

## Modellierung und Bemessung von dünnwandigen Platten- und Schalentragerwerken aus textilibewehrtem Beton

Alexander Scholzen<sup>1</sup>, Rostislav Chudoba<sup>2</sup>, Josef Hegger<sup>3</sup>

**Zusammenfassung:** Als Großdemonstrator des Sonderforschungsbereichs 532 soll auf dem Gelände der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen ein Ausstellungspavillon mit einer Dachkonstruktion aus Textilbeton errichtet werden. Der Beitrag zeigt die automatisierte Bemessung dieser komplexen Tragsstruktur mit Hilfe eines hierfür entwickelten numerischen Bemessungsstools. Die Auswertung erfolgt für alle Lastfallkombinationen nach DIN 1055-100 und unter Berücksichtigung der Reduktion der Tragfähigkeit der textilen Bewehrung infolge einer Umlenkung im Riss sowie einer Erhöhung der aufnehmbaren Textilspannungen infolge Biegebeanspruchung. Zur Ermittlung der Tragfähigkeit der Textilbetonschale wurden am Institut für Massivbau Dehnkörper- und Biegeversuche durchgeführt, die in Bewehrungsgrad und Dicke dem realen Bauwerk am Schalenrand entsprachen.

**Summary:** Within the collaborate research center 532 at RWTH Aachen University the construction of an exposition hall with a double-curved roof structure consisting of textile reinforced concrete is currently planned. A numerical tool has been developed to calculate the necessary number of reinforcement layers. Further, the tool evaluates the characteristic stresses of the load case combinations in the ultimate limit state taking into account a reduction of the load-bearing capacity of the textile reinforcement due to alignment of the rovings in the crack bridge and a better activation of the inner filaments for bending induced tension. The resistance of the material has been determined in experimental investigations of tensile and bending specimens of the same thickness and reinforcement ratio as the planned shell structure.

---

<sup>1</sup> Dipl.-Ing., Institut für Massivbau, RWTH Aachen

<sup>2</sup> Dr.-Ing., Institut für Massivbau, RWTH Aachen

<sup>3</sup> Prof. Dr.-Ing., Institut für Massivbau, RWTH Aachen

## 1 Einleitung

### 1.1 Beschreibung der Tragstruktur

Im Rahmen der letzten Förderperiode des Sonderforschungsbereichs 532 „Textilbewehrter Beton – Entwicklung einer neuartigen Technologie“ soll auf dem Gelände der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen ein Ausstellungspavillon mit einer Dachkonstruktion aus Textilbeton errichtet werden. Die Tragstruktur setzt sich aus vier schirmartigen Einzelelementen zusammen, die aus einer doppelt-gekrümmten Textilbetonschale und einer Stahlbeton-Stütze bestehen (Bild 1). Die Textilbeton-Einzelschirme besitzen eine Grundfläche von 7 m x 7 m und sind in einem 2 x 2 – Raster angeordnet, so dass sich eine Grundfläche des Gesamtgebäudes von 14 m x 14 m ergibt. Die Höhe eines Bauwerks beträgt 4 m. Aufgrund der doppelten Krümmung der Schale und der geringen Bauteildicke, eignet sich diese Tragkonstruktion besonders, um die Leistungsfähigkeit dieses innovativen zementgebundenen Verbundwerkstoffes zu demonstrieren.



**Bild 1:** Computeranimation des geplanten Ausstellungspavillons mit einer Dachkonstruktion aus Textilbeton (bauko2, RWTH Aachen [1]).

**Fig. 1:** Computer animation of the planned exposition hall with roof elements made or textile reinforced concrete (bauko2, RWTH Aachen [1]).

## 1.2 Verwendete Materialien

### 1.2.1 Textile Bewehrung

Als textile Bewehrung für die Textilbetonschale wird ein ungetränktes Carbon Textil mit Tuchbindung eingesetzt, das am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA) entwickelt wurde. Die Typ-Bezeichnung lautet „2D-05-11“. Das Textil besteht sowohl in der Haupttragrichtung (0°-Richtung) als auch in der Quertragrichtung (90°-Richtung) aus 800 tex Rovings. Die Charakteristika des textilen Geleges sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Eine Abminderung für Dauerhaftigkeitsverlust ist bei einer textilen Bewehrung aus Carbon nicht anzusetzen, da Carbon gegenüber dem alkalischen Milieu des Betons unempfindlich ist.

