

Preforming von textilen Bewehrungsstrukturen für Sandwichbauteile*

Steffen Janetzko¹, Thomas Gries², Till Büttner³

Zusammenfassung: Dimensionierung und Konstruktion von Bewehrungstextilien für die Anwendung in Textilbeton werden in Abhängigkeit von der resultierenden Last im Bauteil durchgeführt. Um aus der Vielzahl möglicher Varianten von Bewehrungsstrukturen die passenden auszuwählen, wird ein reduziertes Beschreibungsschema zur Auswahl herangezogen. Als Anwendungsbeispiel wird eine komplexe Bewehrungsstruktur beschrieben, die für dünnwandige, selbsttragende Sandwichelemente genutzt wird. Die Sandwichelemente werden als Wand- und Dachkonstruktion für ein 20 m² großes modulares Gebäude eingesetzt. Die Bewehrungsstrategie für die Elemente sowie die Herstellungstechnik und Prüfverfahren für die Bewehrung werden beschrieben. Zur Langzeitüberwachung der Sandwichelemente wird ein Monitoring-System verwendet.

Summary: Dimensioning and construction of reinforcement textiles for the application of textile reinforced concrete are conducted in respect to the resulting load on the building member in its application. In order to focus the large variety of possible reinforcement textiles a structuring method for the construction of textiles designed for concrete application is used. An application for coated textile structures in complex, thin walled sandwich elements used for self supporting wall and roof elements of a small building with an area of 20 m² is described. The reinforcement strategy for these elements is described as well as their manufacturing technology and testing methods for the textiles and the whole sandwich element. A monitoring system is used for a long term observation of the sandwich elements.

* Dies ist eine begutachtete Veröffentlichung./This is a peer-reviewed paper.

Online verfügbar/Online available: [urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244042345137-27083](http://nbn:de:bsz:14-ds-1244042345137-27083)

¹ Dipl.-Ing., Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen, RWTH Aachen University

² Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen, RWTH Aachen University

³ Dipl.-Ing. Till Büttner, Institut für Bauforschung, RWTH Aachen University

1 Einleitung

Im Sonderforschungsbereich Textilbewehrter Beton 532 (SFB 532) arbeiten nun bereits fast zehn Jahre Wissenschaftler zusammen, um die Grundlagen für diese neue Werkstofftechnologie zu erarbeiten. Zum Ende der dritten Förderungsperiode haben die Aachener Wissenschaftler die interdisziplinären Erkenntnisse zur architektonischen Konzeption, Konstruktion und Bemessung sowie der Herstellungstechnologie für tragfähige Bauteilkonzepte aus textilbewehrtem Beton gebündelt und in einem neuen Gebäudekonzept zur Anwendungsreife gebracht. Durch die Realisierung des sogenannten „Texhaus“ konnten die vorhandenen Modelle, Materialien und Prinzipien überprüft sowie erfolgreich umgesetzt und weiterentwickelt werden. Das vom Lehrstuhl Baukonstruktion 2 entworfene Texhaus wurde im Frühjahr 2008 in Zusammenarbeit der Aachener Forscher errichtet. Es ist das erste Gebäude, das aus tragenden Textilbetonbauteilen hergestellt wurde. In den kommenden zwei Jahren wird es während der Renovierungsphase der Räumlichkeiten der Fakultät für Architektur ein Café beherbergen. Im Hinblick auf diese neue Anwendung werden im Folgenden die Grundlagen des Bewehrungskonzeptes zusammengefasst sowie auf die Herstellungs- und Verarbeitungsmethodik eingegangen. Das Monitoringkonzept zur Überprüfung des verwendeten Dauerhaftigkeitsmodells in der Auslegung der Bewehrung wird ebenfalls vorgestellt.

2 Textile Bewehrungsstrukturen für Betonbauteile

2.1 Definition von 2D- und 3D-Textilien

Als 2D-Textil gilt, was weder in der Fadenarchitektur noch in der Textilarchitektur in mehr als zwei Raumrichtungen ausgedehnt ist. Als 3D-Textil gilt, was in der Fadenarchitektur und/oder der Textilarchitektur Dreidimensionalität aufweist, unabhängig davon, ob es in einstufigen textilen Fertigungsprozessen oder mehrstufigen textilen Fertigungsprozessen herstellbar ist.

Dabei gilt für:

- **Fadenarchitektur:** Anordnung der Fäden auf Textilebene. Die Fadenarchitektur gilt als dreidimensional, wenn sie von wenigstens drei oder mehr Fadensystemen oder Fadenvorzugsorientierungen, in die ein rechtwinkliges Koordinatensystem so gelegt werden kann, dass eine der drei Achsen senkrecht zu allen Fadensystemen oder Fadenvorzugsrichtungen des textilen Körpers steht, gebildet wird. [1]
- **Textilarchitektur:** Geometrie des Textils. Die Textilarchitektur gilt als dreidimensional, wenn ein Volumen durch die Textilstruktur gebildet oder von ihr umschlossen wird, unabhängig von der Anzahl der Fadensysteme und der durch sie gebildeten Fadenarchitektur.

