

KURZBERICHT

F 958

Entwicklung eines Wandsystems mit hoher Wärmedämmung aus selbstverdichtendem porosiertem Leichtbeton in Kombination mit einer bauteilintegrierten Wandschalung aus textilbewehrtem Beton

Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-06.31/ II 2 – F20-06-029

Forschungsstelle: Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Brameshuber

Sachbearbeiterinnen: Dipl.-Ing. Rebecca Mott, Dipl.-Ing. Julia Steinhoff

Förderhinweis:

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

1 ZIEL DER FORSCHUNGSAUFGABE

Im Wohnungsbau werden Außenwandkonstruktionen üblicherweise aus ein- oder zweischaligem Mauerwerk erstellt. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, eine Alternative für eine Außenwandkonstruktion zu entwickeln, die zum einen den Ansprüchen des Wärmeschutzes entspricht und zum anderen eine sehr gute Oberflächenqualität aufweist. Bei dem angestrebten Wandaufbau sollten keine zusätzlichen Wärmedämmstoffe angewendet werden, um alle verwendeten Baustoffe voll recyclingfähig zu halten. Bei dieser neuartigen Wandbauweise handelt es sich um eine Fertigteilelementwand unter Einsatz einer bauteilintegrierten Wandschalung aus textilbewehrtem Beton (BIS). Als Verfüllbeton kommt ein selbstverdichtender porosierter Leichtbeton (SVPLB) unter Verwendung von leichter Gesteinskörnung und einer porösen Matrix zum Einsatz. Durch den kombinierten Einsatz der bauteilintegrierten Schalung aus Textilbeton und des SVPLB lassen sich die technischen Eigenschaften der beiden Bauarten positiv addieren und ökologische und ökonomische Vorteile erwirken.

2 DURCHFÜHRUNG DER FORSCHUNGSAUFGABE

Das Forschungsvorhaben gliederte sich in vier Schwerpunkte: die Bemessung der BIS, die Entwicklung des SVPLB, die Wandherstellung und abschließend die Wandprüfung. Die Wände bestanden jeweils aus zwei Schalen der BIS sowie dem entwickelten SVPLB.

Im Rahmen des Vorhabens waren vier zentrische Druckprüfungen an geschosshohen (2,75 m), 1,0 m breiten Wandstreifen vorgesehen. Die Dicke der Wand wurde mit Hilfe von bauphysikalischen Berechnungen (Glaser-Verfahren /DIN01/) zu 0,35 m ermittelt. Es war zunächst geplant, alle vier Wände im Fertigteilwerk herzustellen. Da jedoch der SVPLB bei zwei Wandbetonagen sedimentierte, wurden die weiteren Betonagen nicht mehr im Werk, sondern am ibac durchgeführt.

Am ibac ergaben sich bei den ersten beiden Betonagen ebenfalls Probleme mit dem SVPLB. In diesen beiden Fällen trat zwar keine Sedimentation des Betons auf, allerdings war die Stabilität nicht ausreichend, so dass es zu einem Absacken des Betons während der Betonage kam. Trotz dieser Probleme konnten zwei Wände hergestellt werden, die im Alter von 28 Tagen im zentrischen Druckversuch geprüft wurden.

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Betonage erfolgte eine Umstellung der Mischung (Austausch der Zementart), wodurch ein stabiler SVPLB erzielt werden konnte, so dass zwei weitere Wände hergestellt wurden. Diese zwei Wände wurden zum Abschluss des Projekts im Alter von 28 Tagen ebenfalls im zentrischen Druckversuch geprüft.

3 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer Fertigteilelementwand unter Einsatz einer bauteilintegrierten Schalung (BIS) aus textilbewehrtem Beton sowie eines selbstverdichtenden porosierten Leichtbetons (SVPLB) als Verfüllbeton.

