

TourAtlas

ConTex



Zukunft unternehmen!



Automotive



BuildTech



InduTech



Luftfahrt



MedTech



MobilTech



SportTech



Windenergie

➤ Über das Forschungsprojekt futureTEX

Das Projekt futureTEX ist ein Gewinner im Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Bis 2021 arbeiten wissenschaftliche Einrichtungen, Unternehmen und Verbände an der Entwicklung wesentlicher Bausteine eines Zukunftsmodells für Traditionsbranchen. Das Projektkonsortium futureTEX verfolgt das Ziel, die führende Position bei der Umsetzung der vierten industriellen Revolution im Textilmaschinenbau und in der Textilindustrie zu erringen und damit beispielhaft bis 2030 das modernste textilindustrielle Wertschöpfungsnetzwerk Europas aufzubauen. Mit der Entwicklung eines

Zukunftsmodells werden die Forschungsschwerpunkte Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft, kundenintegrierte flexible Wertschöpfungsketten, textile Zukunftsprodukte, Wissens- und Innovationsmanagement sowie Arbeitsorganisation und Nachwuchssicherung gemeinschaftlich mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft bearbeitet. Das Konsortium umfasst aktuell über 300 involvierte Partner, darunter 70 Prozent aus der Industrie. Das Projekt futureTEX ist Preisträger im Wettbewerb „Ausgezeichneter Ort“ im Land der Ideen 2016.

➤ Abschlussdokumentation Umsetzungsvorhaben ConTex

Bemessungsverfahren für kraftflussgerechte textile Bewehrungen für schalenförmige Verbundstrukturen aus kunststoffgebundenen und mineralischen Matrices

Laufzeit: 1. August 2016 – 31. Juli 2018

Das Umsetzungsvorhaben ConTex war eines von insgesamt 26 Umsetzungsvorhaben des Projekts futureTEX im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Inhalt

Management Summary	6
Partner	7
Problemstellung und Motivation	10
Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele	10
Lösungsansatz	11
Ergebnisse	12
Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung	16
Gemeinsame Verwertungsstrategie	16
Ausblick	17
Drei Fragen an Dr. Daniel Franitza, Inhaber der FE-Union	18

➤ Management Summary

ConTex – Faserverbundstrukturen mit mineralischen Matrices

Die Frage nach der Simulierbarkeit und rechnerischen Nachweisführung von textilarmierten Betonstrukturen wird aktuell viel diskutiert. Mit dem Bausektor ist ein sehr großer Markt vorhanden. Er unterliegt jedoch einem enormen Preisdruck bei gleichzeitig sehr hohem Sicherheits- und Zuverlässigkeitsbedürfnis. Für die Errichtung eines entsprechenden Bauwerks war Expertenwissen aus verschiedensten Ingenieurwissenschaften zusammenzuführen. Neben bautypischen Materialien wie Beton waren zu Entwurf und Bemessung auch Faserverbundbeschreibungen bis hin zur recht detaillierten, wenngleich konservativen Schädigungssimulation in das Gesamtkonzept zu integrieren.

Mit der erfolgreichen Durchführung des Verbundvorhabens ConTex wurde ein wesentlicher Beitrag zu Entwurf, Planung, Bemessung und Herstellung von schalenförmigen Betonleichtbaustrukturen geschaffen. Großer Wert wurde auf eine konzeptionell robuste Nachweisführung gelegt. In einem Demonstratorbauwerk wurden die Projektergebnisse einer ersten praktischen Anwendung unterzogen. Dabei waren ausgehend vom Architektenentwurf Schalendicke, Bewehrungsauslegung und Verbindungen der Fertigteile zu bemessen sowie Vorfertigungsverfahren, Transport- und Montagetechnologien zu entwickeln und zu erproben.

Zentrale Bestandteile und Zielstellungen des Projekts lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Nutzung verfügbarer Software und Methoden zur Modellierung und Simulation von armierten Betonschalen
- Schaffung eines konservativen Nachweiskonzepts auf der Basis von FE-Modellen
- Erarbeitung eines Zulassungsberichts für die bauliche Zulassung im Einzelfall (ZiE)
- Konstruktion und Herstellung eines Schalentragswerks aus Carbonbeton mit bisher noch nicht erreichter Ressourceneffizienz
- Entwicklung von Grundlagen für branchenübergreifende digitalen Wertschöpfungsketten und spätere Automatisierungsmöglichkeiten

Eine besondere Herausforderung bestand in der Zusammenführung textiler Halbzeuge im Betonbaukörper. Die auf einem optimalen Materialeinsatz basierenden filigranen Schalenelemente erforderten neue Lösungen zu lastübertragenden Bauteilverbindungen. Außerdem wurden produktionstechnische Aspekte in Vorfertigung, Transport und Montage in Simulationen überprüft, um ein hohes Maß an Prozesssicherheit gewährleisten zu können.

Heute noch weitgehend auf stahlbewehrte Strukturen spezialisierte Zulieferer werden für eine zukünftig stärkere Verknüpfung im textilen Bauen neue Berufsbilder schaffen und voraussichtlich auch in den Entwicklungsprozess für die Verstärkungsstrukturen selbst eingebunden. Ebenso werden sich durch die hohe Vorfertigungstiefe derartiger Bauteile neue Zulieferer finden, die bereits optimierte Bewehrungsmatten projektspezifisch bis hin zur Losgröße 1 herstellen und an Betonwerke liefern. Dies setzt die unter dem Gedanken der Arbeitswelt 4.0 skizzierten Informationsflüsse voraus, was auch das Projektmanagement und die Bauplanung vor neue Herausforderungen stellt.

Eine Reihe der sich daraus ergebenden Fragen wurden bereits im Vorhaben ConTex sichtbar. Ein Großteil – jedoch bei weitem nicht alle – konnten beantwortet werden. Deshalb wird dieses Vorhaben Ausgangspunkt weiterführender branchenübergreifender Untersuchungen sein, von denen Textil- und Baubranche gleichermaßen profitieren werden.

