

### Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen

Dr.-Ing. Walter Haase  
 M.A.Sc. Thorsten Klaus  
 Dipl.-Des. Elias Knubben  
 Dipl.-Ing. Fritz Mielert  
 M.Eng. Stefan Neuhäuser  
 Dipl.-Ing. Fabian Schmid  
 Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Werner Sobek

April 2011



Universität Stuttgart

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Werner Sobek

Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Forschungsprojekt: Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen

Förderstelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31-37  
53179 Bonn (Germany)

Förderkennzeichen: Z 6 – 10.08.18.7- 07.37 / II 2 – F20-07-043  
Kostenneutral verlängert bis 30.04.2009  
Ergänzungsantrag „DEUBAU“  
1.11.2009 bis 31.03.2010  
Kostenneutral verlängert bis 30.06.2010

Mitarbeit: Dr.-Ing. Walter Haase  
M.A.Sc. Thorsten Klaus  
Dipl.-Des. Elias Knubben  
Dipl.-Ing. Fritz Mielert  
M.Eng. Stefan Neuhäuser  
Dipl.-Ing. Fabian Schmid  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Werner Sobek

Bearbeitungszeitraum: Januar 2008 - Juni 2010

Bearbeitungsstelle: Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK)  
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Werner Sobek  
Pfaffenwaldring 7 + 14  
70569 Stuttgart  
Telefon 0711 / 685 63599  
Telefax 0711 / 685 66968

Der Kurzbericht umfasst 11 Seiten.

Stuttgart, 12.04.2011

## **Impressum**

Die Verantwortung für den Inhalt des Kurzberichts liegt bei den Autoren.

Verantwortlich für die redaktionelle Bearbeitung und die inhaltliche Gliederung zeichnet Dr.-Ing. Walter Haase.

## **Danksagung**

Die Förderung des Projekts erfolgte durch Mittel der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Aktenzeichen: Z 6 - 10.08.18.7-07.37 / II 2 – F20-07-043).

Dank gilt insbesondere Herrn Dr. Brüggemann, Herrn Architekt Hagel sowie Herrn Dr. Simon für ihre wertvollen Hinweise und die Begleitung des Vorhabens.

Besonderer Dank gilt auch dem Industriepartner Verseidag-Indutex GmbH.

# 1 Einleitung

In diesem Kurzbericht werden die Arbeiten und erreichten Ziele des Forschungsprojekts „Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen“ zusammengefasst dargestellt.

## 1.1 Projektziele

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer modularen, mehrlagigen, textilen Gebäudehülle mit adaptiven Eigenschaften. Die zu entwickelnden Systeme sollten umsetzbar sein als vorgespannte Membranstrukturen, aber auch als Ersatz für herkömmliche Wand- und Deckenaufbauten im Hochbau.

Eine solche Hülle sollte fähig sein, sich an verändernde Umgebungsbedingungen und Nutzungsanforderungen unter Verwendung eines minimalen Materialeinsatzes anzupassen. Diese Funktionalität sollte durch den Einsatz neuer Materialien, Beschichtungen und durch die Entwicklung sinnvoller Lagenaufbauten erreicht werden. Durch den Einsatz und die Kombination effektiver Materialien galt es, effiziente System für den Einsatz als zukünftige Hüllenelemente zu entwerfen und in Musteraufbauten umzusetzen.

Zunächst galt es, im Arbeitspaket 1 im Rahmen einer Recherche den Stand der Technik im Bereich der konstruktiven Ausführungen mehrlagiger textiler Konstruktionen zu ermitteln. Daneben stand die Ermittlung relevanter Werkstoffe im Fokus der Bearbeitung. Auch die Definition der zu erreichenden wärmetechnischen Kennzahlen von Hüllenaufbauten war Bestandteil der Forschungsarbeit.

Auf der Basis der Material- und Konstruktionsrecherche sollte im Arbeitspaket 2 die Entwicklung von Systemkonzepten für textile mehrlagige Hüllenaufbauten erfolgen. Wichtiges Werkzeug hierfür sollte ein Berechnungsprogramm darstellen, das in diesem Arbeitsblock zu erstellen war. Durch Materialcharakterisierung waren wichtige strahlungstechnische Kennwerte relevanter Werkstoffe zu bestimmen, um anschließend Simulationen von Hüllenaufbauten durchführen zu können.

Im dritten Arbeitspaket sollte die Umsetzung der Ideen durch die Herstellung von Musterelementen und -aufbauten sowie deren Charakterisierung erfolgen. Auch galt es, Aufbauten anhand der Messergebnisse an Mustern zu optimieren.