Aufgabe der BIS-Elemente ist es, die während der Betonage infolge des Frischbetondrucks auftretenden Biegezugspannungen auf der Außenseite und die Druckspannungen auf der Innenseite aufzunehmen. In Bild 1 ist das statische System eines Schalungselements mit der Belastung aus dem Frischbetondruck dargestellt. Das Schalungselement wird in Abständen von 0,5 m rückwärtig durch Querjoche unterstützt. Für die Herstellung der BIS wurde zunächst ein geeigneter Feinbeton entwickelt. Neben der entwickelten Feinbetonmischung kamen auch zwei mit Kurzfasern modifizierte Mischungen zur Anwendung. Aus bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben war bekannt, dass eine Stegplatte einen geeigneten Querschnitt für ein BIS-Element darstellt. Im Rahmen von Vorversuchen wurde die Querkrafttragfähigkeit der Stegplatten geprüft. Die Versuche zeigten zwar, dass eine Steigerung der Querkrafttragfähigkeit mit einer der beiden Kurzfasermischungen möglich war, allerdings wies diese Mischung eine schlechte Verarbeitbarkeit auf, wodurch sie nicht für diese Anwendung geeignet war.

Mit Hilfe von zwei verschiedenen Berechnungsverfahren wurde eine Parameterstudie zu den Abmessungen des Steges sowie des Stegabstands durchgeführt. Die Ergebnisse der Plattenbalkentheorie wurden mit den Ergebnissen der FE-Simulation verglichen. Zum Teil lagen große Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen beider Berechnungsarten vor. Diese liegen vermutlich darin begründet, dass nach Plattenbalkentheorie die Plattenwirkung der BIS-Elemente nicht berücksichtigt wird. Dennoch konnten zwei Stegplatten-Querschnitte ausgewählt werden, an denen das Tragverhalten durch 3-Punkt-Biegezugversuche getestet wurde und hieraus sowohl das aufnehmbare positive als auch das aufnehmbare negative Moment bestimmt wurden. Die experimentellen Ergebnisse wurden anschließend mit denen aus den statischen Berechnungen verglichen. Hieraus konnte abgeleitet werden, dass die maßgebende Bemessungsgröße die Querkraft ist. In Bild 2 ist der endgültige Querschnitt der BIS dargestellt.

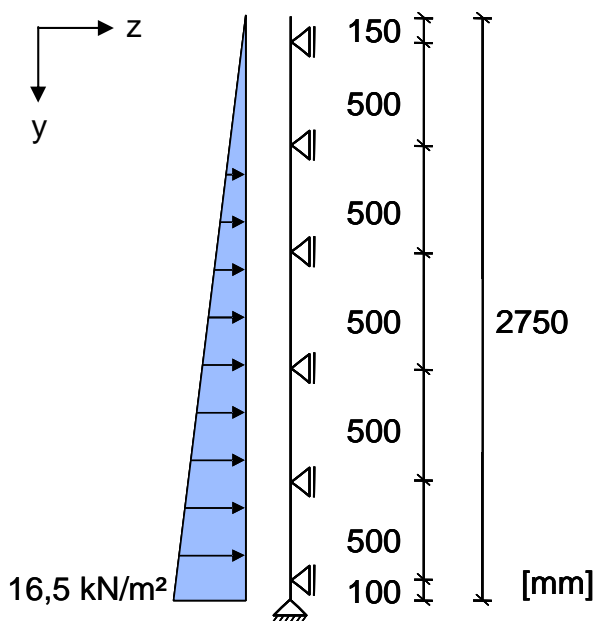


Bild 1: Statisches System des BIS-Elements mit Belastung aus Frischbetondruck

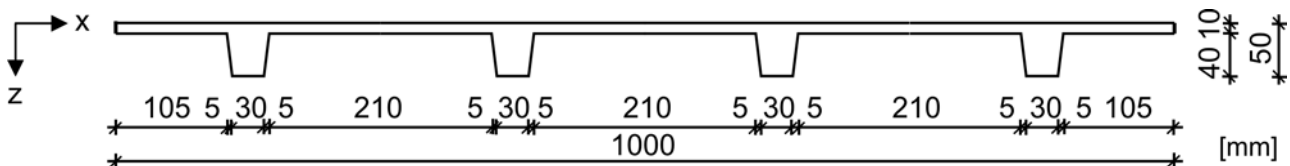


Bild 2: Querschnitt der BIS

Für die Herstellung der Wände wurden die BIS-Platten im Fertigteilwerk produziert. Hier stellte sich heraus, dass das Spritzverfahren eine geeignete Methode für das Einbringen des Feinbetons in die Schalung darstellt. Durch dieses Verfahren konnten auch Oberflächen in sehr guter Sichtbetonqualität hergestellt werden.