- **Einstufige textile Fertigungsprozesse:** Herstellung des *endkonturnahen* textilen Produkts in einem Fertigungsschritt (z.B. Konturwirken, 3D-Flechten...)
- **Mehrstufige textile Fertigungsprozesse:** Herstellung des endkonturnahen textilen Produkts in mehreren Fertigungsschritten (z.B. Wirken und Umformen, Weben und Nähen...)
- **Endkonturnah:** Textilarchitektur, die sich in ihren Abmessungen nicht oder nur geringfügig von der Kontur des fertigen Produktes unterscheidet. Begriff findet überwiegend Verwendung, wenn Textilien als Verstärkungsstruktur in Bauteilen aus Verbundwerkstoffen Anwendung finden

2.2 Strukturierung und Beschreibung von gewirkten Bewehrungsstrukturen

Um die vielfältigen Möglichkeiten der Wirkereitechnik zur Herstellung von Bewehrungsstrukturen auf ein überschaubares und für Textilbetonanwendungen ausreichendes Maß einzuschränken, wurde ein fünf Punkte umfassendes Beschreibungsschema entwickelt, das alle grundlegenden Parameter zur Definition eines zweidimensionalen Bewehrungstextils enthält. Die Parameter wurden ausgehend von den Anforderungen an eine Textilbetonbewehrung sowie der Herstellungstechnologie für maschengerechte, biaxiale Kettengewirke abgeleitet. Bild 1 stellt dieses 5-Kriterien-Beschreibungsschema für Bewehrungstextilien für Beton grafisch dar. Um ein Textil ausreichend zu beschreiben, müssen alle fünf Kriterien ausreichend definiert werden. Sind alle fünf Parameter angegeben, lassen sich weitere für die Auslegung und Herstellung von Textilbetonbauteilen notwendige Daten wie der wirksame Bewehrungsquerschnitt pro Meter oder das Flächengewicht daraus bestimmen. Das Beschreibungsschema ist primär für zweidimensionale Textilien angelegt, durch eine entsprechende Erweiterung ist es auch zur Beschreibung von gewirkten Abstandstextilien nutzbar. In diesem Fall werden durch das ursprüngliche Schema die Deckflächen des 3D-Abstandsgewirkes die Deckflächen beschrieben, die erweiterten Kriterien beschreiben das Polfadenmaterial und die grundlegende Einbindung in die Deckflächen.

Das erste Kriterium beschreibt das verwendete Fasermaterial sowie den gewählten Titer der Verstärkungsfaser. Das zweite Kriterium beschreibt die Wirkstruktur mit der die Verstärkungsfasern in das Textil eingebunden werden. Es bestimmt maßgeblich die Verarbeitungstechnik des Textil während der Bauteilherstellung. Beispielhaft werden in Bild 1 die drei gebräuchlichsten Einzugsmuster für die Längsrichtung (0°) des Bewehrungstextils erläutert. Mit diesem dritten Kriterium (Einzugsmuster und Naderteilung) und Kriterium I lässt sich z. B. der Querschnitt des Textils in 0° -Richtung ermitteln. Kriterium IV beschreibt analog zu Kriterium III den Einzug der Verstärkungsfasern in Schussrichtung (90°). Um auch in Querrichtung den Faserquerschnitt zu bestimmen, wird zusätzlich zum Schusseinzug auch noch der Maschenreihenabstand, oft als Stichlänge bezeichnet, als fünftes Kriterium angegeben [2].

