

TexModul

Sandwichbauteile aus Textilbeton

Seit 2002 ist der Lehrstuhl Baukonstruktion 2 an der RWTH-Aachen in einem interdisziplinären Forschungsprojekt zum Thema Textilbewehrter Beton tätig. Im Rahmen dieser Forschungstätigkeit wurde im vergangenen Jahr ein Experimentalgebäude aus Textilbeton-Sandwichelementen entwickelt und realisiert. Sowohl hinsichtlich der technologischen Aspekte aber auch gestalterisch stellt das Projekt mit dem Namen TexModul einen erheblichen Entwicklungsschritt für den Einsatz von Textilbeton in der Architektur dar.

Gebäudeaußenwände haben sich insbesondere aufgrund der in den vergangenen 30 Jahren sich stetig verschärfenden Anforderungen hinsichtlich der Energieeinsparung zu immer komplexeren konstruktiven Gebilden entwickelt. Häufig müssen zahlreiche unterschiedliche Schichten und Materialien in den Wandaufbau integriert werden, um das geforderte Funk-

tionsprofil zu erzeugen. Dies erfordert nicht nur große Sorgfalt in der Planung und Ausführung, sondern führt in der Regel auch zu größeren Wandquerschnitten. Dem stehen jedoch Forderungen nach größerer Effizienz bei der Planung und Herstellung von Bauwerken und Material sparenden Bauweisen gegenüber. Das Bauen mit elementierten, vorgefertigten Sandwichbauteilen stellt hier eine Möglichkeit dar, diesen scheinbaren Widerspruch aufzulösen.

Sandwichelemente sind Bauteile der Gebäudehülle, die aus einer Innenschale, einem Dämmstoffkern und einer Außenschale bestehen. Sie werden grundsätzlich unter industriellen Bedingungen vorgefertigt und bieten daher insbesondere bei großen Wiederholungsraten erhebliche Vorteile hinsichtlich der Produktionsgeschwindigkeit bei Herstellung und Montage sowie der Maßhaltigkeit. Allerdings liegen derzeitigen Sand-

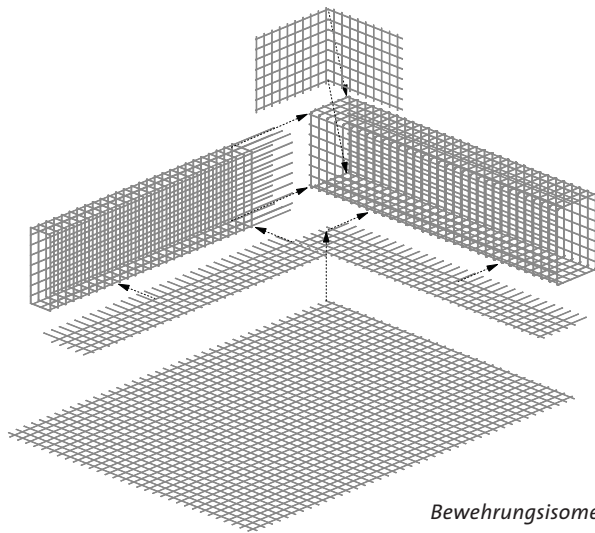


Das Texmodul auf dem Campus der RWTH Aachen ist ein Projekt aus dem Sonderforschungsbereich Textilbewehrter Beton