**Tabelle 1:** Charakteristika der textilen Bewehrung vom Typ „2D-05-11“

**Table 1:** Parameters of the used textile reinforcement of type “2D-05-11”

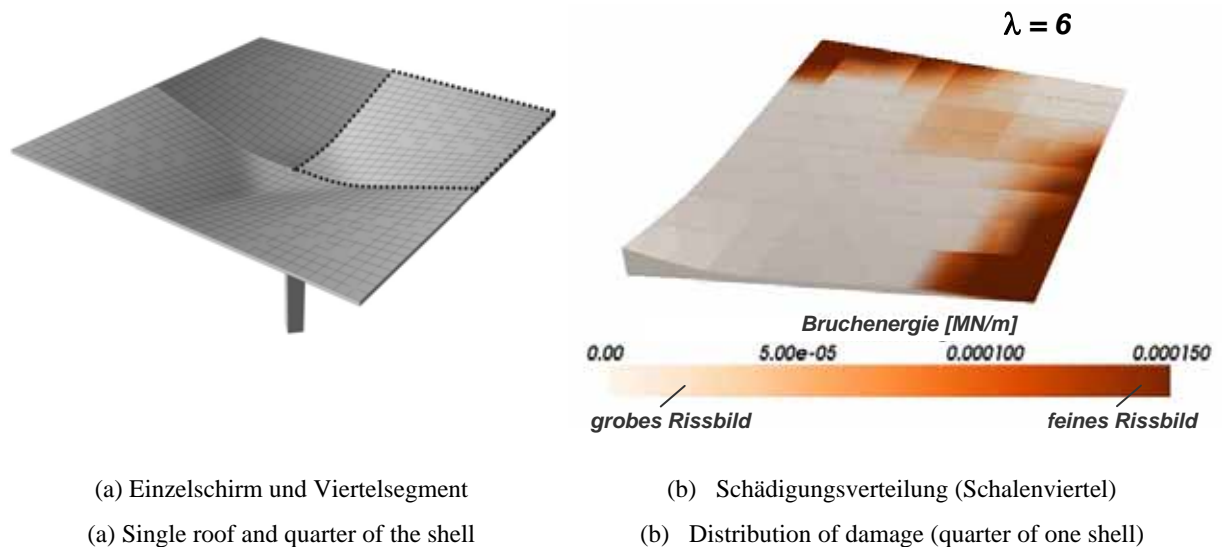
Rovingfeinheit [tex]	Rovingabstand in Haupttragrichtung $s_{i,0^\circ}$ [mm]	Rovingabstand in Quertragrichtung $s_{i,0^\circ}$ [mm]	Querschnittsfläche in Haupttragrichtung $a_{i,0^\circ}$ [mm <sup>2</sup> /m]	Querschnittsfläche in Quertragrichtung $a_{i,0^\circ}$ [mm <sup>2</sup> /m]
800	8,3	7,7	55,4	59,7

### 1.2.2 Beton

Der für Textilbeton eingesetzte Beton weist deutlich geringere Größtkorndurchmesser auf als bei Normalbetonen und kann daher als Feinbeton bezeichnet werden. Hinsichtlich seiner Druckfestigkeit entspricht er einem hochfesten Beton der Festigkeitsklasse C55/67. Der für die Textilbetonschale vorgesehene Feinbeton wurde vom Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) entwickelt und in seinen Frischbetoneigenschaften so eingestellt, dass er für die Herstellung der Schale im Spritzbetonverfahren geeignet ist.

## 1.3 Festlegung der Schalengeometrie

Die Analyse des Tragverhaltens erfolgte mit Hilfe von Finiten-Elemente-Berechnungen. Im Rahmen von Parameterstudien wurden unter Ansatz von linear-elastischen Materialeigenschaften der Einfluss der Schalendicke und des Stichts auf den Spannungsverlauf und die Durchbiegungen des Schalentragswerks untersucht. Ziel war es, infolge der ständigen Lasten einen überwiegenden Membranspannungszustand in der Schale zu erzeugen. Im Gebrauchszustand soll die Textilbetonschale ungerissen sein. Als Ergebnis der Parameterstudien wurde eine Schalendicke von 6 cm am Rand und 31 cm in Schalenmitte festgelegt.