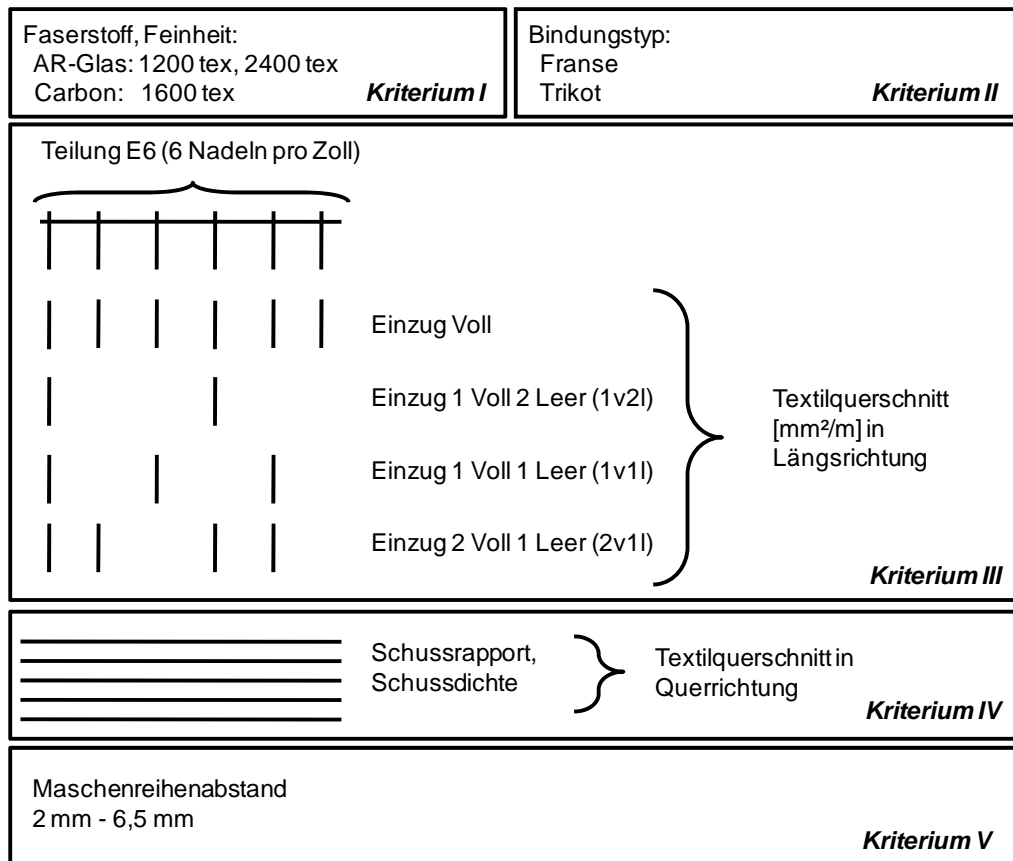


Bild 1: 5-Kriterien-Beschreibungsschema für Textilbetonanwendungen

Fig. 1: Five criterion description scheme for textile reinforced concrete

2.3 Bewehrungsstrukturen und Auswahlkriterien

Biaxial kettengewirkte Bewehrungsstrukturen können über die zuvor beschriebenen Kriterien den Anforderungen des Textilbetonbauteils und der Herstellungstechnologie angepasst werden. Aus den Bauteilbelastungen wird der notwendige Bewehrungsquerschnitt ermittelt. Die Textilkonstruktion wird nach der Wahl des Verstärkungsmaterials entsprechend den Kriterien III - V diesen Anforderung angepasst. Die Herstellungstechnologie und das für das Bauteil gewählte Verarbeitungsverfahren der Textilien haben maßgeblichen Einfluss auf die zu wählende Grundstruktur des Bewehrungstextils (Kriterium II). Bild 2 zeigt die grundlegenden im SFB 532 verwendeten Strukturen. Mit klassischer Franse-Bindung (a) mit versetztem Stehfaden lassen sich gitterartige Bewehrungsstrukturen mit möglichst großen Gitteröffnungen herstellen. Dies ermöglicht eine Fertigung der Textilbetonbauteile im Gießverfahren. Bei einer Gitteröffnungsweite von ca. 8 mm lassen sich im Gießverfahren spezielle Feinbetone für Textilbetonanwendungen mit einem Größtkorn von ca. 2 mm gut verarbeiten. Durch speziell-

le Modifikationen können auch größere Öffnungsweiten erzielt werden, um auch Betone mit einem Größtkorn von bis zu 5 mm verarbeiten zu können.

