



MEMBRANKONSTRUKTIONEN hat der Mensch schon immer bewohnt, das Tipi der Indianer ist ein gutes Beispiel für sie. Damals wie heute helfen sie den Menschen, sich gegen die Unbilden seiner Umwelt zu schützen, heute vielleicht noch mehr als damals, denn heute können die Membrankonstruktionen auch noch einen wichtigen Beitrag zur Energieeffizienz leisten.

Neue Hüllen für alte Gebäude

Membrankonstruktionen können einen wichtigen Beitrag zur Energieeffizienz im Bestandsbau leisten

Eines ist erforscht und sicher: Membrankonstruktionen können im Bestandsbau deutlich zur Energieeffizienz beitragen. Im folgenden Beitrag werden deshalb die wichtigsten Eigenschaften der gängigsten Membranbaustoffe beschrieben, die heute sinnvoll für Hochbauten eingesetzt werden können. Es wird dabei auch über die praxisorientierte Forschung an zwei konkreten baulichen Situationen berichtet, die aufzeigen, welche Werkzeuge aus Sicht des Planers sinnvoll beziehungsweise wichtig sind, um die mit Membranbauteilen erzielbaren energetischen Vorteile abschätzen und optimieren zu können.

W. Lang | T. Rampp | K. Puchta
| J. Cremers | A. Beck | M. Binder | V. Fux
| J. Manara | M. Arduini-Schuster
| H.-P. Ebert

Membrankonstruktionen gehören zu den ältesten Beispielen für Bauten, die von Menschen geschaffen werden. Spätestens seit der Jungsteinzeit schützten sich nomadisch lebende Jäger und Sammler mit zeltförmigen Gebäuden vor ungünstigen Witterungsbedingungen und möglichen Feinden. Im Wesentlichen wurden hierzu Stängenzeltkonstruktionen errichtet, bei denen weiche Materialien wie Tierhäute, Filzdecken oder Pflanzenmatten über eine Tragkonstruktion aus Holz oder Tierknochen gespannt wurden, eine Konstruktionsart, die sich bis heute im indianischen Tipi oder den

Stängenzelten der Rentierzüchter Lapplands beziehungsweise Sibiriens wiederfindet [1], [2]. Eine grundlegende Weiterentwicklung stellt der Bautyp des nordafrikanischen Beduinenzelts und des tibetischen Nomadenzelts dar, bei denen mittels Stützstangen Hochpunkte gebildet werden, auf die membranartige Gewebe aufgelegt und mittels Abspannung im Boden verankert werden.

Auch wenn diese Zelttypen die Ursprünge der heutigen zugbeanspruchten Membrankonstruktionen darstellen, so waren es vor allem die grundlegenden Entwicklungen von Walter Bird und Frei Otto, die den Durchbruch des modernen Bauens mit Membrankonstruktionen darstellen. 1948 errichtet Walter Bird die ersten luftgestützten Membrankonstruktionen, 1957 gründet Frei Otto

seine Entwicklungsstätte für den Leichtbau in Berlin und errichtet im selben Jahr den Tanzbrunnen in Köln, der zu einer Ikone des modernen Membranbaus wurde [3].

Mit der Gründung des Instituts für Leichte Flächentragwerke (IL) an der Technischen Hochschule Stuttgart im Jahr 1964 wendet sich Frei Otto intensiv dem Einsatz von Membranen für Dächer und später auch für Gebäudehüllen zu. In seiner Arbeit setzt er sich mit erhöhten Wärme- und Schallschutzanforderungen zur Beherbergung „hochwertiger“ Nutzungen auseinander. Seither sind weltweit zahlreiche hervorragende Membranbauten entstanden, die den jeweiligen Stand der Planungs- und Fertigungstechnologie nutzen und ihn mit vielfältigen Innovationen veränderten und fortschrieben.

Weiterentwicklungen in der Materialforschung, dem ingenieurtechnischen Know-how und der Computertechnologie zur Handhabung der komplexen geometrischen Randbedingungen und der räumlichen Erfassung von Kräftefluss und Tragverhalten haben die Einsatzgebiete von Membranen als Gebäudehüllen seitdem umfänglich erweitert.

Neue leistungsfähige Planungswerkzeuge, die die synklastischen (gleichsinnig gekrümmten) oder antiklastischen (gegensein-



Werner Lang

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Universitätsprofessor für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (ENPB) an der Technischen Universität München (TUM); Gesellschafter und Partner des Architekturbüros Lang Hugger Rampp GmbH Architekten (München).
www.enpb.bv.tum.de



Hightex GmbH, Rrmsting

Abb. 1: Das Burj Al Arab im Bau

nig gekrümmten) Membranflächen geometrisch dreidimensional erfassen und verarbeiten können, ermöglichen deren Einsatz in wirtschaftlich vertretbarer Weise und machen sie planerisch wie fertigungstechnisch beherrschbar.

Zudem haben weltweit beachtete, ästhetisch beispielhafte Bauten wie die Olympiabauten 1972 in München von Günter Behnisch und Frei Otto, der Millennium Dome 2000 in London (Architekt: Richard Rogers Partnership) oder das Burj Al Arab Hotel an Dubais Küste (Architekt: W.S. Atkins & Partners) dem Membranbau zu einer weit verbreiteteren öffentlichen Wahrnehmung verholfen. Diese Bauten gelten als Ikonen der modernen Welt und werden aufgrund ihrer weitgespannten Dächer für Großereignisse genützt und



Abb. 2: Fassade des Schulungszentrums der Bergwacht Bayern



Jan Cremers, Hightex GmbH

Abb. 3: PTFE-Kissen mit integrierten Photovoltaik-Elementen

dienen in ihrer Zeichenhaftigkeit zugleich als weltweit beachtete Werbeträger (Abb. 1).

Eine wesentliche Weiterentwicklung des textilen Bauens mit einlagigen Membranen stellt der Einsatz von pneumatischen Kissen aus Folien und weitgehend luftdicht beschichteten Geweben dar, der im Hinblick auf die Formgebung und Gestaltung neue Möglichkeiten mit sich gebracht hat. Auch hier sind zeichenhafte Großbauten, wie die Allianz Arena in München (Architekt: Herzog & de Meuron, Tragwerksplanung: Sailer Stepan + Partner, Arup) oder das Eden Project in Cornwall entstanden (2001, Architekt: Nicholas Grimshaw, Tragwerksplanung: Anthony Hunt Associates). Die Vorzüge der pneumatisch gestützten Kissen liegen dabei auf der Hand. Der luftgefüllte Zwischenraum mit einem Überdruck von ca. 0,2 bar ist in der Lage, ein gewisses Maß an Wärmedämmung zu bieten, die Kissen sind im Vergleich zu einer Verglasung sehr leicht, sind in ihrer Lichttransmission mittels Bedruckung steuerbar und bieten günstige geometrische und konstruktive Randbedingungen beim Einsatz in Hochbauten.

Eine allseitig ebene Randlagerung bietet große Flexibilität bis hin zum modularen Einsatz beim Einbau in Gebäuden. Dies ist zum Beispiel bei der einlagigen Folienfassade des Schulungszentrums für die Bergwacht in Bayern (Architekt: Herzog + Partner, München; Tragwerksplanung: Sailer Stepan + Partner, München) auf eindruckliche Weise demonstriert (Abb. 2).

Ein bisher noch in wenigen Bauten demonstriertes Einsatzgebiet ist die Nutzung als Teilschicht von mehrlagigen Konstruktionen in Kombination mit nichttextilen Baustoffen. Dabei kann eine Bauteiloptimierung erreicht werden, die jeder Schicht, ihren jeweiligen Materialeigenschaften entsprechend, die optimale Funktion zuweist. So können die Vorteile der Membran in Bezug auf Regen- und Winddichtigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht und ihre große Bandbreite an Transluzenz ausgenutzt werden. Weiterreichende Aufgaben, wie Wärmedämmung, -speicherung und Schalldämmung, können gezielt von weiteren, entsprechend geeigneten Materialien innerhalb des Schichtenaufbaus übernommen werden. Ein

hierfür überzeugendes Beispiel ist das 2002 fertiggestellte Zentrum für Umweltkommunikation (ZUK) der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück (Architekt: Herzog + Partner, München; Tragwerksplanung: Barthel + Maus, München).

Neue Materialentwicklungen, wie beispielsweise *low-e*-Beschichtungen für Membranen erlauben es, textilen Konstruktionen weiterreichende Aufgaben im Bereich der Gebäudehülle zuzuweisen, um zum Beispiel die Transmissionseigenschaften transluzenter Hüllkonstruktionen zu beeinflussen. Aerogele [4] und möglicherweise auch Phase Change Materials sind grundsätzlich geeignet, Membran-Sandwich-Konstruktionen zu polyvalenten Bauteilen aufzuwerten, die anspruchsvolle Wärmeschutzaufgaben übernehmen können. Hier könnten in den nächsten Jahren erste prototypische Bauteile entstehen.

Eine aktive Solarnutzung ist mit biegbaren Photovoltaik-Elementen (Abb. 3) möglich [5]. Ebenfalls denkbar sind wasser- und luftgeführte Systeme. Es werden auch Themen wie elektrische Leitfähigkeit, Elektrolumineszenz, oder integrierte Nanostrukturen relevant, welche die funktionalen Eigenschaften der Membranhaut positiv verändern. Hierbei können beispielsweise die Eigenschaften der Gebäudehülle gezielt an sich ändernde Umweltparameter angepasst werden.

Ein zusätzliches Optimierungspotenzial findet sich im Bereich der intelligenten Steuerung der Luftversorgung von Membrankissen, um die Betriebssicherheit und Lebensdauer derartiger Bauteile zu erhöhen. Entwicklungsmöglichkeiten liegen auch im Bereich der Reduktion von Schalltransmission und -reflexion, sowie der Verbesserung der Beanspruchbar- und Beständigkeit. In ökologischer Hinsicht stehen Aspekte wie die Reduktion des Energie- und Ressourcenaufwands bei der Herstellung, der Wiederverwend- und Rezyklierbarkeit der Bauteile im Vordergrund.

Grundlegende Eigenschaften der gängigen Membranbaustoffe

Nachfolgend werden grundlegende Eigenschaften der gängigsten Membranbaustoffe beschrieben, die gemäß dem heutigen Stand der Technik sinnvoll für Hochbauten einsetzbar sind.

Im Bereich der konstruktiven textilen Membranen werden meist Kompositmaterialien, bestehend aus einem Gewebe als Trägermaterial sowie einem entsprechenden Coating zum Schutz und zur Abdichtung des Gewebes eingesetzt. Bei den bis heute am häufigsten eingesetzten Membrangeweben handelt es sich um PVC-beschichtete Polyester-gewebe. Sie stellen das preisgünstigste

Foto: Jan Creemers



Abb. 4: Fassade aus ETFE-Folie am Gerontecentrum Bad Tölz

Material dar. Die PVC/PES- Gewebe weisen neben vorzüglichen Eigenschaften, wie hohe Festigkeit, geringes Flächengewicht und gute Verwendbarkeit bei wandelbaren Konstruktionen jedoch auch Nachteile auf. So gibt die PVC Beschichtung bei UV-Bestrahlung des Materials Schadstoffe ab, die Lebensdauer des Materials ist begrenzt, und zusätzlich zu einem etwas ungünstigem Verschmutzverhalten tritt im Laufe der Jahre in optischer Hinsicht eine Vergrauung des Materials auf. Die Einstufung des Materials in die Baustoff-

klasse B1 – *schwer entflammbar* – bildet bezüglich bestimmter Konstruktionen ebenfalls Einschränkungen.

Daher setzt sich PTFE-beschichtetes Glasfasergewebe als umweltverträglicher und äußerst dauerhafter Membranbaustoff zunehmend im Hochbau-Anwendungsbereich durch. Die fluorpolymere Beschichtung wirkt in Bezug auf Verschmutzung antiadhäsiv, die Baustoffklasseneinstufung kann A2 – *nicht brennbar* – erreichen und die Lebensdauer wird auf bis zu 35 Jahre gegenüber den fünf-

zehn bis zwanzig Jahren der PVC/PES- Gewebe eingeschätzt. Das Material ist jedoch weniger knickbeständig und dehnfähig als PVC/PES; dies ist vor allem bei der Vorkonfektionierung des Materials zu beachten. Zu knapp geschnittene Membranen können nach der Vorspannung beim Einbau relativ leicht reißen.

Zur Zeit wird verstärkt an silikonbeschichteten Glasfasergeweben geforscht, die im Grundsatz viele Eigenschaften der PTFE/Glasfasergewebe-Membranen teilen, im Verschmutzverhalten jedoch für den Außenbereich nicht in gleicher Weise geeignet sind. Ebenso ist ein thermisches Verschweißen einzelner Bahnen nicht möglich. Die deutlich höhere Lichtdurchlässigkeit und der geringere Preis könnten aber mittelfristig zu einer Entwicklung als einsetzbares Membranprodukt führen. Interessante Optionen im gehobenen Marktsegment bieten zudem reine PTFE-Gewebe, die eine besondere Eignung für bewegbare Strukturen aufweisen.

Im Bereich der Folien stehen ähnlich den konstruktiven Membrangeweben Fluorpolymere Kunststoffe (*Abb. 4*) und PVC-Kunststoffe zur Verfügung. Das Spannungs-Dehnungsverhalten der isotropen Folien ist im Gegensatz zu den anisotropen Geweben in alle Richtungen annähernd gleich. Die Eigenschaften der Materialien unterscheiden sich ähnlich wie bei den konstruktiven Membranen.

Die Folien, zum Beispiel ETFE (Ethylen-



Abb. 5: La Miroiterie, Lausanne (Arch. B+W)

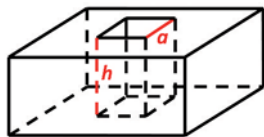
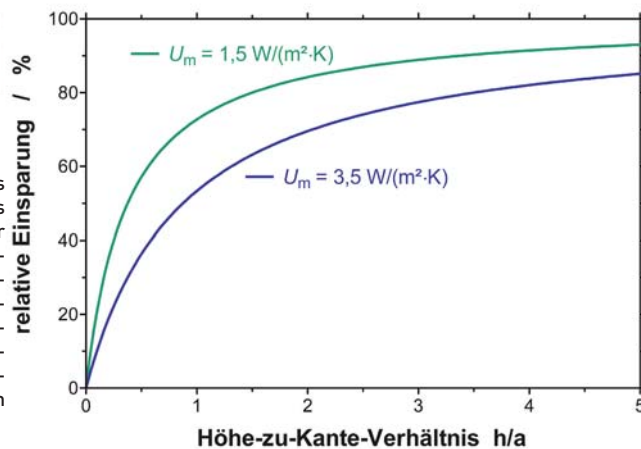


Abb. 6: Überdachung eines quadratischen Innenhofs (links) der Höhe h und der Kantenlänge a seiner Grundfläche mit einer Membrankonstruktion. Die resultierende relative Energieeinsparung ist für zwei verschiedene U -Werte der Überdachung in Abhängigkeit vom Höhe-zu-Kante-Verhältnis angegeben (rechts).



Tetrafluorethylen), eingesetzt bei pneumatischen Kissen, sind sehr leicht, circa 0,2 Millimeter stark und weisen die Baustoffklasse B1 auf. Gegenüber Glas besteht eine hohe UV-Durchlässigkeit. Die gute Beschichtbarkeit zum Beispiel mit Punktrasterbedruckung kann dazu eingesetzt werden, die solare Wärmeeinstrahlung gezielt zu begrenzen beziehungsweise zu reflektieren. Eine im Luftzwischenraum zwischen den Außenfolien eingebaute Mittellage reduziert die Konvektion und verringert damit den Wärmedurchgang. Zudem kann durch Steuerung des Luftdrucks in den dadurch entstehenden beiden Kammern die mittlere Folie gezielt an die Ober- oder Unterlage angelegt werden wodurch, bei einer entsprechend abgestimmten Bedruckung der Folien, die Sonnenschutzigenschaften der Gesamtkonstruktion gezielt gesteuert werden können. Pneumatische, kissenartige Hüllkonstruktionen stellen damit sehr vielfältig und wirtschaftlich einsetzbare Konstruktionen im Bereich des textilen Bauens dar.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsprojekts „Membran-

konstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden (MESG)“ (Förderkennzeichen: 0327240G) werden derzeit neue Konzepte erarbeitet, um durch den Einsatz von Folien beziehungsweise Geweben in der Sanierung eine deutliche Energieeinsparung für Gebäude in Deutschland zu erreichen und zwar sowohl von Heiz- als auch von Kühl- und Beleuchtungsenergie. Solche neuartigen Konzepte führen zum anderen auch zu einer energetischen Verbesserung von Neubauten, bei denen verstärkt Membrankonstruktionen zum Einsatz kommen.

Im Projekt wurde zunächst eine Typologie zur Anwendung von Membranen im Bereich der Gebäudehülle erarbeitet. Die wesentliche Aufgabe besteht in der Kombination der baukonstruktiven, funktionalen und gestalterischen Anforderungen. Hierzu gehörte die Analyse der konstruktiven, funktionalen und gestalterischen Eigenschaften existierender Konstruktionen, wie beispielsweise der Überdachung des Lichthofs im Residenzschloss von Dresden, der 2010 mit einer mehrlagigen Membrankonstruktion überdacht wurde, oder der vierlagigen Außenwandkonstruktion des Kaufhauses Miroiterie Flon in Lausan-

ne/Schweiz, das 2007 von der Firma Hightex realisiert wurde (Abb. 5).

Darauf aufbauend wurde der Versuch unternommen, die funktionalen Eigenschaften von Folien und Membranen zu optimieren und neuartige Komponenten und Systeme zu entwickeln. Beispielhaft zu nennen ist hier die Oberflächenfunktionalisierung mit low-e-Beschichtungen zur Verbesserung der Wärmedämmung von Membranen, die im Rahmen des BMWi-Projektes „Entwicklung von niedrigemittierenden Beschichtungen in der textilen Architektur (Low-e Gewebe)“ (Förderkennzeichen: 0327382A) entwickelt wurden [6].

Im Rahmen des bereits abgeschlossenen Projektes „Low-e Gewebe“ konnte beispielsweise eine low-e-Beschichtung auf Geweben realisiert werden, die einen beliebigen optischen Farbeindruck mit einem geringen Emissionsgrad von unter 0,3 verbindet. Im Vergleich hierzu besitzen konventionelle Gewebe in der Regel einen Emissionsgrad von über 0,9. Diese optimierten Eigenschaften führen zu einer deutlichen Verminderung der Wärmeabstrahlung an die Umgebung und zu einer signifikanten Reduktion des Wärmedurchgangskoeffizienten U von ein- oder mehrlagigen Membrankonstruktionen. Die entwickelten low-e-Gewebe sind inzwischen kommerziell erhältlich.

Im noch laufenden Projekt „MESG“ werden die funktionellen Beschichtungen weiter optimiert und an unterschiedliche Substrate angepasst. Die Applikation witterungsstabiler transparenter low-e-Schichten auf flexiblen Substraten wird Gegenstand zukünftiger Entwicklungen sein.

Basierend auf den erzielten Ergebnissen wurden Prinziplösungen erstellt, die als elementierte Komponenten und Systeme zum Einsatz kommen. Die entwickelten Prinziplösungen sollen in Demonstrationsobjekten eingebaut und weiter untersucht werden. Letztlich ist der Einsatz im Gebäudebereich zur Verringerung des Energieverbrauchs vorgesehen.

Im mitteleuropäischen Klima steht dabei die Einsparung von Heizenergie während des Winters im Vordergrund. Bei der Sanierung von Gebäuden mit Innen- oder Lichthöfen (Abb. 6, links) kann in diesem Zusammenhang eine Überdachung des gesamten Hofes eine sinnvolle Alternative zu der üblicherweise durchgeführten Dämmung der angrenzenden Außenwände darstellen. Dies vermindert ebenfalls die Wärmeverluste durch die angrenzenden Flächen und führt darüber hinaus zu einer Erweiterung der witterungsgeschützten Nutzfläche. Die Fassaden selbst bleiben dabei unverändert, was diesen Sanierungsansatz insbesondere auch für denkmalgeschützte Gebäude interessant macht.

Das Einsparpotenzial hängt unter ande-



Abb. 7: Rendering eines Vorentwurfs der Innenhofüberdachung des Innenhofs an der HfT Stuttgart

rem vom Wärmedurchgangskoeffizienten U der Überdachung und der Grundfläche beziehungsweise Höhe des Innenhofs ab und ist in *Abb. 6, rechts* exemplarisch für einen quadratischen Innenhof aufgetragen. Betrachtet man beispielsweise einen kubischen Innenhof (das heißt: $h/a = 1$), so beträgt die relative Energieeinsparung circa fünfzig Prozent (für $U = 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) beziehungsweise etwa

siebzig Prozent (für $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Für höhere Innenhöfe ($h/a > 1$) erhöht sich das Einsparpotenzial, während bei größeren Flächen ($h/a > 1$) geringere Einsparungen erzielt werden (*Abb. 6, rechts*).

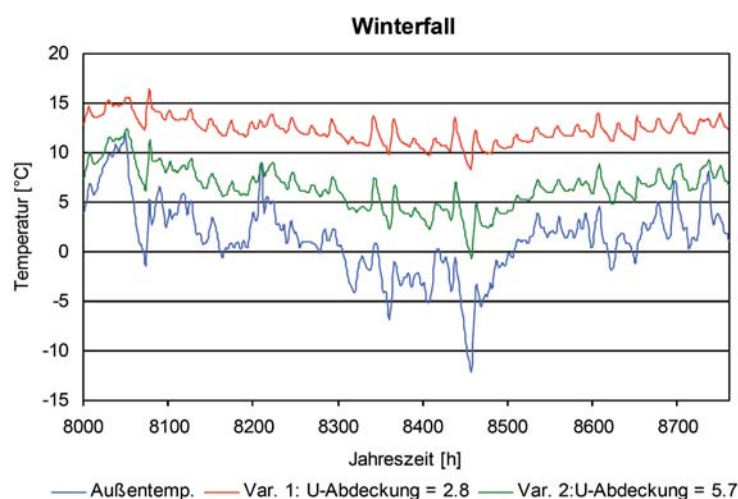
Ein U -Wert von unter $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kann bereits mit einer zweilagigen Membrankonstruktion erreicht werden. Geringere U -Werte von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ können entweder durch

den Einsatz transparenter low-e-Beschichtungen erzielt werden, oder durch eine Erhöhung der Anzahl der Membranlagen, sowie alternativ durch den zusätzlichen Einsatz von transluzenter Wärmedämmung.

Konkrete Berechnungen ergaben signifikante Reduktionen des Heizwärmebedarfs

Diese prinzipiellen Berechnungen wurden anhand zweier Untersuchungen konkretisiert, bei denen eine Innenhofüberdachung des Technischen Zentrums an der Technischen Universität München sowie eines Innenhofs der Hochschule für Technik Stuttgart (HfT) betrachtet wurden. Der Innenhof in München hat eine eher quadratische Grundfläche bei verglichen mit Stuttgart geringerer Höhe, der Innenhof in Stuttgart (*Abb. 7*) ist eher schmal und lang und dabei (Höhe bis zur angenommenen Überdachung) einige Meter höher.

Die thermischen Simulationen des Innenhofs in Stuttgart ergeben eine Reduktion des Heizwärmebedarfs für die an den Hof angrenzenden Gebäudeteile von circa 125 MWh. Neben diesem Einspareffekt steigt die mittlere Lufttemperatur während der Heizperiode im Lichthof um sechs bis zehn Kel-



vin gegenüber der Außentemperatur (siehe Abb. 8) und eröffnet so, auch ohne Zusatzheizung, neue Nutzungsmöglichkeiten.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung kommt neben der Einsparung von Heizenergie auch der thermischen Behaglichkeit im Sommer oder der ausreichenden Versorgung der angrenzenden Räume mit Tageslicht große Bedeutung zu.

Neben thermischen Simulationen beider Varianten, die letztlich auch die zu erwartenden energetischen Gewinne quantifizieren sollten, wurden im Rahmen von „MESG“ daher auch Tageslichtsimulationen und Strömungssimulationen durchgeführt. Wesentliches Ziel war es dabei, die Überdachung so auszulegen, dass sommerliche Überhitzung vermieden werden kann, ohne dass eine energieintensive künstliche Klimatisierung von Räumen erforderlich wird.

In einer Messkampagne während des Sommers wurden typische Innenhoftemperaturen an der HfT Stuttgart gemessen. Durch Simulationen konnten, je nach Windanströmung, unter Berücksichtigung solarer Einstrahlung und Außenlufttemperaturen Luftwechselzahlen in der Größenordnung von fünf bis acht Liter pro Stunde abgeschätzt werden. Diese Ergebnisse bilden die Basis, auf der Sonnenschutz und Lüftungsöffnungen sowie Zuluftwege zu planen sind. Dabei bieten thermischer Auftrieb in Kombination mit variablem Sonnenschutz unter den Membrankissen vielfältige Möglichkeiten, die Temperaturen in den angrenzenden Gebäudeteilen komfortabel zu halten.

Es wurden daher verschiedene Varianten im Hinblick auf die Ausformung des Dachs untersucht, um günstigste thermische und lichttechnische Bedingungen für den jeweiligen Innenhof und die angrenzenden Räume zu finden.

Für die Situation des Innenhofs der TU München wurden zudem Berechnungen durchgeführt, die den Primärenergiegehalt der für die Konstruktion eingesetzten Bauteile ermittelten. Eine Ausführung mit ETFE

Kissen wurde mit einer klassischen Glasüberdachung verglichen (Abb. 9).

Dafür wurde die Dachkonstruktion für beide Fälle (ETFE vs. Sicherheitsglas als Dachfläche) in einem ausreichenden Maß der jeweiligen Situation angepasst und statisch berechnet, um mit realistischen Werten für die Massen der Bauteile weiterrechnen zu können. Bei der Betrachtung der Stahlkonstruktion sowie weiterer Materialien ergeben sich hinsichtlich der jeweiligen Baumasse rund 180 Tonnen für die Glasvariante und 80 Tonnen für die Membranvariante. Für die Dacheindeckung ergibt sich im Zusammenhang mit der ETFE Variante eine Reduktion von 65 Tonnen gegenüber einer Eindeckung mit Glas. Zudem resultiert bei der ETFE Variante ein geringerer Stahlanteil (35 Tonnen) für die Dachunterkonstruktion und das Primärtragwerk.

Allein diese Zahlen lassen bereits vermuten, dass sich das positiv auf die Ökobilanz der verwendeten Baustoffe auswirkt. Die Membranvariante würde bei den Baumaterialien rund 580 MWh (entsprechend ca. 2100 MJ) Primärenergie im Vergleich zum Glasdach einsparen, was einer Reduktion

Abb. 8: Temperaturgang im Winter für unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten der Membranabdeckung des Innenhofs der HFT Stuttgart.

um 45 Prozent entspricht. Für das großflächige, transparente Membrandach ergeben sich hier also wesentliche Vorteile.

Werden, wie in diesem Fall, Folienkissen eingesetzt, muss dieser Einsparung der Energieaufwand zum Betrieb der Membrankissen gegengerechnet werden, da die Folienkissen zur Erzeugung der notwendigen Vorspannung unter Überdruck gehalten werden müssen. Die hierbei ständig zugeführte Luft muss zudem gegebenenfalls getrocknet werden, was ebenfalls Energie verbraucht. Daher wurden, unter Berücksichtigung der Lebensdauer der eingesetzten Bauteile, auch Betriebsszenarien des Daches verglichen.

Bei einer angenommenen gesamten Lebensdauer des Bauwerks von achtzig Jahren zeigte sich, dass die Frage, wie gut die Membranvariante im Vergleich zur Glasvariante abschneidet, sehr stark von Energieaufwand zum Kissenbetrieb abhängt. Zudem musste berücksichtigt werden, wie häufig die eigentliche Dachdeckung während der angenommenen Lebensdauer von achtzig Jahren ausgetauscht werden muss. Hierbei wurde angenommen, dass Glas innerhalb dieses Zeitraums zweimal, ETFE dreimal ausgetauscht werden muss.

Beurteilung der Unterschiede zwischen Glas und Membran

Der energetische Unterschied zwischen den ausgewechselten Glas- beziehungsweise Membranbauteilen fällt zunächst weniger ins Gewicht. Bei den Berechnungen blieb die Membranvariante bis zu einer durchschnittlichen Betriebsleistung von etwa 7,3 kWh/(m²a) nach achtzig Jahren im Vorteil, die errechnete Differenz von rund 580 MWh direkt nach Errichtung des Gebäudes vergrößerte sich in Summe minimal zugunsten der Pneus.



Abb. 9: Rendering eines Vorentwurfs der Innenhofsituation an der Technischen Universität München, Variante mit ETFE Pneus

Fällt die durchschnittliche Betriebsleistung der Anlage geringer aus, verbessert sich die Membranvariante im Laufe der Zeit sogar noch – ausgehend davon, dass der Energiebedarf zur Herstellung der Bauteile gleich bleibt. Ab einer Leistung von durchschnittlich 11 kWh/(m²a) verliert die Membranlösung ihren energetischen Vorteil gegenüber der Glasvariante innerhalb der angenommenen achtzig Jahre.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ablesen, dass eine Optimierung der zum Kissenbetrieb nötigen Anlagen und der Form/Fertigung der Kissen selbst (Undichtigkeiten in den Pneus wirken sich selbstverständlich ebenfalls auf den Energiebedarf aus) wesentliche, gegebenenfalls sogar zusätzliche, Einsparpotenziale birgt, und dass die ETFE-Kissen-Lösung hier, mit einer schon heute realisierbaren und gut konzipierten Anlage zum Betrieb, dem Dach aus Verbundsicherheitsglas mit vergleichbarem U-Wert energetisch überlegen bleibt.

Diese praxisorientierte Forschung an den beiden konkreten baulichen Situationen soll aufzeigen, welche Werkzeuge aus Sicht des Planers sinnvoll beziehungsweise wichtig sind, um die mit Membranbauteilen erzielbaren energetischen Vorteile abschätzen und optimieren zu können. Es sollen Lösungen gefunden werden, die zwar auf die jeweilige Situation optimiert sind, aber auch in anderen Gebäuden eingesetzt werden können.

Beteiligte Hochschulen und Firmen

Neben Lang Hugger Rampp GmbH Architekten (München), der Hightex GmbH (Rimsting) und dem ZAE Bayern (Würzburg) als Koordinator sind noch folgende Projektpartner an dem Verbundvorhaben „Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden (MESG)“ beteiligt:

Hochschule für Technik Stuttgart (HfT), Studiengang Bauphysik, Schellingstraße 4, 70174 Stuttgart

Hochschule für Angewandte Wissenschaften (FH München), Fakultät 05: Versorgungs- und Gebäudetechnik, Lothstraße 34, 80335 München

Roto Frank Bauelemente GmbH, Wilhelm-Frank-Straße 38, 97980 Bad Mergentheim

TAG Composites & Carpets GmbH, Gladbacher Straße 465, 47805 Krefeld

Dörken GmbH & Co. KG, Wetterstraße 58, 58313 Herdecke

Fördergeber

Das Verbundvorhaben MESG wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages und administrativ betreut durch den Projektträger Jülich.

Im Rahmen des Vorhabens wird ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, bei dem neben den einzelnen Komponenten auch deren Integration in das Gebäude und das für die Heizung beziehungsweise Klimatisierung notwendige Regelkonzept betrachtet wird. So ist beispielsweise eine Erhöhung der thermischen Masse bei einer gleichzeitigen Verringerung der Ansprechzeit der Gebäuderegulierung wünschenswert, um eine optimale Regelstrategie hinsichtlich Lüftung, Heizung und Kühlung zu ermöglichen.

Darüber hinaus werden neben der Kombination einzelner auf dem Markt erhältlicher Komponenten zu neuen und innovativen Systemen auch optimierte Einzelkomponenten entwickelt und getestet. Zu nennen ist hier, neben der Oberflächenfunktionalisierung und der Optimierung der Integration von Photovoltaik-Elementen vor allem die Verbesserung der Wärmedämmung durch transluzente Materialien, wie beispielsweise Dämmstoffe auf Aerogelbasis.

Ein weiteres Vorhabenziel ist die Vorbereitung einer Pilotanwendung und Umsetzung von einzelnen Innovationen und Weiterentwicklungen im Zusammenhang mit realen Gebäuden nach Projektende.

Zusammenfassung

Membrankonstruktionen eignen sich nicht nur für den Einsatz bei Neubauten, sondern können auch einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz im Bestandsbau liefern. Textile Konstruktionen eröffnen damit neue Wege in der energetischen Sanierung, wobei die Überdachung von Innenhöfen oder Gebäudearealen dabei nur einen von mehreren Ansätzen darstellt, da beispielsweise auch im Bereich von Fassadenkonstruktionen ein großes Potenzial vorliegt. Durch die Optimierung der Funktionen von Membranen (low-e Beschichtungen, etc.)

oder im Verbund mit weiteren Komponenten können die thermischen Eigenschaften entscheidend verbessert werden. Durch die Passivnutzung der Solarstrahlung mittels transparenter und transluzenter Membrankonstruktionen oder die Integration von Photovoltaik-Elementen in die Hüllkonstruktion lassen sich Witterungsschutz mit der Gewinnung von thermischer beziehungsweise elektrischer Energie kombinieren. Somit geben die vorgestellten Materialien, Komponenten und Systeme dem Planer neue Möglichkeiten an die Hand, um für die energetische Sanierung maßgeschneiderte und flexible Lösungen zu entwickeln.

Literatur

- [1] Gengnagel, Christoph: Mobile Membrankonstruktionen. Dissertation, Technische Universität München, 2005
 - [2] Seidel, Michael: Tensile Surface Structures: A Practical Guide to Cable and Membrane Construction. Materials, Design, Assembly and Erection, Ernst & Sohn 2009
 - [3] Knippers, J.; Cremers, J.: Atlas Kunststoffe + Membranen: Werkzeuge und Halbzeuge, Formfindung und Konstruktion, München, 2010
 - [4] Cremers, J.; Lausch, F.: Transluzente Hochleistungsdämmung aus Silika-Aerogelen für Membranen, DETAIL, Zeitschrift für Architektur + Baudetail, Heft 5-2008 Kunststoffe, S. 524-530
 - [5] Cremers, Jan: Flexible Photovoltaics Integrated in Transparent Membrane and PneumaticFoil Constructions, Proceedings of the CIS-BAT 2007 Conference, EPFL Lausanne, 2007
 - [6] Meyer, Franz: BINE-Projektinfo 05/09, 2009 (siehe auch: www.deutsches-ingenieurblatt.de → [WebInfos](#) → [Suchwort: Low-e-Beschichtungen](#).)
- Knecht, Petra (Hrsg.): Technische Textilien, Deutscher Fachbuchverlag, Frankfurt am Main, 2006
- Koch, K.-M. (Hrsg.): Bauen mit Membranen, Prestel Verlag, München, 2004
- Membranwerkstoffe im Hochbau - Gewebe und Folien, in: Kaltenbach, Frank (Hrsg.), Detail Praxis - Transluzente Materialien, München 2004
- Frei Otto: Das hängende Dach, Berlin, 1953