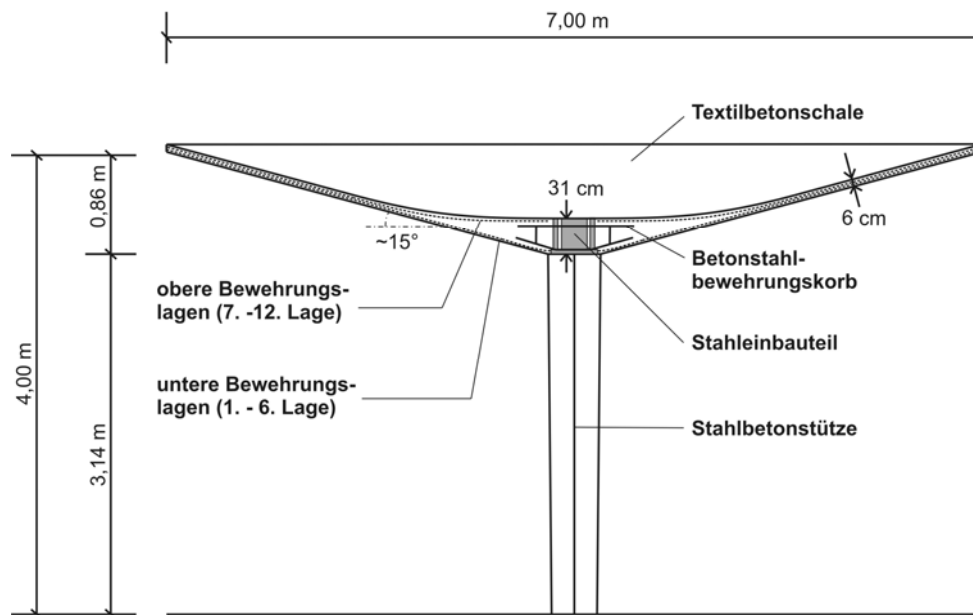
**Bild 2:** Tragverhalten eines Einzelschirms

**Fig. 2:** Load-bearing behaviour of a single roof

Um ein vertieftes Verständnis des Tragverhaltens zu erhalten, wurde für die Lastfallkombination aus Eigengewicht und Schnee eine nichtlineare Finite-Elemente-Simulation unter Berücksichtigung der Rissbildung untersucht. Hierzu wurde im Rahmen des SFB 532 ein anisotropes Schädigungsmodell entwickelt, welches in der Lage ist, die Umlagerungsprozesse infolge Rissbildung innerhalb der Schale zu beschreiben [2]. Bild 2 (b) zeigt exemplarisch die Schädigungsverteilung in der Textilbetonschale für eine 6-fach erhöhte Last aus Eigengewicht und Schnee. Wie die numerische Simulation zeigt, stellt sich die größte Schädigung entsprechend des Verlaufs der Hauptzugspannungen in der Mitte des Schalenrandes ein.

#### 1.4 Festlegung des Bewehrungsgrades

Zur Bestimmung des erforderlichen Bewehrungsgrades der Textilbetonschale wurde anhand von Dehnkörperversuchen die Zugtragfähigkeit für unterschiedliche Bewehrungsgrade ermittelt und den im Rahmen einer FE-Analyse erhaltenen numerischen Ergebnissen gegenübergestellt. Auf Basis der Ergebnisse wurde ein Einbau von 12 Lagen textiler Bewehrung festgelegt. Die textile Bewehrung wird, wie in Bild 3 dargestellt, am Randbereich der Schale äquidistant über die Schalendicke eingebaut und teilt sich in Schalenmitte auf ein oberes und unteres Lagenpaket aus 6 Lagen textiler Bewehrung auf. Da insbesondere aus asymmetrischer Belastung, z.B. aus Windlasten, in Schalenmitte hohe Biegemomente entstehen, werden in diesem Bereich der Schale die auftretenden Zugkräfte über konventionelle Betonstahlbewehrung in Form eines Betonstahlbewehrungskorbes aufgenommen und in konzentrierter Form in die Stahlbetonstütze eingeleitet.



**Bild 3:** Schematische Anordnung der oberen und unteren Bewehrungslagen (Schnitt in Schalenmitte) und Anordnung des Betonstahlbewehrungskorbes

**Fig. 3:** Position of the upper and lower reinforcement layers and position of the steel reinforcement

## 1.5 Bewehrungskonzept

Das Bewehrungskonzept der Textilbetonschale sieht vor, die textile Bewehrung parallel zu den Schalenrändern zu orientieren. Da die Hauptzugspannungen unter einer symmetrischen Belastung ebenfalls parallel zu den Bauteilrändern verlaufen mit dem Maximalwert in der Mitte der Schalenrändern, kann die Bewehrung an dieser Stelle optimal ausgenutzt werden. Für Bereiche im Schaleninneren wird die Ausrichtung der textilen Bewehrung in die Hauptzugspannungen nicht mehr eingehalten, so dass hier die Tragfähigkeit infolge einer Umlenkung der Rovings im Riss abnimmt [3,4]. Dies ist bei der Bemessung durch einen entsprechenden Abminderungsfaktor zu berücksichtigen [5,6].