➤ Partner



HÖRMANN Vehicle Engineering GmbH
Aue 23 – 27 | 09112 Chemnitz
Ansprechpartner: Toni Kressner
T: +49 371 66653-140 | toni.kressner@hoermann-gruppe.com

HÖRMANN Vehicle Engineering GmbH

Die HÖRMANN Vehicle Engineering GmbH entstand zum 5. Juni 2018 aus Verschmelzung der HÖRMANN Rail & Road Engineering GmbH, welche zum 1. November 2017 aus einer Ausgliederung des Bereiches Development Road & Rail der Leadec Engineering GmbH (ehemals Voith Engineering Services) hervorging und der ET-Parts GmbH, die seit Oktober 2016 in die HÖRMANN Gruppe in ähnlichen Geschäftsbereichen tätig ist. Die HÖRMANN Vehicle Engineering GmbH versteht sich als seit vielen Jahren erfolgreich am Markt agierendes Entwicklungs- und Ingenieurdienstleistungsunternehmen mit einem Schwerpunkt im Maschinenbau und der Schienenfahrzeugentwicklung. Der Sitz befindet sich in Chemnitz. Aufgrund umfangreicher Erfahrungen in der Simulation und Modellbildung komplexer Trag- und Verbundstrukturen wurde es in die Projektgruppe für die Lösung eben dieser Aufgaben integriert.



BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH
Hammerweg 25 | 01127 Dresden
Ansprechpartner: Peter Eisewicht
T: +49 351 807060 | peter.eisewicht@bcs-dresden.de

BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH

Die BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH wurde 2003 als management-by-out der drei geschäftsführenden Gesellschafter aus ehemaligen Unternehmensteilen der Holcim Deutschland GmbH gegründet.

Schwerpunkt der Unternehmenstätigkeit ist die Entwicklung, Herstellung und der Vertrieb von mineralisch gebundenen Baustoffen. BCS ist Spezialanbieter für Betone, Mörtel und Estriche und bietet maßgeschneiderte Produkte nach Kundenanforderung an. Zwei Baustoffprüflabore der BCS Baustoff Control Service GmbH & Co. KG ergänzen dieses Leistungsangebot. In einem zugehörigen Kalkmörtelwerk werden traditionelle Weißkalkmörtel, Kalkfarben und Kalkspachtel hergestellt.

Weiterhin bietet das Unternehmen ingenieurtechnische Beratungs- und Sachverständigenleistungen an.



Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Annaberger Straße 240 | 09125 Chemnitz
Ansprechpartner: Heike Metschies
T: +49 371 5274-213 | heike.metschies@stfi.de

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)

Das Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI) ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung im Freistaat Sachsen, die sich den langjährigen Traditionen sächsischer Textilforschung verpflichtet fühlt. In der verfahrens- bzw. ergebnisbezogenen Forschungs- und Entwicklungsarbeit widerspiegeln sich sowohl klassische Textiltechnologien als auch innovative, unkonventionelle Lösungen für viele Anwendungsgebiete wie z. B. Bau-textilien, Medizintextilien, Leichtbau, Automobilbau, Smart Textiles und Industrie 4.0. Zahlreiche Innovationen auf dem Gebiet neuer textiler Strukturen auch z. B. in Verbindung mit geeigneten Beschichtungen wurden bereits erfolgreich entwickelt und in Serienprodukte übertragen. Das STFI führt darüber hinaus Prüf- und Zertifizierungsaufträge im Textilbereich für Kunden aus mehr als 60 Ländern weltweit durch.



Technische Universität Dresden
Institut für Baustoffe
Georg-Schumann-Straße 7 | 01187 Dresden
Ansprechpartner: Dr. Marko Butler
T: +49 351 463-35925 | marko.butler@tu-dresden.de

Technische Universität Dresden, Institut für Baustoffe

Das Institut für Baustoffe der TU Dresden verfügt über ein interdisziplinäres Team qualifizierter Mitarbeiter, über Versuchs- und Prüffelder sowie Speziallaboratorien mit moderner Ausstattung. Baustoffuntersuchungen und -prüfungen sind so vom Makro- (z. B. mechanische Prüfmaschinen) bis hin zum Mikro- und Nanobereich (z. B. Rasterelektronenmikroskopie) realisierbar. Die Kompetenzen des Instituts liegen auf dem Gebiet der Beton-technik. Baustoffe auf mineralischer Basis (Beton, Mörtel, Faserverbunde) werden hinsichtlich ihrer Kurz- und Langzeiteigenschaften ausführlich untersucht.



GERD PRIEBE
Architects & Consultants
Bautzner Straße 76 | 01099 Dresden
Ansprechpartner: Gerd Priebe
T: +49 172 2878666 | gerd.priebe@gpac.de

Gerd Priebe Architects & Consultants

Gerd Priebe Architects & Consultants (GPAC) ist ein interdisziplinär wirkendes Architekturstudio, welches sich auf innovative und nachhaltige Projekte fokussiert. Durch eine enge Vernetzung der Bereiche Forschung, Entwicklung und Herstellung ist GPAC Teil einer leistungsstarken Wissensgemeinschaft zum Nutzen der Kunden. Mit zukunftsorientierten Bauvorhaben unter dem Motto – MEHR MIT WENIGER – werden Beispiele eines neuen Bauens realisiert.



Direkt Form Projektgesellschaft mbH
Ahornstraße 11 | 09627 Bobritzsch-Hilbersdorf
Ansprechpartner: Ralf Wagner
T: +49 3731 79838-0 | rwa@direktform.de



FE-Union Daniel Franitza und Bernd Epperlein GbR
Annaberger Straße 240 | 09125 Chemnitz
Ansprechpartner: Dr. Daniel Franitza
T: +49 371 5347-230 | daniel.franitza@fe-union.de

Direkt Form Projektgesellschaft mbH

Kerngeschäft der Direkt Form Projektgesellschaft ist die Technologie des Direct Forming und die modellose Formherstellung. Die Gießform wird in Anlehnung an das Sandgussverfahren dabei auf Grundlage des 3D-CAD Datensatzes des Gussteils vorab virtuell erstellt und optimiert. Anschließend werden die virtuellen gussfertigen Formen in bearbeitungsfähige Segmente zerlegt. Die konstruierten Formteile werden von einem Programmierer in CAM-Programme umgewandelt und mit speziell für Direkt Form konzipierten CNC-Fräsmaschinen direkt und konturgenau aus gießereüblichen Formstoffblöcken gefräst.

FE-Union Daniel Franitza & Bernd Epperlein GbR

Die FE-Union Daniel Franitza und Bernd Epperlein GbR hat sich auf die technische Berechnung zur Unterstützung von Konstruktionsprozessen sowie die Bauteil- und Baugruppenanalyse mittels statischer und dynamischer Festigkeitsberechnungen spezialisiert. Mit über 10 Jahren Erfahrung auf dem Gebiet sind die zwei Ingenieure Ansprechpartner für Lebensdauerbetrachtungen, strukturdynamischer Untersuchungen, Strömungssimulationen, Schwingungsmessungen und Mehrkörper-simulation zur Fahrdynamikermittlung.