Das textile Bewehrungselement im Bereich des Querjochs mit Einsteckbewehrung





Bewehrungsisometrie

wichelementkonstruktionen material- und produktionsbedingte Nachteile zugrunde. So stehen bei Metallsandwichelementen den guten Wärmedämmeigenschaften und dem geringen Wandquerschnitt die geringe bauphysikalische Leistungsfähigkeit hinsichtlich des Schallschutzes und der verfügbaren thermischen Speichermasse gegenüber [1]. Darüber hinaus können derartige Elemente keine vertikalen Lasten abtragen, haben allerdings aufgrund des Verbundes der Metalldeckschichten mit dem Dämmkern aus PUR-Hartschaum eine erhebliche Eigensteifigkeit. Anders bei den Betonsandwichelementen. Diese bestehen in der Regel aus einer tragenden Stahlbetoninnenschale, einem Dämmkern und einer nicht tragenden Stahlbetonaußenschale. Derartige Systeme können zur Lastabtragung herangezogen werden und verfügen über gute bauphysikalische Eigenschaften was Schallschutz und thermische Speicherkapazität betrifft. Aufgrund der materialbedingten Schichtdicken verfügen sie jedoch über große Bauteilstärken von 36 – 45 cm und ein entsprechend hohes Eigengewicht.

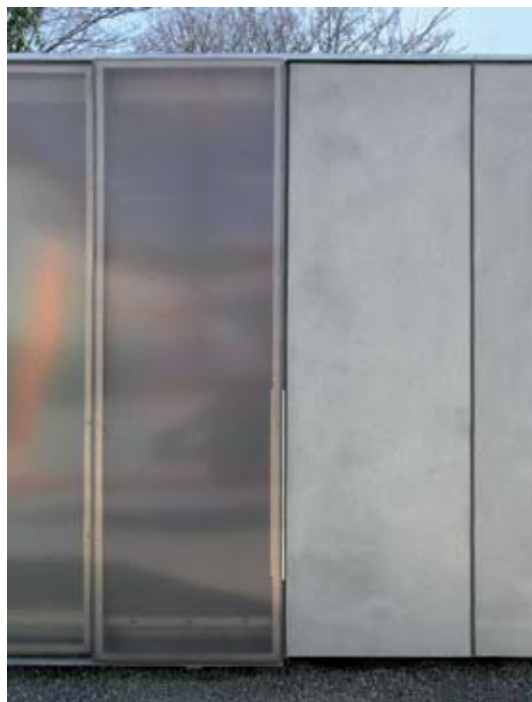
Sandwichelemente mit Deckschichten aus textilbewehrtem Beton vereinen viele der Vorteile der vorgenannten Konstruktionen, da sie über ein günstiges bauphysikalisches Profil (Wärme-/Schallschutz/Wärmespeichervermögen) verfügen, aufgrund der hohen Druck- und Zugfestigkeiten des Verbundwerkstoffs große Traglasten erreichen können, keinen Korrosionsschutz (Betondeckung/Beschichtungen) benötigen und gleichzeitig geringe Bauteilstärken von 18 – 20 cm aufweisen. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 532 Textilbewehrter Beton – Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie an der RWTH Aachen hat der Lehrstuhl Baukonstruktion 2 in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit dem Institut für Massivbau (IMB), dem Institut für Bauforschung (IBAC), dem Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau (STB) und dem Institut für Textiltechnik (ITA) Sandwichelemente mit Textilbetondeckschichten entwickelt und anhand eines Experimentalbaus Einsatzmöglichkeiten für diese neuartige Bauweise aufgezeigt.

STRUKTURELLES UND KONSTRUKTIVES KONZEPT

Das Material Textilbeton: Textilbeton ist ein Verbundwerkstoff aus einer fließfähigen Feinbetonmatrix mit einem Größtkorn von 1 mm und einer Bewehrung

aus technischen Textilien aus Glas- oder Carbonfasern. Aufgrund seiner Komponenten verfügt der Textilbeton über eine hohe Druckfestigkeit ($60 - 80 \text{ N/mm}^2$) und Biegezugfestigkeit und erlaubt die Herstellung dünnwandiger, 10 – 30 mm starker Bauteile. Die, in der Regel, sehr fließfähige Feinbetonmatrix ermöglicht die scharfkantige Ausbildung der Bauteilkonturen. In Abhängigkeit von der Bauteilgeometrie und dem Bewehrungsgrad kommen im Wesentlichen das Gießen, das Laminieren und das Spritzen als Herstellungsmethoden zum Einsatz. Während beim Gießen die Anzahl der Bewehrungslagen begrenzt ist (max. 3 bis 4 Lagen) können in Laminier- oder Spritztechnik hergestellte Bauteile mit deutlich mehr Lagen bewehrt werden, da hier dünne Lagen Beton und Bewehrungstextilien abwechselnd in die Schalung eingebracht werden.

