

Dauerhafte und wärmedämmende Wandelemente aus Fertigteil-Hybriden aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC) und chemisch aufgetriebenen, lufthärtendem, mineralischen Schaumbeton

Zusatzbericht Monitoring

Forschungsprogramm

Forschungsinitiative „ZukunftBau“, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat

Projektlaufzeit

01. Juli 2015 bis 31. Dezember 2017

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative ZukunftBau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SWD - 10.08.18. 7 - 15.20)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

bearbeitet von

Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Middendorf, Universität Kassel, FB 14 – Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, FG Werkstoffe des Bauwesens und Bauchemie, Kassel.

Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling, Universität Kassel, FB 14 – Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, FG Massivbau, Kassel

Folgender Zusatzbericht enthält ein modifiziertes Kapitel zum Monitoring des Forschungsvorhabens „Dauerhafte und Wärmedämmende Wandelemente aus Fertigteil-Hybriden aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC) und chemisch aufgetriebene lufthärtendem mineralischem Schaumbeton (CLMS)“.

Monitoring des Demonstrators

Als Grundvoraussetzung für das Monitoring eines Bauteils wurden zwei Merkmale festgesetzt. Zum einen soll das Bauteil an der Südseite liegen, um möglichst große Temperaturschwankungen (Tag/Nacht, Sonne/Schatten) abbilden zu können. Zum anderen sollte das Bauteil kein Fenster haben, um die restlichen Randbedingungen konstant zu halten.

Das Temperatur-Monitoring findet kontinuierlich in vier Wandelementen an je 2 Messpunkten in drei Bauteilebenen statt. Die genauen Messpunkte für eine Wand sind in Abbildung 3-12 verzeichnet. Die Temperaturdaten werden mit der Wettermessstation des Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie Kassel Mitte korreliert und sollen Aufschluss über den Wärmetransport im Bauteil geben. Dies soll über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten aufgezeichnet werden.

