

Gesamtverband  
textil+mode



Mit jeder Faser

intelligent



## BAUEN MIT FASERN

Textilbeton und -membranen für die  
Architektur des 21. Jahrhunderts

FORSCHUNGS  
KURATORIUM **textil**



# INHALT

- 1 GRUSSWORT – Beispielhaft für „made in Germany“
- 3 TEXTILES BAUEN – Zwischen Hype und Wartestand
  
- 6 TEXTILBETON  
Stahl des 21. Jahrhunderts
- 10 C<sup>3</sup>-CLUSTER – Ein Konsortium mit Visionen  
Paulsberg: Eigenschaften zum Anfassen
- 12 Textilbeton mit Plusfaktoren
- 13 Carbon-Kooperation in 3D
- 14 FORSCHUNG AKTUELL
- 16 Forschungsbedarf & nächste Schritte
- 17 Soziologie der Faser
  
- 18 MEMBRANBAU  
Neue Leichtigkeit über den Köpfen
- 21 IM INTERVIEW – Mehr Bionik, mehr Leichtbau – Prof. Dr. Jan Knippers
- 23 TEXTILE WEITEN
- 26 Pressechefinnen im Zitat
- 27 Fortsetzung Interview Prof. Dr. Jan Knippers
- 29 CARBON – Adaptive Bauweisen für Carbon
- 30 TEXTILDÄCHER – Kühn bis großartig: Visionen in Textil
- 32 FORSCHUNG AKTUELL – Heizen, stärken, formen
- 34 EXPERTENNACHWUCHS – Drei Stühle – eine Meinung
- 36 TEXTILBAU – Zwischen Riesa und Rosenheim
  
- 38 SANIERUNG/INSTANDHALTUNG  
Von Denkmalpflege bis Wärmedämmung
  
- 42 FUNKTIONALE FASERN  
Oberflächen mit Grips
  
- KOMPETENZATLAS – Forschung, Netze, Organisationen  
Textile Wachstumsfelder in Piktogrammen

Potenzial frühzeitig erkannt

# GRUSSWORT

## Beispielhaft für „made in Germany“

Seit Jahrtausenden integriert die Menschheit Textilien als Sonnensegel, dämpfende Matten oder luftige Trennwände in Bauwerke. Einen Quantensprung bei Erforschung und Anwendung funktionaler textiler Komponenten am Bau brachte jedoch erst der technologische Fortschritt der letzten Jahre mit textilen Bewehrungen, Basaltfasern und funktionsintegrierten Verbundwerkstoffen. Ein Zehntel der rund 12 Mrd. Euro Jahresumsatz deutscher Unternehmen mit technischen Textilien entfallen bereits auf Fassaden und Brücken aus Textilbeton, Geotextilien, Membranen im Stadionbau sowie textilgestützte Gebäudesanierung. Für Energiegewinnung, Lärmschutz oder intelligente Lichtnutzung funktionalisierte textile Oberflächen sind zunehmend gefragt.

Deutschlands seit über 20 Jahren international führende Position in diesem Bereich ist Wissenschaftlern in Textilforschungsinstituten wie dem ITA – Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen, dem ITM Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden, dem ITV Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf oder dem Sächsischen Textilforschungsinstitut STFI in Chemnitz zu verdanken. Mittelständische Branchenunternehmen setzen die neuesten Erkenntnisse in marktfähige Produkte und Verfahren um. Die Textiler leisten so einen substantziellen Beitrag zu nachhaltigem Bauen, Klimaschutz, Materialeffizienz und Ressourcenerhalt sowie zu einem angenehmeren, sichereren Leben auch für nachfolgende Generationen. Fördermittel von Bund und Ländern geben dabei wichtige Hilfestellung. Beispielhaft genannt seien das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) und die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) des Bundeswirtschaftsministeriums oder das Programm InnoRegio des Bundesforschungsminis-



**Ingeborg Neumann**, Präsidentin Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e. V.



**Franz-Jürgen Kümpers**, Vorstandsvorsitzender Forschungskuratorium Textil e. V.

teriums. Gleichwohl gibt es auch noch Hemmnisse – sehr aufwändige Zulassungsverfahren etwa oder im Vergleich zu Asien recht zögerliche Positionen auf der Bauherrenseite. Dennoch werden bautextile Neuentwicklungen – ganz aktuell sind die Fortschritte bei Carbonbeton, dem „Stahl des 21. Jahrhunderts“ – zunehmend zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit unserer Branche beitragen und damit Umsatz und Arbeitsplätze in den Unternehmen sichern.

**Franz-Jürgen Kümpers**  
[www.textilforschung.de](http://www.textilforschung.de)

**Ingeborg Neumann**  
[www.textil-mode.de](http://www.textil-mode.de)





Geotextilien Logistikplus

Klimatisierung Erdbebenschutz

hochfest

Textilbeton

wartungsarm

korrosionsbeständig

pneumatische Tragwerke

Textilbetonrohre

Textilbewehrung

Membranbau

glasfaserverstärkte Kunststoffe

textile Wärmeübertragung

wandelbare Dächer

Filigran- und Leichtbaufassaden

carbonfaserverstärkte Kunststoffe

ermüdungsneutral

Schutztextilien

langzeitstabil

# TEXTILES BAUEN

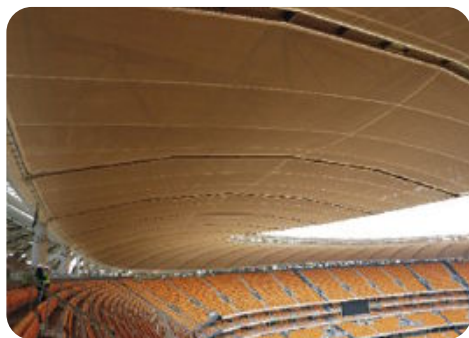
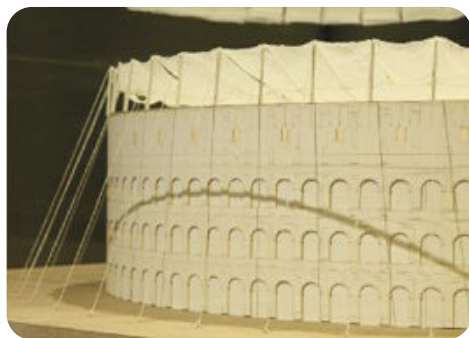
## Zwischen Hype und Wartestand

» Renaissance für einen der ersten Baustoffe der Menschheit: die Textilie. Das Jahrtausende alte Baumaterial kommt im 21. Jahrhundert gleich auf mehreren Einsatzfeldern in Fahrt. Während weltweit architekturbestimmende Textilmembranen über Stadien, Hallen und Unternehmenszentralen längst imposante Akzente setzen, öffnet sich der Markt für den Stahlbeton ersetzenden faserbasierten Baustoff erst zaghaft.

Seit den archaischen Nomadenzelten wurde das Bauen in jeder Epoche etwas textiler, gegenwärtig jedoch stehen fast alle Ampeln für den Textileinsatz in Architektur und Bau (Geo-, Wasser-, Hoch- und

schichtete Polyester- oder Glasfasergewebe von Stadien leicht das Doppelte bis Dreifache. Werden repräsentative Sportstätten wie zu Fußballweltmeisterschaften in Südafrika oder aktuell in Brasilien, Flughäfen (Bangkok, Shenzhen), futuristische Pavillons (Australien, Südkorea) oder Hotelbauten wie das Burj al Arab in Dubai projektiert, klingeln in der Regel bei deutschen Architekten, Planern und Herstellern die Telefone.

Wohin geht beim textilen Membranbau für Neubau und Sanierung auch von Büro- und Wohngebäuden die Reise? Die produktionstechnischen Herausforderungen sind vielleicht mit der Forderung „weg von prototypischen Einzelfällen hin zu standardisierten und trotzdem maßgeschneiderten Bauele-



Innenausbau) auf Grün. Textil ist neben Stein, Holz, Metall und Glas der fünfte Baustoff. Textile Architektur nutzt Flächen aus Fasermaterial als Vorhang, Schirm, Dach, Zelt oder Luftblasen (pneumatische Bauten wie Traglufthallen, begehbare Pavillons) – und inzwischen auch als Stahlersatz im Beton. Das Kolosseum in Rom mit seinen 23.000 Quadratmetern Abschattungsfläche war die erste antike Ikone des textilen Membranbaus; heute überspannen be-

menten“ zu beschreiben, während die Begriffe Nachhaltigkeit und Energieeffizienz den Anspruch an die künftige Entwicklung des Leichtbaumaterials skizzieren. Verbesserter Wärmeschutz u. a. durch neue Beschichtungen und mehrlagige Membranhüllen steht dabei ebenso auf der Tagesordnung wie das Energy harvesting, also beispielsweise die Gewinnung von Solarstrom durch Integration siliziumbasierter Photovoltaik-Module oder gedruck-

ter organischer Solarzellen etwa in Stadiendächer. Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden könnten als sekundäre Gebäudehülle die direkten Klimaeinflüsse auf das Bauwerk dämpfen.

Ein solches adaptives Gebäude ist das so genannte Eisbärhaus in Denkendorf bei Stuttgart. Hinter diesem Hightech-Wahrzeichen „in“ Textil stehen sechs Forschungspartner unter Federführung des Instituts



für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV) in Denkendorf. Der energieautarke Pavillon zur ganzjährigen Nutzung besitzt neuartige textile Solarkollektoren aus mehreren Membranschichten, die eine hohe Wärmeisolation aufweisen. Vorbild dafür ist das Funktionsprinzip, das die Textiler der Natur – in diesem Fall dem Eisbärfell – abgeschaut haben: Einfallendes Sonnenlicht trifft auf ein schwarz be-

» Die aktuellen Materialentwicklungen bei technischen Faserwerkstoffen sind faszinierend und werden in den nächsten Jahren weitere Anwendungen für das Bauen eröffnen. Adaptivität und Einsparung von Energie stehen dabei im Vordergrund.

**Dr. Thomas Stegmaier, ITV Denkendorf**

» Künftig werden textile Werkstoffe am Bau eine noch größere und vor allem aktivere Rolle spielen – weit über passiven Wetzschutz und Abschattung hinaus. Ein ganz anderer Bereich ist der textilbewehrte Beton, der nicht nur dem Brückenbau neue Möglichkeiten eröffnen wird.

**Prof. Dr. Jan Knippers, Universität Stuttgart**

schichtetes Textilgewebe und eine hoch poröse Membran mit Wärmetransportschicht, die für die Erwärmung der durchströmenden Luft sorgen. Warme Sommerluft gelangt so in ein Langzeit-Speichersystem mit Silikagel, in dem sie bis in die Winterzeit hinein „gelagert“ wird. Eine weitere Schicht in der Gebäudehülle sorgt für eine hohe Wärmedämmung nach außen – zuständig für das Fernhalten der Winterkälte. Folgeprojekte bis nach Spanien sind bereits in Sicht.

## NACH ZULASSUNG AUF „GRÜN“

„Marode“ ist das Wort der Stunde und von Milliardensummen die Rede, wenn über Sanierung und Instandhaltung der Bausubstanz in Deutschland gesprochen wird: Brücken, tragende Wände, Decken. Bei der Suche nach nachhaltigen Lösungen geht es deshalb verstärkt auch um Baustoff-Alternativen für die Zukunft, um die zum Beispiel die stets und ständig von Korrosion bedrohten Betonarmierungen sinnvoll ersetzen zu können. Dabei rückt eine Textilanwendung in den Fokus, die mit innovativen Materialien bereits dem Flugzeug- und Automobilbau ein neues (Leichtbau-)Zeitalter eröffnet hat: Carbonfaserverbundkunststoff (CFK). Das Material empfiehlt sich am Bau als nichtrostende Betonbewehrung. Gefördert von der öffentlichen Hand, erforschen seit über 20 Jahren Textilinstitute aus Dresden, Chemnitz, Aachen und Denkendorf gemeinsam mit anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen das Thema Tex-

tilbeton – und planen nichts Geringeres als eine Baurevolution aus der Nische.

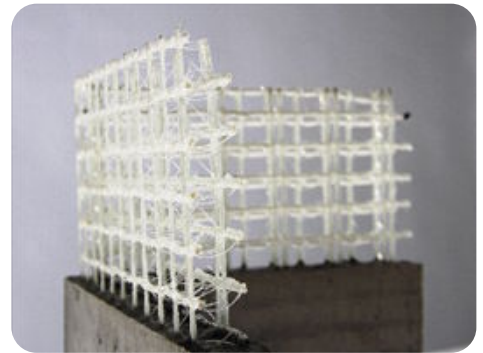
Die derzeit Schlag auf Schlag folgenden Fachveranstaltungen zu dem Stahl ersetzenden und Beton sparenden „Wunderbaustoff“ signalisieren: Der Knoten aus Unkenntnis, Vorbehalten, Investitions-scheu und Desinteresse scheint bald zu platzen. Obwohl „noch viel in der Schweben“ ist, wie ein Carbonexperte kürzlich sagte, scheint es für den Durchbruch des textilen Bauens mit Carbonfasern nicht mehr weit. Kommt, wie die Akteure erwarten, in nächster Zeit eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, dann sind Materialhersteller, Planer und Bauunternehmer gefordert, diese originäre „made in Germany“-Technologie über bisherige Pilotprojekte hinaus seriell auf den Weg zu bringen.

Eine der vielleicht wichtigsten Entscheidungen pro Textil- genauer: pro Carbonbeton hat das Bundesforschungsministerium getroffen. Es vergab an das von der TU Dresden geführte Konsortium Carbon Concrete Composite (C<sup>3</sup>) eine Förderzusage über 45 Mio. Euro. Die Allianz von derzeit knapp 80 Partnern will in den nächsten zehn Jahren mit weiteren Eigenmitteln in Millionenhöhe die Weichen dafür stellen, dass bei Neubauten rund 20 Prozent der Stahlbewehrungen durch nichtrostende und vergleichsweise federleichte Carbonarmierungen ersetzt werden. Chefkoordinator und C<sup>3</sup>-Vereinsvorsitzender Prof. Manfred Curbach vom Dresdner Institut für Massivbau umreißt das Ziel: Die nächste Generation von Bauwerken werde mit Carbon bewehrt sein.

Textiles Bauen wird die Zukunft prägen – da sind sich nicht nur die sicher, die, wie Groz-Beckert oder Lucem, entsprechende Referenzbauten auf den Weg gebracht haben: Brücken aus Textilbeton bzw. Fassaden und Interieur aus Lichtbeton. In seiner viel beachteten Zukunftsvorschau „Perspektiven 2025“ hatte das Forschungskuratorium Textil für den „Stahl des 21. Jahrhunderts“ gleich vier Themen- und damit strategische Umsatzfelder ausgemacht: Wohnen,

## TEXTILES BAUEN IN FAKTEN

- » 10 % aller technischen Textilien werden am Bau eingesetzt
- » Jährlich steigt die Nachfrage für Bautextilien um bis zu 8 %
- » Bis 2020 soll der weltweite CFK-Markt mit jährlichen Steigerungsraten von bis zu 13 % auch durch faserarmierten Beton auf 130.000 Tonnen wachsen



Architektur, Energie und Zukunftsstadt. Befürchtungen, dass CFK-Bewehrungen gegenüber herkömmlichen Armierungen aus Stahl „sündhaft“ teuer würden, wischen Experten angesichts solcher Schlagworte wie umweltfreundlich, hochwertig, effizient, langlebig und wartungsarm mit dem Argument vom Tisch: Der Preis habe bei den Potenzialen des Textilbetons nicht „erste Priorität“.

» Faserbasierte Werkstoffe erfüllen mit „Leichtigkeit“ die Anforderungen an Energieeffizienz, Multifunktionalität und Nachhaltigkeit. Sie sind daher hervorragende Alternativen für konventionelle Werkstoffe bei immer mehr Anwendungen.

**Forum Architektur und Bau der Allianz Faserbasierte Werkstoffe**



# TEXTILBETON



## Stahl des 21. Jahrhunderts

» Kommt die Rede auf den Zustand der deutschen Bausubstanz, erscheint das wirtschaftlich stärkste Land Europas wie ein Pflegefall. Allen voran Zehntausende Brücken und Straßen, aber auch Gebäude wie Schulen, Bahnhöfe und Wohnhäuser – Wetter und Zeit bringen die verbauten Materialien Beton und Stahl unerbittlich an ihre Grenzen, bis diese reißen, bröckeln, rosten und instabil werden. Doch es gibt Baustoffalternativen wie Textilbeton, der kurz vor dem Durchbruch steht.