Ferner ist zu beachten, dass bei den hohen Bewehrungsgraden die Stöße ausschließlich stumpf gestoßen werden können. Durch Versatz der Bewehrungslagen über die Bauteilhöhe kann jedoch die Anzahl der Stöße auf maximal zwei Stück in einem Bemessungsschnitt begrenzt werden.

## 1.6 Nachweiskonzept

Im Rahmen der Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind aus den charakteristischen Schnittgrößen der Einzellastfälle die Bemessungsschnittgrößen für die maßgebende

Lastfallkombination zu berechnen. Die Kombination der Einzellastfälle erfolgte hierbei mit den Kombinationsbeiwerte  $\psi$  und Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma$  gemäß DIN 1055-100 [7] nach Gleichung (1).

$$E_d = \gamma_G \cdot E_{g,k} + \gamma_Q \cdot E_{Q,1,k} + \sum_i (\gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot E_{Q,i,k}) \quad (1)$$

Bei der vorliegenden komplexen Geometrie der Textilbetonschale können hierbei an verschiedenen Stellen der Schale unterschiedliche Lastfallkombinationen maßgebend werden, so dass eine Auswertung aller Lastfallkombinationen über die komplette Textilbetonschale erforderlich ist. Eine Reduktion der Bemessung auf einzelne Stellen der Schale ist bei der komplexen Geometrie und der Vielzahl der zu berücksichtigten Lastfälle nicht möglich.

Die nach Gleichung (1) ermittelten Einwirkungen sind im Nachweis den aufnehmbaren Widerständen gegenüberzustellen.

## 2 Versuchsprogramm zur Ermittlung der Bauteiltragfähigkeit

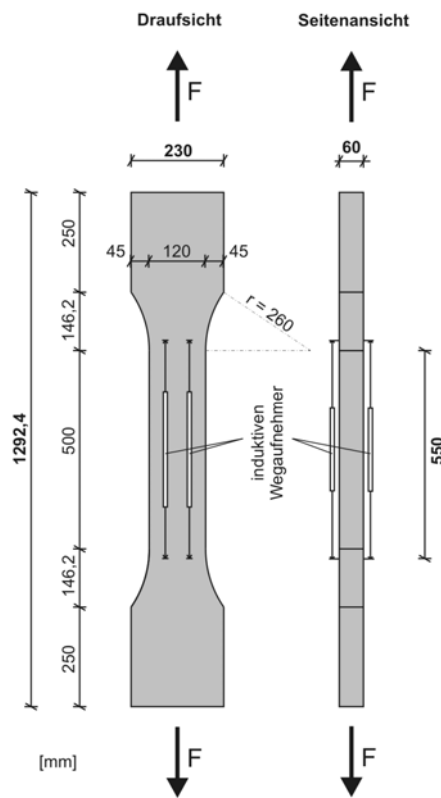
Zur Ermittlung der ansetzbaren Widerstände der Textilbetonschale wurden am Institut für Massivbau der RWTH Aachen Versuche zur Bestimmung der Zugtragfähigkeit (Abschnitt 2.1) und der Biegetragfähigkeit (Abschnitt 2.2) durchgeführt. Die Auswertung der Versuche erfolgte gemäß EN-DIN 1990 [8].

Die durchgeführten Versuche sollten die tatsächlichen Verhältnisse für die Beanspruchung der Textilbetonschale möglichst realitätsnah widerspiegeln. Daher wiesen alle Probekörper des durchgeführten Versuchsprogramms eine Dicke von 6 cm auf und wurden mit 12 Lagen textiler Bewehrung vom Typ „2D-15-10“ (Abschnitt 1.2.1) bewehrt, was dem Bewehrungsgrad und die Bauteildicke der Textilbetonschale am Schalenrand entspricht. Die Bewehrungslagen wurden analog zur Herstellung der Textilbetonschalen im Spritzbetonverfahren eingebaut.

### 2.1 Bestimmung der Zugtragfähigkeit

Die Zugtragfähigkeit des eingesetzten Textilbetons wurde an Dehnkörperversuchen mit Orientierung der Bewehrung in die 0°-Richtung und 90°-Richtung ermittelt (Bild 4).