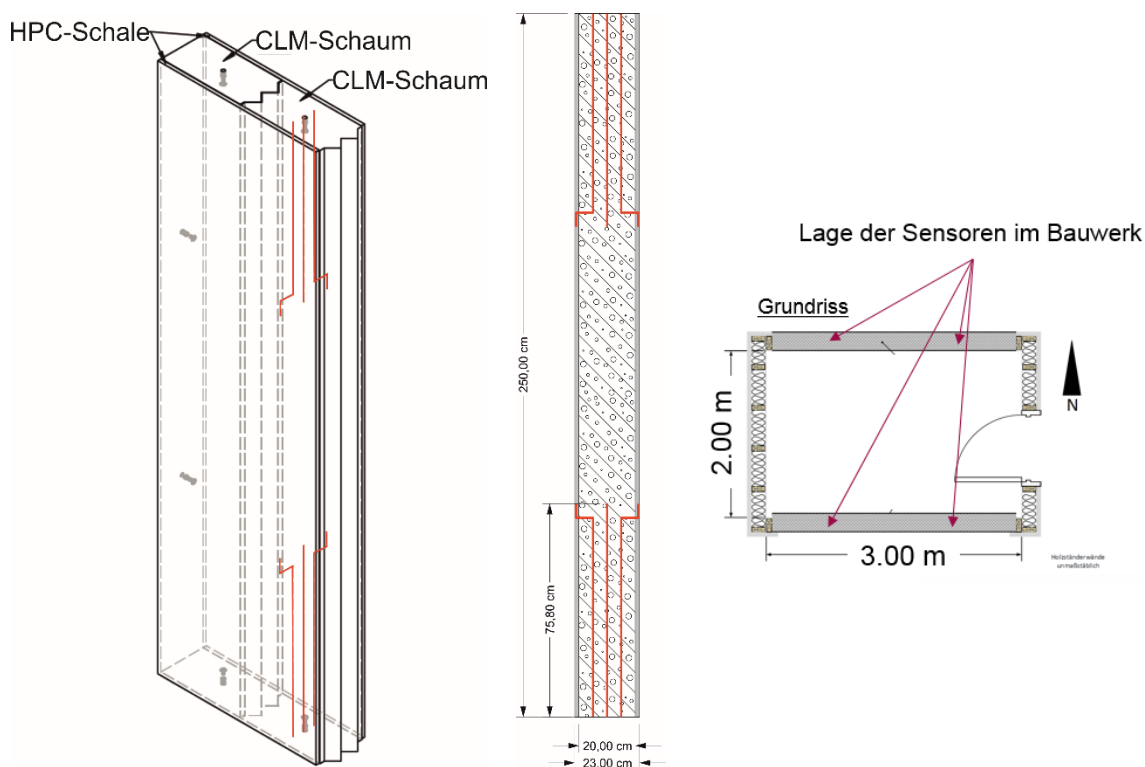


Abbildung 3-12: Temperatur-Monitoring. Lage der Sensoren in den Wandelementen (links und mitte) und im Gesamten Demonstrator)

Auf ein ursprünglich geplantes Dehnungs-Monitoring wurde verzichtet, da sich Verformungsänderungen aufgrund der Schwindrisse nicht genau in ihre Anteile zerlegen lassen und wahrscheinlich so gering sind, dass sie sich mit den üblichen Messinstrumenten nicht exakt bestimmen lassen.

Die Luftfeuchtigkeit der Außenluft unterliegt großen Schwankungen. Während bei trockenem Wetter Werte von um die 30 % relative Luftfeuchtigkeit (r. H.) erreicht werden, kann nach oder während eines Regenschauers schnell 100 % relative Luftfeuchtigkeit herrschen. Die Außenhülle von Gebäuden sollte keinen großen Wassertransport zulassen, um Bauschäden zu vermeiden. Um dies zu untersuchen wurde an vier Messpunkten (ca. 12 cm tief in der Wand) von Mo.-Fr. einmal täglich die Feuchte bestimmt. Zusätzlich wurde Luftfeuchtigkeit im Innenraum aufgezeichnet. Diese Werte wurden mit den Daten der Messstation Kassel-Mitte des Hessischen Ladensamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) abgeglichen. Die Messstation liegt Luftlinie etwa 1,5 km vom Demonstrator entfernt. Es ist davon auszugehen, dass die relative Luftfeuchte vor Ort nur gering von denen der Messstation abweicht.

Im Zeitraum zwischen dem 17.09.2018 und dem 12.10.2018 gab es zu den jeweiligen Messzeitpunkten große Schwankungen von knapp 70 % der relativen Luftfeuchtigkeit (Abbildung 3-13) in der Außenluft (blau). In der Südwand (orange/rot) schwankt die Feuchtigkeit nur im Bereich von 10 %. Während in der 2-schichtigen Variante nur bis knapp über 60 % relative Luftfeuchtigkeit gemessen wird, konnte in der 3-schaligen Wand bis zu 70 % r. H. ermittelt werden. Die beiden Kurven laufen auf den beiden Niveaus jedoch parallel. Auch die Nordwand (Hellgrau/Dunkelgrau) zeigt den gleichen Verlauf. hier liegt die 2-schalige Variante leicht unterhalb der 3-schaligen Variante. Jedoch liegt hier der Unterschied nur bei etwa 3 %.

Die Luftfeuchtigkeit in Innenräumen (ausgeschlossen Badezimmer) sollte zwischen 40 – 60 % liegen. Im Demonstrator liegen die Messwerte genau in diesem Bereich.

Zusammen mit der Luftfeuchtigkeit wurde auch die Wandtemperatur sowie die Innentemperatur aufgezeichnet (Abbildung 3-14). In blau sind wie bei den Feuchtemessungen die Daten der Messstation Kassel-Mitte (HLNUG) zum Messzeitpunkt dargestellt. In grau hinterlegt ist der Bereich in dem die Temperaturen an diesem Tag lagen. Ohne Heizung sank die Temperatur tagsüber nicht unter 12 °C. Im Vergleich zu den Außentemperaturen steigt oder fällt die Innentemperatur zeitverzögert und langsamer, was zeigt das die Dämmung funktioniert. Der Wandaufbau sowie die Ausrichtung nach Norden oder Süden haben keinen signifikanten Einfluss auf die Wandtemperatur. Dies kann allerdings an der Messung in den Bohrungen liegen und muss durch die einbetonierten Temperaturfühler verifiziert werden. Die Wandtemperatur ist zudem immer etwas niedriger (bis zu 5°C) als die Innentemperatur.