Grundkonzept Systemhaus: Um ein Anforderungsprofil für die Sandwichbauteile zu erarbeiten und die wesentlichen konstruktiven Fragestellungen zu identifizieren wurde zunächst ein zweigeschossiges Systemhaus aus tragenden Textilbetonsandwichelementen entwickelt. Wesentliches Merkmal war hier die Beschränkung auf drei Bauteiltypen für Wand, Dach und Geschossdecke. Wand- und Dachbauteil wurden als Sandwichelement, die höher belastete Geschossdecke als Hohlkasten ausgebildet. Geometrisches Grundmodul des Systemhauses ist ein Quadrat mit 90 cm Kantenlänge. Hieraus generieren sich die das Wandelement mit 90 cm x 270 cm und das Dach-/Deckenelement mit 90 cm x 360 cm. Um bei den Wand- und Dachbauteilen Außen- und Innendeckschale für die Lastabtragung aktivieren zu können, wurden die Elemente als Verbundquerschnitt mit 20 mm starken Textilbetondeckschalen und einem 160 mm starken Polyurethan(PUR)-Hartschaumkern ausgebildet. Als Kernmaterial sollte ein PUR-Hartschaum mit einer Roh-



Die Längsseiten des Pavillons haben zusätzlich GFK-Platten integriert.

dichte von 50 kg/m^3 und einer Wärmeleitfähigkeit von $0,025 \text{ W/mK}$ verwendet werden. Dieser verfügt über eine genügend große Schubsteifigkeit, so dass bei einem guten Verbund zwischen Kern und Deckschichten sich insbesondere bei Biegebeanspruchung eine Sandwichtragwirkung einstellt. Sandwichtragwirkung bedeutet hier, dass durch den flächigen Verbund von jeweils schlanken und sehr biegeweichen Schichten ein statisch wirksames Bauteil mit hoher Eigensteifigkeit entsteht. In Entwurfsstudien wurde die Anwendbarkeit dieser modularen Bauweise für unterschiedliche Haustypen überprüft [2]. Um die Tauglichkeit dieser Systembauweise nachzuweisen wurde ein kleines Einraumgebäude, das so genannte TexModul entwickelt. TexModul – Strukturkonzept und geometrische Ordnung: Der rechteckige Baukörper mit Außenabmessungen von $4,00 \text{ m} \times 5,00 \text{ m}$ (Achismaß) besteht aus 12 Wand- und 4 Dachelementen. Das Grundraster wurde auf $1,00 \text{ m}$ vergrößert, wodurch sich günstigere Durchgangsmaße für Öffnungselemente erzielen ließen. Die beiden Schmalseiten sind jeweils vollständig geschlossen, während auf den Längsseiten zwei Felder geschlossen und 3 Felder verglast ausgeführt wurden. Die 4 Dachelemente liegen jeweils auf den 4 Wandelementen der Schmalseiten auf und haben eine Stützweite von $4,75 \text{ m}$. Um eine durchgehend wärmebrückenfreie Gebäudehülle zu erzeugen, sind Außen- und Innenschalen bis auf konstruktiv angeordnete Verbundmittel thermisch entkoppelt und die Elemente untereinander nur über die inneren Textilbetonschalen miteinander verbunden. Die Dachelemente lagern nur auf der Innenschale der Wandelemente auf. Die äußere Schale ragt oben und unten über die Innenschale über und verdeckt den unteren und oberen Auflagerpunkt. Die Wandelemente haben eine Höhe von $3,20 \text{ m}$ und sind auf einer ca. 30 cm hoch aufgeständerten Stahlunterkonstruktion aus U-Profilen aufgelagert. Sie bilden Wandscheiben, die zusammen mit der Dachscheibe das Gebäude aussteifen. Im Elementstoß ist eine planmäßige Fuge von 2 cm vorgesehen wodurch sich Elementbreiten von 98 cm ergeben.

Bauteilgeometrie, Elementfübung und Aussteifungskonzept: Insbesondere die Bauteilfübung hat einen erheblichen Einfluss auf die Elementgeometrie, da in den Fügepunkten Lasten übertragen werden, Wärme- und Feuchteschutz sowie Luftdichtigkeit gewährleistet sein müssen. An den Elementrändern der inneren Textilbetondeckschichten wurden daher 150 mm hohe und 50 mm breite Aufkantungen ausgebildet, welche die Steifigkeit des Gesamtbauwerks erhöhen und bei den Wandelementen maßgeblich an der Ableitung der Vertikallasten aus Dach und Decke beteiligt sind. Darüber hinaus wird durch die Aufkantungen ein Konstruktionsraum erzeugt, in dem mittels Nut- und Federgeometrie die konstruktive Fügung der Elemente und der Einbau von Dicht- und Dämmbauteilen erfolgen können. Im Stoßbereich selbst werden keine mechanischen Verbindungsmittel verwendet.

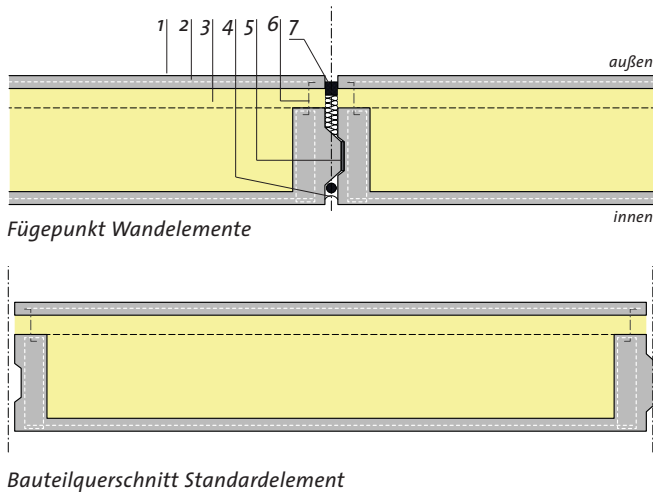
Das Gebäude wird durch die Ausbildung von Scheiben ausgesteift. Zur Erzeugung einer Scheibenwirkung in der Dachebene wurden die Deckenelemente in den Viertelpunkten schubsteif verbolzt und stählernde Zugbänder (Flachstähle $5/80 \text{ mm}$) angeordnet, die auf



die Wandhäupter montiert wurden. Zusammen mit den in den vertikalen Wandfugen angeordneten Elastomerstreifen erzeugen die Zugbänder auch in den Wänden eine teilweise Scheibenwirkung. Für die Übertragung der Dachlasten in die Wandelemente wurden an den Innenschalen der Wandelemente oben und unten 11 cm starke Querjoche ausgebildet. Sie bewirken eine gleichmäßige Lastverteilung in den Wandquerschnitt und nehmen Ankerschienen auf, die zum gelenkigen Anschluss der Wandelemente an Dach- und Unterkonstruktion und zur Montage der Zugbänder erforderlich sind.

Bauphysikalisches Verhalten: Durch den 160 mm starken Dämmkern aus Polyurethanhartschaum verfügen die Bauteile über ein gutes Dämmverhalten. Der mittlere U-Wert der Wandelemente inklusive Fugen beträgt $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Problematisch ist der Bereich der Elementränder, da hier die Dämmstoffstärke auf 30 mm reduziert wird. Mit Hilfe von Wärmestromsimulationen konnte jedoch nachgewiesen werden, dass sowohl in diesen Bereichen als auch in den Fugen ein ausreichend hohes Temperaturniveau im Bauteil erreicht wird. Das Schalldämmverhalten der Sandwichbauteile wurde nicht näher untersucht, da hier bereits aus anderen Forschungsprojekten Anhaltswerte bekannt sind. So wurden im Rahmen eines von der Bayer AG in Auftrag gegebenen Forschungsprojektes zu Textilbetonsandwichelementen als Fassadenbauteile an Sandwichelementen mit sehr ähnlichem Aufbau in Labormessungen Schalldämmmaße von circa 43 dB ermittelt [3]. Damit verfügen die Bauteile über ein deutlich besseres Schalldämmverhalten als konventionelle Sandwichelemente mit Metalldeckschichten.

Fassade, Dach und Boden: Die drei verglasten Felder auf den Gebäudelängsseiten wurden mit $6,5 \text{ mm}$ starken Scobaglas IFG Faserplatten auf einer Unterkonstruktion aus Aluminiumhohlprofilen ausgeführt. Jeweils eines der Felder ist als Schiebeelement ausgebildet. Zusätzlich zu der Dämmung der Dachelemente wurde eine im Mittel 7 cm starke Gefälledämmung aus PS-Hartschaum aufgebracht. Als Dachabdichtung wurde eine selbstklebende Kunststoffdachdichtungsbahn verwendet. Der Bodenaufbau wurde als konventionelle Balkenkonstruktion mit Mineralwollendämmung in den Gefachen und doppelter Beplankung mit OSB-Platten ausgeführt. Hierauf wurden als Bodenbelag 20 mm starke Textilbetontafeln auf 20 mm PS-Hartschaumplatten verlegt.



- 1 Textilbeton 20 mm
- 2 Textile Bewehrung
- 3 PUR-Hartschaumkern
- 4 Dichtung (Nassverfugung)
- 5 EPDM-Streifen 5 mm
- 6 Verbundnadel
- 7 Dichtung (Kompressionsband)

PRODUKTION

Textile Bewehrung: Wesentliches Problem bei Produktion der Bauteile war die Herstellung der textilen Bewehrungselemente. Insbesondere die komplexe Geometrie der Textilbeton-Innenschale mit Aufkantung an allen vier Seiten und die geringen Bauteilabmessungen erforderten maßhaltige und formstabile vorkonfektionierte Bewehrungskörbe und eine geeignete Methode diese mit den Flächenbewehrungen der Deckschalen zu verbinden. Als Ausgangsmaterial für sämtliche Bewehrungsteile wurde das im SFB 532 entwickelte AR-Glas-Gelege 2D-11-07 verwendet. Es verfügt über ein Flächengewicht von 574,8 g/m² und über eine Querschnittsfläche von 107,9 mm²/m bei einem Gitterabstand von 8 mm. Zur Verbesserung der Tragfähigkeit und der Handhabung beim Einbau wurde das Textil mit Epoxydharz beschichtet. Für die Randaufkantungungen wurden spezielle, bauteilangepasste Bewehrungskörbe hergestellt. Hierzu wurden 25 cm breite Streifen des Textils mit Epoxidharz beschichtet, mit PTFE-Folie bezogen, mit Aluminiumschalungen zu Rechteck- und L-Profilen umgeformt und in einem Ofen bei 170° C ausgehärtet. Die so erzeugten Bewehrungshalbzeuge wurden mit winkelförmigen Bewehrungselementen und durch das Einfädeln einzelner Rovings über Eck verbunden. Da es hinsichtlich der textilen Produktion und der Vorfertigung der räumlichen Bewehrungsstruktur nicht möglich war, die Feldbewehrung direkt in den Bewehrungskorb der Randaufkantung zu führen, wurde eine einfach handhabbare, streifenförmige „Einsteckbewehrung“ hergestellt. Bei dieser wurde auf einer Hälfte die Querbewehrung entfernt, um die Längsbewehrung in die Bewehrung der lastabführenden Randaufkantung einschieben zu können, während die andere Hälfte mit der Feldbewehrung gestoßen wurde.

Hartschaumkerne: Die einteiligen Schaumkerne aus Polyurethan mit einer Rohdichte von 50 kg/m³ wurden werkseitig gefräßt, um die notwendigen Randgeometrien herzustellen. Vor Betonage der Bauteile wurden die fertigen Bewehrungselemente zusammengesetzt und auf den PUR-Hartschaumkernen punktuell befestigt.

Betonage: Das Betonieren der kompletten Sandwichelemente erfolgte in drei Schritten. Zunächst wurde die äußere Deckschale von 20 mm Stärke mit einer Lage Bewehrung gegossen. Danach wurde der Schaumkern mit den Bewehrungselementen in den noch frischen Beton eingedrückt und allseitig die Randabschalung

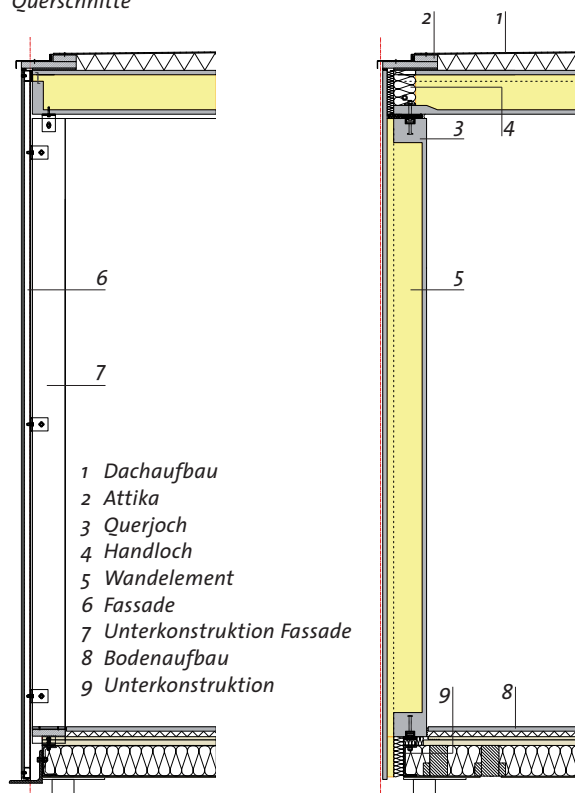
aufgestellt. Abschließend wurde die Flächenbewehrung der inneren Deckschale auf den Schaumkern aufgelegt und die Schalung mit Beton aufgefüllt.

Für die äußere und innere Deckschale wurden unterschiedliche Betonmischungen verwendet. Bei der Außenschale wurde eine Mischung mit relativ steifer Konsistenz und einem Kurzfasergehalt (AR-Glas) von 1 Vol-% verwendet, die sich durch Flächenrüttler gut verdichten ließ ohne sich zu entmischen und zu hervorragenden Oberflächen führte. Gleichzeitig wirken die Kurzfasern der Bildung von Rissen aufgrund von Temperaturdifferenzen entgegen. Bei der geometrisch komplexeren Innenschale wurde eine sehr fließfähige Mischung ohne Kurzfasergehalt verwendet. Die Mischung ließ sich ohne Rütteln verarbeiten. Die ungeschaltete Seite wurde von Hand abgezogen und geglättet.