Die abschließende Dokumentation war Aufgabe des Arbeitspaketes vier. Dabei sollte der Vergleich zwischen der Simulation und der Vermessung diskutiert und Empfehlung für sinnvolle Hüllenaufbauten gegeben werden.

Im Rahmen der Bearbeitung wurde festgestellt, dass auf Grund der notwendigen sehr grundlegenden Herangehensweise zur Erstellung des Simulationsprogramms ein deutlich größerer Arbeitsaufwand als vorgesehen für diese Projektaufgabe nötig sein würde. Zudem war nach der Produktrecherche ersichtlich, dass alle für die wärme- und feuchtetechnische Simulation von Hüllenaufbauten nötigen Kennwerte nicht zur Verfügung stehen würden.

Beide Aspekte führten in Abstimmung mit dem Projektträger und den projektbegleitenden Beratern zu einer Schwerpunktverlagerung der Aufgabenstellung hin in Richtung Grundlagenerarbeitung (Sammlung von Material- und Produktdaten, Erstellung des Simulationsprogramms, Optimierung der Messtechnik, konzeptionelle Erarbeitung von Hüllenkonzepthen) und der Datenbankstrukturierung.

## 2 Zusammenfassung

Für die Entwicklung einer textilen Gebäudehülle wurden Teilziele definiert in den Bereichen Bauphysik, Tragwirkung, Nachhaltigkeit und Ästhetik.

Im Bereich der bauphysikalischen Eigenschaften sollte die zu entwickelnde textile Gebäudehülle in der Lage sein, als Schnittstelle zwischen Innen- und Außenraum zu agieren. Sie sollte dabei Anpassungsfähigkeit bezüglich Temperaturveränderungen und der Variation der auftretenden Strahlungsintensität aufweisen, den Luftstrom als auch den Feuchtigkeitsaustausch durch die Fassade regulieren können, den notwendigen Wärme- und Schallschutz gewährleisten und gleichzeitig den Durchgang des natürlichen Lichtes durch die Gebäudehülle ermöglichen.

Im Bereich der Tragfunktion sollte die zu entwickelnde textile Gebäudehülle in der Lage sein, den einwirkenden Kräften (Windlasten, Schneelasten) zu widerstehen und diese an das Primärtragwerk abzuleiten. Auch sollten die Möglichkeiten des Einsatzes von Aktuator-Sensor-Systemen im Hüllbereich untersucht werden.

Bezüglich des nachhaltigen Bauens sollten die Aspekte der Integration regenerativer Energiesysteme in den Hüllenaufbau, die Reduzierungsmöglichkeiten des Massenverbrauchs durch den Einsatz leichter und tragfähiger Werkstoffe sowie die Recyclingfähigkeit durch leicht separierbare Materialaufbauten berücksichtigt werden.

Textile Gebäudehüllen werden bezüglich ihrer Akzeptanz ganz wesentlich vom ästhetischen Erscheinungsbild aus bewertet werden. Jegliche Entwicklungen von Hüllkonzepten erfolgten daher unter dem Anspruch des architektonischen Erscheinungsbildes.

Zur Erreichung der definierten Ziele wurden vier Arbeitspakete definiert:

- AP1: Anforderungen und Recherche,
- AP2: Entwurf,
- AP3: Herstellung, Versuch und Optimierung,
- AP4: Dokumentation.

Im Rahmen des ersten Arbeitspakets erfolgten Recherchen zu textilen Bauten mit Mehrlagenaufbauten und dem Anspruch auf bauphysikalische Funktionalität. Die Ergebnisse in Form der Beschreibung dieser Bauten liegt vor in [1]. Als wesentliche Erkenntnis der Recherche konnte ermittelt werden, dass diese Bauten in der Vielzahl der Fälle durch die Kombination von Membranwerkstoffen mit herkömmlichen Dämmkonzepten ausgeführt wurden. Teilweise führte dies jedoch zu Problemen bezüglich der Durchfeuchtung der Dämmung und damit einhergehend zur Reduzierung der Dämmeigenschaften. Zur komfortablen Verwaltung der Kenndaten der ebenfalls im Arbeitspaket 1 recherchierten Produktdaten erfolgte die Programmierung und Pflege einer Datenbankstruktur. In die Datenbank eingepflegt wurden die Produktdaten der Hersteller, aber auch Daten aus der eigenen Vermessung der eingeholten Folien, Membranen und Funktionswerkstoffe. Die Datenbank ermöglicht die kriterienselektive Auswahl einzelner Werkstoffe und wurde als hilfreiches Werkzeug bei der Erarbeitung von Hüllkonzepten eingesetzt.