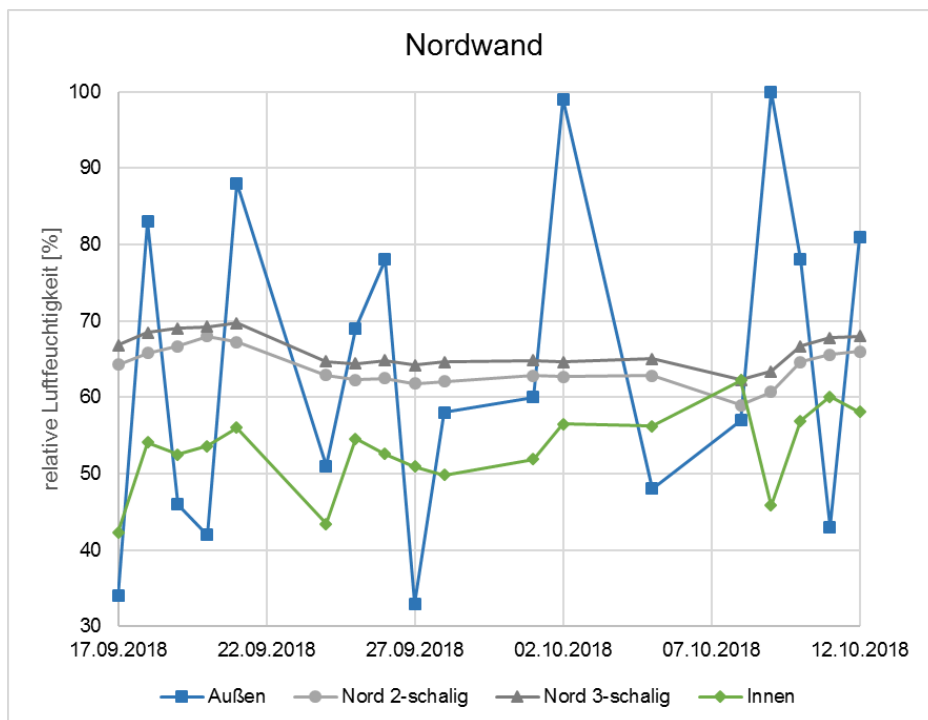
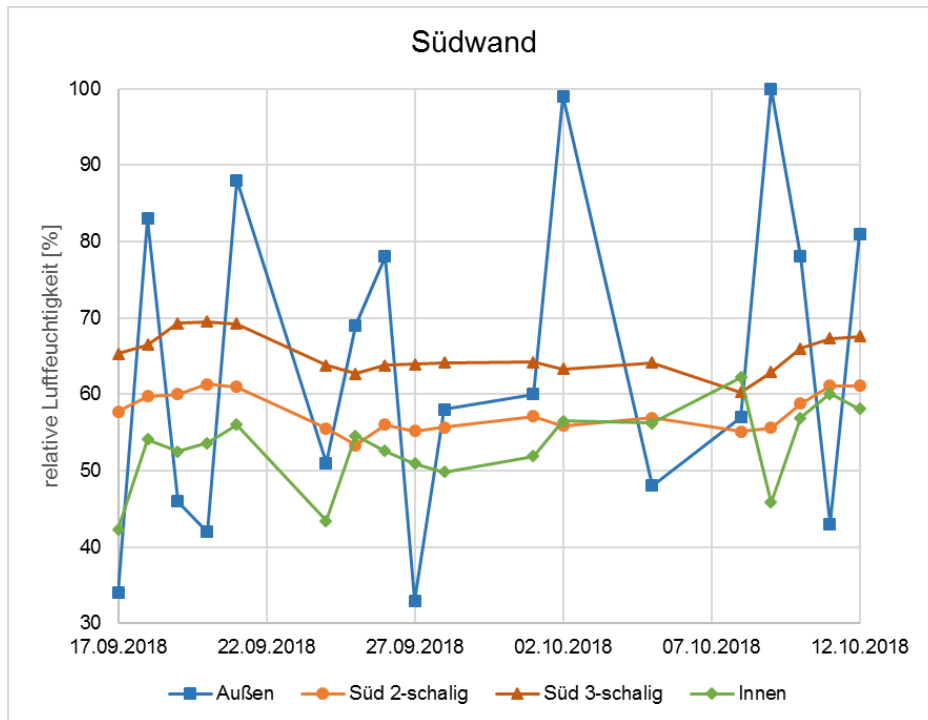


Abbildung 3-13: Feuchte-Monitoring: Auswertung der Südwand (oben) und Nordwand (unten) für den Zeitraum vom 17.09.18 – 12.10.18.