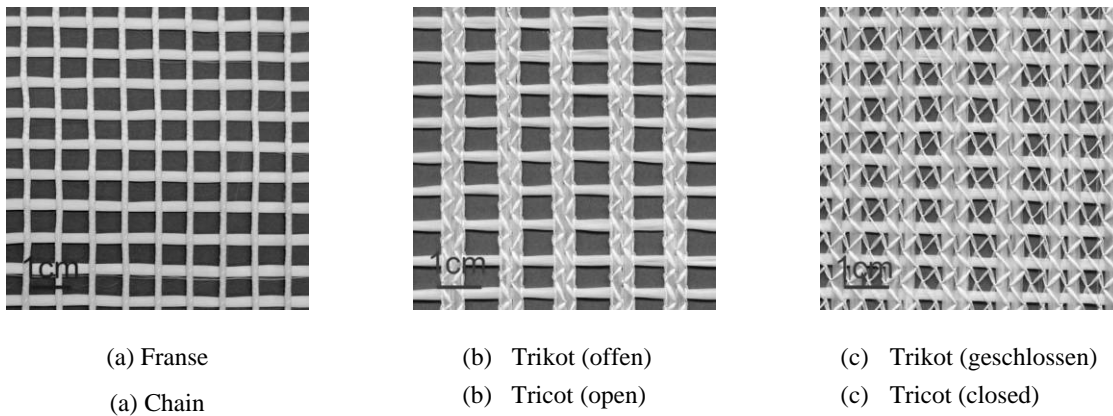


Bild 2: Biaxiale kettengewirkte Bewehrungsstrukturen

Fig. 2: Biaxial warp-knit textiles for textile reinforced concrete

Rovings, die durch eine Trikotbindung in das Textil flach eingebundene sind, weisen in der Regel eine bessere Anbindung an die Betonmatrix auf, als die rund eingebundenen Rovings der Franse-Bindung. Um auch bei flach eingebundenen Rovings eine Verarbeitung der Bewehrungstextilien im Gießverfahren zu ermöglichen, kann eine offene Trikotstruktur gewählt werden (b). Die höchste Tragfähigkeit bei gleichem Bewehrungsgrad weisen Textilien mit einer geschlossenen Trikotstruktur auf (c). Diese Bewehrungstextilien lassen sich jedoch nur in einer schichtweise Herstellung der Betonbauteile, also z.B. im Spritzverfahren, verarbeiten.

Generell lassen sich zweidimensionale Bewehrungen durch zusätzliche Bewehrungselemente modifizieren und somit anwendungsgerecht verstärken. Dabei sind natürlich Bewehrungsmaterial und -struktur unabhängig von der Grundbewehrung frei wählbar und den Anforderungen anzupassen. Entsprechend können lokale Verstärkungen für Übergänge, Anschlüsse oder Funktionsintegrationen hergestellt werden, ohne die Verarbeitungseigenschaften nachteilig zu beeinflussen. Bedingt durch die zusätzlichen Konfektionsschritte zum Fixieren und kraftschlüssigen Verbinden der Zusatzbewehrung ergibt sich jedoch ein erhöhter Verarbeitungsaufwand in der Textilkonfektion [3]. Funktion, Verarbeitung und Tragfähigkeit lassen sich auch durch eine dem Bauteil angepasste Beschichtung des zweidimensionalen Bewehrungstextils anpassen. Durch die Beschichtung wird die Anbindung der inneren Filamente der Verstärkungsfasern und damit das Tragverhalten positiv beeinflusst. Die Verwendung eines speziellen Prepreg-Beschichtungssystems ermöglicht die Konstruktion formsteifer und komplexer Bewehrungsstrukturen. Diese Bewehrungspreforms können speziell an Form und Verarbeitungsprozess des Textilbetonbauteils angepasst werden.

Ein hoher Komplexitätsgrad der Bewehrungsstruktur kann auch durch die Verwendung von dreidimensionalen Abstandskettengewirken realisiert werden. Auf speziellen Abstandskontu-

renwirkmaschinen werden zwei biaxial verstärkte Deckflächen durch Polfäden miteinander verbunden. Dabei lassen sich beide Deckflächenstrukturen unabhängig voneinander gestalten und durch die spezielle Musterung der Polfadenstruktur bauteilgerecht verbinden. Es entstehen in einem einstufigen Prozess speziell bauteilangepasste Bewehrungspreforms, die sich bei Bedarf auch mit weiteren zweidimensionalen Bewehrungsstrukturen kombinieren lassen. So zeigt Bild 3 beispielhaft eine gitterförmiges Abstandskettengewirk, wie es z.B. zur Bewehrung von vorgehängten Fassadenelementen analog zu Bild 4 verwendet werden kann.