MONTAGE

Zur Montage war aufgrund des Gewichtes der Elemente (Wand: 440 kg, Dach: 620 kg) ein Autokran notwendig. Die auf den Längsseiten stehend angelieferten Wandelemente wurden zunächst mit einem speziellen Stahlschuh in die aufrecht stehende Position gebracht und dann an den Einbauort gehoben. Die Elemente wurden mittels Stahlunterklötzung und EPDM-

Querschnitte



- 1 Dachaufbau
- 2 Attika
- 3 Querjoch
- 4 Handloch
- 5 Wandelement
- 6 Fassade
- 7 Unterkonstruktion Fassade
- 8 Bodenaufbau
- 9 Unterkonstruktion

Streifen auf den U-Stahlprofilen der Unterkonstruktion aufgelagert und durch jeweils zwei Hammerkopfschrauben M12 befestigt. Im Bauzustand wurden die Elemente durch Schrägstützen gesichert. Die Dachelemente wurden liegend mit Gurtschlaufen an den Einbauort gehoben und durch Ankerschrauben mit den Wandelementen verbunden.

AUSBLICK

Mit der Errichtung des TexModuls konnte die Leistungsfähigkeit der entwickelten Sandwichbauteile verifiziert werden. Damit steht eine neuartige Technologie für elementierte, modularisierte Bauweisen zu Verfügung, die aufgrund des geringen Materialeinsatzes bei gleichzeitig hohem bauphysikalischem Leistungsprofil der Bauteile einen echten Beitrag zur nachhaltigen Verwendung von Beton darstellt.

Als Anwendungsbereiche sind kleine typisierte Wohnhäuser aber auch Industrie- und Gewerbebauten mit geringen Spannweiten denkbar. Wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung der Technologie ist die Verfügbarkeit der textilen Bewehrungselemente als leicht handhabbare, industrielle Halbzeuge. Darüber hinaus bestehen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Verbundfuge von Schaumkern und Beton sowie dem langzeitlichen Verformungsverhalten der Bauteile und dem Brandverhalten derartiger Elemente einige offene Fragen. Auch die Frage des Recyclings ist bislang ungelöst.

Christian Schätzke, Christiane Feger,
Hartwig N. Schneider

Das Forschungsprojekt wurde finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 532 „Textilbewehrter Beton – Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie“ sowie technisch und finanziell durch die BAYER Material-Science und Hexion unterstützt.