Die Zugtragfähigkeit wurde bei den Nachweisen der Schale im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Widerstandsseite zugrunde gelegt für Einwirkungen, die eine überwiegendere Zugbeanspruchung des Querschnitts erzeugen. Die Bruchlasten in 0°-Richtung betragen im Mittel 103,4 kN und in 90°-Richtung 110,2 kN. Die Bestimmung der Bemessungswiderstände erfolgte nach EN-DIN 1990 und ergab zulässige Kompositzugspannungen in Höhe von  $\sigma_{Rd,0^\circ}^{Zug} = 6,87 \text{ MPa}$  und  $\sigma_{Rd,90^\circ}^{Zug} = 7,23 \text{ MPa}$ .



(a) Abmessungen der Probekörper

(a) Tensile specimen



(b) Versuchsaufbau

(b) Test-setup

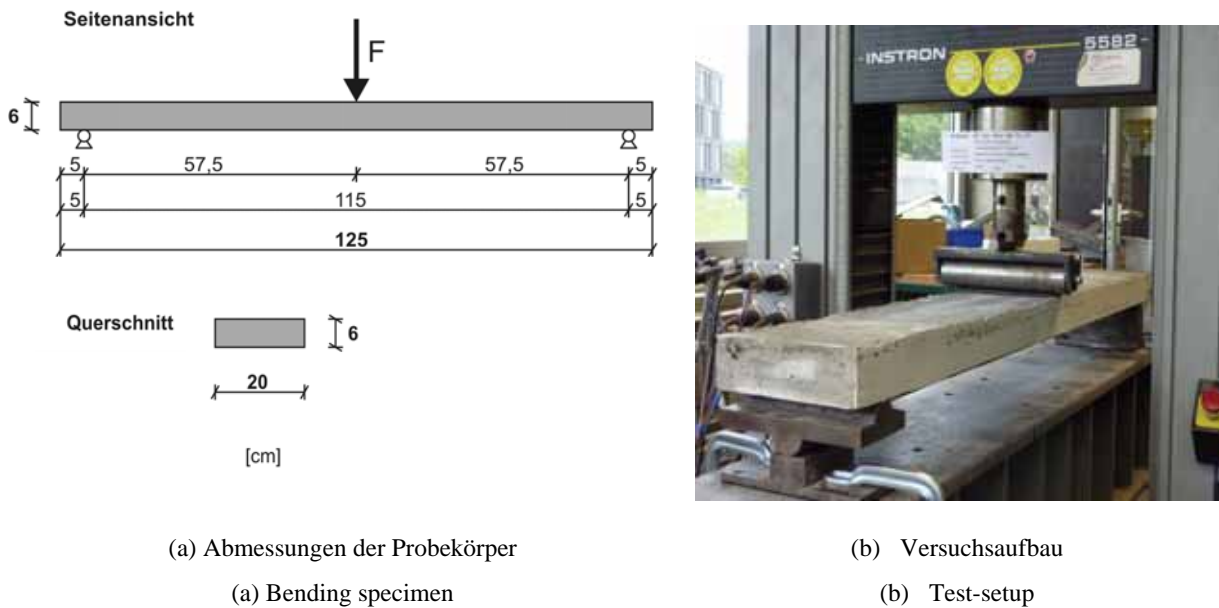
**Bild 4:** Dehnkörperversuche**Fig. 4:** Tensile tests

## 2.2 Bestimmung der Biegetragfähigkeit

Das Tragverhalten unter Biegung wurde anhand von Dreipunktbiegeversuchen untersucht. Die Abmessungen der Dreipunkt-Biegeversuche sind in Bild 5 dargestellt. Aus den im Versuch ermittelten Werten der maximalen Prüfkraft  $F$  können die Werte der Bruchmomente

$M_u = \frac{F \cdot l}{4}$  ermittelt werden.

Nach Auswertung der Versuchsergebnisse nach EN-DIN 1990 ergaben sich Bemessungswerte für die aufnehmbaren Bruchmomente bei einer Ausrichtung der Bewehrungslagen in  $0^\circ$ -Richtung in Höhe von  $M_{Rd,0^\circ} = 1,93$  kNm bzw. bei einer Ausrichtung der Bewehrungslagen in  $90^\circ$ -Richtung in Höhe von  $M_{Rd,90^\circ} = 2,11$  kNm.