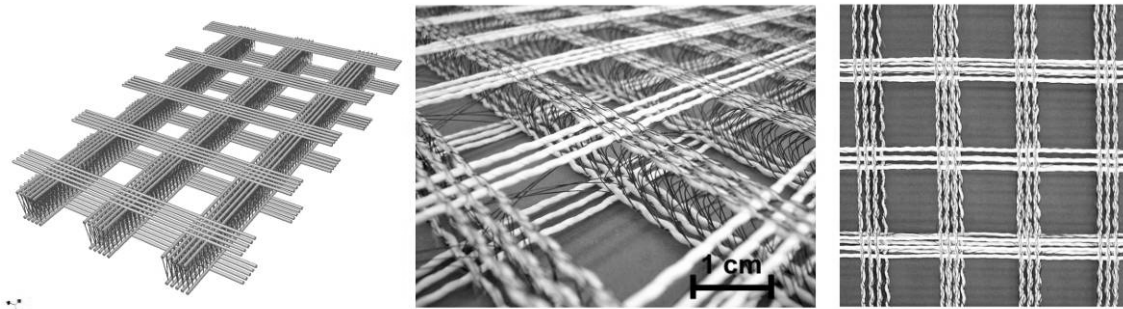


Bild 3: 3D-Abstandskettengewirk, Typ Gitter

Fig. 3: 3D-warp-knit structure, grid-type

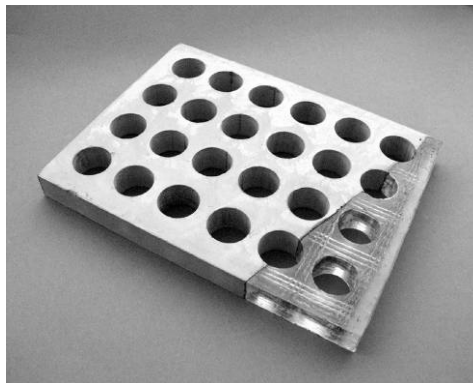


Bild 4: Betonbauteil mit gitterförmiger 3D-Textilbewehrung

Fig. 4: Building member reinforced with 3D-warp-knit fabric

3 Anwendungsbeispiel für textilbewehrte Sandwichbauteile: ein modulares Gebäudesystem

3.1 Allgemeines

Fabrikseitig vorgefertigte Textilbetonelemente weisen gegenüber konventionellen Bauteilen erhebliche Vorteile bezüglich der Baukosten und des Montageaufwandes auf der Gebäudebaustelle auf. Aus diesem Grund wurde im SFB 532 schon früh ein Gebäudekonzept entwickelt, das eine modulare Bauweise aus selbsttragenden Textilbetonsandwichelementen für Wand- und Deckenbauteile vorsieht. Gemäß den Anforderungen an das Gebäudekonzept wurden Bewehrungstechnologie, Betonmatrix und Herstellungstechnologie weiterentwickelt und aufeinander abgestimmt. Zur Validierung der Tragfähigkeit der Gebäudeelemente wurden Prototypen eines Wand- und eines Dachelementes gefertigt und auf ihre mechanischen Eigenschaften hin geprüft.

Die Standardbaueinheit des Texhauses bilden die jeweils ca. 1 m breiten Sandwichelemente mit einer Wanddicke von nur 20 cm. Ein 16 cm dicker PUR-Schaumkern zwischen den nur 2 cm dicken Textilbetonoberflächen sorgt für entsprechende Wärme- und Schalldämmung des Gebäudes. Die Länge der Elemente beträgt für die Wandelemente etwa 2,8 m ohne die oberen und unteren Sichtblenden (Bild 5). Die Deckenelemente hingegen haben eine freitragende Länge von fast 5 m. Die innenliegende Textilbetondeckfläche ist mit einer 15 cm hohen, umlaufenden Aufkantung von 5 cm Dicke versehen. Das äußere Profil der Aufkantung dient zur Verbindung der Elemente untereinander. Die Textilbetondeckfläche der Gebäudeaußenseite ist über Anker mit der Aufkantung verbunden [4].

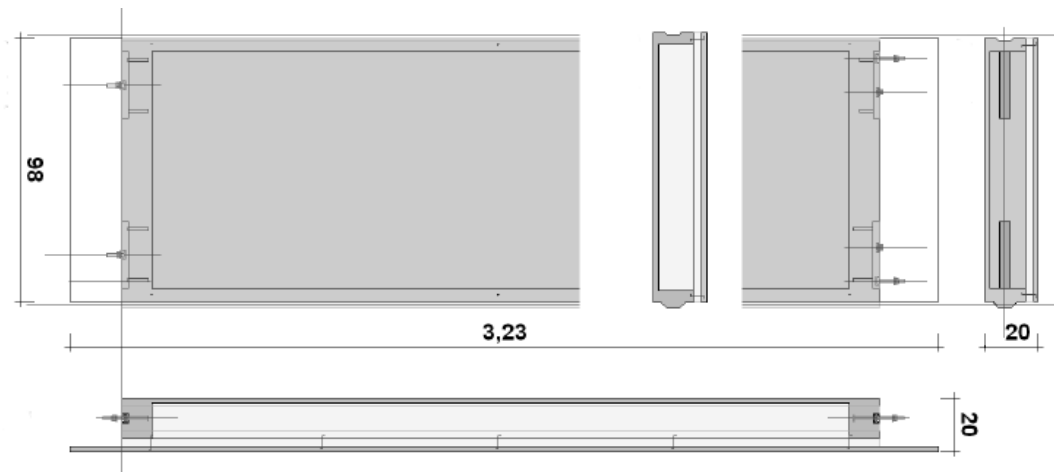


Bild 5: Ansicht und Querschnitt eines Wandelements [bauko2, RWTH Aachen University]