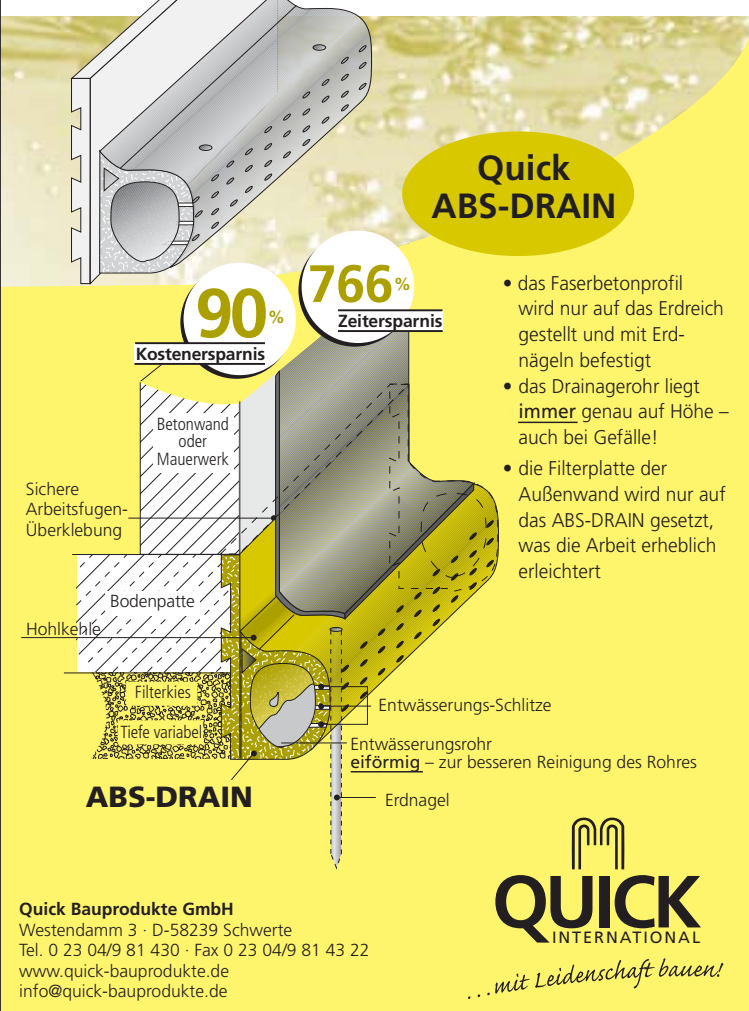
Literatur

- [1] Koschade, R.: Die Sandwichbauweise, Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2000, S.43
- [2] Schneider, H.N.; Schätzke, C.; Bergmann, I.: Textile Reinforced Concrete - Applications and Prototypes. In: Hegger, J.; Bramehuber, W.; Will, N. (Hrsg.): Textile Reinforced Concrete - 1st International RILEM Conference on Textile reinforced Concrete, 6./7. September, 2006, Aachen, D. Bagnoux, F.: RILEM Publications S.A.R.L., 2006, S. 297 - 307.
- [3] Hegger, J.; Horstmann, M.; Will, N.; Kleser, J.: Sandwich panels with TRC-facings. Proceedings of 3rd International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2007), Capetown, South Africa, 10.-12.09.2007, pp. 353-354.

Projektbeteiligte

Dipl.-Ing. Architekt Christian Schätzke, Dipl.-Ing. Architektin Christiane Feger, Prof. Dipl.-Ing. Architekt, BDA Hartwig N. Schneider Tragwerkplanung: Dipl.-Ing. Michael Horstmann, Institut für Massivbau (IMB), RWTH Aachen University; Dipl.-Ing. Daniel Pak, Institut für Stahl- und Leichtmetallbau (Stb), RWTH Aachen University
Textile Bewehrung: Dipl.-Ing. Steffen Janetzko, Institut für Textiltechnik (ITA), RWTH Aachen University
Betonrezeptur: Dipl.-Ing. Marcus Hinzen, Institut für Bauforschung (ibac), RWTH Aachen University
Hartschaumblöcke: Puren GmbH, Überlingen
Textilbeschichtung: Von Roll, Augsburg; Hexion Specialty Chemicals GmbH, Duisburg
Herstellung / Montage Elemente: Nesseler Grünzig Bau GmbH, Aachen
Fassade: Metallbau Erich Span, Herzogenrath
Dach: Meinolf Dachtechnik, Würselen

Abschalprofil und Drainage zugleich



Quick ABS-DRAIN

90% Kostenersparnis

766% Zeitersparnis

- das Faserbetonprofil wird nur auf das Erdreich gestellt und mit Erdnägeln befestigt
- das Drainagerohr liegt **immer** genau auf Höhe – auch bei Gefälle!
- die Filterplatte der Außenwand wird nur auf das ABS-DRAIN gesetzt, was die Arbeit erheblich erleichtert

Sichere Arbeitsfugen-Überklebung

Betonwand oder Mauerwerk

Bodenplatte

Hohlkehle

Filterkies

Tiefe variabel

Entwässerungs-Schlitz

Entwässerungsrohr eiförmig – zur besseren Reinigung des Rohres

Erdnagel

Quick Bauprodukte GmbH
Westendamm 3 · D-58239 Schwerte
Tel. 0 23 04/9 81 430 · Fax 0 23 04/9 81 43 22
www.quick-bauprodukte.de
info@quick-bauprodukte.de

QUICK
INTERNATIONAL
...mit Leidenschaft bauen!

IBTronic XL



halogenfrei

Raum für NV- / HV- / LED-Leuchten und Lautsprecher

E-CHECK
Partner-Unternehmen

Günther Spelsberg GmbH + Co. KG
Im Gewerbepark 1
D-58579 Schalksmühle
Telefon: 0 23 55 / 8 92-0
Telefax: 0 23 55 / 8 92-299
e-mail: info@spelsberg.de

www.spelsberg.de