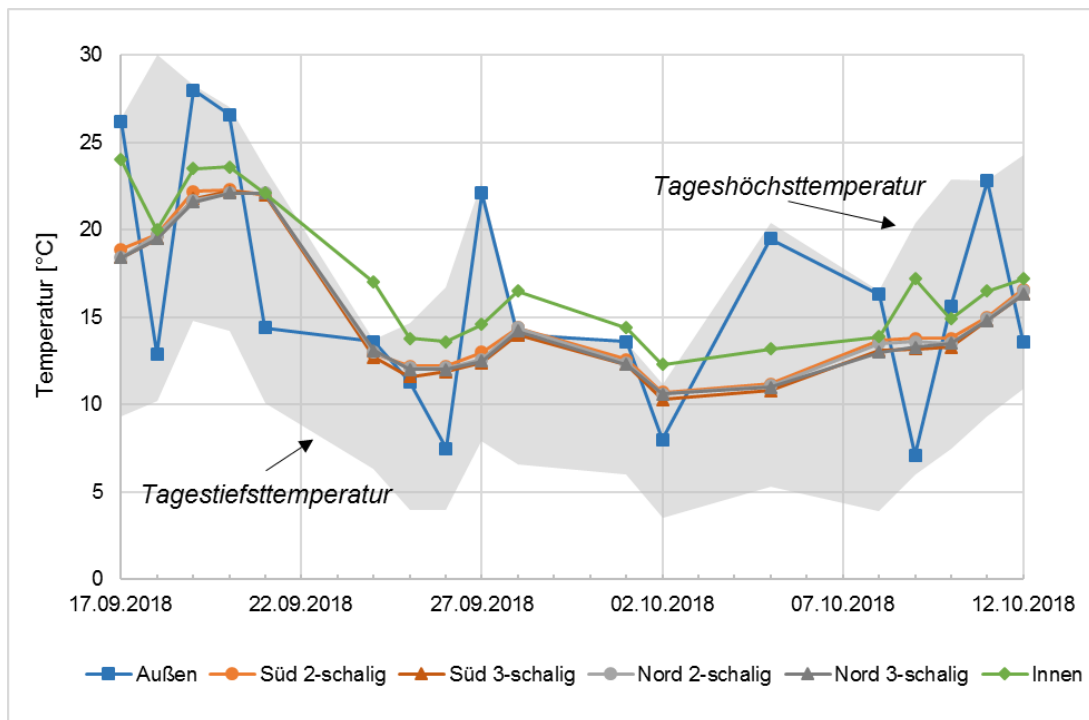


Abbildung 3-14: Feuchte-Monitoring: Auswertung der Süd- und Nordwand für den Zeitraum vom 17.09.18 – 12.10.18.

Im Zeitraum zwischen dem 02.08.2018 und dem 22.11.2018 sank die Außentemperatur von über 34°C bis unter 5°C. Die Luftfeuchtigkeit nahm vor allem im November zu. In den folgenden Abbildungen 3-15 und 3-16 ist die Außentemperatur zum Messzeitpunkt blau und die Innentemperatur grün dargestellt. Die Temperatur im Demonstrator liegt immer etwas höher als die Außentemperatur (Abbildung 3-15). Dieser Temperaturunterschied kann bis zu 8°C betragen. Wenn die Temperatur nach einer kälteren Zeit wieder ansteigt dauert es jedoch etwas länger bis der Demonstrator sich wieder aufheizt. Dies verdeutlicht das Dämmverhalten der Außenwände, da diese weniger schnell abkühlen aber dementsprechend auch länger brauchen um sich wieder zu erwärmen. Die Temperatur ist in den Wänden bei sinkenden Temperaturen niedriger als die Innentemperatur. Die Temperaturen liegen bei beiden Aufbauten im selben Temperaturbereich. Auch die Nordwand zeigte den gleichen Temperaturverlauf unabhängig vom Wandtyp.

