	Hohe Qualität	12,0g
11	Messinggranulat	180g/300g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität	9,0g
12	Messinggranulat	180g/300g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität	12,0g
13	Titangranulat 99,9% (leicht entzündlich)	75g/200g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität	0,9g
14	Titangranulat 99,9% (leicht entzündlich)	75g/200g	1200g/0g	0,25	-/-	Hohe Qualität	12,0g
15	Humus	100g/150g	1200g/0g	0,25	-/-	Sehr gut sichtbar /unregelmäßig	0,9g
16	Humus	100g/150g	1200g/0g	0,25	-/-	Sehr gut sichtbar /unregelmäßig	12,0g



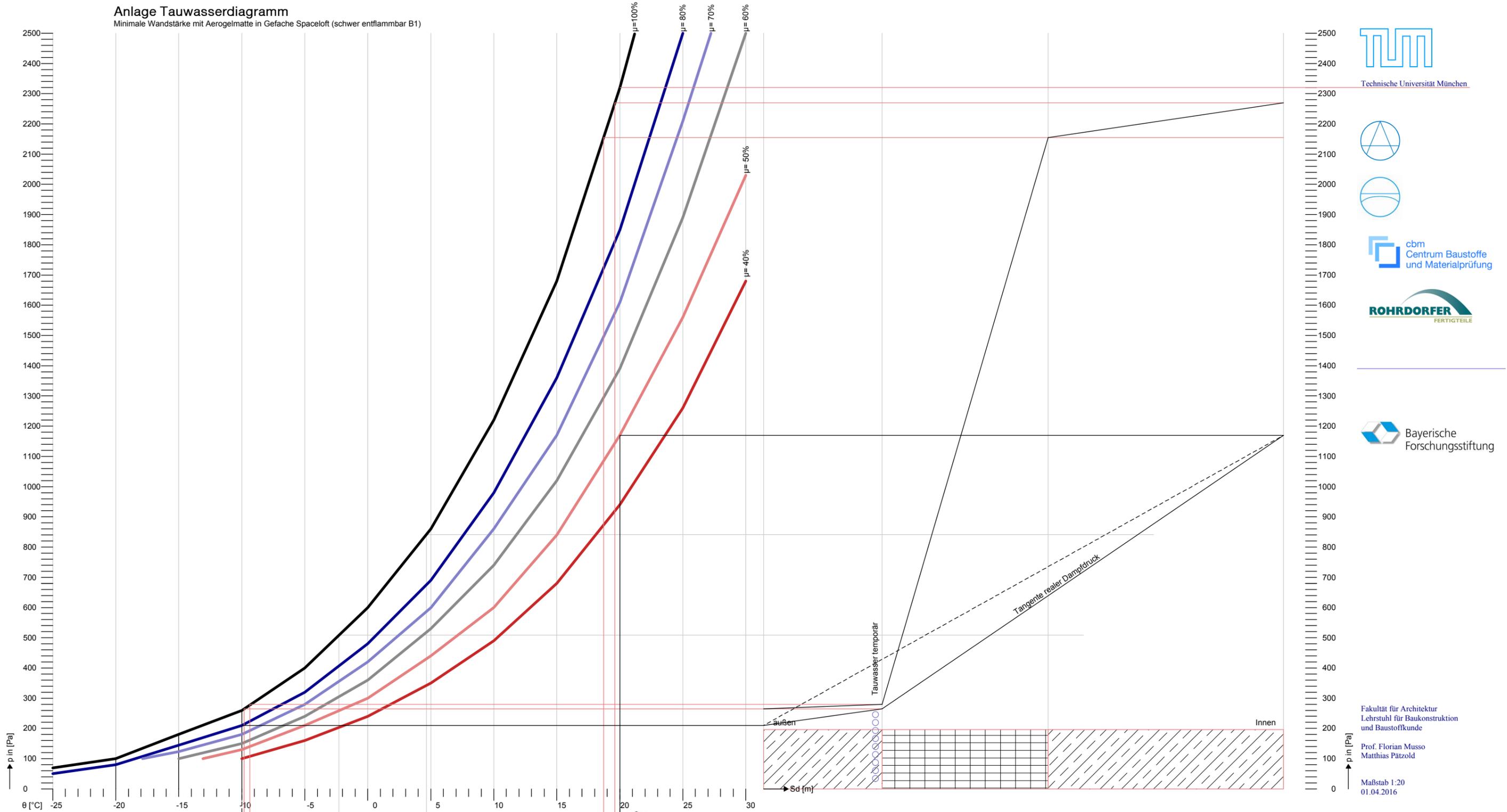
Musterabbildung Maßstab 1:1


 Technische Universität München


 cbm
 Centrum Baustoffe
 und Materialprüfung
 **ROHRDORFER**
 FERTIGTEILE
 Bayerische
 Forschungsstiftung

Anlage Tauwasserdiagramm

Minimale Wandstärke mit Aerogelmatte in Gefache Spaceloft (schwer entflammbar B1)



Technische Universität München



cbm
Centrum Baustoffe
und Materialprüfung

ROHRDORFER
FERTIGTEILE

Bayerische
Forschungsstiftung

Fakultät für Architektur
Lehrstuhl für Baukonstruktion
und Baustoffkunde

Prof. Florian Musso
Matthias Patzold

Maßstab 1:20
01.04.2016

Berechnung Dampfdruckverlauf Minimale Wandstärke mit Aerogelmatte in Gefache Spaceloft (schwer entflammbar B1)														
Schichten	Material	d	λ	R=d/λ	R _{tot}	$q=U \times \Delta \theta$	$\Delta \theta$	θ	μ	R=d/λ	sd=d*μ	s _{dtot}	Wasserdampf-sättigungsdruck P _s	Temperatur
Aufbau		m	[W/mK]	[m²K/W]	[m²K/W]	[°C/m²]	[°C]	[°C]	[-]	[m²K/W]	[m]	[m]	[Pa]	min. max.
Aussenluft	Übergang aussen			20,000	0,050	0,050	0,190	-10,000		0,050		0,000	260,000	
1.	Betonaussenschal m. Faserbewehrung	0,030	2,500	0,012	0,062	0,046	-9,765	130,000	0,012	3,900	3,900	264,000		
2.	Wärmedämmung Aerogelmatte	0,070	0,013	5,385	5,447	20,439	10,675	http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserdampfdiffusionswiderstand 5,500		0,385	4,285	264,000		
3.	Wärmedämmung Aerogelmatte	0,030	0,013	2,308	7,754	8,760	19,434	für alle Spaceloft-Aerogelmatten 5,500		2,308	0,165	4,450	1286,000	
4.	Betoninnenschale m. Faserbewehrung	0,060	2,500	0,024	7,778	0,091	19,526	130,000	0,024	7,800	12,250	2252,000		
5.		0,000	0,000		7,778		19,526	http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserdampfdiffusionswiderstand 0,000			12,250	2266,000		
6.		0,000	0,000		7,778		19,526		0,000		12,250			
Dicke gesamt		0,190			7,778		19,526		0,000		12,250			
Übergang innen	Innenluft			8,000	0,125	7,903	0,474	20,000		0,125		12,250	2338,000	
Summe 1/U				7,903						7,903				
U-Wert gesamt				0,127					s_{dtot}		12,250			