Die FE-Union bringt ihr Know-how bei zahlreichen Projekten ein. Inhaber Dr. Daniel Franitza arbeitete als Koordinator in Kooperation mit der HÖRMANN Vehicle Engineering GmbH am Umsetzungsvorhaben ConTex im Projekt futureTEX mit.

➤ Problemstellung und Motivation

Die Zielstellung von ConTex besteht in einem software-gestützten, branchenübergreifendem Verfahren zur kraft-flussgerechten Formfindung, Dimensionierung und Konstruktionsplanung von mehrfach gekrümmten Bau-teilen bis hin zu Gebäudehüllen aus textilverstärkten mineralischen Matrices. Solche Schalentragerwerke sind hochleistungsfähige stützenlose flächige Raumkonstruk-tionen, deren Dicke im Verhältnis zur Ausdehnung sehr gering ist. Keine andere Tragwerksform ermöglicht einen derart effizienten Materialeinsatz. Bereits die Evolution

hat dieses Konstruktionsprinzip hervorgebracht, denn auch in der Natur ist Material kostbar – über die Form-gebung sichert sie dessen sparsamste Verwendung. Der Materialeinsatz für die Ausbildung dieser Konstruktionen soll im Rahmen des Verbundvorhabens weiter reduziert werden. Die Anwendungsmöglichkeiten von hochleis-tungsfähigen Schalenelementen aus Textilverbund-strukturen mit mineralischen Matrices sollen branchen-übergreifend erweitert werden.

➤ Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele

Zur Erreichung der anspruchsvollen Gesamtzielstellung von futureTEX wollen die Projektpartner des vorliegenden Verbundvorhabens ConTex wie folgt beitragen:

Die Sicherung und Profilierung des Textilstandorts Deutschland durch branchenübergreifende Entwicklung innovativer neuer Produkte abseits bestehender Massenmärkte; zugleich ist auch die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Baubranche, ins-besondere im internationalen Maßstab, nicht nur Bestand-teil sondern auch Voraussetzung für einen langfristigen Projekterfolg im Rahmen der Baubranche.

Ressourcen- und Energieeinsparungen durch kraftfluss-gerechte Formfindungs-, Bemessungs- und Konstruk-tionswerkzeuge für eine neue Generation hochleistungs-fähiger Schalenbauweisen aus Textilverbundstrukturen mit mineralischen Matrices werden neue Materialplanungen und -flüsse notwendig machen. Insbesondere die z. T. drastische Einsparung von Transportbeton wird sich nach-haltig auf die Art der Errichtung von Bauwerken auswirken.

Branchenübergreifend werden arbeitsteilige Prozesse ini-tiiert und eine zukünftig durchgehende Wertschöpfungs-

kette angestrebt. Aktuell liegen hier noch die größten Herausforderungen. Dennoch wurden erste Voraussetzungen für „Smart Factories“ herausgearbeitet. So konnten auch deutlich neue Zukunftsprodukte identi-fiziert werden, die erst durch die Kombinationen innovativer Textiltechniken entstehen. Ein Beispiel ist das veränderte Berufsbild eines „Bewehrungsbauers“, der sich deutlich abweichenden Aufgaben gegenüber den klassischen Anforderungen im Stahlbewehrungsbau gegenübersteht.

Produktindividualisierungen in der textilen und baulichen Massenfertigung werden besonders im Hinblick auf die Bewehrungsfertigung zum Standard. Um hier jedoch kostenseitig wettbewerbsfähig zu werden, sind wie bereits beschrieben noch Arbeitsabläufe zu optimieren, die sich sowohl auf Informations- und Materialfluss aber auch auf die Arbeitsabläufe auswirken werden. Nicht alle in diesem Zusammenhang erkannten Detailprobleme konnten im Rahmen des Förderprojekts bereits gelöst werden.

Man kann jedoch durchaus von einem Entwicklungsschub bei der Anwendung von Textilverbundstrukturen mit mineralischen Matrices und damit für den textilbasierten Leichtbau sprechen.

➤ Lösungsansatz

Ausgehend von dieser Zielstellung umfasst das Verfahren die tragwerksplanerische Simulation, die Bemessung, die Materialoptimierung und die statische Nachweisführung von Schalenelementen bzw. Schalentragwerken.

Im Rahmen des Vorhabens wurde das Verfahren für die breite Anwendung in der Baubranche mit Schwerpunkt auf den Betonbau entwickelt. Ein konkreter Entwurf und die experimentelle Errichtung eines Schalentragwerks sollten als Gradmesser und Prüfstein für die Praxiseignung dienen. In die Entwicklungsarbeit wurden viele Aspekte eingearbeitet, die die Komplexität baulicher Anwendungen ausmachen – funktionelle, gestalterische, konstruktive und technologische Gesichtspunkte.

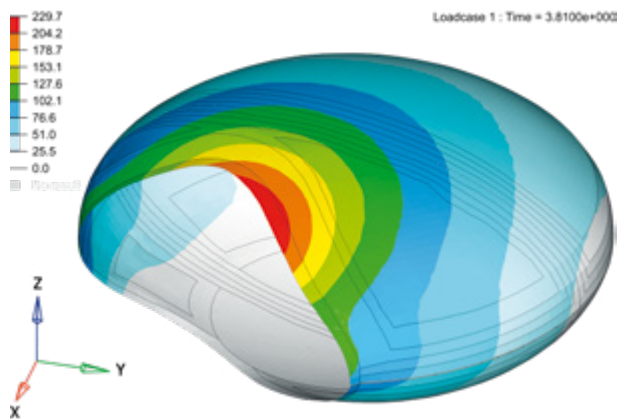


Abbildung 1: Berechnetes Verformungsbild kurz vor dem ersten Elementversagen (Verformungen aus der Ruhelage in mm). Quelle: FE-Union

Eine wesentliche wissenschaftlich-technische Herausforderung bestand darin, die genannten Einflussfaktoren im Sinne einer optimalen Gesamtlösung sowohl aus bauseitiger als auch aus textilseitiger Sicht zu bündeln, abzuwägen und zusammenzuführen. Die durch das Verfahren erzeugten Bemessungs- und Entwurfsdaten wurden so generiert und strukturiert, dass sie über die gesamte bau- und textilseitige Wertschöpfungskette der Schalentragwerke angewendet werden können. So sollte z. B. nach Abschluss der Bemessung eine Übergabe digitaler Produktionsvorlagen für die textile Bewehrung oder Halbzeuge direkt an den Hersteller möglich sein, was zum heutigen Stand nur zum Teil gelang. Das vorgestellte Verfahren wird als Impuls für die Entstehung neuer arbeitsteiliger Prozesse gewertet und neue branchenübergreifende Geschäftsmodelle

zwischen Bauindustrie und textilverarbeitender Industrie auslösen. Es soll Voraussetzungen schaffen, schrittweise auf dem Standard von Industrie 4.0 zusammenzuarbeiten.