Stahl ist das Rückgrat von Beton. Würde ein Gebäude nur aus Beton errichtet, würde es seine Fer-

tigstellung nicht erleben. Es braucht einen weiteren Werkstoff, der Stabilität verleiht und die fehlende Zugfähigkeit des Betons ausgleicht. Doch Stahl hat mehrere Nachteile: Er ist teuer, energieintensiv und vor allem wenig korrosionsbeständig. Das Material gibt selbst bei Betonumhüllungen von sechs oder gar zehn Zentimetern nach jeder Seite schon in einigen Jahrzehnten auf, wenn Salze und Wasser an ihm nagen. Faustregel für jeden Planer und Statiker: Je mehr Beton den Stahl umschließt, desto höher ist die Lebenszeit des Bauwerks. Eine weitere Mankoeigenschaft bringt Stahl und Beton gleichermaßen in Verruf: Der enorme Transportaufwand und die damit negativen CO<sub>2</sub>-Schlagzeilen.



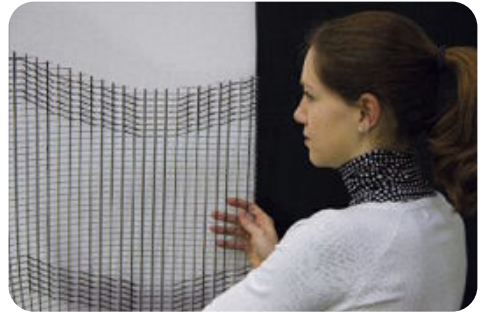
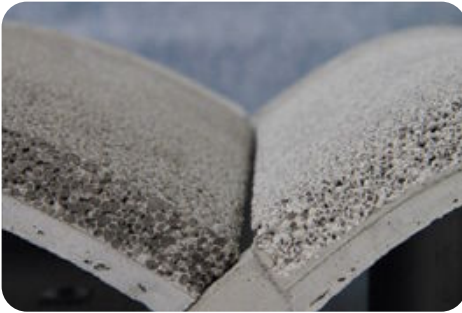
## BAUSTOFF MIT NEHMERQUALITÄTEN

Die Negativeigenschaften von Stahlbeton, seine Schwäche für Rost, hoher Energieinput und eine schlechte CO<sub>2</sub>-Bilanz, sind Steilvorlagen für Textilbeton. Bei dem in Deutschland erforschten und mittlerweile zur Fast-Anwendungsreife entwickelten neuen Baustoff besteht das Innenleben aus Gittern von Glas- und Carbonfaserverbundstoffen statt aus Stahlflechten. Weil die Hochleistungsfasern korrosionsbeständig sind, reicht ein Bruchteil der üblichen Menge an Beton zur Überdeckung – im Schnitt fünf bis zehn Millimeter. Dieser Mix reduziert nicht nur das Gewicht, sondern spart auch Energie in der

serbasiert bauen zu können. Auch auf Expertenseite fehlen bei Planern, Architekten, Bauingenieuren und Bauhandwerkern in der Breite die Kompetenzen, die für einen Durchbruch zur Massenanwendung gebraucht werden. Also gilt im doppelten Bedeutungssinn: Wer hoch hinaus will, braucht einen langen Atem – und ein solides Fundament.

## JAHRZEHNTE DER FORSCHUNG

Im Falle von Textilbeton besteht dieser Sockel aus Jahrzehnten interdisziplinärer Zusammenarbeit von Textilinstituten, Forschungseinrichtungen aus dem Bauingenieur- und Vermessungswesen, dem Maschinenbau und den Werkstoffwissenschaften. Be-



Herstellung, weil bis zu 80 Prozent des üblichen Materialeinsatzes entfallen. Auch wird weniger CO<sub>2</sub> erzeugt, weil die leichteren Textilbetonbauteile mit geringerem Aufwand auf die Baustelle transportiert werden können. Zudem ermöglichen die textilbewehrten Systeme eine flexiblere Formgestaltung – und somit ein freieres Bauen –, weil textile Materialien besser drapierbar sind. Die Spezialisten sind sich einig: Carbon etwa hat das Potenzial, zum „Stahl“ des 21. Jahrhunderts zu werden.

Dennoch: Das ganz große Textilbeton-Richtfest blieb bisher aus. Carbonfasern sind teuer, es fehlt noch an Zulassungen, Normen, Standards und Prüftechnologien, um im großen Stil wirtschaftlich fa-

reits in den 1980er-Jahren begannen die Vorarbeiten zum Thema in der Vorgängereinrichtung des heutigen Sächsischen Textilforschungsinstituts Chemnitz (STFI). 1992 initiierte die TU Dresden als eine der ersten Unis ein vom Bundesministerium für Wirt-

» Wer wie Deutschland in einer betontextilen Vorreiterrolle voranschreitet, muss bereit sein, als Erster solche Schwierigkeiten wie Akzeptanzmangel oder Zulassungsprobleme zu überwinden. Trotz aller Widerstände wird hier wieder deutsche Spitzentechnologie entwickelt. **Roy Thyroff, Verbandsgeschäftsführer Tudalit e.V.**

## TEXTILBETON AUF EINEN BLICK

- » Langlebig, weil korrosionsbeständig gegen Salze und Wasser
- » Kosteneffizient aufgrund geringer Instandhaltungskosten
- » Energieeffizient in Herstellung und Transport (CO<sub>2</sub>-Einsparung)
- » Material sparend, weil weniger Beton benötigt wird
- » Flexiblere Formgestaltung, weil Textilbewehrungen leichter und dünner, also besser drapierbar sind (moderne Bauweise)



schaft und Energie (BMW) gefördertes Projekt zu Textilbeton. Sie war es auch, die 1999 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) ihre Tore öffnete, die zum Zwecke der Grundlagenforschung den Sonderforschungsbereich 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung“ am Campus einrichtete.

Zusammen mit der RWTH Aachen, die zeitgleich den DFG-Sonderforschungsbereich 532 „Textilbewehrter Beton – Grundlagen für die Entwicklung einer neuen Technologie“ beherbergte, konnte so bis zum Ende der Förderung vor drei Jahren schrittweise eine wissenschaftliche Basis für die wirtschaftliche Nutzung textiler Bewehrungen gelegt werden. Das in enger Zusammenarbeit mit der Industrie gewonnene, umfangreiche Forschungswissen bildet nicht

nur die Grundlage für künftige Forschungsvorhaben, sondern vor allem auch für den Transfer in die Praxis, der alle Beteiligten vor eine weitere Mammutaufgabe stellt, denn: „Für den Durchbruch des Textilbetons braucht es auch und vor allem visionäre Unternehmer“, sagt Prof. Peter Offermann, Vorstandsvorsitzender des Textilbetonverbands Tuddalit e. V. und einer der „Väter“ von Textilbeton.

## WIDERSTAND IM EINZELFALL

Bisher liegt die große Schwäche textilbasierten Bauens vor allem auch in dessen Unwirtschaftlichkeit mangels standardisierter Testverfahren. Will beispielsweise ein Unternehmen alte Bausubstanz auf Grundlage von Hightech-Fasern sanieren, verstärken, instand setzen oder neu bauen, braucht es eine so genannte „Zustimmung im Einzelfall“. Dabei wird eine Art Probevariante des tatsächlichen Bauprojekts in eigens dafür eingerichteten Hallen von speziellen Maschinen bis zur Zerstörung auf seine Widerstandsfähigkeit geprüft. Die dabei gewonnenen Daten fließen in ein zweites, das finale Bauprojekt ein. Am Beispiel etwa einer Textilbetonbrücke heißt das: Diese wird einmal vollständig aufgebaut, bis zum Bruch tonnenschwer belastet, um mit den bei der zerstörenden Prüfung ermittelten Zahlen schließlich die echte Brücke zu bauen. Ein Horror für jedes wirtschaftlich handelnde Unternehmen und

» Durch die Verwendung von textilen Bewehrungen steht der Bauwirtschaft schon heute ein ressourcenschonender Werkstoff zur Verfügung. Wir bei Groz-Beckert glauben an dessen Potenzial und Zukunftsfähigkeit und haben deshalb 2013 eigens dafür die Konzerntochter Solidian GmbH gegründet, die Textilbewehrungen entwickelt hat und am Markt anbietet.

**Dr. Thomas Lindner, Vorsitzender der Geschäftsführung von Groz-Beckert**

ein entscheidender Grund dafür, dass sich bis auf vereinzelte, teure Referenz- und Vorzeigeprojekte das praktische Potenzial textilen Bauens kaum entfalten konnte. Doch diese Hürden bröckeln ...

## ZULASSUNG ALS MEILENSTEIN

Nachdem 2005 erstmalig eine Textilbetonbrücke in Oschatz errichtet wurde, lag das Einsparpotenzial faserbasierter Bauweise offen: Statt 25 Tonnen Stahlbeton, die eine herkömmliche Brücke an dieser Stelle verschlungen hätte, scheint die neun Meter lange Weltneuheit mit ihren nur fünf Tonnen Ge-

» Faserverstärkte Kunststoffe/Composites mit ihren positiven Werkstoffeigenschaften haben auch im Bausektor eine große Zukunft. Allerdings entscheidet die gesamtwirtschaftliche Entwicklung gerade auch in den europäischen Ländern darüber, ob es in den nächsten Jahren zu massenhaften Anwendungen über vereinzelte, augenfällige Architektur Lösungen hinaus kommen wird.

Dr. Elmar Witten, Sprecher der Geschäftsführung von „Composites Germany“



wicht geradezu von einer Seite zur anderen zu „schweben“. Ähnlich auch die Textilbetonbrücke in Albstadt, die fünf Jahre später von der Firma Groz-Beckert gebaut wurde: Die Brücke mit Bewehrung aus Glasfasergittern brachte im Gegensatz zur herkömmlichen Stahlbauweise eine Ersparnis von 150 Tonnen – dadurch entfielen 30 Prozent der üblichen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund von Materialeinsparung sowie geringerer Transport- und Herstellungskosten. Doch damit diese Form der effizienten Bauweise auch abseits von Einzelfallzustimmungen Schule macht, bedarf es vor allem bauaufsichtlicher Zulassungen.

Eine wichtige Schiedsstelle dafür ist das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBT), das für die Zulassung von Bauteilen zuständig ist und seit 2010 mit komplexen Verfahren die Deckenverstärkung von Innenräumen mit Carbonfasergittern zur Instandhaltung

und Sanierung prüft. Ein Positiv-Ergebnis liegt derzeit in der Luft und lässt Experten hoffen: „Nach Jahrzehnten der Vorarbeit wäre die erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ein Meilenstein für die Entwicklung des Textilbetons in Deutschland“, sagt der Geschäftsführer des Tudalit-Verbandes, Roy Thyroff. Künftige Zulassungsverfahren – etwa für weitere Innenanwendungen oder für Außen- und Brückenverstärkungen – könnten auf die gesammelten Erkenntnisse aufsetzen, weil weitere Baustoffprüfungen nicht mehr bei null anfangen müssten. Mittlerweile gebe es laut Thyroff Anfragen von Unternehmen, Verbänden, öffentlichen Einrichtungen und Handelshäusern aus dem In- und Ausland, die per Lizenzvergabe die „deutsche Spitzentechnologie“ am Bau einsetzen wollen. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung stand bei Redaktionsschluss kurz vor der Erteilung.

# C<sup>3</sup>-CLUSTER

## Ein Konsortium mit Visionen



» Helmut Schmidt hat einmal gesagt, wer Visionen habe, solle lieber zum Arzt gehen. Ginge es danach, müssten die derzeit 40 Verbundpartner des von der TU Dresden geführten Konsortiums „C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite“ schon längst gemeinschaftlich im Wartezimmer sitzen. „Wir streben einen Paradigmenwechsel im Bauwesen an und wollen in den kommenden zehn Jahren bei Neubauten etwa 20 Prozent der Stahl- durch Carbon-Bewehrung ersetzen“, gibt der C<sup>3</sup>-Vorsitzende vom Institut für Massivbau an der TU Dresden (IMB), Prof. Manfred Curbach, das erklärte Ziel der Vision vor.

Dass sich der Zusammenschluss aus Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Verbänden den Weg zum Arzt sparen kann, ist spätestens seit Mitte 2013 klar. Damals beschloss das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), zehn Konsortien aus den neuen Bundesländern mit ins-

gesamt 500 Mio. Euro Fördergeldern zu unterstützen. Im Rahmen der Initiative „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ wurden davon 45 Mio. Euro für C<sup>3</sup> bewilligt – und so eine jahrelange Vision in ihrem Potenzial und ihrer Anwendungsreife bestätigt. Bei der Vereinsgründung in Dresden war denn auch die Rede von „Aufbruchstimmung“, „Riesenerfolg“ und „Freude über die kommenden Herausforderungen“ – und die sind gewaltig.

### DEN EISBERG ABSCHMELZEN

Denn obwohl der Kenntnisstand nach intensiver Vorfelddarstellung der Wissenschaft enorm ist, müssen die Konsortialmitglieder, von denen die beteiligten Firmen zusätzlich zu den Bundesmitteln finanzielle Eigenleistungen in Höhe von 23 Mio. Euro einbringen, weiter kräftig forschen: punktgenau. „Aktuell erstellen wir eine Road-Map, um allen Beteiligten einsichtig zu machen, welche weiteren Schritte notwendig sind, um Carbon-Bewehrungen im großen Maßstab an den Bau zu bringen“, sagt Curbach.



Demnach sollen in den nächsten Monaten vier Basisvorhaben und deren konkrete Anforderungsprofile definiert werden, in die weitere Forschungsarbeit investiert werden müsse: die Carbon-Bewehrung selbst und deren Beschichtung, die Optimierung von Betonrezepturen zur Großserienfertigung sowie die weitere Erforschung nicht vorwiegend ruhender Belastung – also Brücken – und die Entwicklung intelligenter Fassaden zur Informations- und Signalabbildung.

Im Anschluss daran soll der Teilnehmerwettbewerb um Ausschreibungen eröffnet werden: Damit haben alle Konsortialmitglieder die Möglichkeit, sich mit Projektideen um die Gelder zu bewerben. „Da werden wir schauen, welche Vorhaben am geeignetsten sind, um Stahlbeton sukzessive durch Textilbeton auf Basis von Carbon zu ersetzen.“ Der Massivbau-Experte lässt keinen Zweifel daran, dass die Umsetzung aufgrund des enormen Bedarfs nach dem neuen Baustoff gelingen wird: „Marode Brücken etwa sind ja nur die Spitze des Eisbergs – das Problem der mangelhaften Dauerhaftigkeit von Stahlbeton setzt sich auch in unserer gesamten bebauten Umwelt fort, was unserer Vision natürlich in die Hände spielt.“

[www.carbon-concrete-composite.de](http://www.carbon-concrete-composite.de)

Wir unterstützen das Konsortium C<sup>3</sup>, weil die Verwendung von Carbon als Bewehrung im Betonbau hinsichtlich bestehender und zukünftiger Dauerhaftigkeits- und Tragfähigkeitsanforderungen einen revolutionären Ansatz darstellt, da sich durch den Wegfall der Korrosionsgefahr eine höhere Lebensdauer ergeben kann. Damit trägt der Ansatz zum Werterhalt unserer Bausubstanz bei und hat insofern eine hohe gesellschaftliche Bedeutung durch eine nachhaltige und ressourcensparende Bauweise.

**Dr.-Ing. Lars Meyer, Geschäftsführer des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e. V.**



## PAULSBERG: EIGENSCHAFTEN ZUM ANFASSEN

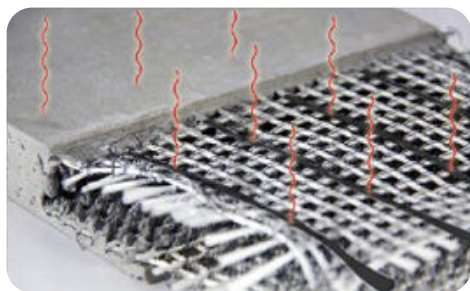
Es klingt wie der Anfang eines Witzes: Treffen sich ein Architekt, ein Betriebswirt und ein Produktdesigner und reden über Textilbeton – doch die Pointe ist zum Anfassen: Betonmöbel mit Blickfang-Optik. „Unser Ansatz ist es, die wesentlichen Materialeigenschaften – Leichtigkeit trotz stabiler Struktur und freie Formbarkeit – von Textilbeton in Form eines Möbels für den Betrachter zu visualisieren und erlebbar zu machen“, erklärt Mark Offermann, der zusammen mit Lars Schmieder und Knut Krowas 2011 die Firma Paulsberg gründete. Ziel sei es laut Offermann, über das Mittel der Gestaltung innovative Inhalte zu transportieren.