**Bild 5:** Dreipunktbiegeversuche**Fig. 5:** Three-point bending tests

Aus dem im Versuch ermittelten Bruchmoment kann näherungsweise die aufnehmbare Zugkraft in der Zugzone berechnet werden bzw. die rechnerisch vom Verbundwerkstoff aufnehmbare Spannung für eine reine Biegebeanspruchung. Dies kann exakt durch eine iterative Bestimmung der Dehnungsverteilung erfolgen oder näherungsweise und auf der sicheren Seite liegend unter Verwendung einer Abschätzung der statischen Nutzhöhe  $d$  und des inneren Hebelarms  $z$  nach Gleichung (2) (2) und Gleichung (3) berechnet werden.

$$d = 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 0,06 \text{ m} = 0,045 \text{ m} \quad (2)$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,045 \text{ m} = 0,0405 \text{ m} \quad (3)$$

Der Ansatz der statischen Nutzhöhe nach Gleichung (2) entspricht hierbei einer Aktivierung der textilen Bewehrung lediglich auf der halben Querschnittshöhe. Unter dieser Annahme ergibt sich die Querschnittsfläche der Zugzone zu:

$$A_t = \left( \frac{A}{2} \right) = \left( \frac{b \cdot h}{2} \right) = \left( \frac{0,20 \text{ m} \cdot 0,06 \text{ m}}{2} \right) = 0,006 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Die aufnehmbare Zugkraft  $F_{t,Rd}$  in der Zugzone des Querschnitts und die rechnerische Biegezugspannung  $\sigma_{Rd}^{Biegung}$  kann nach Gleichung (5) und (6) berechnet werden.



$$F_{t,Rd} = \frac{M_{Rd}}{z} \quad (5)$$

$$\sigma_{Rd}^{Biegung} = \frac{F_{t,Rd}}{A_t} \quad (6)$$

Für die 0°-Richtung ergibt sich hieraus eine aufnehmbare Biegezugspannung in Höhe von  $\sigma_{Rd,0^\circ}^{Biegung} = 7,95 \text{ MPa}$  bzw. in der 90°-Richtung in Höhe von  $\sigma_{Rd,90^\circ}^{Biegung} = 8,68 \text{ MPa}$ .

Die Biegezugtragfähigkeit wird bei den Nachweisen der Schale im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Widerstandsseite für Einwirkungen zugrunde gelegt, die eine überwiegendere Biegebeanspruchung des Querschnitts erzeugen.

Die Biegezugtragfähigkeit des Verbundwerkstoffes ist bei Textilbetonbauteilen höher als die am Dehnkörperversuch ermittelte zentrische Zugtragfähigkeit, da durch die Biegung des Querschnitts eine bessere Aktivierung der inneren Filamente der textilen Bewehrung erreicht wird [5,6]. Dieser Einfluss wird in der Nachweisführung über den Erhöhungsfaktor  $k_{fl}$  berücksichtigt (vgl. Abschnitt 3.2).

### 3 Nachweis der Textilbetonschale im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### 3.1 Abminderung aus Umlenkung der textilen Bewehrung

Wie im Abschnitt 1.5 beschrieben wird die Tragfähigkeit der textilen Bewehrung durch ein Umlenken der Rovings im Riss in Richtung der Hauptzugspannungen reduziert. Diese Abminderung wird über den Faktor  $k_\alpha$  berücksichtigt:

$$k_\alpha = \left(1 - \frac{\alpha}{90^\circ}\right) \quad (7)$$

Die Gesamtragfähigkeit der textilen Bewehrung im Riss setzt sich aus den Flächenanteilen in 0°- und 90°-Richtung zusammen. Unter Berücksichtigung der Abminderung infolge Umlenkung für einen Umlenkwinkel  $\alpha$  ergibt sich eine Gesamtragfähigkeit des Verbundwerkstoffes von:

$$\sigma_{Rd} = \sigma_{Rd,0^\circ} \cdot \cos \alpha \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{90^\circ}\right) + \sigma_{Rd,90^\circ} \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \cdot \left(\frac{\alpha}{90^\circ}\right) \quad (8)$$

Da das in der Textilbetonschale zum Einsatz kommende Textil nach Abschnitt 1.2.1 in seiner 0°- und 90°-Richtung annähernd gleich große Tragfähigkeiten aufweist, wird in den

Nachweisen vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend nur der geringere Tragwiderstand der  $0^\circ$ -Richtung angesetzt. Gleichung (8) vereinfacht sich für den Fall  $\sigma_{Rd,0^\circ} = \sigma_{Rd,90^\circ}$  zu:

$$\sigma_{Rd} = \sigma_{Rd,0^\circ} \left( \cos \alpha \cdot \left( 1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right) + \cos(90^\circ - \alpha) \cdot \left( \frac{\alpha}{90^\circ} \right) \right) \quad (9)$$

und die Formel kann für Umlenkwinkel  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  unabhängig von der Information ausgewertet werden, ob die Rovings der  $90^\circ$ -Richtung oder der  $0^\circ$ -Richtung stärker umgelenkt werden.