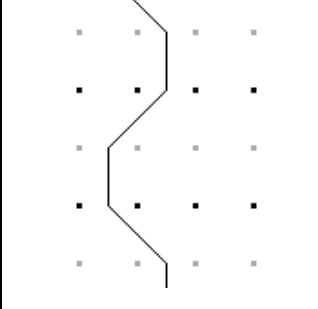
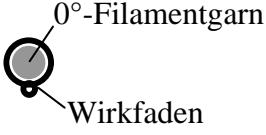
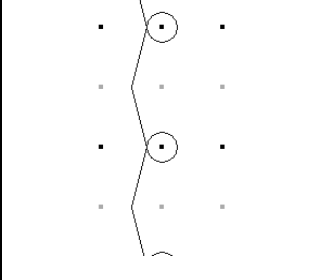

Fig. 5: View and cross section of a wall element [bauko2, RWTH Aachen University]

3.2 Bewehrungskonzept

Die Sandwichbauteile des Texhauses wurden in einem mehrstufigen Produktionsprozess im Gießverfahren hergestellt. Daher wurde als maßgebliche Textilstruktur gemäß Kapitel 2.3 ein Bewehrungstextil mit Franse-Bindung gewählt (Tabelle 1). Als Verstärkungsmaterial werden AR-Glasrovings mit einer Feinheit von 2400 tex in 0°- und in 90°-Richtung eingearbeitet. Dadurch ergibt sich ein symmetrischer Bewehrungsquerschnitt in beide Richtungen von 2,7 cm²/m. Die Textilien werden auf einer maschengerecht abbindenden Biaxialwirkmaschine vom Typ 14022/c/P2-2S, Karl Mayer Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH, Chemnitz hergestellt. Als Wirkfadenmaterial wird ein PES-Garn der Feinheit 167 dtex verwendet, es wird mit einem Maschenreihenabstand von 2,1 mm gearbeitet. Das Flächengewicht beträgt bei dem gewählten Textil 620 g/m².

Tabelle 1: Aufbau des Bewehrungstextils

Table 1: Construction of reinforcement textile

| | Franse, versetzter Stehfaden | | |
|---|---|--|---|
| 0°-Richtung (AR-glass, Roving, 2400 tex) |  | Querschnitt der Be- wehrung in 0°-Richtung |  |
| Wirkfaden (PES, 167 dtex) |  | Ansicht |  |

Die Bewehrung für die Deckflächen der Sandwichelemente wird nachträglich bei der Fa. von Roll Deutschland GmbH, Augsburg beschichtet. Dadurch lässt sich die Handhabung der großflächigen Bewehrung vereinfachen und die Anzahl erforderlicher Bewehrungslagen in den Deckflächen auf eine zentrisch positionierte Lage reduzieren.

Für die Bewehrung der umlaufenden seitlichen Aufkantungen wurde ein spezieller Bewehrungskorb entwickelt. Dazu wurden Streifen des beschriebenen Bewehrungstextils auf der

Laborbeschichtungsanlage des ITA mit einem speziellen Prepreg Harz der Fa. HEXION Specialty Chemicals GmbH, Duisburg beschichtet. In modularen Formen wurden die Bewehrungsprepregs zusammengesetzt und anschließend in einem Ofen ausgehärtet. Die entstehenden Bewehrungsmodule wurden schließlich zu einem formstabilen Bewehrungskorb montiert, der in jeder der Aufkantungen zwei Bewehrungslagen oberflächennah positioniert. Diese Preforms wurden, ergänzt um einige weitere Bewehrungselemente, direkt auf den Schaumkern zu einem einfach zu handhabenden Bewehrungssystem montiert, das zur Elementherstellung als Ganzes in der Schalung positioniert werden kann [4], [5].

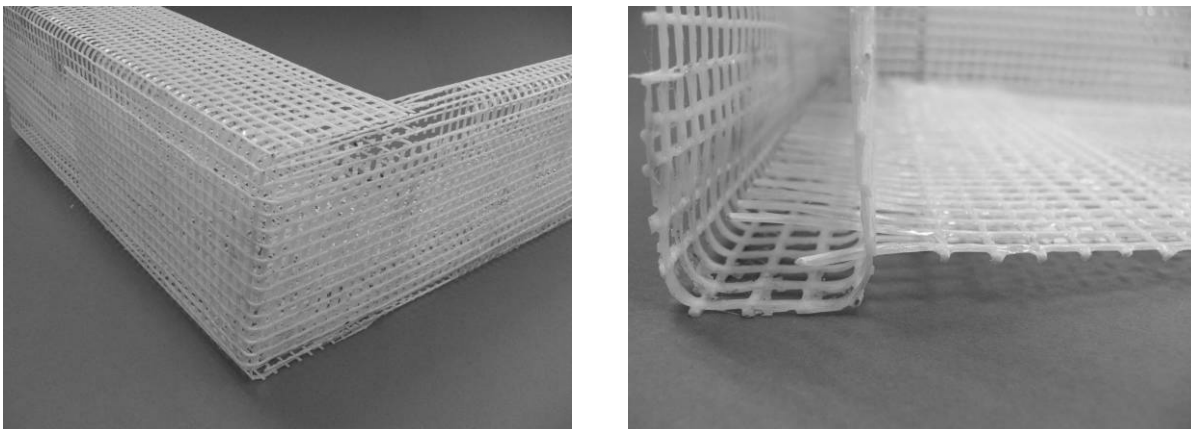


Bild 6: Bewehrungspreform

Fig. 6: Preformed reinforcement

3.3 Dauerhaftigkeit und Monitoring

Mit Hilfe des im Rahmen des SFB 532 entwickelten Dauerhaftigkeitsmodells kann der langfristige Festigkeitsverlust der textilen Bewehrung in Abhängigkeit von den klimatischen Randbedingungen prognostiziert werden. Die wesentlichen Eingangsparameter für die Modellierung sind neben den Ergebnissen der beschleunigten Alterung die Feuchte- und Temperaturverteilung in den (Textilbeton-)Bauteilen.

Zurzeit werden an drei unterschiedlichen Standorten in Deutschland Proben ausgelagert und freibewittert. Parallel wird die Temperatur- und Feuchteverteilung gemessen. Bei den Proben handelt es sich um 6 mm dicke Proben, die allseitig der Witterung ausgesetzt sind. Um auch bei Sandwichelementen die Verteilung von Temperatur und Feuchte erfassen zu können, wurden bei dem Demonstratorbauwerk in ein Bauteil insgesamt sechs Sensorelemente eingebaut, die sowohl die Bauteilfeuchte als auch die Temperatur tiefengestaffelt erfassen können. Die Fertigung der Sensorelemente erfolgte im Labor (Bild 7). Das speziell den Sandwichbauteilen angepasste Sensorelement besteht aus dem bei den Sandwichelementen verwendeten Feinbeton und weist einen Durchmesser von 100 mm auf. Das Sensorelement enthält sowohl

einen Mini-Multiring mit einer Länge von 20 mm und einen in drei Tiefen messenden Temperatursensor.

Die Mini-Multiring-Elektrode erfasst die Bauteilfeuchte indirekt über die Bestimmung des tiefengestaffelten Widerstands in dem Bauteil. Die Elektrode besteht aus insgesamt sieben Edelstahlringen, die einen Abstand von rd. 1,3 mm aufweisen. Die Umrechnung der gemessenen Widerstände erfolgt mittels einer bekannten Zellkonstante [6]. Der ebenfalls in dem Sensorelement enthaltene Temperatursensor besteht aus drei PT1000-Sensoren, die äquidistant über die Tiefe des Bauwerks eingebaut sind. Insgesamt wurden auf der Innen- und Außenseite über die Höhe gestaffelt jeweils drei Sensorelemente angeordnet. Die Messdaten werden kontinuierlich mit Hilfe der in dem Texhaus integrierten Messtechnik erfasst und gespeichert.

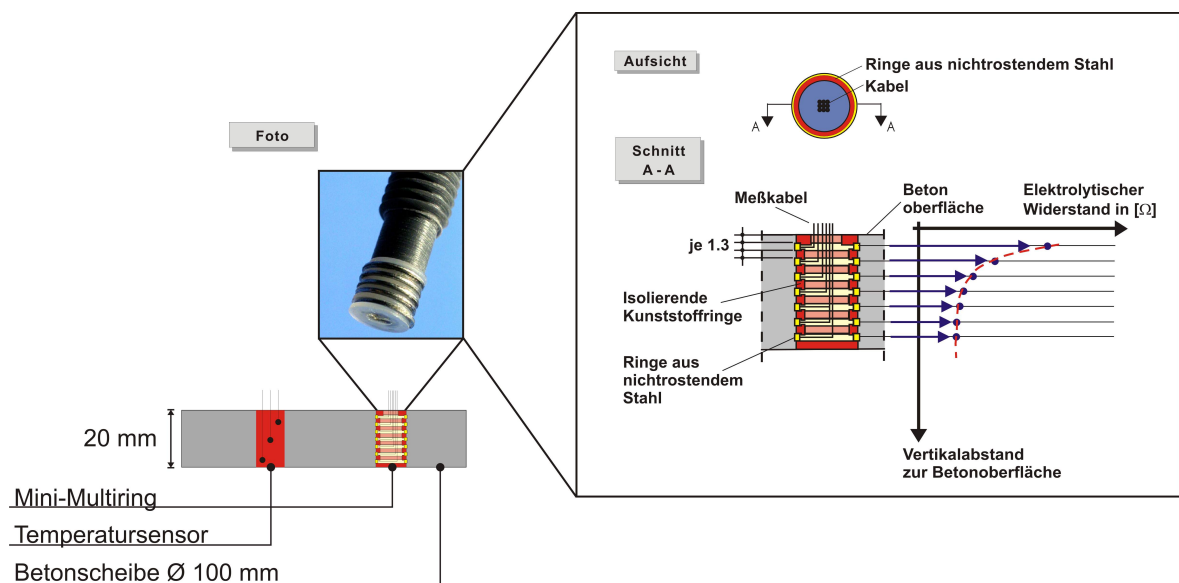


Bild 7: Sensorelement – Bild der Mini-Multiring-Elektrode [ibac, RWTH Aachen University]

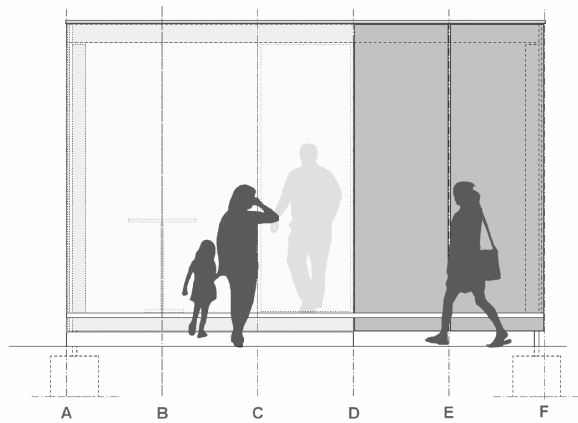
Fig. 7: Sensorelement – Picture of the Miniature Multiring Electrode [ibac, RWTH Aachen University]

3.4 Das Texhaus

In der Hauptfertigung für das Gebäude werden zwölf Wand- und fünf Dachelemente hergestellt und am Bauort zu einem 20 m² großen Einraumgebäude zusammengesetzt (Bild 8). Die Sandwichelemente tragen dabei sowohl die strukturellen Lasten der Konstruktion als auch alle Gebrauchslasten. Dadurch ist es möglich, ebenfalls große Fensterflächen für einen natürlich hellen Innenraum zu realisieren.

Die erfolgreiche Anwendung der Textilbetonsandwichelemente zeigt das Potential des neuen Werkstoffes Textilbeton in dieser Bauweise in herausragender Weise. Die Kombination von endkonturnahen, vorgeformten Bewehrungskörben mit einer angepassten Betonmatrix ermög-

lichen es, bei architektonischem Konzept und Design neue Wege zu gehen und die Vorteile der Textilbetonbauweise wie scharfkantige Bauteile und glatte Oberflächen herauszustellen.



(a) Ansicht

(a) View



(b) Fertiges Gebäude

(b) Final building

Bild 8: Texhaus [bauko2, RWTH Aachen University]**Fig. 8:** Tex-Module [bauko2, RWTH Aachen University]

4 Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung der beschriebenen Arbeiten im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 532. Den beteiligten Firmen gilt der Dank für die Unterstützung bei der Herstellung des Texhaus.

5 Literatur

- [1] BÜSGEN, W.-A.: *Neue Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Textilien für den Einsatz in Faserverbundwerkstoffen*. Aachen, Techn. Hochschule, 1993 – Dissertation
- [2] ROYE, A.: *Hochleistungsdoppelraschelprozess für Textilbetonanwendungen*. Aachen, Techn. Hochschule, 2007 – Dissertation
- [3] GRIES, TH.: Lokale Verstärkungen von Bewehrungstextilien, *Vortrag, 7. Dresdener Textiltagung 2004, July 16-17, 2004, Dresden, D.* paper: p-G1.pdf

- [4] HEGGER, J. ET AL.: *Sonderforschungsbereich SFB 532, Textilbewehrter Beton - Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie*, Forschungsantrag 2. Hj. 2008, 2009, 2010, 1. Hj. 2011, (Aachen: SFB 532, 2005)
- [5] VOSS, S.; HORSTMANN, M.; HEGGER, J.: Textilbeton: Bauteile – Tragverhalten und Anwendungen, *In: 'Beiträge zum 49. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DafStb)', Juni 5-6, 2008, RWTH Aachen University*, p. 35-44.
- [6] RAUPACH, M.; DAUBERSCHMIDT, C.; WARKUS, J.: Bestimmung der Feuchteverteilung in zementösen Baustoffen mit Einbausensoren. Karlsruhe: SMG Soil Moisture Group der Universität Karlsruhe, 2003. *In: Innovative Feuchtemessung in Forschung und Praxis, Bauwesen-Geotechnik- Umwelttechnik, Kolloquium mit Workshop, Juli 3-4, 2003, Karlsruhe*