Vor allem die urbane Stadt- und Außenmöblierung sei eine „hervorragende Spielwiese“ für diesen innovativen Verbundwerkstoff. So habe etwa die Sächsische Landes- und Universitätsbibliothek in Dresden gezielt auf das Know-how des jungen Unternehmens zurückgegriffen, um das hauseigene Gründach mit den Textilbeton-Möbeln zu bestücken. „Die funktionalen Vorzüge des Textilbetons sind in der breiten Öffentlichkeit noch nicht angekommen. Deswegen arbeiten wir bewusst über die Optik auch an einem Imagewandel hin zu mehr Akzeptanz“, so Offermann. Die eigentlichen Firmennews: Wurden bisher pro Jahr 20–30 Betonmöbel in Handarbeit produziert, soll die Produktion jetzt aufgrund der gestiegenen Nachfrage an ein Betonteilfertigwerk in der Region ausgelagert werden.

[www.paulsberg.co](http://www.paulsberg.co)

# Textilbeton mit Plusfaktoren

Textilbeton zeichnet sich nicht nur durch hohe Stabilität bei geringer Dicke aus – er lässt sich auch mit intelligenten Zusatzfunktionen wie Beleuchtung, Sensorik zur Messung des Feuchtegehalts oder Beheizbarkeit ausstatten. Möglich macht das etwa die Carbon-Bewehrung im Beton, die sich für weitere Funktionen aktivieren lässt.



Diesen Ansatz verfolgt auch die Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK) in einem vom BMWi geförderten Projekt in Kooperation mit der TU Dresden und vier Unternehmen. Gemeinsam entwickeln die Partner aus Forschung und Praxis ein direktelektrisches Heizsystem zur Innenraumerwärmung auf Basis von Carbonfasern. Dadurch soll die Funktion des Heizens künftig direkt in die Fassade von Gebäuden integriert werden können, indem an die Carbongarne in der Wand eine definierte Spannung angelegt und durch den spezifischen Widerstand des Fasermaterials Wärme erzeugt wird – die Wand wird zur Strahlungsheizung. „Durch die Doppelnutzung – Stabilität und Beheizbarkeit – der Fassadenelemente aus Textilbeton könnte sich künftig nicht nur der Aufwand zum Verbau herkömmlicher Heizsysteme erübrigen, sondern auch der Gesamtenergiebedarf verringert werden“,

sagt Prof. Frank Hülsmeier, Leiter des Architektur-Instituts an der HTWK und Projektbeteiligter. Auch mit anderen Projekten haben Hülsmeier und sein Team das Thema Nachhaltigkeit im Blick.

## GRAUE ENERGIE

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Vakuumgedämmte Fassadenelemente aus Textilbeton“ untersuchten die Forscher verschiedene Werkstoffe unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit. Dabei betrachteten sie den Lebenszyklus eines Textilbeton-Bauteils und dessen Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040, einem Verfahren zur Erfassung und Bewertung der Umweltauswirkungen etwa von Produkten und Prozessen über deren gesamten Lebensweg – die so genannte „Graue Energie“. Bei diesem Ansatz wird die gesamte Energiemenge von der Rohstoffgewinnung und Produktion über die Phase der Nutzung und Sanierung bis hin zur Entsorgung und möglichen Wiederverwertbarkeit einbezogen. „Im Vergleich mit einer herkömmlichen Stahlbetonfassade konnten wir zeigen, dass sich durch den Einsatz von mikro- bis nanostrukturierten Materialien die ‚Graue Energie‘ halbieren lässt“, sagt Stefan Huth, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Architektur-Institut der HTWK. Weitere berücksichtigte Indikatoren zur Bewertung der ökologischen Qualität einer textilverstärkten Gebäudehülle orientierten sich an einem Leitfaden des damaligen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Bedarf, Ozonabbau- und Ozonbildungspotenzial, Versauerungspotenzial oder die Flächeninanspruchnahme. Das Fazit der Forscher: Mit vakuumgedämmten Fassadenelementen ließen sich auch zukünftige erhöhte Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Fassaden erfüllen.

[www.energiesdesign.htwk-leipzig.de](http://www.energiesdesign.htwk-leipzig.de)

# Carbon-Kooperation in 3D

» Was einer allein nicht schafft, geht gemeinschaftlich oft besser. Auch bei dem Einsatz innovativer Verbundwerkstoffe können Kooperationen sinnvoll sein, wie das Beispiel der Zusammenarbeit zwischen Europas führendem Carbonfaserhersteller SGL Group, dem Textilbetonspezialisten V. Fraas Solutions in Textile GmbH und der Schweizer Alphabeton AG zeigt. Die drei setzten 2013 erstmalig Textilbeton-Carbon-Fassadenplatten in dreidimensionalen Gitterstrukturen an einem Gebäude ein.



Seitdem ist die Front des Firmenneubaus im Nachbarland auf 450 Quadratmetern mit 350 Fassadenplatten versehen, die nur 26 Millimeter dick sind. Für die Weltneuheit kamen Carbonfasern im Zentimeterbereich zum Einsatz. Die beiden deutschen Unternehmen bauten dafür eine Fertigungsanlage, auf der sich 3D-Textilbewehrungen aus Kurzfasern für 865x1.620 Millimeter große Fassadenelemente herstellen lassen. „Unser Partner wollte für seinen Neubau unbedingt eine Carbonfaser-Bewehrung, auch als Symbol für eine künftige Bauweise“, erinnert sich Roy Thyroff, Geschäftsführer von V. Fraas Solutions in Textile, die seit 2012 als Tochtergesellschaft der V. Fraas GmbH eigenständig firmiert. Bereits 2008 hatte das Familien-

unternehmen, das 1880 mit der Produktion von Halstüchern für Bergleute, Schulertüchern und Wolldecken begann, das Geschäftsfeld „Solutions in Textile“ ins Leben gerufen, um sich abseits klassischer Bekleidung der Entwicklung technischer Textilien für den Einsatz als Armierung und Verstärkung in Verbundwerkstoffen zu widmen.

## INSTAND DURCH HAND IN HAND

Schon 2012 kam Textilbeton der Carbon-Partner zur Instandsetzung eines Zuckersilos in Uelzen zum Einsatz. Damals ließ die Nordzucker AG, die im Zuge einer Inspektion eines Doppelkammersilos Risse in Zwischendecke und der inneren Oberfläche der Siloschale festgestellt hatte, rund 3.100 Quadratmeter Sanierungsfläche mit Lagen aus Carbon-Textil instand setzen. Dazu wurden im Inneren des Silos 2,46 Meter breite Textilrollen über die Länge von 33 Metern Bahn für Bahn abgerollt und anschließend spezieller Feinbeton im Spritzverfahren aufgetragen.

Trotz 14.000 Quadratmetern verbauter 2D-Textilien, aufgetragen zu jeweils vier Lagen Textil pro Bahn, betrug die Gesamtdicke der Verstärkung auch nach den aufgebrauchten 150 Tonnen Feinbeton nur magere zwei Zentimeter. „Das Ziel war, die Verstärkungsschicht so dünn wie möglich zu halten, um das Silovolumen nicht zu sehr zu verringern“, erinnert sich der am Projekt beteiligte Dr. Silvio Weiland von der Bilfinger Construction GmbH. Auch sei durch die Verwendung der Carbon-Textilien die Rissverteilung an der Oberfläche ausreichend gering gewesen, um die notwendige lebensmittelgeeignete Beschichtung aufzutragen. Laut Thyroff sind aktuell weitere Projekte zur Instandhaltung mit dünnwandigem Textilbeton in Planung.

[www.solutions-in-textile.com](http://www.solutions-in-textile.com), [www.sglgroup.com](http://www.sglgroup.com)  
[www.alphabeton.ch](http://www.alphabeton.ch), [www.nordzucker.de](http://www.nordzucker.de)

# FORSCHUNG AKTUELL

Schon lange hoffen Industrie und Forschung auf die allgemeine bautechnische Zulassung und damit Massenanwendung textilbewehrten Betons. Bis es endlich soweit ist, laufen in den Instituten Vorlaufforschung zu den Einzelkomponenten Textil und Betonmatrix sowie Entwicklungen für konkrete Einzelfallanwendungen. Nachfolgend einige Beispiele.



» **Dach ganz dünn:** Auf der Suche nach weiteren aussichtsreichen Anwendungsbereichen für Textilbeton entwickelten Wissenschaftler der Institute für Textiltechnik (ITA) sowie für Massivbau (IMB) der RWTH Aachen ab März 2011 mit Unterstützung durch ZIM-Fördermittel des BMWI erstmals einfach gekrümmte Textilbetonschalen. Mit nur 20 mm Stärke wurden sie als geradezu filigrane und dennoch tragfähige Dachkonstruktion aus parallel angeordneten Tonnenschalenelementen ausgeführt. Ihre Produktion übernahm der Glasfaserbeton-Spezialist DuraPact aus Haan in Spritzbetontechnik mit in Aachen entwickelten, lagenweise einlamierten textilen Bewehrungen. Über einer Grundfläche von 50 m<sup>2</sup> auf eine Stahlunterkonstruktion montiert, wurde das Demonstrationsobjekt zwei Jahre später errichtet. Im Alltag dient es dem ITA als institutseigener Fahrradunterstand.

[www.ita.rwth-aachen.de](http://www.ita.rwth-aachen.de)  
[www.imb.rwth-aachen.de](http://www.imb.rwth-aachen.de)

» **Stein zu Fasern:** Auch an der TU Dresden fassen sich mehrere Institute mit textilem Bauen – das für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), für Massivbau (IfM) sowie für Baustoffe (IfB). Experten aller drei Bereiche arbeiteten bei der Optimierung gitterförmiger textiler Multiaxialgewirke für Bewehrung und Instandsetzung von Betonkonstruktionen zusammen: Carbonfilamentgarne sind dafür erste Wahl, für den Massenmarkt aber zu teuer. Günstigere Fasern aus alkaliresistentem Glas wiederum haben nur eine begrenzte Haltbarkeit im Brandfall. Die Wissenschaftler suchten nach einer praxistauglichen, kostengünstigen Alternative für den preissensiblen Massenmarkt mit mittelfesten Bewehrungen. Und fanden sie in Form von Filamentgarne auf Basis nahezu unerschöpflich verfügbaren Basaltgesteins. Allerdings galten Basaltgarne bislang als wenig alkalibeständig, auch der Herstellungsprozess war nicht ausgereift. Sächsische Textilforscher fanden



nun heraus, dass sich mit angepassten Beschichtungsapplikationen sowohl ihr mechanisches und Verbundverhalten als auch die Haltbarkeit im alkalischen Betonmilieu deutlich verbessern lassen. Zudem gelang es, Basaltgarne flächig zu verarbeiten sowie mit Carbon- oder Glasfilamentgarnen zu hochwertigen hybriden Gelegen zu kombinieren: wirtschaftlich und auch bautechnologisch ideal für Betonkonstruktionen mit mittleren Festigkeitsanforderungen und hoher thermischer Beständigkeit.  
[www.tu-dresden.de](http://www.tu-dresden.de)  
[www.bafanet.com](http://www.bafanet.com)

sich verzweigende, besonders belastbare Strebenstrukturen u. a. für die Bauwirtschaft zu entwickeln.  
[www.itv-denkendorf.de](http://www.itv-denkendorf.de)

» **Hybrid-Front:** Architekten lieben unregelmäßig gekrümmte Bauwerksfassaden nach dem Beispiel organischer Strukturen. In klassischem Beton sind sie jedoch nur mit hohem Aufwand auszuführen, oft viel zu teuer. Im Rahmen eines IGF-Verbundprojekts wollten mehrere Wissenschafts- und Wirtschaftspartner alternativ Textilbeton mit faserverstärktem Kunststoff zu einem



» **Vorbild Natur:** Vorlaufforschung für das Bauen von morgen und andere Anwendungsbereiche beinhaltet ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstütztes Verbundprojekt zu biomimetisch optimiert verzweigten Faserverbundstrukturen mit hoher Tragfähigkeit. Das Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV) trug zum Erfolg bei, indem eine zum Flechten verzweigter Strukturen im Rahmen eines vorherigen ZIM-Projekts entstandene Technologie gemeinsam mit einem niedersächsischen Unternehmen weiter vorangetrieben wurde. Außerdem entwickelten die ITV-Experten ein Verfahren, mit dem auf Flechtmaschinen Y-förmige Verzweigungen hergestellt werden können, ohne einen Ast doppelt umflechten zu müssen. Diese Technik gestattet, aus der Natur abgeleitete Erkenntnisse zu einem optimalen Faserverlauf zu untersuchen – und später dann auch

Hybridwerkstoff als Basis eines modularen Fassadensystems für organisch geformte Innen- und Außenhüllen kombinieren. Das Sächsische Textilforschungsinstitut e.V. (STFI) entwickelte dafür Gewirke aus Hochleistungsfasern für die Bewehrung in den hybriden Bauteilen. Zahlreiche biaxiale und 3D-Gitterstrukturen wurden dafür getestet. Die textilen Halbzeuge sind Grundlage dafür, einen für die gewünschte Bauteilfestigkeit notwendigen Bewehrungsgrad zu ermitteln, eine schubsteife Verbindung zwischen Kunststoff und Beton sowie die Drapierbarkeit der Bewehrungstextilien in den Schalungen zu ermöglichen. Dass Gebäudeoberflächen aus Sichtbeton tatsächlich auf diese Weise frei geformt werden können, eine gute Tragfähigkeit haben und witterungsbeständig sind, beweist ein futuristisch anmutender Prototyp-Pavillon auf dem Gelände der TU in Chemnitz. [www.stfi.de](http://www.stfi.de)

# Forschungsbedarf & nächste Schritte



Dr. Klaus Jansen

» **Textilbeton ist angesichts damit erschließbarer Effizienzreserven bei Energie, Ressourcen und Arbeit sowie absehbarer Zuwächse bei der Gestaltungsfreiheit der Baustoff der Zukunft. Fragen zu wissenschaftlichen Herausforderungen auf dem Weg dorthin an FKT-Chef Dr. Klaus Jansen:**

**Welche Aufgaben muss die Textilforschung mit Blick auf Alltagstauglichkeit und Masseneinsatz von Textilbeton vordringlich bewältigen?**

Viele unbeantwortete Detailfragen rund um den Ersatz herkömmlicher Stahlarmerungen in Beton durch Carbon- und andere Fasern definieren den Forschungsbedarf. Hoch fester, korrosionsbeständiger Textilbeton ist fraglos im Kommen. Wir müssen seine Eigenschaften und die lastgerechte Auslegung erst noch präziser erforschen, um eine sichere, wirtschaftlich und ökologisch sinnhafte Massennutzung zu erreichen – die bautechnische Zulassung einmal vorausgesetzt. Das beginnt bei dem Armierungsmaterial, reicht über dessen Verarbeitung im Betonverbund, die Reaktion auf und gegebenenfalls den

Schutz vor mechanischen, thermischen oder chemischen Angriffen bis zur Integration sensorischer Überwachungsfunktionen in den Baustoff, um Lastzustände und Schadensereignisse zu detektieren.

**Und was geschieht am Ende der Nutzungsdauer?**

Das ist noch mal ein komplexes Thema für sich: Ökonomische und ökologische Erfordernisse bedingen natürlich ein Streben nach Recycling der teuren Carbonfaser. Das Thema ist jedoch noch weitgehend eine Terra incognita – und damit eine riesige Herausforderung. Derzeit kennen wir allenfalls Downcycling – der wiedergewonnene Wertstoff aus dem Produktionsprozess besteht aus mehr oder minder kurzen Faserstücken. Das ist unbefriedigend. Ohne geschlossenen Kreislauf wird sich auch die politische Unterstützung für den Werkstoff in Grenzen halten. Deshalb kann die Rückgewinnung der Hochleistungsfasern und ihr Wiedereinsatz den Langfrist-erfolg des Textilbetons stärken und ist für uns ein wichtiges Forschungsthema.