Ziel der Arbeiten im Arbeitspaket 2 war es zunächst, durch das Erstellen von Simulationswerkzeugen, die die bauphysikalischen Mechanismen des Wärme- und Feuchtetransports physikalisch möglichst korrekt abbilden sollten, die Grundlage für die ebenfalls in diesem Arbeitspaket angesiedelte Entwicklung von Konzepten für mehrlagige Gebäudehüllen zu schaffen. Mit dem erstellten Programm war es möglich, vergleichend unterschiedliche Lagenaufbauten zu analysieren, zu optimieren und zu bewerten.

Unterschiedliche Muster verschiedener Hüllenaufbauten wurden im Arbeitspaket 3 hergestellt und mit dem im Projekt gebauten Wärmedurchgangsprüfstand messtechnisch untersucht. Durch die zur

Verfügung stehenden Werkzeuge im Bereich der Simulation und der Messtechnik erfolgte die Bewertung der Hüllenaufbauten.

Die Optimierung der Schichtaufbauten nach Arbeitspaket 4 erfolgte sukzessive und partiell im Rahmen der Weiterentwicklung der Hüllenaufbauten von grundlegenden Ideen bis zu den im entsprechenden Forschungsbericht [2] dokumentierten Systemen.

Die am Institut durchgeführten Untersuchungen und Experimente haben grundsätzliche Möglichkeiten zum Aufbau von sinnvollen, klimatechnisch hochwertigen, mehrlagigen, textilen Gebäudehüllen unter Maßgabe der definierten Ziele aufgezeigt. Dies konnte insbesondere mit Hilfe der im Forschungsprojekt entworfenen, gebauten und verifizierten Messanlage zur Bewertung von Wärmedurchgangseigenschaften in mehrlagigen textilen Hüllen und der Simulationssoftware für Wärmeleitungs- und Wärmestrahlungsvorgänge demonstriert werden. Mit diesen, durch verschiedene Referenzmaterialien validierten Mess- und Simulationstechniken entstanden am Institut fundamentale Voraussetzungen für die konzeptionelle Erstellung von Hüllenaufbauten und deren Bewertung.

Im Rahmen des Validierungsprozesses wurde die Sensibilität der Berechnung der Wärmedurchgangsvorgänge - insbesondere im Vergleich von Messung und Simulation - bezüglich der Festlegung der Umgebungsbedingungen und damit des Wärmeübergangswiderstands deutlich. Auch die Wichtigkeit einer genauen Ermittlung der radiometrischen Kennwerte der Transmission, Reflektion und Absorption der eingesetzten Materialien im solaren und dem infraroten Strahlungsspektrum wurde offenbar. Charakteristische Werte in diesem Bereich sind bisher kaum verfügbar und werden daher jeweils projektbezogen im Rahmen von Bauvorhaben ermittelt. Sie stehen daher den Planern im Bereich des textilen Bauens nur partiell zur Verfügung, was sich bezüglich der energetischen Bilanzierung von Vorhaben als großes Hemmnis erweist. Bezüglich der Verfügbarkeit der feuchtetechnischen Kennwerte gilt ähnliches. Nötige Daten für die Feuchtetransportvorgänge sind bisher kaum verfügbar.

Die beiliegend zum geförderten Vorhaben erstellte Datenbank eröffnet die Möglichkeit, durch eine kontinuierliche Datenpflege eine Datenbasis verfügbar zu machen, um die beschriebene Problematik zu beheben.

Weiterhin wurden Konzepte zur Einbindung von adaptiven Eigenschaften bezüglich des Wärme-, Luft- und des Feuchtigkeitsaustausches entwickelt und untersucht.

Für die Messe BAU 2009 in München erfolgte die Umsetzung einiger dieser Konzepte als Prototypen. Hierfür kamen zum Beispiel Ideen zur Realisierung von adaptiven Öffnungen, zur Wärmespeicherung, zu einer transluzenten, schaltbaren Wärmedämmung, und zur Funktionalisierung von textilen Materialien zur Beleuchtung und die Energiegewinnung zum Einsatz.

Im Fall der schaltbaren Wärmedämmung zeigten die durchgeführten Eignungsuntersuchungen, dass die angedachte Methodik (Komprimierung von Glasfasergespinnst) noch nicht die gewünschten Resultate im Hinblick auf hohe Variabilität der Dämmeigenschaften und die Zyklfestigkeit gewährleistet.