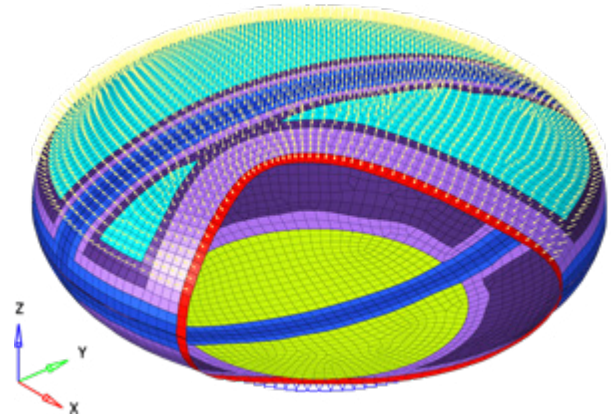


Abbildung 2: Für die Simulation vereinfachte Modellierung des Demonstrators mit der Nachweis-Schneelast. Quelle: FE-Union

Methodisch wurden erstmals numerische Vorgehensweisen aus dem Leichtbau (Flugzeug- und Fahrzeugbau) für die Baubranche nutzbar gemacht und damit ein signifikanter technologischer Fortschritt generiert. Die mehrfache Iteration zwischen Materialkennwertermittlung, Formgebung und Dimensionierung der Baustoffe auf numerischer Ebene führte im Ergebnis zu den angestrebten signifikanten Materialeinsparungen. Zudem wurde der prototypische Anteil des Entwicklungsprozesses gezielt gesteuert und verringert. Als anschauliches Ergebnis dient der pünktlich fertiggestellte Demonstrator in dünnwandiger Betonschalenbauweise.

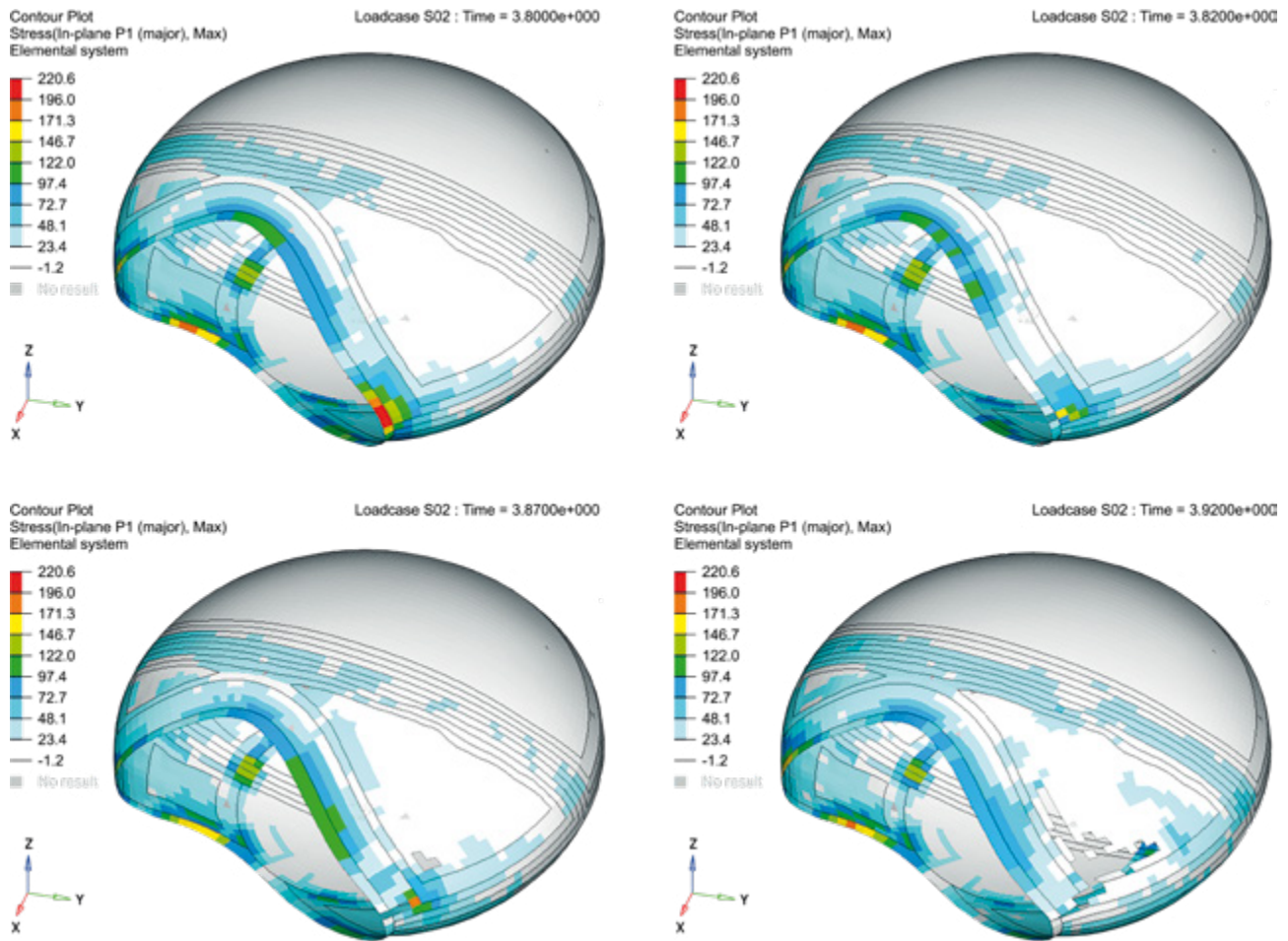


Abbildung 3: Simulation der maximalen Schichtspannungen unter Schneelast bis zur Belastbarkeitsgrenze und darauffolgender Versagensfortschritt mit Elementlöschungen (Normalspannungen in MPa). Quelle: FE-Union