**Stichwort teuer: Der prognostizierte Preisverfall bei Carbon blieb bisher aus – was nun?**

Die Produktion des „Goldes des 21. Jahrhunderts“ ist sehr energieintensiv, die Kosten für die Faser-Vorstufen sind hoch. Deshalb werden die Preise der Carbonfasern in den nächsten Jahren auch nicht nennenswert sinken. Umso bedeutsamer ist die Forschung an Material-Alternativen: Neue Präkursoren, keramische Werkstoffe, Funktionspolymere oder Naturfasern können eine wichtige Rolle als Substitut oder Ergänzung ausfüllen. Aber natürlich stellt sich auch bei diesen Stoffen eine Vielzahl neuer Fragen, ganz ähnlich wie bei Carbonfasern. Unseren Wissenschaftlern und Ingenieuren wird die Forschungs- und Entwicklungsarbeit also vorerst gewiss nicht ausgehen ...

# Soziologie der Faser

» Soziologie ist die Lehre vom Zusammenleben und der Funktionsweise von Menschen; sie untersucht Erscheinungen und Entwicklungen einer Gesellschaft. Auch Fasern können dabei eine Rolle spielen, weil diese, zu Textilbeton verarbeitet, Planern und Anwendern neue ästhetische Möglichkeiten, Formen und Funktionen beim Bauen eröffnen. Das nehmen Menschen wahr, was wiederum Soziologen auf den Plan ruft, die diese Wahrnehmung untersuchen. Als Erste in Deutschland befasst sich die Soziologin Jacqueline Lemm am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA) mit der Frage, wie das textile Bauen Mensch und Gesellschaft beeinflussen könnte. Die 31-Jährige im Wortlaut:

## FORM UND FUNKTION

Wir erforschen derzeit im Rahmen einer interdisziplinären Laborstudie unter anderem mit Studenten aus den Bereichen Architektur, Soziologie und den Ingenieurwissenschaften die Wahrnehmungszusammenhänge von Material, Form und Funktion bei Textilbeton. Dabei bitten wir die Studierenden, textilbasierte Objekte anhand von Fragen wie „Was verbindest du mit dieser Form?“ oder „Wie fühlt sich das Material an?“ zu bewerten. Ziel ist es, funktionale und ästhetische Aspekte bei der Gestaltung textiler Bauinnovationen bezüglich ihrer Akzeptanz (oder Ablehnung) und Nutzerfreundlichkeit besser einschätzen zu können. Dabei wird Textilbeton zumeist mit „leicht“, „lichtdurchlässig“, „weniger erdrückend“ und „neu/modern“ in Verbindung gebracht. Damit entspricht er den Bedürfnissen der Gesellschaft nach einer nicht einengenden, hellen, abwechslungsreichen und „unbeschwerten“ Raumgestaltung.

## BIOÖKONOMIE

Gerade in Zeiten der Energiewende, die die Gesellschaft für das Thema Energieeinsparung und einen bewussteren Umgang mit der Umwelt sensibilisiert, spielt

der Einsatz ressourcenschonender und umweltverträglicher Werkstoffe natürlich eine Rolle.

Das verstärkt den Wunsch nach innovativen Materialien, die im Einklang stehen mit einer nachhaltigen Lebensweise. Da wird das Thema Textilbeton interessant, weil er mit weniger Energieaufwand und geringerem CO<sub>2</sub>-Ausstoß hergestellt und transportiert werden kann. Damit beginnt die Energieeffizienz schon beim Ausgangsmaterial und der Herstellung – und nicht erst beim fertigen Gebäude durch energiesparende Zusatztechnik.

## GESTALTUNG & INDIVIDUALITÄT

Aufgrund seiner Dünnwandigkeit und freien Formbarkeit eröffnet Textilbeton völlig neue Gestaltungsspielräume – damit holt er den Nutzer in einer durch Globalisierung und Internet entgrenzten Gesellschaft bei dem Wunsch nach Ausdruck von Individualität ab, der sich oft über Konsumgüter (Objekte) äußert. Allein die Verwendung neuer Materialien ist ja schon eine gewisse Form der Abgrenzung vom Herkömmlichen. Generell lässt sich feststellen, dass die Gesellschaft offener wird, dass Grenzen und Schranken fallen. Textilbasierte Architektur kommt diesem Gefühl und dem Wunsch nach Offenheit durch ein freieres Raumgefühl und Abwechslung in der Form entgegen, weil sie harmonischeres, freieres und kreativeres Bauen ermöglicht.

[www.ita.rwth-aachen.de](http://www.ita.rwth-aachen.de)



Jaqueline Lemm

# MEMBRANBAU



## Neue Leichtigkeit über den Köpfen

» Leichtbau ist eine Pioniertechnologie. Nirgendwo wird dies offensichtlicher als im Membranbau. Oft sind es textile Materialien, die immer wieder neue Formgebungen und Funktionalisierungen ermöglichen, während wachsende Anforderungen an Nachhaltigkeit und Energieeffizienz unkonventionelle technische Lösungen befördern. Der Bedarf an Forschung und Entwicklung in diesem Segment – etwa bei der Automatisierung rentabler CFK-

Herstellungsverfahren (siehe Seite 29) ist nach wie vor hoch.

Dennoch setzt das Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart schon zu einem weiteren qualitativen Entwicklungssprung an: vom „klassischen“, „traditionellen“ Leichtbau zu noch leichteren Dächern und Fassaden. Institutschef Prof. Dr.-Ing. Dr. E. h. Dr. h. c. Werner Sobek spricht vom „Ultra-Leichtbau“. „Hier werden



Tragwerke mit Sensoren, Steuerungseinheiten und Antrieben ausgestattet, sodass sie autonom auf wechselnde Belastungen reagieren können.“ Damit gelinge es, den Materialverbrauch auf ein bisher nicht für vorstellbar gehaltenes Minimum zu reduzieren, die Grenze des Machbaren weiter hinauszuschieben. Die „adaptiven“, selbststeuernden Konstruktionen könnten automatisch auftretende Verformungen und Schwingungen ausgleichen bzw. reduzieren – und dadurch auch ein drastisch reduziertes Eigengewicht erreichen.

gebungssituation reagieren. Ihre bauphysikalischen Eigenschaften können durch einen mehrlagigen Aufbau und den Einsatz von so genannten Phasenwechsel-Materialien (z. B. mikroverkapseltem Paraffin, das sich bei Sonneneinstrahlung verflüssigt und so große Wärmemengen speichert) deutlich verbessert werden, ohne dabei die den Textilien innewohnende Formenvielfalt, Leichtigkeit und Transluzenz einzuschränken.

Eine selbstgesteuerte Adaption streben die Forscher ebenso bei der Lichttransmission (eine „intelligente“



## BEWEGLICHE SCHALE

Wie dies in der Praxis geht, ist auf dem Campus der Stuttgarter Universität am „Smart Shell“ zu beobachten, dem ersten adaptiven Schalentragwerk der Welt. Die nur vier Zentimeter dicke, mehr als zehn Meter weit spannde Schale aus Holz wäre ohne Adaptivität viel zu dünn, um einer hohen Schneelast oder starken Windböen zu widerstehen. Dank der hydraulischen Antriebe an ihren Auflagepunkten kann sie jedoch Materialbeanspruchungen gezielt kompensieren. Die Steuerung erfolgt mithilfe der in die Schale integrierter Sensoren sowie einer speziell entwickelten Regelung.

Auch die am Institut entwickelten textilen Gebäudehüllen sollen aktiv auf Veränderungen der Um-

Textilhaut könnte z. B. mit einer Farbänderung auf Helligkeitsunterschiede reagieren) oder der Schallabsorption an.

Textilien mit fließenden Beschichtungsverläufen ermöglichen sowohl eine Abstufung der Durchlässigkeit als auch der Materialsteifigkeit. So lassen sich beispielsweise Feuchttransportprozesse innerhalb einer Fassade lokal unterschiedlich definieren. Ineinander übergehende Steifigkeitsverläufe heben die „harte“ Trennung zwischen steifen und flexiblen Bauteilen auf. Die „funktionale Gradierung“ von Materialien, deren Machbarkeit das ILEK nachweisen konnte, birgt weitere, noch unerschlossene Einsparpotenziale, eröffnet neue Wege in der Verbindungstechnik sowie der architektonischen Gestaltung.



## VERSCHMELZUNG VON BAUINGENIEURWESEN UND ARCHITEKTUR

Das ILEK vereinigt – und das ist einzigartig in Deutschland – in Forschung und Lehre Architektur, Bauingenieurwesen sowie die Materialwissenschaft. Diese Interdisziplinarität ist der Treibsatz für textilbasierte Bauinnovationen.

Werner Sobek, der zweimal anlässlich der Deutschlandreisen von Papst Benedikt XVI. eine textile Altarinsel entwarf und dessen gleichnamige Firmengruppe die Tragwerks- und Fassadenplanung von Großprojekten wie dem Bangkokker Flughafen oder auch die Überdachung für das Hamburger Tennistadion Rothenbaum verantwortete, steht welt-

weit für Engineering, Design und Nachhaltigkeit. „Vom einzelnen Detail bis zur gesamten Struktur geht es um die Optimierung von Form und Konstruktion hinsichtlich Material- und Energieaufwand, Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit, Rezyklierbarkeit und Umweltverträglichkeit.“ Hierfür unerlässlich sei die Einbettung in ein internationales Netzwerk aus Forschungs- und Lehreinrichtungen wie auch die enge Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Partnern aus Wirtschaft und Industrie.

Experten wie Architekt Sobek bescheinigen dem textilen Bauen eine große Zukunft. Die Weltbevölkerung wächst rapide, die Verstädterung wird zunehmen. Neben der grundlegenden Forderung nach Energieeffizienz und Nachhaltigkeit werden die Adaptivität (Anpassbarkeit) von Wohnraum an die Bedürfnisse der Bewohner als auch das intelligente Gebäudeverhalten auch gegenüber klimatischen Einflüssen eine wichtige Rolle spielen. Der Membran-Architektur fällt damit eine Schlüsselrolle zu: nicht nur in Form von schützenden Dächern, sondern auch als „intelligente“, sich anpassende Fassaden.

[www.uni-stuttgart.de/ilek/](http://www.uni-stuttgart.de/ilek/)  
[www.wernersobek.de](http://www.wernersobek.de)



# IM INTERVIEW

## Mehr Bionik, mehr Leichtbau

» Im Gegenwärtigen finden sich immer schon die Pfeiler des Zukünftigen. Beim promovierten Bauingenieur, Institutsleiter und Firmengründer Jan Knippers sind das luftig-ästhetische Leichtbaukonstruktionen zumeist in Textil. Repräsentative Membranbauten mit futuristischem Anspruch, die die Grenzen des neulich erst Machbaren weit überschreiten. Fragen an den Stuttgarter Universitätsprofessor und Unternehmer, der für seine Architektur mit faserbasierten Werkstoffen vor allem auf die Bionikkomponente setzt und dafür die Konstruktionsprinzipien der Natur erschließt.

### Ist Deutschland beim textilen Leichtbau aus Ihrer Sicht Vorreiter?

Bei dieser Art des Bauens sind wir rund um die Stichworte Membranbau und Textilbeton – beides hoch spezifische Bautechniken – weltweit vorn. Nicht nur bei Weltausstellungen, Olympia und Fußballweltmeisterschaften werden für die textilen Hallen- und Stadionsdächer sehr häufig deutsche Planer und Hersteller beauftragt. Besonders im asiatischen und amerikanischen Raum wird damit die Erwartung verbunden, sich eine noch nie dagewesene Architektur ins Land zu holen. Entsprechend einfacher werden im Vergleich behördliche Genehmigungen erteilt und Zulassungsfragen sowie Sicherheitsstandards definiert.

### Welche Rolle spielt das Ingenieurbüro Knippers Helbig dabei?

Unser multinationales und interdisziplinäres Team hat in den zurückliegenden zehn Jahren mit rund 60 Projekten bekannte Bauformen auf Grundlage neuester Material- und Fertigungstechnologien weiterentwickelt. Bei innovativen Konstruktionslösungen bei-

spielsweise für Flughäfen, Bürogebäude, Einkaufszentren oder Kunstwerke, öffentliche Einrichtungen und Wohnhäuser greifen wir auf Faserverbundwerkstoffe und ultrahochfeste Betone, aber auch auf traditionelles Holz und Glas zurück. Unsere drei Standbeine sind Entwurf, Praxis und Forschung – Letzteres in Rückkopplung zu dem von mir geleiteten Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (itke). Uns geht es darum, im Einvernehmen mit den Bauherren die Grenzen von Architektur, Tragwerk und Fassade gänzlich neu zu definieren.

### Letzteres führt direkt zu einem Ihrer Lieblingsthemen – der Bionik ...

... eigentlich ein uraltes Thema. Solange die Menschen bauen, sind sie bestrebt, von der Natur zu lernen. Der Membran- bzw. Faserverbundbau kann direkt an Vorbilder der Natur anknüpfen, da auf beiden Seiten Fasern im Mittelpunkt stehen. Nur ein Beispiel: Pflanzen haben eine Vielzahl beweglicher Funktionen zum Öffnen und Schließen von Blüten oder zum Ausrichten von Blättern entwickelt. Sie verwenden sehr robuste kinematische Prinzipien, die auf der elastischen Nachgiebigkeit ihrer Bauteile beruhen. Solche Ansätze können stör- und wartungsanfällige Gelenke in technischen Konstruktionen ersetzen. Wir untersuchen Geometrie und Schichtaufbau der biologischen Systeme. Sie werden mit Blick auf die gewünschten Eigenschaften in computergestützte Fertigungsprozesse „übersetzt“. Dabei stehen filigrane, oft freigeformte Tragwerke aus neuen Materialien und teilweise beweglichen Bauteilen im Mittelpunkt.

### Daraus haben sich welche Projekte ergeben?

Das wohl augenfälligste war die bioinspirierte kinematische Fassade für den Themenpavillon „One Ocean“

# TEXTILE WEITEN







Die imposante Konstruktion des Architekturbüros SBA International mit einer Fläche von 65.000 Quadratmetern und einer Spannweite von 100 Metern wird von 19 Innen- und Außenmasten sowie sechs trichterförmigen Stabnetzschalen aus Stahl und Glas in einer Höhe von 45 Metern gehalten



# Pressechefinnen im Zitat

## Unsere Textilforscher sind besonders bauaffin, weil ...

... bei uns am ITM seit mehr als 20 Jahren rund um den Textilbeton intensiv und industrienah geforscht wird. Grundlegende Forschungserkenntnisse aus dem Dresdner Sonderforschungsbereich 528 sowie vom Deutschen Zentrum Textilbeton und des TUDALIT-Verbandes gleich nebenan tragen dazu bei, dass die Bauindustrie zunehmend durch textile Bewehrungen aus Glas und Carbon revolutioniert wird. **Annett Dörfel**, Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) an der TU Dresden

... wir seit vielen Jahren ein anerkannter Ideengeber und Entwicklungspartner für Bau und Architektur sind. Die Entwicklungen zusammen mit Architekten und Bauexperten haben vielfach bionische Ansätze und können auf das gesamte technologische Know-how des ITV von der Faser- über die Flächenherstellung und Funktionalisierung bis hin zur Konfektionierung des Endprodukts zurückgreifen. **Anke Fellmann**, Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV), Denkendorf

... wir einen wesentlichen Anteil an der Entwicklung des Textilbetons haben. Bereits 2009 trug unser Industrietechnikum die damals weltgrößte Fassade aus Textilbeton. Mit dem Einsatz von Elementen aus diesem Material wird eine Betoneinsparung von bis zu 80% gegenüber herkömmlicher Stahlbetonbauweise möglich. Seit 2012 setzen wir neue Maßstäbe mit unserer Lichtbetonfassade am Center of High Performance Fiber Materials. **Viola Siegl**, Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University

... das STFI klein- und mittelständischen Unternehmen als ein zuverlässiger Partner für textile Innovationen im Bauwesen zur Seite steht. In unserem Haus wurde die erste gewirkte Lösung für erdbebensicheres Bauen entwickelt. Neuere Forschungen widmen sich sensorikbasierten Funktionssystemen zur Bauwerküberwachung, wozu Projekte zur Tragwerkklammer und zum Feuchtemonitoring gehören. **Kareen Reißmann**, Sächsisches Textilforschungsinstitut e. V. (STFI), Chemnitz









## Prof. Dr. Jan Knippers



### Prof. Dr. Jan Knippers

gehört weltweit zu den bekanntesten Persönlichkeiten, die das textile Bauen umfassend vorantreiben. Knippers (geb. 1962 in Düsseldorf), der seit dem Jahr 2000 Leiter des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen an der Universität Stuttgart (itke) ist, betreibt seit 2001 mit Thorsten Helbig (geb. in Nordhausen) als Firmenpartner das Ingenieurbüro Knippers Helbig GmbH (Stuttgart, seit 2010 auch New York). Besondere Projekte waren für die EXPO 2010 in Shanghai das 1.000 x 100 Meter große Textildach der Eingangssache, in Friedberg/Hessen Europas erste Straßenbrücke aus Stahl und glasfaserverstärktem Kunststoff und für den chinesischen Flughafen von Shenzhen u. a. eine Wabenfassade, die aus 60.000 Elementen besteht.