### 3.2 Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung des Biegeeinflusses

Wie im Abschnitt 2.2 beschrieben können unter Biegebeanspruchung höhere Textilspannungen in der Bewehrung infolge einer besseren Aktivierung der inneren Filamente erreicht werden. Der Erhöhungsfaktor  $k_{fl}$ , der sich für den Fall reiner Biegung ergibt, kann nach Gleichung (10) aus den Verhältnissen der Biegezugfestigkeit und der zentrischen Zugtragfähigkeit ermittelt werden. Auf der sicheren Seite liegend wurde für  $k_{fl}$  das Verhältnis der Biegezugtragfähigkeit zur zentrischen Tragfähigkeit für die  $0^\circ$ -Richtung verwendet. Für die  $90^\circ$ -Richtung ergibt sich ein günstigerer Wert in Höhe von 1,20.

$$k_{fl} = \left( \frac{\sigma_{Rd,0^\circ}^{Biegung}}{\sigma_{Rd,0^\circ}^{Zug}} \right) = \frac{7,95 \text{ MPa}}{6,87 \text{ MPa}} = 1,16 \quad (10)$$

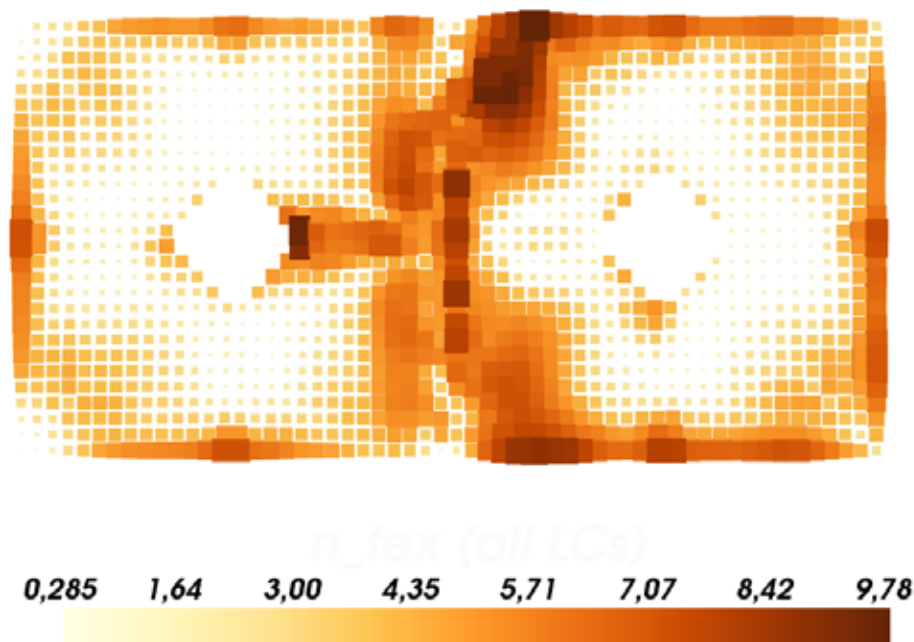
### 3.3 Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen und Nachweis der Textilbetonschale im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Um die maßgebende Lastfallkombination zu identifizieren, wurde ein numerisches Bemessungstool implementiert, das auf Basis der charakteristischen Schnittgrößen der Einzellastfälle die für die Bemessung relevanten Lastfallkombinationen nach DIN 1055-100 automatisiert berechnet. Hierbei wurden die Hauptzugspannungen an der Schalenober- und Unterseite betrachtet. Unter Berücksichtigung der erläuterten Faktoren  $k_\alpha$  und  $k_{fl}$  kann hiermit der Nachweis erbracht werden, dass der Bemessungswert der maximalen Hauptzugspannung für alle Lastfallkombinationen an jeder Stelle der Schale kleiner ist als der Bemessungswiderstand der Textilbetonschale für den vorhandenen Bewehrungsgrad von 12 Lagen. Auf der Widerstandsseite wurden hierbei die aufnehmbare Kompositzugspannung nach Abschnitt 2.1 angesetzt. Für eine reine Biegebeanspruchung darf diese Spannung mit dem in Abschnitt 2.2 ermittelten Faktor  $k_{fl}$  erhöht werden. Für Fälle zwischen reiner Biegung und zentrischem

Zug wurde der Faktor  $k_{jt}$  je nach Anteil der Zugnormalspannungsanteile an der Hauptzugspannung linear zwischen 1 und 1,16 interpoliert.