➤ Ergebnisse

Zunächst musste eine einheitliche Datenschnittstelle zum Austausch von Geometrieinformationen gefunden werden. Bevorzugt verwendet werden sollte das STEP-Format als universelles 3D-Geometrie-Format, da es in allen gängigen 3D-Konstruktionsprogrammen verfügbar ist. Durch die Ermittlung verfügbarer textiler Bewehrungsstrukturen wurde deutlich, dass bereits auf für Bauanwendungen zugelassene grobmaschige Bewehrungsmatten (Texton-Tudalit) als naheliegende Option zurückgegriffen werden konnte. Die Alternative

beschichteter Glasfasern zur Erhöhung der Alkali-resistenz (Vermeidung von Auflösungserscheinungen in mineralischer Matrix) wurde als weitere Option geprüft, für das aktuelle Projekt jedoch nicht weiterverfolgt. Langfristiges Ziel sollte der anforderungsspezifische Fasereinsatz (CFK, AR-GFK, Recycling-Carbon, Basaltfasern) sein.

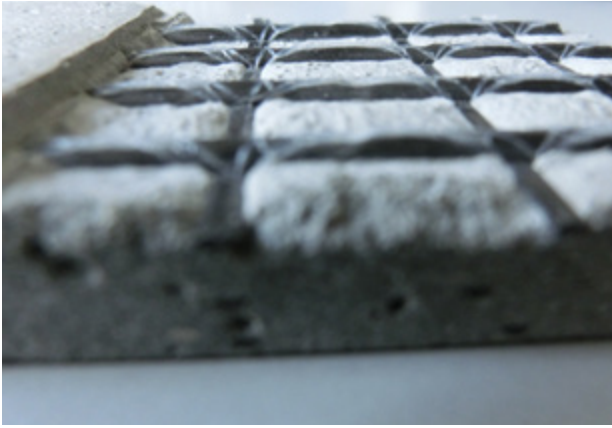


Abbildung 4: Grobmaschige Bewehrungsmatten kamen beim Demonstrator in Dresden zum Einsatz. Foto: STFI

Die Ansätze für eine FE-Modellierung von Schalen basierend auf Composite-Elementen sind in kommerziellen FEM-Codes vorhanden und wurde für einfache Bauteile demonstriert. Diese Bauteile wurden im weiteren Verlauf für den Demonstrator aber auch als Prüflinge für die Modellverifikation und die modellgestützte Materialkennwertermittlung benutzt. Es erfolgte die weitgehende Übernahme der Modellierungstechniken aus dem Maschinenbau für Faserverbundbauteile mit Anpassungen für das Tragverhalten von Betonbauteilen. Testrechnungen mit Anwendung der Modellierungstechnik und Nutzung des nichtlinearen Solvers RADIOSS auf eine einfache Demonstratorkuppel (erster Architektenentwurf) waren plausibel und erfolgreich.

Im einfachsten – jedoch nicht streng konservativen Fall – ist die Bewertung der Trageigenschaften mit linearen Schalen-Modellen aber schichtweise aufgelöster Laminatstruktur und schichtweiser Spannungsbewertung umsetzbar. Die Tragwirkung des Betons wird aufgrund der streng konservativen Material- und Geometrieannahmen unterschätzt. Für das im Projektverlauf entwickelte Nachweisverfahren zur Zulassung derartiger Gebäude ist dieser Ansatz jedoch nicht nachteilig. Zukünftige Entwicklungen werden eine größere Datenbasis generieren, anhand der sich bessere Abschätzungen für die vielen Eingangsparameter finden lassen. Aktuell musste mitunter auf plausible Annahmen (ohne statistisch zuverlässige Messdaten) zurückgegriffen werden.

Die Aufstellung und Messung der zur linearen Materialcharakterisierung notwendigen Größen und Probenformen zählte zu den ersten Ergebnissen in diesem Arbeitspaket „Probenmodellierung und Parameterermittlung“.

Ein lineares Materialmodell wurde erfolgreich mit den erforderlichen Parametern in den Materialkarten des Schalenmodells abgeglichen.

Der Abgleich der gemessenen Parameter mit denen eines zusätzlichen Mesomodells für ein nichtlineares Materialmodell war dagegen nicht zufriedenstellend. Daraufhin wurde auf die Dehngrenzen von Beton und Bewehrung im Rahmen eines eigenen Versagensmodells direkt innerhalb von RADIOSS zurückgegriffen. Die Anwendung dieser Materialcharakterisierung zeigte im weiteren Projektverlauf stabiles und plausibles Verhalten. Umfangreiche Untersuchungen wurden auf der Betonseite in Form einer Reihe verschiedener Betonrezepturen unternommen. Aber auch die Bewehrung wurde mit mehreren Varianten getestet. So wurde untersucht, ob und wie sich zusätzlich aufgesetzte Rowings in Tragrichtung auf dem Gelege für die gezielte Verstärkung einsetzen lassen. Auch die „Besandung“ der harzgetränkten Rowings war Gegenstand verschiedener Messreihen. Sowohl die Messwertermittlung als auch die modellseitige Parameteranpassung stellen im Rückblick beherrschbare Anforderungen zur entwicklungsbegleitenden Modellierung dar. Verschiedene Vorträge und Veröffentlichungen besonders im Rahmen der jährlichen Carbon- und Textilbetontagungen in Dresden erzeugten eine positive öffentliche Resonanz.

Die Bauteilgeometrie wurde auf der Basis des Architektenentwurfs festgelegt. Ebenso wurden die zu ermittelnden Messwerte aus Arbeitspaket 3 (Parameterermittlung) fixiert. Ein Schalenmodell für Vergleichsrechnungen für einen Betonbogen mit isolierter Biegebeanspruchung wurde aufgebaut. Die erfolgreiche Verifikation der zugehörigen Messwerte erfolgte dabei ohne Verwendung und zusätzliches Kalibrieren von Parametern aus den Zug- und Druckproben der vorangegangenen Prüfungen. Auch hier zeigte das Modell ein konservatives Verhalten, d. h. das Bauteilversagen trat etwas früher ein als im Versuch. Aus Sicht der Nachweisführung für eine Zulassung ist dieser Zustand anzustreben. Die Bewehrungsgeometrie für den Demonstrator wurde daraufhin für die Herstellung auf der Basis der ermittelten Ergebnisse definiert. Zur notwendigen Bemessung musste der Demonstrator nicht komplett mit symmetrischer Bewehrung ausgestattet werden.



