

Titel

„Dauerhafte und wärmedämmende Wandelemente aus Fertigteile-Hybriden aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC) und chemisch aufgetriebenem und lufthärtendem mineralischem Schaumbeton (CLMS)“

Anlass/ Ausgangslage

Konventionelle Wandelemente bestehen heutzutage meist aus einer Vielzahl an Materialien, um den Anforderungen an den Lastabtrag sowie an den Wärmeschutz nach EnEV zu entsprechen. Diese Materialien werden beispielsweise verklebt, sodass beim Rückbau keine sortenreine Trennung möglich ist. Dieses Problem soll durch das rein mineralische Wandsystem aus zwei UHPC-Schalen, die den wärmedämmenden und lastabtragenden Schaumkern schützen, erzielt werden.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Für die Entwicklung eines vollständig mineralischen, tragenden und gleichzeitig wärmedämmenden Wandbauteiles wurden außenliegende ultrahochfeste Beton (UHPC)-Schalen und ein innenliegender Schaum auf UHPC-Basis zu einem Sandwichwandelement kombiniert. Dabei wurde ein mineralischer, chemisch aufgetriebener, lufthärtender Schaum (CLM-Schaum) auf Basis einer UHPC-Feinkornmischung genutzt, der im Gegensatz zu Porenbeton lufthärtend ist und keine energieintensive Autoklavierung benötigt.

Der CLM-Schaumkern soll als multifunktionaler Baustoff zum einen lastabtragende und zum anderen wärmedämmende Funktionen übernehmen. Der erste Schwerpunkt dieser Arbeit - und Abgrenzung zu den vorhandenen hybriden UHPC-Bauteilen - lag auf der Optimierung der Gefügestruktur des CLM-Schaumes, um eine möglichst hohe Festigkeit bei gleichzeitig hohen Wärmedämmeigenschaften zu erhalten. Dies wurde unter anderem mit dem Leichtzuschlag Perlit, der beispielsweise im Bereich des Konstruktionsleichtbetons eingesetzt wird, erreicht. Im entwickelten CLM-Schaum wurde nach der Optimierung eine Dichte von $0,55 \text{ t/m}^3$ bei einer Festigkeit von $2,7 \text{ N/mm}^2$ nach sieben Tagen und einer Wärmeleitfähigkeit von $0,10 \text{ W/(mK)}$ ermittelt.

Um einen nachhaltigen Verbund zwischen CLM-Schaum und UHPC ohne zusätzliche Klebstoffe und Trennschichten zu erzielen, wurden unterschiedliche Betonierreihenfolgen untersucht. Für die Erzielung guter Verbundeigenschaften zwischen UHPC und CLM-Schaum wurden die besten Ergebnisse erzielt indem UHPC an eine sägerauhe CLM-Schaumfläche anbetoniert wird. Mit dieser Vorgehensweise konnten konstant gute Bruchbilder bei der Haftzugprüfung erzeugt werden. Eine sich auf diese Weise einstellende gute Verzahnung der Materialien konnte auch in den mikrostrukturellen Untersuchungen mittels hochauflösenden Computertomographie-Aufnahmen nachgewiesen werden.

In Bauteilversuchen an kleinformatigen und wandhohen Versuchskörpern wurden deren Eigenschaften hinsichtlich des Verbundes zwischen Betonschalen und CLM-Schaum, ihres Trag- und Verformungsverhaltens und der Wärmeleitfähigkeit des Außenwandsystems untersucht. Erste Abschätzungen des Tragverhaltens der hier untersuchten hybriden Wandelementbauteile zeigten, dass sich diese aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften und ihres Bruchverhaltens sehr gut für den Hochbau eignen. Daraus ergibt sich aktuell die vorläufige Empfehlung, für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) für eine experimentell ermittelte höchste Maximallast zu bemessen und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) deutlich unter dieser Maximallast zu verbleiben, denn sie zeigte ein Ablösen der Wandschale und damit einen unumkehrbaren Zustand an.

Exemplarisch wurde mit einem Demonstrator die prinzipielle Anwendbarkeit gezeigt. Ein langfristiges Monitoring dokumentiert zudem das Verhalten der hybriden Wandelemente aus Betonschalen und CLM-Schaum in bauphysikalischer Richtung. Dafür wurden zusätzlich Temperatursensoren in den Beton eingesetzt. Das Projekt wurde durch eine Lebenszykluskostenberechnung und Ökobilanzierung begleitet. Diese ergab, dass die Sandwichwandelemente gegenüber vergleichbaren Außenwandkonstruktionen vor allem durch verhältnismäßig hohe Erst-Investitionskosten, jedoch auch durch sehr niedrige Instandsetzungskosten und lange Nutzungsdauern gekennzeichnet sind. Der Einsatz ist somit bei langfristig niedrigem Zinsniveau und stark steigenden Baupreisen gegenüber anderen Konstruktionen umso wirtschaftlicher. Gleichzeitig ist damit das Risiko der naturgemäß schwer abschätzbaren Instandsetzungskosten im Laufe des gesamten Gebäude-Lebenszyklus geringer, was dem Bauherrn mehr kalkulatorische Sicherheit bietet.

Fazit

Im Projekt wurde eine CLM-Schaum Mischung unter Verwendung von Leichtzuschlag (Perlit), Basaltfasern und einer Polymerdispersion weiterentwickelt. Hierdurch konnte die Rohdichte auf unter $0,55 \text{ t/m}^3$ reduziert werden. Dabei ist die Gefügestruktur soweit optimiert, dass die Wärmeleitfähigkeit geringer ist als bei Porenbeton mit vergleichbarer Dichte. Ohne thermische Nachbehandlung ist damit ein Werkstoff entwickelt worden, der sich zusätzlich aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften und seines Bruchverhaltens sehr gut für den Hochbau eignet. Die Wandelemente wurden im Projektverlauf als

Verbundelement ohne zusätzliche Klebstoffe im Fertigteilwerk hergestellt und ein Demonstrator ist auf dem Gelände der Universität Kassel errichtet worden.

Eckdaten

Kurztitel: Wandelemente aus UHPC Schaumbeton-Hybrid-Fertigteilen

Forscher / Projektleitung: Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Middendorf und Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling

Gesamtkosten: 367.538,00 € €

Anteil Bundeszuschuss: 235.238,00 €

Projektlaufzeit: 30 Monate

BILDER/ ABBILDUNGEN:

Bild 1: Bild 1

Ausschnitt eines Wandelements (links) und möglich Bauausführung (rechts).

Bild 2: Bild 2

Aufgeschäumter CLMS im Werksversuch bei Fa. Hentschke Bau

Bild 3: Bild 3

3d-Porenmodell (links) entwickelt aus einer computertomografischen Aufnahme einer CLM-Schaumprobe mit nachträglich anbetonierten UHPC, 2d-Schnitt zeigt den Querschnitt beider Schichten (rechts).

Bild 4: Bild 4

Probekörper für Versuche zum Verbund mit GOM-Messsystem, Probe vor dem Versuch (links), und nach der Belastung (rechts).

Bild 5: Bild 5

Verformung und relative Verschiebung zwischen HPC-Schale und CLM-Schaum (links) und Verformung des CLM-Schaums (rechts).

Bild 6: Bild 6

Demonstrator. Ansicht seitlich (links) und frontal (mitte) und Grundriss (rechts).

Bild 7: Bild 7

Demonstrator nach der Fertigstellung.