Die Auswertung der unter diesen Ansätzen rechnerisch erforderlichen Bewehrungslagen ist in Bild 6 als Umhüllende für alle Lastfallkombinationen der „Ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation“ nach DIN 1055-100 dargestellt. Aus Symmetriegründen sind nur zwei der vier Schirme in der Draufsicht dargestellt (7 m x 14 m). Wie die Auswertung zeigt, ist die rechnerisch erforderliche Lagenanzahl  $n_{tex,erf}$  für die gesamte Schale kleiner als 10 Lagen. Wie in Abschnitt 1.5 beschrieben, stehen an jeder Stelle der Schale unter Berücksichtigung von Stößen mindestens 10 Lagen textiler Bewehrung zur Verfügung, so dass die erforderliche Lagenanzahl an jeder Stelle der Schale und in jeder Lastfallkombination kleiner ist als die vorhandene Lagenanzahl  $n_{tex,vorh}$ .

Anzumerken ist, dass die maximal erforderliche Lagenanzahl mit rechnerisch 9,78 Lagen nicht in der Mitte des Schalenrandes liegt, an dem in der FE-Analyse die höchsten Hauptzugspannungen infolge der symmetrischen Lastfälle, wie z.B. Eigengewicht, ermittelt wurden. Grund dafür ist, dass infolge der angesetzten Abminderung der Zugtragfähigkeit infolge Umlenkung der Bewehrung über den Faktor  $k_{\alpha}$  der Widerstand der Textilbetonschale in den Eckbereichen der Schale reduziert wurde, so dass dieser Bemessungsschnitt maßgebend wird.



**Bild 6:** Auswertung der rechnerisch erforderlichen Lagenanzahl als Umhüllende aller Lastfallkombinationen der „Ständigen und vorübergehenden Lastfallkombination“ nach DIN 1055-100

**Fig. 6:** Evaluation of the necessary reinforcement layers for all loading case combinations in the ultimate limit state

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Nachweis der vorgestellten Textilbetondachschale konnte mit Hilfe eines numerischen Auswertungstools automatisiert durchgeführt werden. Hierzu wurden die Bemessungswerte der Einwirkungen mit den experimentell ermittelten Bauteilwiderständen verglichen. Die Bemessungswerte der Einwirkungen ergeben sich hierbei aus der Kombination der charakteristischen Werte der Einzellastfälle nach DIN 1055-100.

Zur Abschätzung der vorhandenen Tragreserven, die aus der linear-elastischen Bemessung der Textilbetonschale resultieren, ist eine nicht-lineare Berechnung des Tragwerkes unter Berücksichtigung von Umlagerungsprozessen innerhalb des Tragwerks infolge von Rissbildung erforderlich. Hierzu wurden nicht-lineare Vergleichsrechnungen durchgeführt, die zeigen, dass die Tragfähigkeit der Textilbetonschale deutlich über den in der Bemessung angesetzten Bemessungswerten liegt.

## 5 Literatur

- [1] FORSCHUNGSANTRAG SFB 532: *Textilbewehrter Beton – Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie*, RWTH Aachen, 2008.
- [2] SCHOLZEN, A.; CHUDOBA, R.; HEGGER, J.: Damage Based Modeling of Planar Textile-Reinforced Concrete Structures. In: BRAMESHUBER, W. (Hrsg.): *International Conference on Material Science, September 6-8, 2010, Aachen, Germany*, 2010, pp. 362–370
- [3] HEGGER, J.; WILL, N., BRUCKERMANN, O., VOSS, S.: Load-bearing behaviour and simulation of textile reinforced concrete. *Material and structures* (2006), No. 39, p. 765-776
- [4] HEGGER, J.; VOSS, S.: Investigation of the load-bearing behaviour and potential of Textile Reinforced Concrete. *Engineering Structures* (2008), No. 30, p. 2050-2056
- [5] VOSS, S.: *Ingenieurmodelle zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton*. RWTH Aachen, Institut für Massivbau, Eigenverlag, 2008 – Dissertation
- [6] HEGGER, J.; HORSTMANN, M.; VOSS, S.; WILL, N.: Textilbewehrter Beton – Tragverhalten, Bemessung und Anwendung. *Beton- und Stahlbetonbau* (2009), Nr. 6, p. 362-370
- [7] DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: *Grundlagen der Tragwerksplanung – Bemessungskonzept*, Deutsches Institut für Normung e.V., 10.2005
- [8] EN-DIN 1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung: *Deutsche Fassung EN 1990:2002*, Deutsches Institut für Normung e.V., 10.2002