Auch über den längeren Messzeitraum und im feuchten November ist die Luftfeuchtigkeit im Innenraum nur in sehr feuchten Zeiträumen über 60 % gestiegen (Abbildung 3-16). In der restlichen Zeit liegen die Messwerte genau im Bereich zwischen 40 – 60 %. In den Wänden ist die gemessene Feuchte etwas höher als im Innenraum. Dies zeigt den Feuchtegradienten, der sich einstellt. Auch hier wurde über den verlängerten Zeitraum kein signifikanter Unterschied zwischen Nord- und Südwand festgestellt. Nach den Untersuchungen der Luftfeuchte kann somit die Aussage getroffen werden, dass die Wände den Feuchtetransport effektiv verhindern und keine Bauschäden bei korrektem Einbau erwartet werden.

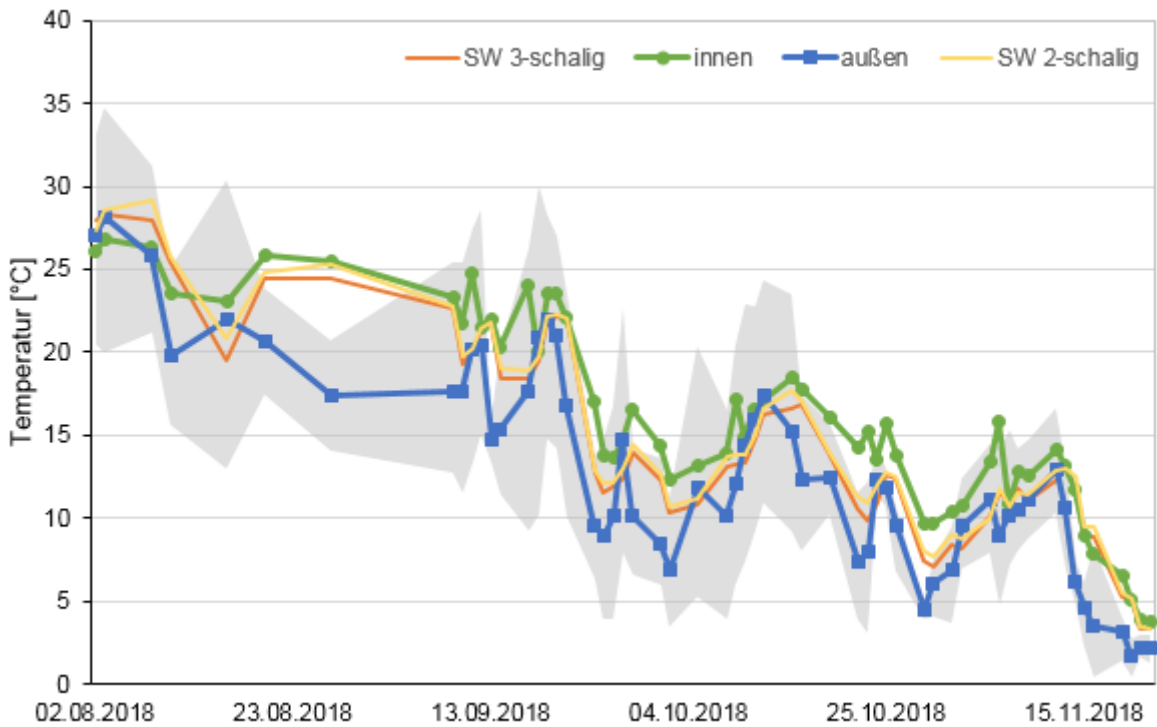


Abbildung 3-15: Temperatur-Monitoring: Auswertung für Innen- und Außentemperatur der Südwand vom 02.08.18 – 22.11.18. Der graue Bereich umschließt die Tageshöchst- und Tiefstwerte.