Bei der Entwicklung des SVPLB stand eine geringe Rohdichte bei einer ausreichenden Festigkeit im Vordergrund, um die Anforderungen an den Wärmeschutz mit einer praktikablen Bauteildicke erfüllen zu können. Der SVPLB wurde unter Zugabe von leichter Gesteinskörnung und vorgefertigtem Schaum auf eine Frischbetonrohichte von rd. 500 kg/m^3 eingestellt. Die optimierte Mischung wies ein Setzfließmaß von 680 mm auf, da der Beton zur Einsparung von Zeit, Verdichtungsenergie und des für die Verdichtung notwendigen Personals selbstverdichtend sein sollte. Die Druckfestigkeit betrug nach 28 Tagen $2,2 \text{ N/mm}^2$ bei einem E-Modul von 1300 N/mm^2 . Die Trockenrohichte ergab sich zu 380 kg/m^3 und mit dieser für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,101 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, die nach /DIN79/ ermittelt wurde.

In Bild 3 ist der Gesamtquerschnitt der Wand abgebildet. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Wärmeleitfähigkeiten des SVPLB und des Textilbetons wurde eine bauphysikalische Berechnung durchgeführt. Da die Herstellung und Prüfung der vier Wände sowohl vor als auch nach der Einführung der Energieeinsparverordnung EnEV 09 erfolgten, ist den Berechnungen der Wärmedurchgangskoeffizient U in Höhe von $0,315 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zugrunde gelegt worden. Dieser ergab sich aus der Annahme, dass der U -Wert der EnEV 07 ($0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) in der nächsten, geltenden Fassung (EnEV 09) um 30 % verschärft wird. Tatsächlich fand eine Verschärfung um 53 % statt, woraus eine Wanddicke von $0,435 \text{ m}$ resultiert. Um eine Vergleichbarkeit der Wandversuche zu erhalten, wurde diese Verschärfung des Grenzwerts nicht umgesetzt, sondern eine Wanddicke von $0,35 \text{ m}$ beibehalten.

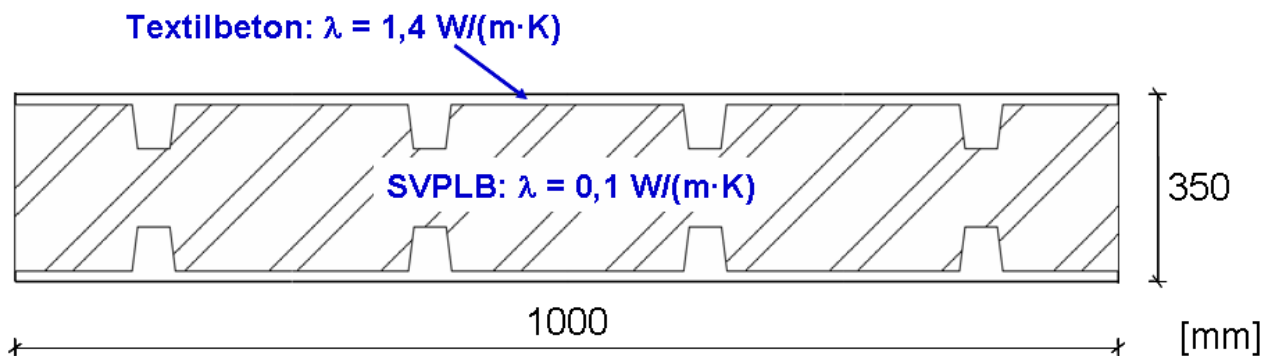


Bild 3: Querschnitt der Wand

Die Herstellung der Fertigteilelemente erfolgte zunächst im Fertigteilwerk. Bei der Verfüllung der Wände mit dem SVPLB traten jedoch Schwierigkeiten auf, da die leichte Gesteinskörnung nicht vorgegast werden konnte und es so zu einem Aufschwimmen der Gesteinskörnung kam. Aus diesem Grund wurden die Wandbetonagen ins ibac verlegt. Bei den Betonagen der ersten beiden Wände wurde jedoch eine mangelhafte Stabilität des SVPLB festgestellt. Das Eigengewicht war zu groß, so dass eine Entlüftung des SVPLB auftrat. Es wurden zwei weitere Wände unter Verwendung von Schnellzement hergestellt, da so die einzelnen Schichten beim chargenweisen Einbau von etwa 100 l vor dem Einbringen der Folgechargen bereits fest waren und ein Absacken des SVPLB vermieden wurde. Durch Befüllen der Schalung über die längere Seite wurde zusätzlich die Betonierhöhe verringert (s. Bild 4a)). Im Rahmen der Betonagen konnte gezeigt werden, dass die BIS-Elemente den Frischbetondruck aufnehmen konnten.

Die für eine Bemessung aussagekräftigen Festbetoneigenschaften Druckfestigkeit, E-Modul und Trockenrohdichte der Mischung mit dem Schnellzement lagen im gleichen Bereich wie die der Mischungen mit dem normal erhärtenden Zement, weshalb weiterhin von der günstigen Wärmedämmeigenschaft ausgegangen wird.

Alle vier Wände wurden in einer 5-MN-Prüfmaschine hinsichtlich ihrer zentralen Druckfestigkeit geprüft (s. Bild 4b)). Bei einem Vergleich der Verformungen der Wände 1 und 2 konnte eine gute Übereinstimmung der Werte festgestellt werden. Allerdings konnte aufgrund des schlechteren Verbunds zwischen BIS und SVPLB bei Wand 2 nur eine Höchstlast von 846 kN erreicht werden. Im Vergleich dazu betrug der Wert für Wand 1 1180 kN.



Bild 4: a) Aufbau der Schalung, b) Prüfaufbau der Wände zur Bestimmung der zentralen Druckfestigkeit

Die Reproduzierbarkeit der Wände 3 und 4 konnte nur teilweise beurteilt werden. Bei Wand 4 wurde besonders das Ablösen der BIS vom SVPLB im Lasteinleitungsbereich betrachtet. Hierfür wurde eine veränderte Anordnung der Wegaufnehmer an den Stirnseiten vorgenommen. Für die Längsverformungen liegt eine gute Reproduzierbarkeit vor. Allerdings konnte auch bei Wand 3 durch einen schlechten Verbund zwischen BIS und SVPLB nur eine verringerte Höchstlast (733 kN) erreicht werden. Die Höchstlast von Wand 4 betrug 1108 kN.

Die Betrachtung der Querverformungen im Lasteinleitungsbereich von Wand 4 zeigt, dass sich die BIS und der SVPLB bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt voneinander lösen. Nimmt man an, dass dieser Zeitpunkt bereits einem Versagen des Systems entspricht, so können für das neuartige Wandsystem nur sehr geringe Festigkeiten angesetzt werden. Dies spricht dafür, dass die BIS-Elemente innen miteinander verbunden werden müssen, um höhere Traglasten zu erzielen.

Im Rahmen einer Berechnung der theoretischen Verteilung der Gesamtlast auf die BIS-Elemente und den SVPLB konnten der Traganteil der BIS zu 69,3 % und der des SVPLB zu 30,7 % bestimmt werden. Ein Abgleich mit den tatsächlich gemessenen Kräften und Verformungen zeigte, dass der Traganteil der BIS wahrscheinlich noch höher ausfällt. Ziel muss es daher sein, die Traganteile der BIS zu verringern, z. B. durch Verwendung von Leichtbeton für die Schalungselemente.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Ziel des Projekts teilweise erreicht wurde. Es konnte eine neuartige Wandbauweise entwickelt werden, die aus einer bauteilintegrierten Schalung aus Textilbeton sowie einem SVPLB als Verfüllbeton besteht. Bei einer Wanddicke von 0,435 m werden die Anforderungen der EnEV 09 hinsichtlich des Wärmedurchgangskoeffizienten U in Höhe von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ erfüllt. Für eine industrielle Fertigung dieser Wandkonstruktion sind allerdings noch erhebliche Anstrengungen erforderlich. Die Praktikabilität von sehr leichten Leichtbetonen mit geschäumter Matrix ist derzeit nicht vorhanden und muss über die Auswahl von Ausgangsstoffen und die Herstellprozedur weiterentwickelt werden, dies vor dem Hintergrund einer weiteren, erforderlichen Reduktion der Rohdichte.

4 LITERATUR

- /DIN79/ DIN 52612-1:1979-09 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; Teil 1: Durchführung und Auswertung
- /DIN01/ DIN 4108-3:2001-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung