

### Adaptive Raumakustik und akustische Konditionierung im Bauwesen (ARAKO)

Adaption der akustisch wirksamen Parameter von Textil- und Membransystemen zur Verbesserung bauakustischer Maßnahmen sowie zur Steigerung und Anpassung der Raumakustik und Raumklangqualität

Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ gefördert.

Dipl.-Ing. Fabian Schmid

Dipl.-Ing. Eva Veres

Dr.-Ing. Walter Haase

Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

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

Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer



Universität Stuttgart

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren

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

Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Jun.-Prof. Dipl.-Ing. Dirk A. Schwede, PhD

Forschungsprojekt: Adaption der akustisch wirksamen Parameter von Textil- und Membransystemen zur Verbesserung bauakustischer Maßnahmen sowie zur Steigerung und Anpassung der Raumakustik und Raumklangqualität

Förderkennzeichen: SF- 10.08.18.7- 11.20 / II 3-F20-10-1-038

Förderstelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung  
Referat II3  
Deichmanns Aue 31 - 37  
53179 Bonn

Gesamtkosten: 238.432,80 Euro (Antragsstellung)  
Anteil Bundeszuschuss: 142.932,80 Euro (Antragsstellung)

Mitarbeit: Dipl.-Ing. Fabian Schmid (ILEK)  
Dipl.-Ing. Eva Veres (LBP)  
Dr.-Ing. Walter Haase (ILEK)  
Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra (LBP)  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek (ILEK)  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer (LBP)

Bearbeitungszeitraum: September 2011 bis Juni 2014

Berichtszeitraum: September 2011 bis Juni 2014

Bearbeitungsstelle: Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren  
Pfaffenwaldring 7 + 14  
70569 Stuttgart  
  
Lehrstuhl für Bauphysik  
Pfaffenwaldring 7  
70569 Stuttgart

Anmerkung: Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Dieser Kurzbericht umfasst 9 Seiten.

Stuttgart, 02.03.2015

## Danksagung

Unser Dank gilt dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung für die Förderung des Forschungsprojektes im Rahmen der Initiative „Zukunft Bau“.

Für die projektbegleitende Beratung, Unterstützung und den inspirierenden Austausch bedanken wir uns beim Fraunhofer Institut für Bauphysik, der Groz-Beckert KG, der GST GmbH, der Lantor GmbH, der LPS GmbH, der Versaidag-Indutex GmbH und bei der Werner Sobek Stuttgart GmbH & Co. KG.

Den Werkstattmitarbeitern des ILEK gilt der Dank für die technische Unterstützung bei den Prüfständen und für die Umsetzung der notwendigen Konstruktionselemente.

Für die Möglichkeit, die prototypischen Lagenaufbauten messtechnisch zu prüfen, danken wir den Mitarbeitern des Fraunhofer Institut für Bauphysik am Standort Stuttgart.

Fabian Schmid, Eva Veres, Walter Haase, Schew-Ram Mehra, Werner Sobek, Klaus Sedelbauer

# 1 Kurzfassung

Die Ziele des Forschungsvorhabens sind die Verifizierung der akustischen Eigenschaften von relevanten Werkstoffen und Systemaufbauten des textilen Bauens, die Optimierung von mehrlagigen passiven Systemaufbauten und die Weiterentwicklung hin zu aktiv wirkenden Fassaden- und Innenwandsystemen. Das Forschungsprojekt konnte die technologischen und funktionalen Möglichkeiten der Schallabsorption, Dämmung und Reflexion bewerten und sie zusammen mit Adaptionismethoden auf Basis von mehrlagigen textilen Gebäudehüllen zu einer veränderbaren Bau- und Raumakustik zusammenführen. Neben der Verifizierung verwendbarer Werkstoffe, Werkstoffkombinationen sowie der adaptiven Systeme standen die Entwicklung von Lösungsstrategien und die Erstellung von Prototypen für einen optimalen Schallschutz und für eine veränderbare Raumakustik im Mittelpunkt des Projektes. Das Vorhaben erweitert damit die Forschungsprojekte des Themenbereichs der adaptiven textilen mehrlagigen Gebäudehüllen am Institut um einen weiteren relevanten bauphysikalischen Aspekt.

Die Bewertung der akustischen Wirkweise von Werkstoffen und Bausystemen gewinnt zunehmend an Bedeutung, da Lärm einen der größten Umweltbelastungsfaktoren für den Menschen darstellt. Die auditive Wahrnehmung von Räumen rückt damit zunehmend ins Bewusstsein der Nutzer und Planer. Laute 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 zum einen die Störgeräusche und der Lärmpegel gezielt reduziert, zum anderen wird die Sprachverständlichkeit und die Raumklangqualität je nach Anwendungsbereich verbessert. Eine adaptive Raumakustik ermöglicht somit auf die jeweilige Nutzungssituation einzugehen, auf unerwartete Ereignisse zu reagieren oder inszenierte Darbietungen zu unterstreichen.

Begonnen wurde das Projekt mit einer ausführlichen Literatur- und Internetrecherche zu den physikalischen Grundlagen der technischen Akustik, zu potentiellen Werkstoffen für das textile Bauen, zu bereits vorhandenen Systemlösungen in anderen Disziplinen und zu notwendigen Mess- und Bewertungsverfahren für den Bereich der Bau- und Raumakustik.

Bei vorangegangenen Forschungsprojekten wurde im Bereich der ultraleichten, hocheffizienten, textilen Gebäudehüllensysteme geforscht und es wurden im Rahmen der Zukunft Bau Forschungsprojekte „Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen“ und „Entwicklung leichter Profile und Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen für Anwendungen in der textilen Gebäudehülle und der Fenster-technik“ Elemente für modulare Gebäudehüll- und Wandaufbauten entwickelt. Die daraus resultierenden konzeptionellen, konstruktiven und bauphysikalischen Erkenntnisse wurden als gegeben vorausgesetzt und dienen somit als Grundlage für die Integration neuer, potentieller Technologien und Systemaufbauten.

Aus den Ergebnissen der Recherche und den Erfahrungen aus den vorangegangenen Projekten wurden die zu untersuchenden Werkstoffe und Lagenaufbauten festgelegt. Die Vielzahl an Produkten und die daraus resultierenden Kombinationsmöglichkeiten zwingen zu einer Kategorisierung und Wichtung, um Anforderungen und Schwerpunkte im Forschungsprojekt definieren zu können. Demnach standen die im textilen Bauen bisher verwendeten Werkstoffkombinationen und Systeme an erster Stelle. Dabei handelt es sich um vorgespannte Gewebelagen aus Polyvinylchlorid (PVC) beschichtetem Polyestergewebe sowie aus Polytetrafluorethylen (PTFE) beschichtetem Glasfasergewebe. Diese sollten, wie im Bauwesen üblich, immer als äußere Membranlage für den Witterungsschutz und für die Sicherstellung der Tragfähigkeit eingesetzt werden. Die Gewebe für die prototypischen Umsetzungen stammen aus der Produktion der Firma Verseidag-Indutex.

Im Rahmen des Projektes wurde auch die vorgesehene Serienuntersuchung und Charakterisierung von Werkstoffen, Werkstoffkombinationen und akustisch wirksamen Systemlösungen durchgeführt. Das vorhandene Impedanzrohr zur messtechnischen Erfassung der Schallabsorptions- und Reflexionsgrade wurde weiter ausgebaut und die Auswertelgorithmen mit MATLAB, einem numerischen Berechnungsprogramm zur Lösung und Darstellung mathematischer Zusammenhänge, optimiert. Kalibrierung und Vergleichsmessungen wurden durchgeführt. Die Serienprüfung wurde begonnen und die Ergebnisse wurden in die vorhandene Produkt- und Werkstoffdatenbank aufgenommen.

Im weiteren Schritt wurde ein passiv wirkendes System als mehrschalige Kombination aus Polyvinylchlorid (PVC) beschichteten Polyesterwebelagen und Polyesterverbundvliesstoffen entwickelt. Der Vliesstoff wurde dabei auf die akustischen und tragstrukturellen Aspekte sowie auf die Herstellbarkeit hin optimiert und in der Zwischen- oder Funktionslage angebracht. Eine textile Deckschicht, bei der die höchst mögliche Masseverdichtung durch den industriellen Vernadelungsprozess umgesetzt werden konnte, wurde mit einer offenporigen Vliesstofflage verbunden, die erfahrungsgemäß als Hohlraumdämpfung geeignet ist. Die entwickelte Vliesstoffkombination wurde im Rahmen des Forschungsprojektes bei der Groz-Beckert KG weiterentwickelt und hergestellt. Hierzu wurde eine Bachelorarbeit an der Hochschule Albstadt-Sigmaringen mit Schwerpunkt der textiltechnischen Entwicklung durchgeführt. Damit konnte der Verbundvliesstoff für erste prototypische Aufbauten, für die Voruntersuchungen und die messtechnischen Prüfungen zur Ermittlung des Schalldämm-Maßes konfektioniert werden.

Die beiden entwickelten passiv wirkenden Systemaufbauten gewonnenen Ergebnisse ermöglichten die Einschätzung, dass deren Wirkweise konsequent in ein aktiv wirkendes System weitergeführt werden kann. Daraufhin wurde im Projektverlauf beschlossen, die messtechnischen Prüfungen des Schalldämm-Maßes für passive und aktive Aufbauten im Türenprüfstand des Fraunhofer Instituts für Bauphysik gemeinsam und damit nach der Entwicklung der aktiv wirkenden Bauelemente durchzuführen. Der Türenprüfstand ist für die Charakterisierung von Türen ausgelegt und kann auch für Untersuchungen von Fassadenaufbauten verwendet werden. Der Vorteil dabei liegt in den geringeren Abmessungen der Probenaufbauten im Vergleich zum Fassadenprüfstand.

Die Systementwicklung eines akustisch aktiv wirkenden Aufbaus konnte in Zusammenarbeit mit der Global Safety Textiles GmbH durchgeführt werden. Es wurde ein textiles Bauelement entwickelt, welches die flächenbezogene Masse einer Lage im Systemaufbau durch Fluidbefüllung zeitlich variabel erhöhen kann. Das entstandene zweilagige Taschengewebe konnte in ersten Varianten produziert und getestet werden. Auch die Weiterentwicklung und die Konfektionierung für den Türenprüfstand konnten durch diese Zusammenarbeit erfolgreich durchgeführt werden.

Nach Herstellung aller relevanten Bauelemente wurde die messtechnische Prüfung von sieben unterschiedlichen Lagenaufbauten durchgeführt, die passiv wie auch aktiv wirkende Systemkonzepte abdecken. Für die Umsetzungen in exemplarische Fassadendemonstratoren erfolgten danach die Auswertung und die Eingrenzung der zielführendsten Lösungsvarianten.

Abschließend wurden für die ausgewählten Lösungen weitere bauphysikalische Kennwerte ermittelt, um die Leistungsfähigkeit hinsichtlich einer Anwendung als Fassadenlösung übergeordnet einschätzen zu können. Die dafür parallel zum Forschungsprojekt durchgeführte Systemkonzeption und -entwicklung hinsichtlich mehrerer unterschiedlich wirkender Anforderungen konnten anhand des Indikators der Funktionsintegration im Forschungsprojekt und durch die methodische Vorgehensweise im Entwicklungsprozess umgesetzt werden. Die Untersuchungen wurden hinsichtlich der Faktoren Belichtung, Wärme- und Feuchtehaushalt sowie Brandschutz näher untersucht.

Die Arbeiten wurden mit dem Bau von drei Fassadenelementen mit unterschiedlichen Lagenaufbauten abgeschlossen, um unterschiedliche Funktionsbereiche und die schallschutztechnische Leistungsfähigkeit der entwickelten Konzepte zu zeigen.

## 2 Zusammenfassung

### 2.1 Problemstellung und Zielsetzung

Mehrlagige textile Gebäudehüllen sind Konstruktionen aus flexiblen Hochleistungsmaterialien, die den äußeren Gebäudeabschluss unter Einhaltung aller konstruktiven, bauphysikalischen und nutzerspezifischen Anforderungen erfüllen. Es handelt sich dabei um ein Fassadenkonzept, das konsequent die Reduzierung der eingesetzten Ressourcen, die Austauschbarkeit aller Systemkomponenten und anwendungsspezifische Anpassung mittels systematischer Baugruppenmodularität umsetzen soll. Im Rahmen der bisherigen Forschungsprojekte am Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren wurden die konstruktiven, wärme- und feuchtetechnischen Grundlagen erarbeitet. Entsprechende Prototypen mit dem Fokus auf Luft-, Feuchte- und Wärmeregulation wurden entwickelt und verifiziert.

Die unterschiedlichen Anforderungen einer Fassade können in vielfältiger Weise durch die Nutzung der individuellen Werkstoffeigenschaften und des Systemaufbaus der Rahmenkonstruktion in Kombination mit der textilen Oberflächenstruktur erfüllt werden. Die Hauptaufgabe des Entwurfs besteht darin, aus Werkstoffen Bauteile herzustellen, die innerhalb der Konstruktion so positioniert sind, dass eine ausreichende Wirkung eintritt, um die relevanten physikalischen, strukturellen und ästhetischen Anforderungen erfüllen zu können. Die Herausforderung, die mit der Entwicklung textiler Gebäudehüllen ersichtlich wird, ist die Notwendigkeit eines Konfliktlösungsansatzes, der zwischen konkurrierenden Anforderungen im Gestaltungsprozess zielsicher vermittelt. Dies führt zwangsläufig zu konträren Zielvorstellungen und Interaktionen zwischen den verschiedenen Bestandteilen des Systems. Die Errichtung einer ausreichenden Balance zwischen Interaktionen und Konfliktlösung ist nur durch einen kontinuierlichen iterativen Gestaltungsprozess möglich.

Eine wesentliche Größe, die detaillierter untersucht werden musste, waren die schallschutztechnischen Anforderungen und die Ansprüche an die Raumakustik sowie die damit zusammenhängenden Effekte und Lösungskonzepte. Schallschutzmaßnahmen im städtischen Umfeld werden hauptsächlich durch die Reduktion der eigentlichen Lärmquellen, durch die Errichtung von Schallschutzmaßnahmen, die vornehmlich den Lärm durch Reflexion abschirmen und schließlich durch Ertüchtigung der bestehenden Bebauung, beispielsweise mit Lärmschutzverglasungen oder durch die Grundrissausrichtung bei Neubauten, erreicht. Eine Verbesserung der Raumakustik in geschlossenen Räumen wird durch passiv wirkende, schallabsorbierende Decken- und Wandelemente realisiert.

Der Entwicklungsschwerpunkt für absorbierende Schallschutzmaßnahmen im Stadtraum liegt somit bei Systemlösungen, die Materialien mit optimalem akustischem Strömungswiderstand, witterungsgeschützt und ästhetisch anspruchsvoll einsetzen. Die umfassenden methodischen, konzeptionellen, konstruktiven und bauphysikalischen Ergebnisse der vorangegangenen Forschungsprojekte der adaptiven mehrlagigen textilen Gebäudehüllen am Institut bilden dafür eine fundierte Grundlage.

Für die erforderliche akustische Anpassungsfähigkeit und Veränderlichkeit sind textile Werkstoffe aufgrund ihrer Werkstoffeigenschaften und breiten Anwendungsspektren prädestiniert. Darüber hinaus ermöglichen sie es auf einzigartige Weise material- und ressourcensparende Lösungswege zu entwickeln. Sie leisten damit einen wesentlichen Beitrag auf dem Weg hin zum materialsparenden, umweltverträglichen und nachhaltigen Bauen und geben dem Aspekt der auditiven Architektur bei der Bewertung von Raum- und Lebensqualität mehr Gewicht.

Die Probleme des Schallschutzes sind dabei in komplexe Prozesse der Planer, Kunden und Nutzer eingebunden, die jeweils für sich individuelle Anforderungen und Kriterien definieren. Als übergeordnete Herausforderung für das Bauwesen hat sich für die kommenden Jahrzehnte eine sogenannte nachhaltige Entwicklung von Gebäuden, Bauteilen, Infrastrukturen sowie der zugrundeliegenden Abläufe und Prozesse herausgebildet.

Lösungen, die unterschiedlichen Anforderungen genügen, sind selbst in vernetzte Wirkweisen eingebunden. Ergänzend werden die Zielvorgaben und die Leistungserfüllung von den beteiligten Disziplinen aus verschiedenen Perspektiven bewertet.

Eine wesentliche Aufgabe im Planungsprozess ist, die Überlegungen, Vorhaben und Handlungen sinnvoll zusammenzuführen und zu koordinieren, um durch das Entwerfen, Entwickeln und Gestalten gesamtheitliche Antworten zu erarbeiten. Dieses Ziel gelingt bisher nur teil- oder phasenweise. Bei Leichtbaustrukturen, wie es textile Gebäudehüllen als masse- und ressourcensparendes Lösungskonzept sind, wird die effiziente, kombinierte Umsetzung der sinnvollsten Maßnahmen und damit die Einbindung unterschiedlichster Disziplinen von großer Bedeutung.

Durch die Konzeption der Arbeitsphasen im Forschungsprojekt und die begleitende methodische Aufarbeitung der Entwicklungsprozesse, wurde versucht die Forschungs- und Industriepartner für die übergeordneten Zusammenhänge zu sensibilisieren. Es wurde lange an den grundlegenden und prinzipiellen Zusammenhängen gearbeitet, um nicht vorschnell eine exemplarische Lösungsvariante zu bevorzugen und Wissen über bauphysikalische Wirkweisen sowie zu Produktions- und Herstellungsmöglichkeiten frühzeitig in den Gestaltungsprozess einfließen zu lassen.

Durch die kombinierte Betrachtung beider Themenfelder wird ein funktionaler und ästhetischer Mehrwert der städtischen Schallschutzmaßnahmen realisierbar und die Umsetzung der adaptiven mehrlagigen textilen Gebäudehüllen weiterentwickelt.

## 2.2 Arbeitsphasen und Ergebnisse

Zur Erreichung der definierten Ziele wurden vier Arbeitsphasen definiert:

- AP1: Grundlagen
- AP2: Charakterisierung der Systemaufbauten
- AP3: Optimierung der Systemlösung
- AP4: Dokumentation

Im Rahmen des ersten Arbeitspakets erfolgte eine breit angelegte Recherche mit Inhalten zur Bau- und Raumakustik, der Elektroakustik aber auch zu Herstellungs- und Produktionsverfahren, Ergebnissen in der Automobilindustrie oder der Luft- und Raumfahrttechnik. Die Recherche wurde in ZOTERO-Datenbanken strukturiert dokumentiert.

Aus den Erfahrungen der vorangegangenen Projekte, der Diskussion mit dem Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart (LBP) und den vorhandenen Voruntersuchungen wurden Funktions- und Anwendungsbeschreibungen für Materialien, Werkstoffe, Systeme und für Adaptionismethoden verfasst. Diese dienten als Grundlage für die Erstellung einer Bewertungsmatrix für Systemlösungsansätze und für die Optimierung der später entwickelten Lagenaufbauten.

Auf Grundlage der Recherche wurde für die Serienuntersuchungen der Werkstoffe und Materialien die Impedanzrohrmethode als sinnvoll bestätigt. Die Serienuntersuchung von textilen Werkstoffen und die Einarbeitung in die institutsinterne Datenbank wurden durchgeführt. Die Ergebnisse der Recherche flossen auch in Dokumente zur Charakterisierung von Werkstoffeigenschaften und zur Charakterisierung von Systemlösungen ein. Die Erhebungsbögen dienen zur Verifizierung der jeweiligen Eigenschaften und können mittels der gewichteten Bewertungsmatrix zu aussagekräftigen Vergleichen herangezogen werden.

Der Mehrlagenaufbau wurde bei der Systementwicklung aus den physikalischen, werkstoffspezifischen und konstruktiven Grundlagen heraus im Rahmen der vorangegangenen Forschungsprojekte als sinnvolle Konfiguration ermittelt.

Mit diesen Einschätzungen und Expertisen wurden die zu verwendenden Werkstoffe festgelegt.

Im weiteren Schritt war der prinzipielle Aufbau der Kernlagen zu definieren. Aus den Variantenstudien ergab sich als leistungsfähigste Lösung eine Schichtung in Anlehnung an in der Raumakustik typisch verwendeten Platten-, Helmholtz- sowie Breitband-Resonatoren.

Aus den Vorentwürfen, den Variantenstudien und der Einschätzung zur Herstellbarkeit wurde ein zweischichtiger, vernadelter Lagenaufbau entwickelt, der die akustische Leistungsfähigkeit (Schalldämmung) eines rein textilen Aufbaus demonstrieren soll und vielseitig in den zweischaligen Systemaufbauten Anwendung finden kann.

Der entwickelte Lagenaufbau kann als Ausgangs- beziehungsweise Vorprodukt für verschiedene, akustisch passiv wirkende Systeme dienen und ist damit "universell" einsetzbar. Hierbei sind insbesondere mehrschaliger Aufbauten aus zwei gespiegelten Schichten mit luft- und feuchtedichten Deckschichten sowie mehrschaliger Aufbauten aus zwei gespiegelten Schichten mit beschwerenden Deckschichten interessant.

Erste Konzepte zur Umsetzung einer Anpassungsfähigkeit der Masse konnten nach der Entwicklung der ersten passiven Konzepte mit dem Kooperationspartner GST GmbH auf die Realisierbarkeit hin geprüft und in Prototypen umgesetzt werden.

Die Charakterisierung der Systemlösungen wurde in Arbeitsphase zwei realisiert. Neben der Serienprüfung im Impedanzrohr wurden die prinzipiell erarbeiteten Systemlösungen im Türenprüfstand hinsichtlich der Schalldämmung validiert. Insgesamt wurde die Schalldämmung von sieben Varianten gemessen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Schalldämm-Maße aller im Rahmen dieses Vorhabens untersuchten Konstruktionen weder den typischen einschaligen noch den zweischaligen Verlauf zeigen. Charakteristisch ist dabei, dass die Schalldämm-Kurven bis 800 Hz in ihrem Verlauf eher dem Verhalten gleich schwerer einschaliger Bauteile ähneln. Die Luftschicht, bzw. die Hohlraumfüllung zwischen den beiden äußeren Schalen scheint sich in akustischer Hinsicht nicht wie eine Feder, sondern eher wie eine biegeeweiche Platte zu verhalten, so dass eine starre Kopplung zwischen den Schalen besteht.

Nach Abschluss der Messreihe im Türenprüfstand und nach der Auswertung der Ergebnisse wurden in Arbeitsphase drei die unterschiedlichen Lösungen hinsichtlich weiterer Anforderungen an Fassaden untersucht. Damit konnte für die prinzipiellen Funktionsbereiche einer Fassade (transparent, transluzent und opak) eine übergeordnete Einschätzung zur Leistungsfähigkeit dieser masse- und ressourcensparenden sowie anpassungsfähigen Lösungskonzepte erarbeitet werden. Die Untersuchungen wurden mit Simulationen zur Wärme- und Feuchteproblematik, zur Belichtung und zum Brandschutz durchgeführt. Insbesondere für den Aspekt des Brandschutzes konnten prinzipielle Lösungen entwickelt werden. Eine messtechnische Prüfung war im Rahmen des Forschungsprojektes nicht möglich. Diese Untersuchungen müssen folgen, da sowohl interessante werkstoffimmanente, als auch anlagentechnische Lösungskonzepte im Forschungsprojekt aufgezeigt werden konnten. Diese Lösungsansätze führen eine Funktionsintegration und die aktive Beeinflussung von wechselnden Randbedingungen und Anforderungen in einem Gesamtkonzept weiter. Nach der Einordnung von zielführenden Lösungen wurden prototypische Fassadenelemente umgesetzt.

In Arbeitsphase vier wurden die Arbeitsergebnisse dokumentiert. Zudem wurden während der Projektlaufzeit mehrere Zeitschriftenartikel und Konferenzbeiträge verfasst und publiziert sowie die Ergebnisse in Ausstellungen gezeigt und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

### 2.3 Fazit

Die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Untersuchungen haben die Möglichkeiten zum Bau von sinnvollen, klimatechnisch hochwertigen, schalltechnisch funktionierenden, mehrlagi-

gen, textilen Gebäudehüllen aufgezeigt. Dies konnte insbesondere mit Hilfe der im Forschungsprojekt durchgeführten, breiten Überprüfung der bauphysikalischen Parameter zu Wärme- und Feuchteverhalten, zur Bau- und Raumakustik sowie zum Brandschutz und zur Belichtung gezeigt werden.

Wesentlich für diese prinzipiellen Aussagen waren die detaillierten Untersuchungen zum bau- und raumakustischen Verhalten ultraleichter Lagenaufbauten. Im Rahmen des Validierungsprozesses wurde die Relevanz der richtigen Werkstoffauswahl, der richtigen Lagenschichtung und der zielführendsten Masseverteilung im Lagenaufbau gezeigt. Weiterer wichtiger Aspekt waren die Erkenntnisse zur anpassungsfähigen und einstellbaren Masseverteilung in solchen leichten Aufbauten, um die Konstruktionen an unterschiedliche Nutzungsbedingungen anzupassen und dadurch insgesamt eine optimierte, effektive und effiziente Lösung zu entwickeln.

Als Ergebnisse wurde ein Verbundvliesstoff, ein Aerogel gefülltes Abstandsgewirk und ein fluidgefülltes Taschengewebe als drei wesentliche Bauteile für ultraleichte Fassadenlösungen entwickelt, umgesetzt und getestet. Diese Bauteile gilt es nach dem Forschungsprojekt weiter zu optimieren und zur marktreife hin zu entwickeln.

Die Untersuchungen wurden von technikwissenschaftlichen Vorgehensweisen und Methoden zur zielführenden und schnellen Lösungsfindung begleitet.

Weitere Anschlussprojekte sowohl zur methodischen Lösungsfindung wie zu den entwickelten Bauteilen für ultraleichte Fassadenlösungen sind wünschenswert, um die Erkenntnisse in absehbarem Zeithorizont in Produkte und Fassaden umsetzen zu können.

### 3 Literatur

Schmid, F.; Veres, E.; Haase, W.; Mehra, S.; Sobek, W.; Sedlbauer, K.: Forschungsbericht „Adaptive Raumakustik und akustische Konditionierung im Bauwesen (ARAKO)“, Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, Universität Stuttgart, März 2015.