Abbildung 5: Ein Schalenmodell für Vergleichsrechnungen für einen Betonbogen mit isolierter Biegebeanspruchung wurde aufgebaut. Die erfolgreiche Verifikation der zugehörigen Messwerte erfolgte dabei ohne Verwendung und zusätzliches Kalibrieren von Parametern aus den Zug- und Druckproben der vorangegangenen Prüfungen. Foto: IfB, TUD

Orthotrope Eigenschaften können dabei berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall wurde als Ausgangsmaterial auf existierende und bautechnisch zugelassene Bewehrungsmatten (TUDALIT) zurückgegriffen. Auf gering beanspruchten Flächen, so zeigte sich, kann die Bewehrung einseitig sogar entfallen. Dies hat positive Auswirkungen auf Herstellkosten und Komplexität der Fertigung. Dennoch wurde im Projektteam für den Demonstrator festgelegt, dass er mit beidseitiger Bewehrung zu fertigen sei. Für die Lagesicherung ergaben sich somit geringere Probleme. Zudem sei hier zu bedenken, dass die geringen vorhandenen Erfahrungen beim Bau derartig dünner Schalenstrukturen dazu anhielten.

Zentrales Thema in diesem Projekt war die Entwicklung eines tragfähigen Nachweiskonzepts. Eine Zusammenstellung von nachzuweisenden Lasten, Randbedingungen und Lastfällen erfolgte anhand vorliegender Erfahrungen aus dem maschinenbaulichen Umfeld und insbesondere aus der Schienenfahrzeugentwicklung. Das Grundkonzept der darzustellenden Materialmodellierung wurde im Vorfeld erarbeitet und im September 2017 veröffentlicht (9. Carbon- und Textilbetontage in Dresden). Die dazu notwendigen Hintergrundinformationen zu Modellierungstechnik und -tiefe sind im Nachweisbericht dargestellt. Der inhaltliche Aufbau wurde fixiert und bei einem Besuch der Landesstelle für Bautechnik in Leipzig im November 2017 mit den dort zuständigen Experten besprochen. Der Berichtsentwurf sowie die Nachweisstrategie wurden für gut befunden. Es besteht die Bereitschaft zur Prüfung der Dokumente auch wenn der Demonstrator selbst aufgrund seiner Größe nicht

zulassungspflichtig (i. S. d. Baurechts) ist. Neben den aus Bauzulassungssicht notwendigen Prüflasten wurden Transport- und Kranlastfälle inkl. zu verwendender Transportgestelle definiert und überprüft. Die Dokumentation der FE-Simulationen für den Nachweis wurden pünktlich abgeschlossen. Nach Errichtung des Demonstrators im Juni 2018 wurden physische Belastbarkeitsprüfungen unternommen und diese ebenso dokumentiert wie die zahlreichen Probenprüfungen.



Abbildung 6: Die Errichtung des Demonstrators in Dresden an der Bautzner Straße. Foto: Gerd Priebe, GPAC – Dresden

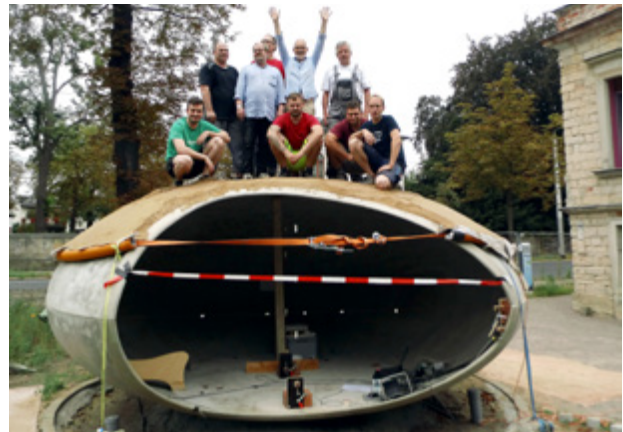


Abbildung 7: Der dünnwandige Demonstrator mit Bauteilen von 25 bis 50 mm Dicke trägt das neunköpfige Projektteam. Foto: Ingelore Gaitzsch, Texton e.V.

Das Strukturmodell auf Basis eines Architektenentwurfs wurde wie vorgesehen als Schalenmodell aufgebaut. Die Materialmodelle wurden soweit vorhanden mit Prüfergebnissen von Materialproben (Bewehrungsschichten und Betonkern) in das FE-Modell integriert. Auch ein Versagensmodell zur Berücksichtigung der geringen Zugtragfähigkeit von Beton wurde umgesetzt. Das Bewehrungs- und Betonmodell wurde mit den jeweils

aktuellen Prüfergebnissen der vereinbarten Betonrezeptur ausgerüstet. Die zugehörigen Bemessungsrechnungen waren wiederholt erfolgreich und wurden dokumentiert. Insgesamt erfolgten die Untersuchungen an bis zum Ende der Projektlaufzeit 19 verschiedenen FE-Modellvarianten.

Wandstärken und Bewehrungspläne wurden zum jeweiligen Modellstand entsprechend der Strukturteilung und aktuellen Festigkeitsparameter der zum Zeitpunkt der Rechnung aktuellen Betonrezeptur überarbeitet. Die Fundamentierung und Bettung des Demonstrators wurde im Projektteam festgelegt und mit Drainbeton (stark wasserdurchlässigem Beton) ausgeführt. Als Randbedingungen wurden zu den Nachweislasten im Nachweismodell, soweit sinnvoll, ebenfalls konservative Annahmen getroffen. Die Ergebnisse der physischen Tests am fertigen Demonstrator unterstützen diese Aussage. Zusätzliche Lastfälle für Transport und Montage sowie Anheben in der Fertigungshalle und auf der Baustelle wurden vorab mit dem aktuellen Modell simuliert.

Ein Transportgerüst aus Holz zur sicheren Handhabung der unmontierten Schalen wurde auf dieser Basis entwickelt. Das stabile Handling der bis zu einer Tonne schweren und doch vergleichsweise dünnwandigen Bauteile (25 bis 50 mm dick) am Kran und z. T. am Boden zeugen von der Eignung dieses Vorgehens.



Abbildung 8: Die Herstellung des Demonstrators erfolgte in einer 3D-gefrästen Schalung aus verfestigtem Gießsand. Die Entformung erfolgte nach einem mehrtägigen Trocknungsprozess. Foto: BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH

Die Herstellung des Demonstrators erfolgte in einer 3D-gefrästen Schalung aus verfestigtem Gießsand von der zunächst ein Abguss für die Innenkontur der Schale entnommen wurde. Das Ergebnis war der (aus Kostengründen) stahlbewehrte Betonkern. Anschließend wurde

die Form ein weiteres Mal überfräst und die vier Einzelteile aus ihr abgegossen. Für jedes Einzelteil wurden die vorher ermittelten Bewehrungseinlagen auf der Kerngeometrie bzw. auf der Form drapiert und mit Harz fixiert.



Abbildung 9: Der fünf Meter große Demonstrator (Vordergrund) an der Bautzener Straße in Dresden zeigt anschaulich die dünnwandige Betonschalenbauweise. Bild: Gerd Priebe, GPAC – Dresden

Entscheidend für die Eindämmung der Fertigungskosten war das Design der Form, um sie für alle vier Demonstratorschalen benutzen zu können. Dabei eingeschlossen sind auch die beiden Schalen, die die Eingangsöffnung mit etwas verdicktem Rand beinhalten.

➤ Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung

Beitrag des Verbundvorhabens zur Umsetzung von Forschungsergebnissen (Wertschöpfung) und zur Steigerung der Innovationskraft des Konsortiums:

Eine neue Generation ressourceneffizienter Schalentragwerke bedarf innovativer und interdisziplinärer Entwurfs- und Bemessungswerkzeuge. Diese Zielstellung des Verbundvorhabens und dessen Umsetzung in konkreten Wertschöpfungen ist nur in Zusammenarbeit der fünf Partner mit ihren jeweiligen Fachdisziplinen zu erreichen. Das Projektziel erfordert neben der numerischen Simulation, Bemessung und Nachweisführung zwingend auch die Anwendung entsprechender Hochleistungsmaterialien und adäquater Verfahrenstechniken.

Bei der Wertschöpfung eines Bauwerks müssen darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Gesichtspunkte wie z. B. Funktion, Gestaltung, Bauphysik, Füge- und Verbindungstechniken beachtet werden. Das gemeinsame Projekt steigert die Innovationskraft des Verbundkonsortiums nachhaltig. Zum einen wird das Konsortium nach Ende der Projektlaufzeit gemeinsam an der Praxis- und Markteinführung der Projektergebnisse arbeiten. Zum anderen werden für die komplexe Realisierung von mehrfach gekrümmten Gebäudehüllen in Schalenbauweise weitere spezifisch notwendige Untersuchungen angestrebt.

➤ Gemeinsame Verwertungsstrategie

Ziel ist die Markteinführung des Simulations- und Bemessungsverfahrens – Inlandsmarkt und Auslandsmärkte und die Forcierung der industriellen Fertigung einschließlich individueller Anpassung textiler Gelege und textiler Halbzeugen für Schalenelemente und Schalentragwerke.

Das vorgestellte Verfahren ist Voraussetzung für die Planung und Fertigung von Schalenelementen und Schalentragwerken nach Bauregelliste C (zulassungsfrei). Vorbereitende Aktivitäten zur Etablierung im bauaufsichtlichen Zulassungsverfahren sind in Zukunft noch

zu leisten. Damit soll zeitnah die Akquisition derartiger Schalentragwerke für den nationalen und Auslandsmarkt erleichtert werden. Ein Präsentationsziel ist der Deutschlandpavillon zur Weltausstellung 2020.

Die Planung und Fertigung von Schalenelementen und Schalentragwerken nach Bauregelliste A und B (mit Zulassung im Einzelfall) kann mit den Ergebnissen dieses Projekts bereits erfolgen.

➤ Ausblick

Mittelfristig sollen die Schalentragwerke für ausgewählte Nutzungen (z. B. Wohnen, Beherbergen, Versammeln) in verschiedenen Klimazonen weiterentwickelt werden. Dazu gehören die Komplettierung der Gebäudehülle und die Integration von technischen Funktionen in die Gebäude sowie die Weiterentwicklung effizienter Herstellungsverfahren.

- Erarbeitung bauphysikalischer Techniken und Nachweisverfahren für Schalentragwerke und Gebäudehüllen aus Textilverbundstrukturen mit mineralischen Matrices
- Wärmedämmverfahren für die Schalentragwerke
- Oberflächenschutzsysteme für die Schalentragwerke
- Weiterentwicklung der Verfahrenstechniken und des Schalungsbaus
- Konstruktions-, Verbindungs- und Anschlusstechniken von Schalenstrukturen und deren Kombination mit anderen Werkstoffen
- Integration technischer Installationen in die Schalentragwerke
- Untersuchungen zur Adaption der textilen Halbzeuge an andere Matrices
- Funktionalisierung der textilen Bewehrungen und Halbzeuge mittels Sensoren zur Überwachung, für Nachweisführungen im Gebrauchszustand und für Langzeitbeobachtungen der Schalentragwerke

Der Bedarf dünner ressourceneffizienter Schalen, Schalentragwerke und Hüllstrukturen aus Textilverbundwerkstoffen mit mineralischen Matrices geht über rein bauseitige Anwendungen weit hinaus. Er umfasst z. B. auch dünnwandige Bauelemente für den Maschinen- und Leichtbau im Bereich von Temperaturbeanspruchungen, die mit Kunststoffmatrices nicht abgedeckt sind. Der Trend zu möglichst geringen Dicken und Gewichtsreduzierungen der Konstruktionen ist branchenübergreifend vorhanden und nimmt zu.

Bei bauseitigen Anwendungen signalisieren urbane Zukunftstrends Forderungen nach deutlich geringeren Flächenbedarf und besserer Effizienz gebauter Räume. Hinzu kommen die sich verschärfenden Rohstoff- und Energieprobleme, die weltweit neue ressourcenschonende Bauweisen einfordern. Hier eröffnen sich national und international Wachstumsmärkte, auf welche sich die Verbundpartner mit diesem Vorhaben vorbereiten.

➤ „Einen Worst Case gibt es mit uns nicht.“

Drei Fragen an Dr. Daniel Franitza, Gesellschafter der FE-Union, Chemnitz



Bernd Epperlein und Dr. Daniel Franitza (v. l.) haben sich auf die technische Berechnung zur Unterstützung von Konstruktionsprozessen spezialisiert. Die Simulationstechnik bietet viele Vorteile beim Einsatz mit Technischen Textilien. FOTO: P3N MARKETING GMBH

Die FE-Union Daniel Franitza und Bernd Epperlein GbR ist ein junges Unternehmen mit „alten Hasen“, wobei dieses nicht für das physische Alter, sondern die hohe Kompetenz und die Erfahrung der Mitarbeiter in ihrem Geschäft steht. Sie haben sich auf die technische Berechnung zur Unterstützung von Konstruktionsprozessen sowie die Bauteil- und Baugruppenanalyse mittels statischer und dynamischer Festigkeitsberechnungen spezialisiert.

Mit über 10 Jahren Erfahrung auf dem Gebiet sind die zwei Ingenieure Ansprechpartner für Lebensdauerbetrachtungen, strukturdynamische Untersuchungen, Strömungssimulationen, Schwingungsmessungen und Mehrkörpersimulation zur Fahrdynamikermittlung ggf. auch mit kompetenten Partnern. Auslegungsszenarien werden dabei so gewählt, dass alle zu erwartenden (Un-) Fälle einmal mit Modellen durchgerechnet werden. Mögliche Folgen sind somit im Vorfeld abschätzbar. Insofern wäre der schlimmste denkbare Fall („Worst Case“) oft eher ein GAU (größter anzunehmender Unfall). Dieser kann tatsächlich durch die Arbeit der Ingenieure mittels konstruktiver Maßnahmen oder geeignetem

alternativem Materialeinsatz beseitigt werden. Die FE-Union bringt ihr Know-how bei zahlreichen Projekten ein. Aktuell arbeitet Gesellschafter Daniel Franitza in Kooperation mit der HÖRMANN Rail & Road Engineering GmbH am Umsetzungsvorhaben ConTex im Projekt futureTEX mit.

➤ Welche Ziele verfolgen Sie mit Ihrer Arbeit im Projekt futureTEX?

Wir möchten zeigen, dass die Simulationstechnik auch in der Branche Technischer Textilien sinnvoll eingesetzt werden kann, um Ressourcen und Zeit zu sparen. Durch unsere Analysen schaffen wir Sicherheit beim Einsatz textiler Verbundmaterialien, kohlefaserverstärkter Kunststoffe und Geotextilien.

Es ist unser Ziel, belastbare Auslegungs- und Berechnungsmethoden für textilbewehrte Betonstrukturen für den besonderen Einsatz in mehrfach gekrümmten Flächenbauwerken zu schaffen. Gleichzeitig können wir auf Grundlage unserer Modelle Empfehlungen zur Materialzusammensetzung sowie zum optimierten Einsatz teurer Materialien und Baustoffe aussprechen. Durch unsere Erkenntnisse wollen wir einen Beitrag für die Textilbranche leisten und so auch den Leichtbau im Bauwesen fördern und weiterentwickeln.

➤ In welchen Vorhaben arbeiten Sie aktiv mit? Was sind Ihre Aufgaben?

Aktuell sind wir am Umsetzungsvorhaben ConTex beteiligt, welches im Sommer 2016 gestartet ist. Wir befassen uns dabei mit gekrümmten Betonstrukturen, die anstelle von Stahl mit CFK-Textilgewebe armiert wurden. Das Thema „Textilbeton“ ist nicht ganz neu. Aber mit den Erkenntnissen aus unserem Vorhaben wird es möglich sein, mehrfach gekrümmte Schalen mit einer extrem

dünnen Betonschicht zu fertigen – eine spannende Lösung für Architekten, die bezüglich der Form eines Gebäudes oder einer Struktur nahezu freie Hand bekommen. Im Vorhaben sind wir für die fachliche Koordination und die Simulation der verschiedenen armierten Betonmixturen zuständig. Die Modelle werden in speziellen Programmen erstellt, um Belastungs-, Strömungs- und Zugversuche zu simulieren. Wir sehen also schon vorher, was passieren wird. Das minimiert nicht nur kostspielige Fehlversuche, sondern stellt auch einen entscheidenden zeitlichen Faktor dar.

Mit den Versuchen im Rahmen des Vorhabens sind wir bereits sehr weit voran geschritten. Im Frühjahr 2018 wird bei einem Vorhabenpartner ein Demonstrator entstehen. Dieser wird eine Größe von ca. fünf mal fünf Metern haben und das bei einer Betonschicht von gerade einmal zwei bis fünf Zentimetern.

➤ Welche Erwartungen und Wünsche haben Sie an die Zusammenarbeit im Konsortium?

Wir sehen futureTEX als strategisches Feld, bei dem es für uns hauptsächlich um den Wissenstransfer zwischen den einzelnen Vorhaben und in die Unternehmen geht. Die Konsortialpartner kommen aus ganz unterschiedlichen Branchenbereichen, die in den Vorhaben mit einem speziellen Ziel zusammengeführt werden. Dabei ist uns wichtig, die Ergebnisse unserer Versuche sinnvoll festzuhalten, um sie später einmal in das Tagesgeschäft und die „Realität“ zu überführen – ganz nach dem Motto von futureTEX „Zukunft unternehmen“.

Um möglichst viel voneinander zu lernen und ConTex erfolgreich voranzubringen, treffen wir uns monatlich mit allen Vorhabenpartnern. So können wir konstruktiv über die individuellen Herausforderungen jedes Vorhabenpartners diskutieren. Das erfordert zwar viel Disziplin, verschafft aber gleichzeitig einen maximalen Ergebnisüberblick. So geht nichts verloren und wir können uns auf den erfolgreichen Abschluss unseres Vorhabens konzentrieren.

Januar 2018

➤ Impressum

Konsortialführer Projekt futureTEX:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
An-Institut der Technischen Universität Chemnitz
Geschäftsführung: Dipl.-Ing.-Ök. Andreas Berthel |
Dr.-Ing. Yves-Simon Gloy

Postanschrift:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Postfach 13 25
09072 Chemnitz

Besucheradresse:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz

Kontakt:

Projektleitung: Dirk Zschenderlein
E-Mail: dirk.zschenderlein@stfi.de
Tel.: +49 371 5274 283
Fax: +49 371 5274 153
www.futuretex2020.de

Verbundkoordinator Umsetzungsvorhaben ConTex:

HÖRMANN Vehicle Engineering GmbH
Aue 23 – 27
09112 Chemnitz
Ansprechpartner: Toni Kreßner
Tel.: +49 371 66653-140
Fax: +49 371 50348-280
E-Mail: toni.kressner@hoermann-gruppe.com

Lektorat und Gestaltung:

P3N MARKETING GMBH
Bernhardstraße 68
09126 Chemnitz
Tel.: +49 371 5265 380
Fax: +49 371 5265 388
E-Mail: info@p3n-marketing.de