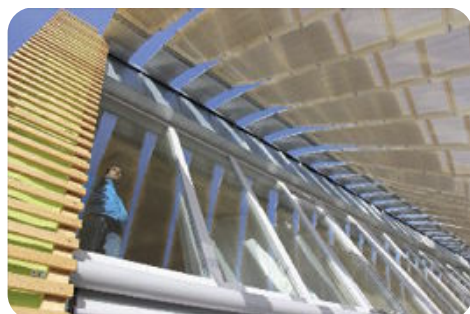
[www.itke.uni-stuttgart.de](http://www.itke.uni-stuttgart.de)

[www.knippershelbig.com](http://www.knippershelbig.com)

auf der EXPO 2012 in Südkorea, die von dem Architekturbüro Soma architektonisch konzipiert und von uns konstruktiv entwickelt wurde. Dem Haupteingang zugewandt, erstreckte sich auf einer Länge von 140 Metern eine kiemenartige Fassade, bestehend aus 108 zwischen drei und 13 Meter hohe GFK-Lamellen. Stellantriebe an der Ober- und Unterseite jeder Lamelle sorgten für die elastische Biegeverformung der mit LED bestückten Streifen-Fassade. Der Effekt: Das walfischartige Gebäude öffnet sich – und scheint zu atmen.

### Textilmembranen sind nach Holz, Stahl, Glas und Beton der fünfte Baustoff. Wie wird sich der Membranbau entwickeln?

Wie gerade angedeutet, sind wir jetzt an dem Punkt, an dem die textilen Hüllen in puncto Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit immer weiter optimiert werden, sodass sie künftig als aktive Gebäudehülle und nicht nur wie derzeit als passive Verschattung oder Regenschutz eingesetzt werden können. Das betrifft die Wärmedämmung ebenso wie die Integration zusätzlicher Funktionsschichten oder Energie erzeugender bzw. Licht emittierender Komponenten in Textilien. Membranen mit besonderer Schallabsorption oder -transmission sind ebenso Gegenstand der Forschung wie das Aufbringen zusätzlicher Funktionsschichten wie einer Low-E- oder einer Beschichtung zur Verbesserung etwa des Anschmutzverhaltens. Auch kann der Lichteintrag durch schaltbare Materialschichten bzw. durch verfahr- und bewegbare Strukturen gesteuert werden. Die Zeit, wo großflächige Verschattungen über Stadien zugleich auch Energie liefern oder weitere zusätzliche Funktionen erfüllen, wie zum Beispiel die aktive Steuerung der Beleuchtung, ist also nicht mehr weit.



### Spätestens hier kommt die Textilforschung ins Spiel ...

... genau. Wir haben in jüngster Vergangenheit die Kompetenz im benachbarten ITV Denkendorf mehrfach genutzt, zum Beispiel um gemeinsam mit der Industrie eine Technologie zur Integration von faseroptischen Sensoren in stranggezogene GFK-Profile zu entwickeln. Im Ergebnis können Profile und Paneele mit in glasfaserverstärktem Kunststoff integrierten optischen Fasern hergestellt werden, die permanent den Spannungs- und Dehnungs-zustand der Bauteile messen und überwachen.

### Was ist die besondere Herausforderung für Ihre Studierenden?

Für junge Architekten und Ingenieure ist die größte Herausforderung, die Grenzen des technisch und wirtschaftlich Möglichen zu kennen, sich davon in seiner Kreativität aber nicht ausbremsen zu lassen. Das textile Bauen ist dabei wegen seines Innovationspotenzials ein lohnendes Betätigungsfeld.

### Eine letzte Frage nach Ihrer beruflichen Devise ...

... Netzwerke bilden. Nur so geht es weiter.

# CARBONFASERN

## Adaptive Bauweisen für Carbonfasern

Carbonfasern sind viel teurer als Glasfasern. Sie kommen daher im Bauwesen derzeit nur sporadisch vor – als CFK-Lamellen, Gelege zur Betonbewehrung, in Seilen oder Membranen. „Bauteile aus Carbonfaser haben große Vorteile. Sie rosten nicht und sind leichter als Aluminium und Stahl – sind aber leider häufig noch nicht wirtschaftlich“, bringt es Professor Dr.-Ing. Klaus Drechsler, TU München, auf den Punkt. Der Leiter des SGL-Stiftungs-Lehrstuhls für Carbon Composites LCC forscht mit seinem Team u. a. auf den Themenfeldern Flecht-

auch Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe für Funktionsintegrierten Leichtbau in Augsburg ist.

Bei der AFP-Fertigungstechnologie legt ein Roboter faserverstärkte Kunststoffbänder entlang eines vorgegebenen Pfads auf der dreidimensionalen Oberfläche des Positiv- oder Negativwerkzeugs. Die Anordnung in Faserlängsrichtung orientiert sich an den jeweiligen Lastpfaden im Bauteil; die Bauweise passt sich also flexibel seiner individuellen Struktur an. Dies vermeidet Verschnitt, das Potenzial des Leichtbaus wird voll ausgeschöpft: Denn an die



technik, automatisierte Legetechniken (Fiber Placement) sowie konfektionierte Halbzeuge, mit der Zielsetzung, die serielle Herstellung von Faserverbundbauteilen zu optimieren und kostengünstiger zu gestalten.

Für Bau-Großkomponenten eignen sich die Flechttechnik sowie das Automated Fiber Placement (AFP), ein vollautomatisierter Fertigungsprozess für Composites. Beim Flechten werden die Fasern derart um einen leichten Kern gewickelt, dass die Faseranordnung das Bauteil gezielt stabilisiert. „Damit ist eine optimale Verstärkung des gesamten Werkstücks ohne Verschnitt möglich“, so Drechsler, der

richtige Stelle gesetzt halten die Carbonfasern bei minimalem Gewicht größtmöglichen Belastungen stand. „Klimaschutz und Energieeffizienz werden carbonfaserverstärkte Kunststoffe noch interessanter machen“, betont Luft- und Raumfahrt-Experte Drechsler. „Die Carbonfaser-Produktion wird noch stark steigen.“ Die Automatisierung der Composites-Herstellung werde ein Übriges tun, dass „Schwarzes Gold“ im Preis fällt. Der Spitzencluster MAI-Carbon – der LCC ist Gründungsmitglied – hat sich zum Ziel gesetzt, die Werkstoffkosten um 50 Prozent, die Prozesskosten gar um 90 Prozent zu senken.

[www.lcc.mw.tum.de](http://www.lcc.mw.tum.de)

# TEXTILDÄCHER



## Kühn bis großartig: Visionen in Textil

» Mit Hightech-Materialien werden seit wenigen Jahrzehnten Visionen der Architekten Wirklichkeit: in Berlin das zeltartige Dach des Sony Centers, fast „nebenan“ die einst für den Cargo Lifter gebaute Riesenhalle (heute: Tropical Islands) oder, um ein drittes Beispiel zu nennen, das Sieben-Sterne-Hotel Burj al Arab in Dubai mit einem 140 Meter hohen Klimasegel vor der Fassade. Dabei sind textile Dächer und Abschattungen wahrlich nichts Neues. Schon der Urmensch konnte wirken und weben und baute beispielsweise Nomadenzelte. Tausende Jahre später verblüfften die Bauherren des Kolosseums mit einer bis dato noch nicht da gewesenen Neuheit: Stand die Sonne bei „Brot und Spielen“ senkrecht, wurden große Teile der Arena mit Planen abgeschattet. Heutige Membranen an Sportarenen, Airports oder Messen signalisieren der Welt Fortschritt, Kühnheit und Reichtum. Sie sind Monumente der Superlative – in ihrer Dimensionierung, ihrer ästhetischen Anmutung und Funktionalität.

„Modern gestaltete, überdachte Stadien sorgen nicht nur für den Komfort der Zuschauer. Sie bieten Betreibern, Veranstaltern und Sportlern für ihre Zwecke beste Bedingungen. Dies betrifft den Witterungsschutz wie auch die Lichtverhältnisse im Inneren“, konstatiert Prof. Dr. Jan Cremers, Director Technology der Hightex GmbH, Bernau am Chiemsee. Es geht ebenso um die Wachstumsbedingungen für den Rasen, eine Reduktion des Aggressionspotenzials und natürlich um optimale Fernsehbilder – daher die Forderung nach Stützenfreiheit und gleichmäßiger Ausleuchtung. „Für die erforderlichen großen Spannweiten haben sich zugbeanspruchte Flächen-tragwerke mit sehr leichten, biegeweichen und transluzenten Membranwerkstoffen, beschichtet z. B. mit PTFE, besser bekannt unter dem Handelsnamen Teflon, durchgesetzt“, so der Technologiechef. Hightex als weltweit führender Systemanbieter für die Konzeption, Fertigung und Installation großflächiger Membrandächer und -fassaden hat an bekannten Großprojekten mitgewirkt. Was jeweils



Hunderte Millionen TV-Zuschauern nicht verborgen bleibt, beflügelt die Architekten zu immer mutigeren Konstruktionen. Hightex hat die Dächer des Olympiastadions in Kiew, Austragungsort des EURO 2012-Finales, des Centre Courts in Wimbledon und des Johannesburger Soccer City Stadium für die Fußballweltmeisterschaft 2010 ausgerüstet. Jetzt richten sich angesichts der Fußball-WM alle Blicke nach Brasilien. Und auch hier hinterlässt das bayerische Unternehmen mit den Überdachungen des Maracanã-Stadions in Rio de Janeiro sowie des

verhindert, dass der von der Sonne aufgeheizte Planenstoff die Wärme in den darunter liegenden Raum abgibt“, so Bernd Seybold, Geschäftsführer der Herstellerfirma H. Seybold GmbH & Co. KG aus Düren. Eine Klimatisierung sei somit nicht mehr oder nur eingeschränkt erforderlich. Die Low-E-Beschichtung an der Innenseite der Dachplanen wirke dagegen wie ein Infrarotspiegel: Die Wärme bzw. Kühle des Raumes wird dort reflektiert und kann nicht entweichen. Low-E – den Effekt hat Seybold sich patentieren lassen – verbindet so ein ange-



Beira-Rio-Stadions in Porto Alegre die denkbar besten Visitenkarten.

Ein Prestigeobjekt, an dessen Überdachung neben Hightex die Werner Sobek GmbH (siehe Seite 18) federführend beteiligt war, ist das Flughafenterminal in Bangkok: Es besitzt ein 561 x 210 Meter großes Lamellendach, das auf nur 16 Stützen in einer Höhe von ca. 40 Meter über der vollkommen verglasten Abfertigungshalle schwebt. Von dort aus erreichen die Passagiere über tunnelartige, flache Röhren – diese sind 42 Meter breit und haben eine Gesamtlänge von 3.100 Metern – ihre Maschinen. Die dreilagige Membran mit einer Fläche von jeweils 108.000 Quadratmetern pro Folie erfüllt alle Anforderungen bezüglich Lichteinfall, Akustik, Nachhaltigkeit und Energieeffizienz. Für Letztere sorgt eine Lage aus innovativem Low-E-Material (Low Emissivity = niedriges Emissionsvermögen).

„Die Low-E-Beschichtung beeinflusst sowohl sichtbare Strahlung wie diejenige der Sonne als auch unsichtbare Strahlung, zum Beispiel Wärme. Sie

nehmes Raumklima mit signifikanter Energieersparnis bzw. CO<sub>2</sub>-Reduktion.

Zurück nach Bernau am Chiemsee. Hightex erhielt auch den Zuschlag für das weltweit erste verfahrbare Membran-Kissendach für die BC Place-Arena in Vancouver/Kanada. Während sich die zweilagige Membrankonstruktion mithilfe der Verfahrmechanik aufaltet, wird sie durch Druckluft zu formstabilen Kissen aufgeblasen. Das PTFE-beschichtete Gewebe schützt so vor Wind und Schnee und bietet auch einen gewissen Wärmeschutz. Zum Öffnen des Daches saugen Gebläse die Druckluft aus den Kissen heraus. Die entlüftete Membran wird dann am Seiltragwerk motorisch nach innen gezogen. Das Öffnen bzw. Schließen des über 7.500 Quadratmeter großen Daches benötigt lediglich 20 Minuten. Es erlaubt eine ganzjährige, wetterunabhängige Nutzung des Stadions und ist in dieser Art und Dimension weltweit einzigartig.

[www.hightexworld.com](http://www.hightexworld.com)

[www.seybold-dueren.de](http://www.seybold-dueren.de)

# FORSCHUNG AKTUELL

## Heizen, stärken, formen

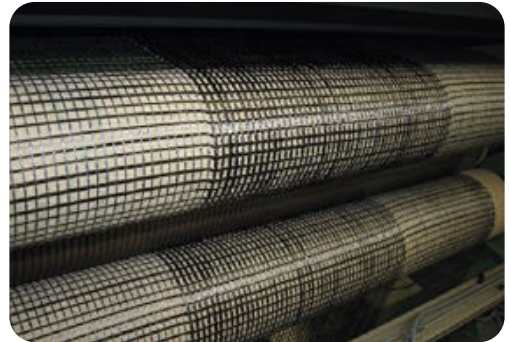
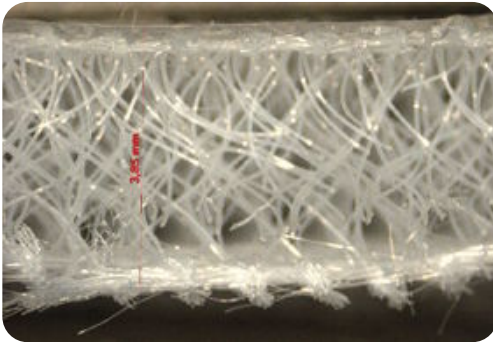
Intensive Forschung bildet auch im Bereich der technischen Textilien die stabile Grundlage für innovative Verfahren und Produkte. Deren aktueller und künftiger Einsatz im Baubereich profitiert von der fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen, wie die folgenden Beispiele zeigen.

### TEXTIL HEIZT

Im Winter halten dicke Jacken und kuschelige Decken warm. Künftig könnten aktive Wärmebringer auf Faserbasis jenseits von Bekleidungs- und Heimtextilien zur Klimatisierung von Räumen eingesetzt werden. Diesen Ansatz haben Forscher des Textil-

igte Textil geleitet. Doch Wasser ist flüchtig. „Eine der größten Herausforderungen bestand darin, die Mediendichtheit der 3D-Textilien zu gewährleisten, damit kein Wasser austritt“, erinnert sich TITV-Projektleiter Dr. Hartmut Vorwieger. Damit das Wasser nur dort entlang fließt, wo es soll, musste die Textiloberfläche zunächst so optimiert werden, dass thermoplastische Polymer-Folien zum Abdichten aufgetragen werden konnten. Vorteil der textilen Wärmetauscher gegenüber aktuellen Lösungen: günstigere Materialkosten und eine bessere Nutzung von Erdwärme aufgrund niedriger Vorlaufemperaturen. Laut Vorwieger seien die Forschungen mit Blick auf Gebäude und selbst Fahrzeuge interessant.

[www.titv-greiz.de](http://www.titv-greiz.de)



forschungsinstituts Thüringen-Vogtland e. V. (TITV) im Rahmen eines BMWi-Förderprojekts verfolgt. Mit drei Partnern haben die Greizer spezielle Textilien auf Basis dreidimensionaler Abstandsgewirke entwickelt, die als großflächige Heiz- oder Kühlelemente zur Raumklimatisierung eingesetzt werden können. Dabei wird Wasser als Heizmedium durch das an Wand oder Raumteiler großflächig befest-

### TEXTIL STÄRKT

Ein Verstärkungsgewirke für technische Anwendungen besteht in der Regel aus mehreren, übereinandergeschichteten Lagen Polyester-, Glas- oder Carbon-Filamentgarnen, die mithilfe eines Maschenfadensystems miteinander verbunden sind. Eine solche Struktur eignet sich als textiler Festigkeitsträger für Membranen, die etwa zur Überda-

chung von Stadien zum Einsatz kommen. Ein solches Dach muss vielfältigen Belastungen, insbesondere Zuglasten standhalten und Wind und Wetter stabil trotzen, ohne zu reißen. Das Problem: Eine Hunderte Quadratmeter große Membran unterliegt unterschiedlichen Zugkräften – in den mit Tragseilen befestigten Kräfteinleitungsbereichen wird das Material mehr beansprucht als beispielsweise innerhalb der Fläche. Um das Trägergewirke bereits während der Herstellung für solche punktuellen Beanspruchungen lokal verfestigen zu können, lief am Dresdner ITM bis 2013 ein zweijähriges IGF-Förderprojekt. Ziel war es unter anderem, an einer Multiaxial-Kettenwirkmaschine zusätzliche Fäden in die textile Grundstruktur genau dort einzubringen, wo beim späteren Stadionsdach die Zuglasten besonders groß sind. „Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich lokal unterschiedliche Eigenschaften in der Textilstruktur erreichen lassen – das eröffnet neue Möglichkeiten bei der Struktur- und Formgestaltung komplexer Bauwerke“, sagt Projektleiterin Dr. Evelin Hufnagl. Mit der innovativen Technologie sei speziell im Bereich des textilen Bauens die Entwicklung aufwändigerer Membranstrukturen mit einflussbezogenem Eigenschaftsprofil möglich, was Membran- und Textilherstellern sowie Ingenieurbüros neue Produkt- und Anwendungsfelder eröffne. <http://tu-dresden.de/mw/itm>

## TEXTIL FORMT

Schalenbauten aus Beton sind schön anzusehen, weil sich mit ihnen gebogene Strukturen zum Beispiel für Überdachungen realisieren lassen. Doch sie sind auch aufwändig und teuer: So wurden Schalenbauten ab den 1920er-Jahren bis in die 70er dadurch gefertigt, dass Stahlbewehrungen in speziell angefertigten, gekrümmten Holzschalen ausgelegt und darüber große Mengen Beton gegossen wurden. Ein halbes Jahrhundert später befasst sich das Institut für Membran und Schalentechologien IMS e. V. der Hochschule Anhalt auf Hightech-Niveau mit



dem Thema Schalenbau. Ein Projekt des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) verwirklichte jetzt mit Unternehmen ein Verfahren zur Versteifung vorgespannter textiler Konstruktionen zu einer Membranschale. „Wir wollen den Schalenbau wieder aufleben lassen“, so Prof. Robert Off, Architekt und Projektleiter, der mit seinen Kollegen zwei Ansätze verfolgte: Neben einer so genannten verlorenen Schalung aus Textil, die – ähnlich den gekrümmten Holzschalen – dem eingegossenen Beton seine spätere Form verleiht, stand vor allem die Entwicklung einer Verbundstruktur aus Beton und Membran im Mittelpunkt. Diese Hybridstruktur vereint die Vorteile beider Materialien: Die gute Zugfähigkeit und geringe Dicke der textilen Membranhaut mit der Robustheit des Betons, der zudem Druckkräfte zuverlässig abfedert und „in den sich auch mal ein Loch bohren und ein Dübel stecken lassen“, so Off. Mit dem patentierten Herstellungsverfahren aus Dessau lässt sich nicht nur Beton sparen: Es ermöglicht auch gegenläufige Krümmungsrichtungen und somit eine freiere und flexiblere Gestaltung der Textilbetonschalen. Für Simulationszwecke soll es in eine spezielle Software übertragen werden, um künftig – neben dem aktuellen Prototypen mit einer Überspannung von etwa sechs Metern – größere Schalenbauten errichten zu können.

[www.ims-institute.org](http://www.ims-institute.org)

# EXPERTENNACHWUCHS

## Drei Stühle – eine Meinung

» Als in den 80ern die Grundlagenforschung zum textilbasierten Bauen begann, spielten sie noch mit der Schaufel im Sandkasten oder waren noch gar nicht geboren. Die Rede ist von jungen Studenten, die derzeit an Universitäten und in Unternehmen mit ihren Arbeiten die Geschichte der Fasern am Bau fortschreiben. Drei von ihnen formulieren ihre Sichtweisen und Erwartungen „an den Bau“. Ausführlich äußert sich Ingenieur Friedrich Gülzow, 33, der derzeit seinen Master in „Energieeffizienzdesign“ an der Hochschule Augsburg macht und sich im Rahmen seiner Masterarbeit mit der Interaktion zwischen Bekleidung und Fassade befasst.



Friedrich Gülzow

### Was fällt Ihnen auf, wenn Sie durch deutsche Städte laufen?

Ganz ehrlich? Mich wühlt es auf, wenn ich an kilometerlangen Häuserreihen vorbeilaufe, die regelrecht architekturfrei vor sich dahinvegetieren. Ich weiß, das klingt hart, aber das ist alles geistlose Gebrauchsarchitektur.

### Sie sprechen von Gebrauchsarchitektur – was meinen Sie damit?

Im Grunde bauen wir überwiegend zweckmäßig

und funktional. Diese Architektur hat bestenfalls eine Schutzfunktion, zeugt aber nicht von den aktuellen Möglichkeiten. Durch neue Materialien auch auf Basis technischer Textilien lassen sich neue Formen gestalten, die Herz und Geist der Nutzer ansprechen. Leider sieht man davon noch viel zu wenig im deutschen Städtebild.

### Also wird Ihrer Meinung nach zu wenig auf innovative Bauweisen gesetzt?

Ja, Zweckmäßigkeit und Bewahren dominieren. Für Innovationen gibt es kaum Vertrauensvorschuss, weil sie nach standardisierten Berechnungsmodellen einfach zu teuer und damit zu risikoreich sind. Das ist zu kurz gedacht: Architektur ist ja immer auch ein Produkt des kulturellen Bewusstseins und der erschließbaren Ressourcen – und da frage ich mich natürlich, ob der volkswirtschaftliche Schaden heutiger Entscheidungen überhaupt einkalkuliert wird. Zu viele Materialien, denken Sie an Beton und Styropor, werden in rauen Mengen energieintensiv produziert und sind nach Erfüllung ihrer Aufgaben nicht weiterverwendbar – das ist Müll auf Vorrat.

### Dennoch wird Deutschland für seine Innovationsfreudigkeit gelobt ...

... das trifft auch für viele Bereiche zu. Doch die Bauindustrie ist weiterhin stark im Gestern verhaftet, da dominieren geistlose Klötze aus herkömmlichen Materialien – und die Innovationsimpulse in dem Bereich kommen aus dem Ausland. Im Baubereich ist zudem alles so stark genormt und geregelt, dass Innovationen kaum Luft zum Atmen haben. Dabei sind es doch gerade das visionäre Denken und der innovative Geist, die uns ausmachen. Nehmen Sie die Energiewende: Da könnten



wir auch am Bau neue Maßstäbe definieren – warum sollte ein Gebäude nicht mehr Energie produzieren, als es verbraucht? Stattdessen Klein-Klein. Hier könnten wir Verantwortung übernehmen für die Umwelt und uns an dem messen, was möglich ist, und nicht an dem, was schon gemacht wird. Und wenn das schon nicht geht: Warum sind wir in den Bereichen Energieverbrauch, Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung so nachlässig und überall sonst so korrekt? Weiten wir unsere strengen Kontrollstandards doch auf diese Bereiche aus, ohne die vielen Ausnahmen und Sonderregeln – das wäre wenigstens konsequent.

## VORBILDCHARAKTER

Ich befasse mich vor allem unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit mit dem Thema Bauen. Das scheint auf den ersten Blick vielleicht etwas abgehoben, aber das Gegenteil ist der Fall: Das Bewusstsein für ökologische Produktionsprozesse, ressourcenschonenden Materialeinsatz und künftige Generationen spielt ja merklich eine Rolle in der Gesellschaft. Mit der Erforschung der Hightech-Textilien für den Einsatz im Baubereich lässt sich das Thema Nachhaltigkeit durch Energie- und Materialeinsparung auf neuartige Weise umsetzen. Aber auch die Ästhetik spielt eine wichtige Rolle. Mit Textilbeton etwa lassen sich völlig neue, organische Formen schaffen, losgelöst von starren und linearen Konstruktionen.



**Josephine Riedrich, 24,** studiert „Nachhaltigkeit in gesamtwirtschaftlichen Kreisläufen“ an der Hochschule Mittweida und arbeitet bei der Ginkgo Projektentwicklung GmbH, die Schalenkonstruktionen aus Textilbeton herstellt. Thema ihrer Bachelorarbeit: „Innovation Textilbeton. Nachhaltigkeitskonzept und Zukunftsfähigkeit des textilbewehrten Betons“

Für mich stehen diese soziokulturellen und ökologischen Aspekte in einem unlöslichen Zusammenhang. Ich denke, das sollte bei öffentlichen Bauten verstärkt eine Rolle spielen – das hätte Vorbildcharakter und die Öffentlichkeit würde erkennen, welches Potenzial im textilen Bauen steckt.



**Sergej Rempel, 29,** Bauingenieur, arbeitete als Tragwerksplaner in einem Ingenieurbüro und wechselte 2012 ans Institut für Massivbau (IMB) an der RWTH Aachen, wo er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an textilbewehrtem Beton forscht. Thema seiner Diplomarbeit: „Untersuchungen zu hinterlüfteten Fassadensystemen aus textilbewehrtem Beton“

## „STRICKBETON“

Mich fasziniert vor allem der technische Aspekt bei Textilbeton: Er ist unglaublich filigran, flexibel und besitzt zugleich eine hohe Tragfähigkeit. Er ermöglicht architektonisch anspruchsvolle und hochwertige Sichtoberflächen, die sehr resistent sind gegen mechanische und chemische Angriffe – Stichwort „High Quality Surface“. Auch die Festigkeit ist ziemlich beeindruckend: Beispielsweise lassen sich an ein Garn aus Carbonfasern mit einer Querschnittsfläche von fünf Quadratmillimetern etwa 1,5 Tonnen hängen – ein Bewehrungsstab aus Stahl käme bei der gleichen Fläche gerade mal auf 250 kg. Oder werfen wir einen Blick auf das Gewicht: Eine typische Stahl-Bewehrungsmatte wiegt um die 85 kg. Würde diese aus Carbon hergestellt, würde sie nur 3,4 kg wiegen. Manchmal reichen schon ein paar Zahlen, um zu zeigen, dass Textilbeton ein Hochleistungswerkstoff ist – und kein Strickbeton, wie manche meiner Kollegen ihn im Scherz nennen.

Sachsen und Bayern haben alles, was technotextiles Bauen braucht: Im Süden sind Maschinenbauer, Zulieferer und Anwender stark, Sachsen glänzt als Forschungsregion: Die Unis Chemnitz, Dresden und Leipzig liefern Know-how-Vorlauf für kleinere Textilfirmen und innovative Bauunternehmen. Und Karl Mayer (siehe Seite 43) stellt als Weltmarktführer bei Kettenwirk- und Raschelmashinen in Chemnitz modernste Produktionsanlagen für technische Textilien her.

## Zwischen Riesa und Rosenheim

» Kein Zufall also, dass das BMBF mit 45 Mio. Euro ein Großforschungsvorhaben der TU Dresden fördert, um Stahlbewehrungen am Bau durch Carbon zu ersetzen. Oder dass der TUDALIT-Verband von Dresden aus unermüdlich für „seinen“ Baustoff Textilbeton kämpft. Bis der allgemein anwendbar ist, wird das STFI weiter Teilprojekte vorantreiben, etwa „Sensorik für Steuer- und Regeltechnik zur Bauwerksüberwachung, Minderung der Heizkosten oder Fassadenbeschattung entwickeln“, wie Dr. Heike Illing-Günther, Forschungsleiterin des An-Instituts der TU Chemnitz erläutert. Als Beispiel führt sie eine sensorintegrierte Textilarmierung in Kohlenstoffaserverbundlamellen an. Die mit einem Stickverfahren eingebrachte Sensorik wird auf bis zu 20 Metern Länge auf Beton- oder Holztragwerke laminiert. Dort erfasst sie alterungs- und lastbedingte Durchbiegungen, ermöglicht zuverlässige Aussagen zu Stabilitätsverlusten und warnt sogar vor einem Kollaps. Allerneuestes Forschungshigh-

light der Chemnitzer sind Sensortextilien zum dauerhaften Feuchtemonitoring in Holz- und Betonbauten. [www.stfi.de](http://www.stfi.de)

» Auch von der Baubranche selbst werden die Impulse der Textilforscher aufgegriffen. Zu den engagiertesten Nutzern zählt die Hentschke Bau GmbH in Bautzen. Jüngstes Beispiel einer ganzen Reihe von ihr realisierter Referenzanwendungen: das 61 Meter hohe Poseidon-Haus in Frankfurt/Main. Gemeinsam mit dem Chemnitzer Faserverbund-Spezialisten Fiber Tech Construction trat Hentschke an, im Rahmen einer energetischen Sanierung bis Sommer 2013 die vormalige Aluminiumfassade auf 14.000 m<sup>2</sup> Fläche durch 12.000 selbst produzierte, porenfreie Betonelemente in 265 verschiedenen Varianten zu ersetzen. Dem Nachhaltigkeitsanspruch des Bauherren konnten die Bautzener durch Glasfaserbeton gerecht werden: Damit ließen sich extrem filigrane Strukturen von 13 mm Betonstärke realisieren. Die



Kurzfasern aus alkaliresistentem Glas minderten zudem Schwindeffekte und verhinderten Risse im jungen Beton. Trotz der enormen technischen und logistischen Herausforderungen erfolgte die Übergabe termingetreu. [www.hentschke-bau.de](http://www.hentschke-bau.de)

## FASERFortschritt BLAU-WEISS

» Auch zwischen Iller, Main und Inn stehe der bauteile Fortschritt „ganz oben auf der Agenda“, erklärt Klaus Lindner. Zu den Schwergewichten in seinem Freistaat zählt der Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Bayerischen Textil- und Bekleidungsindustrie die im Membranbau international führende Hightex GmbH. Deren leichte, hoch flexible textile Membranen aus beschichtetem Polyester- oder Glasfasergewebe sind in aller Welt im Stadionbau gefragt. Schmutzabweisend, schwer entflammbar und langlebig bewähren sie sich auch bei neuen Bahnhöfen oder Airports. [www.hightexworld.com](http://www.hightexworld.com)

» Ein weiterer Technotex-Pionier: die Sandler AG aus dem Landkreis Hof. Die aus Polyester gefertigten Produkte des Vliesstoff-Spezialisten sind erste Wahl für Wärmeschutz und Schallsolation. Alterungsbeständig und immun gegen Temperaturschwankungen, dämmen sie selbst bei hoher Luftfeuchtigkeit zuverlässig an und in neu gebauten oder sanierten Wohn- und Gewerbeimmobilien. Die hohe Flexibilität sichert eine lückenlose Dämmung selbst bei komplexen Geometrien. Zudem zeichnen das Material Recyclingfähigkeit und Wiederverwendbar-

keit aus. Sandler gehört zu den 15 größten Herstellern international. [www.sandler.de](http://www.sandler.de)

» Der erste industrielle Anbieter dreidimensionaler Textilien zur Betonbewehrung weltweit ist die oberfränkische V. Fraas Solutions in Textile GmbH. Ihre korrosionsbeständigen Gitterstrukturen aus AR-Glas bzw. Carbon ermöglichen enorm tragfähige, besonders leichte Betonfertigteile, die zudem Sensorik oder Heizfunktionen aufnehmen können. Fraas-Fassadenelemente sind bei bis zu 1,2 x 2,4 Metern Größe nur 30 mm stark. Ein stahlbewehrtes Vergleichsstück hätte dagegen eine Stärke von 80 mm ...

[www.solutions-in-textile.com](http://www.solutions-in-textile.com)

» Schließlich verweist Klaus Lindner noch auf die Dr. Günther Kast GmbH & Co. KG: Das Unternehmen liefert seit 50 Jahren technische Textilien auch für den Baubereich von Sonthofen aus in alle Welt. Jüngste Errungenschaften sind zwei mit Partnern entwickelte Systeme für den Erdbebenschutz an Gebäuden: Im Innenbereich wird eine Art Glasfasertapete direkt auf den Putz geklebt. Sie hält selbst überdurchschnittlichen Erdbebenbeschleunigungen stand, brennt nicht und ist gesundheitlich unbedenklich. Das Gegenstück für den Außeneinsatz besteht aus einem multiaxialen hybriden Flächengebilde auf Basis alkalibeständiger Glas- sowie Kunststofffasern. Ihre quadraxiale Anordnung wirkt gegen sämtliche Rissrichtungen, verzögert lebensrettend das Einstürzen von Mauerwerk und kann es sogar ganz verhindern. [www.kast.de](http://www.kast.de)

[www.eq-tec.de](http://www.eq-tec.de)



## Von Denkmalpflege bis Wärmedämmung

» Obwohl dieser textile Player erst am Anfang seiner Karriere steht, „arbeitet“ er mit großem Erfolg zumeist im Verborgenen: Die Rede ist vom Textilbeton als mittlerweile etabliertem fünften Baustoff. Er gibt Architekten nicht nur die Freiheit zu neuen Formen, in naher Zukunft dürfte er darüber hinaus auch eine wichtige Rolle bei Instandhaltung und Sanierung übernehmen. Der leichtgewichtige, verschlankte „Bruder“ vom stahlbewehrten Beton ist überaus flexibel in der Anwendung, seine Effizienz wurde in zahlreichen Einsätzen belegt.

Gut 60 Prozent der jährlichen Bauleistungen von rund 150 Mrd. Euro in Deutschland werden mittlerweile aufgewendet, um Bauwerke nach vielen Jahrzehnten der Nutzung instand zu setzen oder zu sanieren. „Bauen im Bestand“ – meint vielfach verstärken: Grund sind Umbauten für erhöhte Belastungen, Änderungen von Gesetzen/Normen und natürlich Korrosionsschäden zum Beispiel an Tragwerken.

An die Stelle der üblichen Stahlbewehrung treten immer häufiger technische Textilien, die als Gelege in einer Matrix aus Feinbeton eingearbeitet sind. Es



besteht aus Multifilamentgarnen, die von Hochleistungstextilmaschinen mit einem Nähfaden verbunden sind und anschließend imprägniert werden. Die Armierung von Beton durch Glas- oder Carbonfasern besitzt große Vorteile. Sie ist um ein Mehrfaches zugfester als Baustahl, alkaliresistent und rostet nicht.

Stahlstäbe brauchen zum Schutz gegenüber Nässe und aggressiven Medien rundherum eine möglichst dicke Betondeckschicht. Glas- und Carbonfasern geben sich dagegen mit einer ein Viertel so starken Deckschicht zufrieden; Textilbeton-Komponenten sind also weit weniger voluminös und schwer. Der verschlankte, hoch belastbare Baustoff ist langlebiger. Die Folge sind geringere Instandhaltungskosten. Die leichteren und dünneren Bauteile sind Material sparend bei der Herstellung, senken damit Transportkosten und CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

## AUFWÄNDIGES VERSTÄRKEN MIT SPRITZBETON

Stand der Sanierungstechnik ist das Aufkleben von CFK-Lamellen auf die „Schwachstelle“ oder gar die zusätzliche Bewehrung im Verbund mit Spritzbeton. Dank Textilbeton lassen sich dagegen biegebeanspruchte Bauteile wie Platten und Unterzüge aus Stahlbeton oder Fertigteilbrücken durch die optimale Anpassung der textilen Bewehrung an die lokalen Zug- und Druckkräfte mit minimaler Schichtdicke reparieren. Gleiches gilt für Masten, Stützen und Schornsteine, die durch ihre gekrümmten Flächen besonders für den Einsatz von Textilien geeignet sind. In der weithin veralteten Abwasserkanalisation ist der Sanierungsbedarf bekanntlich besonders hoch. Röhren aus Textilbeton versprechen einen zusätzlichen Langzeitnutzen.

## BEHUTSAMER DENKMALSCHUTZ

Der innovative Werkstoff Textilbeton kann auch beim Denkmalschutz seine Vorteile voll ausspielen: Hier geht es vorrangig nicht um Verstärkung von

Bauteilen, sondern um die behutsame Reparatur bzw. Wiederherstellung wertvoller Bausubstanz von Kirchen, Denkmälern und historischen Wohnhäusern. Ein Blick nach Aachen, einer Hochburg von Textilbeton, verdeutlicht die Problematik.



Der Aachener Dom wurde 1978 als erstes deutsches Kulturdenkmal in die Weltkulturerbe-Liste der UNESCO aufgenommen. Ein Riss im Gewölbe drohte, das neobyzantinische Deckenmosaik zu zerstören. Die im Rahmen eines Forschungsprojekts des Instituts für Bauforschung der RWTH Aachen University projektierte und ausgeführte Textilbetonbandage mit Carbon-Bewehrung, genannt „DURTEX“ (für dauerhafter, wasserundurchlässiger und rissüberbrückender Textilbeton), wurde in Laminieretechnik lagenweise auf dem Naturstein des Gewölbedaches aufgebracht – mit einem im Dom bereits verwendeten Mörtel. „Damit konnte das wertvolle Mosaik nachhaltig gesichert werden. Wie erhofft, ist die Rissbandage in der Lage, den Riss zu stabilisieren und somit die Rissbewegungen zu minimieren. Eine direkte abdichtende Funktion war bei dieser Pilotanwendung nicht erforderlich, da sich oberhalb der Schutzschicht eine Dacheindeckung befindet“, erklärt Dipl.-Ing. Cynthia Morales Cruz, Mitarbeiterin der Arbeitsgruppe Erhaltung und Instandsetzung am Institut für Bauforschung.



Das im Dom erfolgreiche Konzept setzten die Wissenschaftler auch im Wasserbau ein. Das Wehr Horkheim bei Heilbronn trennt die Schifffahrtsstraße des Neckars vom Altarm; es besteht aus Stahlbeton und weist zahlreiche Risse mit Rissbreiten zwischen 0,1 und 3 Millimetern auf. An einem der Pfeiler wurde die Instandsetzung mit unterschiedlich getränkten technischen Textilien durchgeführt. In diesem Fall ist die Schutzschicht der unmittelbaren Witterung ausgesetzt.

Bei beiden Pilotprojekten wurden sowohl interne Dehnungsmessstreifen als auch Temperaturfühler eingebaut. „Die Messungen zeigen, dass DURTEX in der Lage ist, Bewegungen aus dem Untergrund so fein zu verteilen, dass auf der Oberfläche nur minimale Risse entstehen. Die Schutzschicht ist wasserundurchlässig, nimmt die Bewegung auf und verformt sich flexibel, ohne Schaden zu nehmen“, zieht Baustoffexperte Morales Cruz Bilanz. Ein „Durchschlagen“ der Risse sei bislang nicht aufgetreten.

## GEBÄUDEHÜLLE MIT MINIMALER DICKE

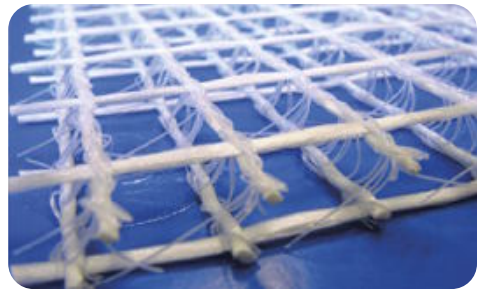
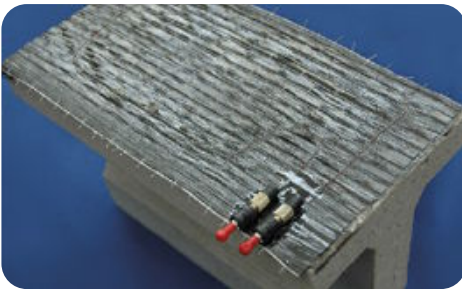
Textilbeton ist geradezu prädestiniert, bestehende Gebäude energetisch und nachhaltig zu „ertüchtigen“. Seit März 2010 widmete sich das Forschungsvorhaben „vakutex – Vakuumgedämmte Fassadenelemente aus Textilbeton“ des Architektur-Instituts Leipzig, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, dem Ziel, eine extrem leichte und energieeffiziente Gebäudehülle in Sichtbetonoptik zu entwickeln. Durch die Kombination innovativer Verbundwerkstoffe wie Textilbeton, Vakuumisulationspaneele (VIP), Latentwärmespeicher-Materialien (PCM) und glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) konnte eine minimale Bauteildicke von nur elf Zentimetern erreicht werden, die alle Anforderungen zukünftiger Fassaden erfüllt.

Das Traditionsunternehmen V. Fraas Solutions in Textile GmbH aus Helmbrechts entwickelte in Kooperation mit dem Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen und der TU Dresden die neuartige

Textilbewehrung SITgrid® für Betonfassadenplatten, die sich durch enorme Tragfähigkeit bei äußerst geringem Eigengewicht auszeichnet. Dem Hersteller ist es gelungen, eine Fertigungsstraße zu etablieren, mit der diese 3D-Textilbewehrungen erstmals in großen Abmessungen hergestellt werden können. Damit ist es möglich, schlanke und leichte Betonfassadenplatten von bis zu 1,20 x 2,40 Metern zu produzieren. Die Vorteile des dünneren und leichteren Wandaufbaus sind vielfältig. Zum Beispiel kann eine dickere Dämmschicht eingesetzt werden, ohne dass die gesamte Gebäudehülle dadurch wesentlich „zulegt“.

Das reduzierte Gewicht erleichtert den Transport und die Montage. Geringere Lasten an der Fassade

tilbewehrung. Für ein dauerhaftes Monitoring z. B. lässt sie sich mit intelligenten Zusatzfunktionen wie einer Sensorik zur Messung von Verformungen versehen. Um Sanierungsmaßnahmen an Tragwerken überwachen zu können, stattete das STFI CFK-Lamellen, mit denen Dachtragwerke verstärkt werden, mit Messtechnik auf der Basis von Glasfasern aus. Die speziellen Lichtleiter, die als optische Dehnungsmessstreifen ausgelegt sind, werden auf der Textilfläche aufgesteckt, die CFK-Lamellen anschließend mit Epoxidharz mit den entsprechenden Gebäudeteilen verbunden. Die von den Sensorfasern ermittelten Daten und deren Analyse übernimmt die eigens entwickelte Geräteperipherie, die im gegebenen Fall Schadensort und -umfang anzeigt.



benötigen weniger hohe statische Anforderungen. So eignen sich textilbewehrte Betonfassaden besonders für die energetische Fassadensanierung, aber auch für Neubauten. Weitere Vorteile ergeben sich aus ökologischer Sicht: Bei den dünnwandigen textilbewehrten Elementen werden im Verhältnis zu einer vergleichbaren stahlbewehrten Fassade bis zu 80 Prozent der für die Fertigung benötigten Ressourcen eingespart.

### TEXTILIEN MIT SENSORIK

Neben der Erprobung und Entwicklung neuer Werkstoffverbünde richten sich die Forschungsbemühungen auch auf die Funktionalisierung der Tex-

### GUTE MARKTCHANCEN

Die bevorstehende Erteilung der baubehördlichen Allgenehmigung dürfte aber eine breite Einführung des Textilbetons zur Folge haben. Allein 10 Mrd. Euro jährlich fallen in Deutschland auf sicherheitsrelevante Verstärkungen an Brücken, Dächern, Gebäudeaußenhüllen an – kommen in nur 10 Prozent dieser Sicherungsmaßnahmen textile Materialien und Strukturen zum Einsatz, wären das immerhin schon 1 Mrd. Euro.

[www.ibac.rwth-aachen.de](http://www.ibac.rwth-aachen.de)

<http://ail.htwk-leipzig.de>

[www.stfi.de](http://www.stfi.de)

[www.solutions-in-textile.com](http://www.solutions-in-textile.com)

# FUNKTIONALE FASERN



Bautextile Entwicklungserfolge „made in Germany“ haben viele Väter und Mütter: Die Teams der Textilforschungsinstitute liefern Basiswissen, spezialisierte Maschinenbauer stellen die Hardware bereit und innovative Mittelständler setzen die neuen Marktchancen in Produkt und Verfahren um. Dies gilt auch für den Bereich gezielt modifizierter Oberflächen – von der Faser bis zur Funktionsintegration in Material, Baustoffe oder die Gebäudehülle selbst. Einige aktuelle Beispiele:

## Oberflächen mit Grips

### FORSCHUNGS-VORLAUF

» Am Institut für Textilchemie und Chemiefasern Denkendorf (ITCF) wird intensiv daran gearbeitet, die chemischen und strukturellen Eigenschaften von Carbonfasern für verbesserte mechanische Eigenschaften zu optimieren. Speziell die hohen Zugbelastungen, denen faserverstärkte Spannelemente im Hoch- und Brückenbau ausgesetzt sind, erfordern eine besondere Festigkeit und Steifigkeit – bei möglichst geringem Gewicht. Die extrem zugfeste PBO-Faser (Polyphenylen-2,6-benzobisoxazol) wäre perfekt geeignet, scheidet aber bislang mit wenigen Anwendungsausnahmen daran, dass sie schlecht an der umgebenden Matrix haftet. Zudem lässt ihre Langzeitstabilität noch zu wünschen übrig. Im Interesse künftiger Bau- und Architekturwendungen wollen die Denkendorf dies ändern. [www.itcf-denkendorf.de](http://www.itcf-denkendorf.de)

» An der RWTH Aachen entwickelten Wissenschaftler der Textiltechnik, des Massivbaus und der Gebäudetechnik gemeinsam mit Industriepartnern ein großformatiges Dachelement, das einerseits Wärmeverluste drastisch reduziert und andererseits mittels eines in die statisch wirksame Textilbetondeckschicht integrierten Solarabsorbers Wärmeenergie für das Gebäude gewinnt. Die Sandwichkonstruktion mit massivem Schaumkern ermöglicht eine Minimierung des Gewichts, vereinfacht so die Handhabung der Dachelemente auf der Baustelle. Für Bauherren und Architekten ist vor allem die gestalterische Integration der Solarthermieanlage attraktiv – ein Defizit bisheriger Anlagen am Markt. Die praktische Machbarkeit des Konzepts beweist ein innovativ bedachter Demonstratorbau am Bildungszentrum der Handwerkskammer Aachen.



Bei günstigen Witterungsbedingungen erwärmt sich dort gespeichertes Wasser auf fast 60 Grad Celsius; bei schlechterem Wetter kann sich Projektleiter Andreas Koch eine Kombination mit einer Erdsonde vorstellen, die als Energiequelle für eine Wärmepumpe dient. [www.ita.rwth-aachen.de](http://www.ita.rwth-aachen.de)

## MASCHINELLES WIRKEN

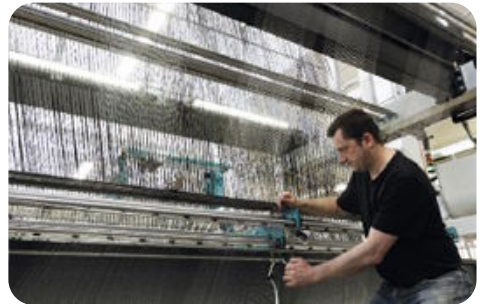
Seit Jahren arbeitet das ITM der TU Dresden daran, den etablierten Königsweg zur Herstellung textiler Betonbewehrungen, das Nähwirkverfahren, für den Baubereich zu perfektionieren. Die Chemnitzer Karl Mayer Malimo Textilmaschinenfabrik stellte 2010 zur Verarbeitung besonders grober Carbonfilamentgarne ihr Kronjuwel, eine hoch flexible und effiziente Malitronic® Multiaxial-Kettenwirkmaschine, zur Verfügung.

kosten deutliche wirtschaftliche Vorteile – bei höherem Faservolumen und verbesserten Dehnkorpereigenschaften der textilen Bewehrung. Auch der Aufwand bei der bautechnischen Umsetzung sinkt. Den Maschinenbauern eröffnete die Kooperation nicht nur qualitativ neue Angebotsmöglichkeiten an die Branche, sondern brachte auch einen zusätzlichen Wettbewerbsvorteil – die Produktivität der international ohnehin schon konkurrenzlosen Wirkmaschine konnte nochmals gesteigert werden.

[www.karlmayer.com](http://www.karlmayer.com)

## PRODUKTVERWIRKLICHUNG

Die Paderborner Penn Textile Solutions GmbH produziert ebenfalls mit Chemnitzer Anlagen, stellt auf eigens modifizierten Kettenwirkmaschinen mit Magazinschusseintrag ihr gemeinsam mit wei-



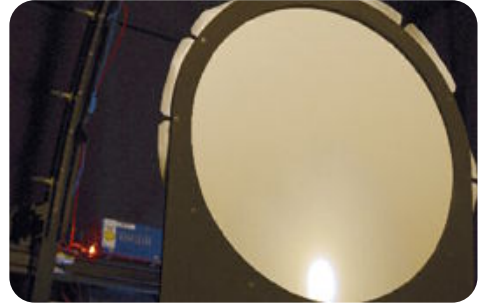
Gemeinsam wurden Technologie und Technik so fortentwickelt, dass nunmehr auch besonders leichtes, jedoch extrem belastbares Material, so genannte Carbon Fiber Heavy Tows (CFHT), aus 50.000 Einzelfilamenten für Bauanwendungen mit Karl Mayer-Anlagen industriell gefertigt werden können. Gegenüber derzeit bei Bauwerkssanierung und Instandsetzung üblichen alkaliresistenten Glas- und klassischen Carbonfaserverbunden mit „nur“ 12.000 Einzelfilamenten ergeben sich bei den relativ starken CFHT-Fasern dank reduzierter Material-

teren Industriepartnern entwickeltes jüngstes Produkt her – ein System zur Licht- und Klimaregelung in professionellen Gewächshäusern: Das Schattierungssystem OMBRA-DLS® regelt dort mittels eines elastischen Netztextils aus Folienbändchen automatisch Lichteinfall und Wärme entsprechend der Art und Entwicklungsphase der Pflanzen. Seine metallisierten Außenflächen sichern auch an sonnigen Tagen eine konstante, voreingestellte Lichtenergiemenge sowie ein Klimamanagement ohne Zugluft. Die gegenüber anderen Systemen kostengünstigere

und reaktionsschnellere Lösung sicherte im Praxistest höhere Erträge und mehr Blüten bei geringerem Energieverbrauch. Entsprechend groß war seit 2012 das Interesse auf Landwirtschafts- und Textilfachmessen. Inzwischen läuft der Vertrieb über ein

Textiltechnik der RWTH Aachen promoviert. Das Unternehmen ist heute weltweit aktiv – auch in Form von Fassaden mit beispielbaren Lichtinszenierungen oder leuchtenden Sitzgelegenheiten.

[www.lucem.de](http://www.lucem.de)



eigens gegründetes Unternehmen. Das Grundprinzip vom Wetter unabhängiger Licht-Standardwerte soll nun auch auf Fassadenbau und Wohnanwendungen übertragen werden.

[www.elasol.eu](http://www.elasol.eu)

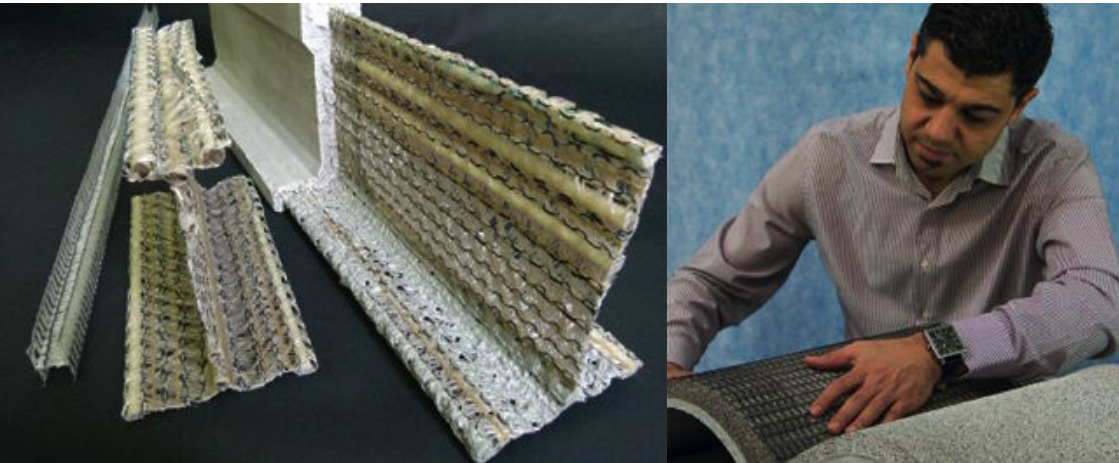
» Als Weltpremiere bietet das Hamburger Radisson Blu Hotel in seiner brandneuen Lounge-Bar technotextile Erlebnisgastronomie. Herzstück der angesagten Location sind ein neun Meter langer Tresen und Wände, die von innen heraus strahlen: statisch, mit fließenden Verläufen oder sogar als Lichtshow im Takt der Musik. Hinter den verblüffenden Effekten steckt LUCEM Lichtbeton – ein homogener, lichtdurchlässiger Hightech-Beton mit Tausenden senkrecht eingebetteten optischen Fasern, die das Licht von der hinterleuchteten Seite nach vorn leiten. So gelangen auch die Effekte vieler einzeln ansteuerbarer LEDs an der Rückseite 15 Millimeter starker Betonplatten an deren Oberfläche. Computergestützt lassen sich die gewünschten Farben, ihre Leuchtdauer und der Takt des Wechsels programmieren. Lucem-Gründer und Geschäftsführer Dr. Andreas Roye hat am Institut für

» Und noch ein erhellendes Beispiel: Klassischer Blendschutz blockiert meist direkt am Fenster den Einfall von Sonnenlicht. Das kann sich dann aber nicht mehr in die Tiefe des Raumes ausbreiten. Im Ergebnis brennt in Büros, Laboren oder Praxen an hellen Tagen oft Kunstlicht. Forschungsingenieure der ETTLIN Spinnerei und Weberei Produktions GmbH & Co. KG wollten das nicht hinnehmen, arbeiteten deshalb seit 2011 mit Wissenschaftlern des ITV Denkdorf ZIM-gefördert an einem textilen Lichtmanagementsystem für die Architektur. Das Projekt „Archispot“ hatte zum Ziel, Reflexions-, Transmissionsgrad und Transmissionsrichtung einfallender Strahlung durch veränderte Licht lenkende Eigenschaften textiler Strukturen zu steuern. Im Ergebnis kann aktiv auf Veränderungen von Sonnenstand und Lichtfallrichtung reagiert werden. Mit dem Ergebnis der ITV-Messungen an neuartigen Textilstrukturen zeigt sich Ettlin-Entwicklungsleiterin Dr. Frauke Hänsch hoch zufrieden: „Derzeit läuft die Umsetzung in eine komplette neue Produktlinie; noch 2014 wollen wir damit an den Markt.“

[www.ettlin.de](http://www.ettlin.de)

## Potenzial frühzeitig erkannt

» Politik und nachgeordnete Fördergeber haben das Potenzial des Generationenprojekts Textilbeton frühzeitig erkannt. Seit 1992 wurden für Grundlagen- und Anwendungsforschungen weit über 50 Mio. Euro bereitgestellt; hinzu kommt eine Förderzusage aus dem Bundesforschungsministerium über weitere 45 Mio. Euro für den C<sup>3</sup>-Cluster (siehe Seite 10f). „Unsere Geldgeber hatten wirklich Mut, einen langen Atem und Visionskraft, sich einen Technologiewandel am Bau durch Carbonbeton vorzustellen“, sagt der heute 73-jährige Mitinitiator Prof. Dr. Peter Offermann (Dresden). Was kurz nach der Wende in Sachsen mit einem IGF-Projekt begonnen hatte, sei in der Folge über die Grund-



finanzierung von zwei thematisch unterschiedlichen Sonderforschungsbereichen an der TU Dresden und der RWTH Aachen University durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft fortgesetzt worden.

Diese Mittel seien mit einer ähnlich hohen Summe aus der Industrie kofinanziert worden. Parallel dazu habe es mit Blick auf den Transfer in die mittelständische Praxis eine Vielzahl von produktbezogenen IGF-Teilprojekten mit einer Gesamtfördersumme von etwa 10 Mio. Euro gegeben. Der gesamte Aufwand für Forschung und Entwicklung, so der Nestor des Textilbetons, müsse jedoch in Relation zum jährlichen Bauumsatz in Deutschland von über 150 Mrd. Euro gesehen werden. Zusätzlich sei zu berücksichtigen, dass aufgrund des sehr hohen, weltweit geschätzten Sicherheitsstandards sehr aufwendige Zulassungs- und Genehmigungsverfahren notwendig sind.

# KOMPETENZATLAS

## Forschung, Netze, Organisationen

» Nirgendwo in Europa gibt es ein so engmaschiges Netzwerk aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen zum textilen Bauen wie zwischen Aachen, Dresden und Stuttgart.

### Textilforschungsinstitute

ITA Institut für Textiltechnik [www.ita.rwth-aachen.de](http://www.ita.rwth-aachen.de)

ITM Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik <http://tu-dresden.de/mw/itm>

ITV Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf [www.itv-denkendorf.de](http://www.itv-denkendorf.de)

STFI Sächsisches Textilforschungsinstitut Chemnitz [www.stfi.de](http://www.stfi.de)

### Universitäten, Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl Massivbau <http://www.tu-cottbus.de/fakultaet2/de/massivbau>

Hochschule Anhalt, Architektur, Facility Management und Geoinformation (Köthen)

[www.afg.hs-anhalt.de/fachbereich](http://www.afg.hs-anhalt.de/fachbereich)

HTWK, Architekturinstitut Leipzig <http://ail.htwk-leipzig.de>

RWTH – IMB Institut für Massivbau [www.imb.rwth-aachen.de](http://www.imb.rwth-aachen.de)

IBAC Institut für Bauforschung [www.ibac.rwth-aachen.de](http://www.ibac.rwth-aachen.de)

Westfälische Hochschule Zwickau, Institut für Textil- und Ledertechnik [www.fh-zwickau.de/textil](http://www.fh-zwickau.de/textil)

TU Berlin, Fachbereich Entwerfen und Konstruieren – Massivbau [www.ek-massivbau.tu-berlin.de](http://www.ek-massivbau.tu-berlin.de)

TU Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau [www.leichtbau.tu-chemnitz.de](http://www.leichtbau.tu-chemnitz.de)

TU Dresden, Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

ILK Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik <http://tu-dresden.de/mw/ilk>

TU München, SGL-Lehrstuhl Carbon Composites [www.lcc.mw.tum.de](http://www.lcc.mw.tum.de)

Uni Stuttgart – ILEK Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren [www.uni-stuttgart.de/ilek](http://www.uni-stuttgart.de/ilek)

itke Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen [www.itke.uni-stuttgart.de](http://www.itke.uni-stuttgart.de)

### Andere Forschungsstätten

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB (Stuttgart) [www.irb-fraunhofer.de](http://www.irb-fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Bau [www.bau.fraunhofer.de](http://www.bau.fraunhofer.de)

Kompetenzzentrum Strukturleichtbau e. V. (Chemnitz) [www.strukturleichtbau.org](http://www.strukturleichtbau.org)

ZAE Bayern Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung [www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)



## Netzwerke, Cluster

Allianz Faserbasierter Werkstoffe e. V. (Ostfildern) [www.afbw.eu](http://www.afbw.eu)  
Basaltfasernetzwerk (Dresden) [www.bafanet.com](http://www.bafanet.com)  
Bayern Innovativ: Netzwerk Textil (Augsburg) [www.bayern-innovativ.de/textil](http://www.bayern-innovativ.de/textil)  
BMBF-Konsortium Zwanzig20: C<sup>3</sup> Carbon Concrete Composite (TU Dresden)  
<http://innovation-textilbeton.de>  
Kompetenznetz Biomimetik (Freiburg) [www.kompetenznetz-biomimetik.de](http://www.kompetenznetz-biomimetik.de)  
Kompetenznetz Carbon Composites e. V. (Augsburg) [www.carbon-composites.eu](http://www.carbon-composites.eu)  
Kompetenznetz CFK-Valley Stade e. V. [www.cfk-valley.com](http://www.cfk-valley.com)  
INNtEX (Chemnitz) [www.inntex.de](http://www.inntex.de)  
MAI Carbon (Augsburg) [www.mai-carbon.de](http://www.mai-carbon.de)  
RaumConTex (Oelsnitz) [www.raumcontex.de](http://www.raumcontex.de)  
Textile-Architektur (Velbert) [www.textile-architektur.de](http://www.textile-architektur.de)  
Texton (Chemnitz) [www.textil-beton.net](http://www.textil-beton.net)

## Organisationen

Betontextilverband TUDALIT e. V. (Dresden) [www.tudalit.de](http://www.tudalit.de)  
Composites Germany (Berlin) [www.composites-germany.de](http://www.composites-germany.de)  
Deutsches Zentrum Textilbeton (Dresden) [www.textilbetonzentrum.de](http://www.textilbetonzentrum.de)  
Leichtbauzentrum Baden-Württemberg (Wiesloch) [www.lbz-bw.de](http://www.lbz-bw.de)

## NEUE ICONS FÜR 2025-THEMENFELDER

Die textilen Themen- und Wachstumsfelder für das kommende Jahrzehnt wurden im Zukunftsprojekt „Perspektiven 2025“ definiert. Um die zehn großen Anwendungsgebiete auch optisch einprägsam zu gestalten, stellt das Forschungskuratorium Textil neue Piktogramme bereit. Die hier erstmals vorgestellten Icons sollen fortan sowohl auf der neuen Webseite [www.textilforschung.de](http://www.textilforschung.de) als auch in der strategischen Kommunikation genutzt werden.



Architektur



Basisthemen



Bekleidung



Energie



Ernährung



Gesundheit



Mobilität



Produktion  
Logistik



Wohnen



Zukunftsstadt

# Impressum

Forschungskuratorium Textil e. V. | Reinhardtstraße 12–14 | 10117 Berlin  
www.textilforschung.de | Redaktion: Checkpoint Media® | Grafik, Innenteil: Heike Unger  
Außenumschlag: IW Medien GmbH, Köln · Berlin

Das Forschungskuratorium Textil e. V. ist in enger Zusammenarbeit mit dem Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e. V. tätig und Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF).



## Fotoquellen:

Asymptote Architecture S. 28/1 | Behnisch Architekten S. 28/3 | Wilfried Dechau S. 23-26 | CENO TEC S. 2 | Dr. Kast S. 37/3 | ETTLIN S. 44/2 | Ginkgo Projektentwicklung S. 35/1 | Groz-Beckert S. 8, 9/1 | Friedrich Gülzow S. 34 | Hentschke Bau S. 36 | Hightex S. 3/2, 30, 31/2/3 | HWK Aachen S. 43/1 | IBAC, RWTH Aachen S. 38, 39, 40 | IDC/ITKE, Uni Stuttgart U1 | ILEK, Uni Stuttgart S. 18, 19 | IMB, RWTH Aachen S. 35/2 | IMS, Hochschule Anhalt S. 33 | ITA, RWTH Aachen S. 15/1, 17, 26/3 | ITM/TU Dresden U5/2, S. 7, 26/1, 32/2 | ITV/Chen U2-4, S. 20/2, 29/1 | ITV S. 14, 15/2, 26/2 | Knippers Helbig S. 27 | Knippers Helbig-Lienhardt/ITKE S. 28/2 | LCC/TU München S. 29/2 | LUCEM S. 42 | Thomas Ott S. 22 | Paulsberg S. 11 | Penn TS S. 44/1 | Projektfoto Richter S. 1, 16, 43/2 | Seybold-Düren S. 31/1 | Solidian S. 6 | STFI U5/1, S. 26/4, 37/2, 41/2 | TAO/ITV S. 4 | Texton S. 9/2 | tim Augsburg S. 3/1 | TITV S. 32/1 | TU Dresden S. 15/3 | V. FRAAS S. 5, 37/1, 41/1 | V. FRAAS/HTWK S. 12 | Ulrich van Stipriaan S. 10 | Verseidag Indutex U6, S. 20/1 | Silvio Weiland S. 13 |

## Bildhinweise:

Titel: Von Roboterhand gefertigt: Textiler Forschungspavillon der Uni Stuttgart nach biometrischer Designstrategie  
Oben: Deutsches Know-how für das Fußballstadion in Kapstadt: Abschattung mit PTFE-beschichteter Glasfaser  
Linke Seite: Textilbewehrung mit lokalen Verstärkungen | Textilforscher Dr.-Ing. Ayham Younes mit multifunktionalem Leichtbau-Deckenelement