Weitere Anschlussprojekte sind wünschenswert, um die beschriebenen Fragestellungen wissenschaftlich in der nötigen Tiefe zu bearbeiten und Lösungen zu finden.

### **3 Ausblick**

Die Arbeiten, die im Rahmen dieses Projekts durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Umsetzung von mehrlagigen, textilen Gebäudehüllen als vollwertige Klimahüllen ein komplexes, aber vielversprechendes Thema ist. Weiterführende Arbeiten im Rahmen von Anschlussprojekten sind am ILEK bereits in Arbeit bzw. in Planung.

Aufbauend auf den Ergebnissen des abgeschlossenen Projekts zu adaptiven mehrlagigen textilen Gebäudehüllen ist das Institut bestens gerüstet, die laufenden, weiterführenden Arbeiten zum Themenkomplex textiles Bauen erfolgreich durchzuführen.

Im Weiteren werden zwei dieser Projekte kurz vorgestellt, um die Bedeutung der Ergebnisse des Forschungsprojekts zu adaptiven mehrlagigen textilen Gebäudehüllen für die Nachfolgeprojekte zu erläutern.

#### **1.2 PROFAKU**

Bei einem noch laufenden Projekt wird derzeit die Problematik der Einbindung von mehreren Lagen von Textilien und Funktionswerkstoffen in Rahmenprofile untersucht (Projekt PROFAKU der Zukunft-Bau-Initiative, Förderkennzeichen Z 6 – 10.08.18.7-08.29). Die als Sekundärstruktur vorgesehenen Profilsysteme sollen in der Lage sein, unterschiedliche Hüllenaufbauten aufzunehmen und in Form von modularen Elementen zur Verfügung zu stellen. Die Lastableitung äußerer Einwirkungen und ggf. der Vorspannlasten erfolgt vom „PROFAKU-Profil“ in die Primärtragstruktur.

#### **1.3 Akustische Konditionierung von textilen Gebäudehüllen**

Ein weiteres Projekt hat die umfassende Untersuchung von textilen Werkstoffen und mehrlagigen Systemaufbauten bezüglich akustischer Wirkweisen und die akustische Konditionierung von Fassaden, Decken und Innenwandsystemen zum Inhalt. Die bauphysikalische Bewertung von Werkstoffen und von Bausystemen gewinnt zunehmend an Bedeutung, da durch Lärm als einer der größten Umweltbelastungsfaktoren auch die auditive Wahrnehmung von Räumen vermehrt ins Bewusstsein rückt. Zu große Hintergrundgeräusche und akustische Mängel unterstreichen oftmals eine schlechte Verständlichkeit und führen zu wesentlichen Einbußen bei der Raum- und Lebensqualität.

Durch die Anpassungsfähigkeit der Bau- und Raumakustik an die jeweilige Nutzungssituation werden Störgeräusche und der Lärmpegel gezielt reduziert sowie die Sprachverständlichkeit und die Raumklangqualität je nach Anwendungsbereich verbessert. Eine adaptive Raumakustik ermöglicht es, auf die jeweilige Nutzungssituation einzugehen, auf unerwartete Ereignisse zu reagieren oder inszenierte Darbietungen zu unterstreichen.

Die akustische Konditionierung textiler Gebäudesysteme erweitert somit konsequent die Forschungsprojekte des Themenbereichs der adaptiven textilen mehrlagigen Gebäudehüllen um einen weiteren relevanten bauphysikalischen Aspekt. Das Potential des Mehrlagenaufbaus, durch Kompressibilität, geometrische Veränderbarkeit oder materialtechnische Optimierung die verschiedenen Systemparameter zu verändern und zur Anpassungsfähigkeit des Systems beizutragen, kann so auf die akustische Bewertung, Wirkungsweise und Optimierung ausgeweitet werden. Das Ziel ist die Verifizierung der Materialeigenschaften von potentiellen Werkstoffen, die Modifikation von Systemaufbauten und die Entwicklung von funktionsgerechten Adaptionstechnologien, die die Veränderung des Absorptionsvermögens textiler Schichten ermöglichen. Das beschriebene Vorhaben befindet sich in der Evaluierung.

## Literatur

- [1] Haase, W. et al. : Recherchebericht zum Forschungsbericht „Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen“, Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart, Juni 2011.
- [2] Haase, W. et al. : Forschungsbericht „Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen“, Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart, April 2011.