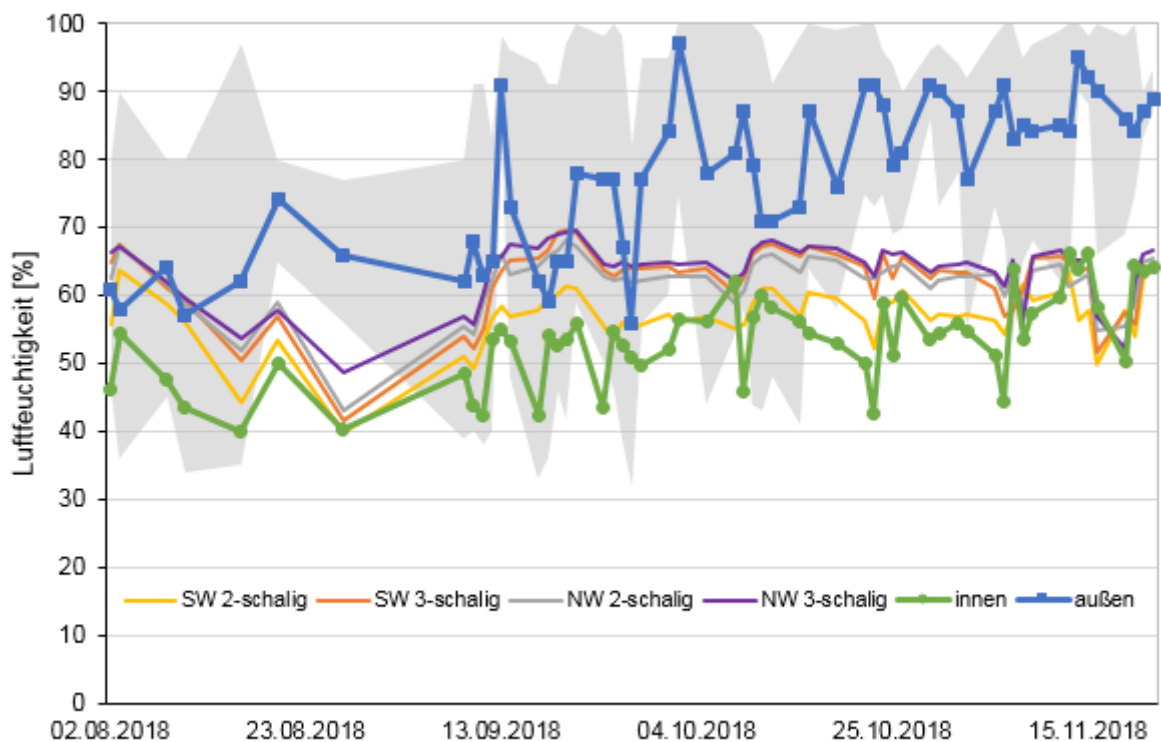


Abbildung 3-16: Feuchte-Monitoring: Auswertung für Innen- und Außenluftfeuchtigkeit und Feuchte innerhalb der Süd- und Nordwände vom 02.08.18 – 22.11.18. Der graue Bereich umschließt die Tageshöchst- und Tiefstwerte.

Die äußere Gebäudeabdichtung wird durch die 2 cm dicke UHPC-Schale sichergestellt. Somit dringt die Feuchtigkeit nicht von außen in die Wandkonstruktion und auf die Anordnung einer zusätzlichen Dampfsperre kann verzichtet werden. Neben den Bauschäden die durch Feuchtigkeit in den Wänden entstehen können, würde durch die Feuchtigkeit in den Wänden auch die Wärmeleitfähigkeit zunehmen.

Die Wärmedämmung der Wandkonstruktion konnte durch die Temperaturkurven nachgewiesen werden. Im Demonstrator war die Temperatur im Innenraum immer um bis zu 8 °C höher als im Außenbereich. Die kühlere Innentemperatur hielt sich nach Kälte-Perioden 1-2 Tage länger weil die wärmere Luft dementsprechend auch nicht von außen eindringen konnte. Bei einer Wohnnutzung würden sich die Wände aufheizen und diese Wärme auch über einen längeren Zeitraum halten. Eine zweite UHPC-Schicht im Inneren ist nicht nötig, um das gewünschte Raumklima zu erzielen. Jedoch kann diese konstruktiv, zur Aussteifung, oder aus optischen Gründen eingesetzt werden.

Kassel, den 30.08.2019

Univ.-Prof. Dr. Bernhard Middendorf

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling