

Stegplatten aus Polycarbonat – Potentiale und Anwendungen

Felix Thumm, Antoine Dalibard, Davor Kristic, Michael Bossert
Prof. Dr. Ursula Eicker

Hochschule für Technik Stuttgart
Schellingstr. 24
70174 Stuttgart

felix.thumm@hft-stuttgart.de

Internet: www.hft-stuttgart.de, www.zafh.net

Transparente Stegplatten aus Polycarbonat sind bereits seit den 1970er Jahren auf dem Markt. Einer ihrer großen Vorteile liegt im geringen Flächengewicht z. B. im Vergleich zu Elementen aus Glas. Lange Zeit fanden Stegplatten (auch bekannt als Hohlkammerplatten) aus Polycarbonat (PC) am Bau nur ein sehr begrenztes Anwendungsfeld. Vor allem für Lichtöffnungen im Hallenbau, kostengünstigen Glasersatz für Gewächshäuser, als Terrassenüberdachung oder auch transparente Dacheindeckung für Carports. Die neue Architektengeneration hat aber mittlerweile das gestalterische Potenzial erkannt und verwendet diesen vielseitig gestalterisch modifizierbaren Werkstoff auch für anspruchsvolle Bauwerke.

Stand der Technik

Der Anteil an Fassaden aus Polycarbonat Mehrfachstegplatten wächst stetig gegenüber dem konventioneller Glasfassaden. Das liegt zum einen auf den niedrigen Investitionskosten aber auch der steigenden Akzeptanz seitens der Planer. Die Eigenschaften handelsüblicher PC-Stegplatten sind gekennzeichnet durch:

Gute thermische Eigenschaften

Durch einen mehrschichtigen Aufbau mehrerer Paneele können U-Werte von bis zu $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht werden.

Gute lichttechnische Eigenschaften

Durch diverse Herstellungsverfahren können die Lichteigenschaften der Polycarbonat Stegplatten stark modifiziert werden. Die Bandbreite der Farbgebungen reicht dabei von transparent über die Einfärbung von Einzelstegen bzw. Schichten bis hin zur Einfärbung der ganzen Paneele mit beliebigen Farben. Darüber hinaus kann mittels diverser Beschichtungen zusätzlich der Reflexionsgrad und die Lichtdurchlässigkeit für bestimmte Lichtwellen beeinflusst werden. Dementsprechend können sowohl die Lichtreflexions- und Lichttransmissionswerte (0% - 83%) sowie der Gesamtenergiedurchlassgrad (0,12–0,86) der Paneele sehr stark variieren.

Gute Verarbeitbarkeit

Das niedrige Gewicht (spez. Gewicht $1,2 \text{ g/cm}^3$) im Gegensatz zu Glas (spez. Gewicht $2,5 \text{ g/cm}^3$) spricht für die einfach zu dimensionierende Tragstruktur, somit können große Fassadenflächen mit filigranen Unterkonstruktionen realisiert werden. Neben dem einfachen Transport ist hierbei vor allem auch der Vorteil einer unkomplizierten Verarbeitung bzw. Montage der Stegplatten am Einsatzort anzuführen.

Gute Materialeigenschaften

Der Kunststoff Polycarbonat wird schon seit sehr langer Zeit für Helmverglasungen und Sicherheits-scheiben verwendet (Polizeihelme, Schuss-sichere Verglasungen, etc.). Für die Anwendung als Fassa-denelement bedeutet dies, dass Stegplatten schlagbeständig, hagelbeständig und kratzfest sind. Somit sind die Stegplatten witterungs- und alterungsbeständig (Herstellergarantien werden bis zu 10 Jahren vergeben). Darüber hinaus ist das Material schwer entflammbar (Brandschutzklasse B1).

Kostengünstig

Die Herstellungskosten sind durch das hohe Produktionsvolumen und das schnelle Fertigungsverfahren sehr gering. Aus diesen Gründen sind Polycarbonat Stegplatten in Sachen Kosten dem Baustoff Glas überlegen. In Bezug auf die Lebenszykluskosten ist hier ebenso anzuführen, dass auch die Re-cyclingprozesse deutlich kostengünstiger sind im Vergleich zu Glas, weshalb der Baustoff im Bausek-tor mehr und mehr als Fensterersatz genutzt wird.

Beispiele und vorhandene Ansätze

Die Beispiele für den Einsatz von Stegplatten aus Polycarbonat (PC) reichen bis in die frühen neunzi-ger Jahre des vergangenen Jahrhunderts zurück. Schon damals experimentierten namhafte Architek-turbüros mit diesem dem Material.

Die Firma RODECA ist einer der marktführenden Hersteller von transparenten Bauelementen aus Polycarbonat. Die Vielfalt der Produkte geht weit über die einfache Lagerhallenverkleidung hinaus.

Natürlich sind und bleiben großflächige Fassaden und Dächer das größte Anwendungsfeld für Steg-platten, wie beispielsweise der Flughafen in Wien (Bild 6). Das Terminal 1 wurde mit 40 mm starken opal-antiblend eingefärbten Paneelen verglast. Sowohl außen als auch innen wurden dekorative Mo-tive mit speziellen Folien aufgebracht. Ein weiteres Beispiel, mit einer ansprechenden Farbwirkung, ist der Flugzeughangar in Istanbul (Bild 2). Dieser ist mit 40 mm 4-schaligen BI-Color Paneelen, mit einer Heatbloc-Oberfläche (reflektiert bis zu 60 % IR-Strahlung) ausgeführt.

Bei großen Bauwerken wie der Arena in Zagreb (Bild 5) kommen die niedrigen Kosten des Materials und seine einfache Verwendung zum Tragen. Diese Sport-Arena, gebaut für die letzte Handball-Weltmeisterschaft hat eine doppelte horizontale Verglasung mit opal-antiblend eingefärbten Multi-Funktions-Paneeelen als Außen- und auch Innenverglasung bekommen.

Auch eine beachtliche Mediale und gestalterische Wirkung kann durch das ansprechende und vielfäl-tige Fassadenmaterial erzielt werden. Das ist wohl einer der Gründe, warum auch immer mehr Kul-turbauten (z.B. Laban Dance Centre in London, Bild 4) und Prestigegebäude (z.B. der Rolls-Royce Cricket Club, Bild 1) sich mit diesem Material schmücken. Letzteres hat die Besonderheit, dass im Eingangsbereich die verschiedenfarbigen Multifunktionspaneele horizontal eingesetzt wurden.

Damit hat das Polycarbonat das längst überholte Image als billiges Plastik abgelegt. Die vorgegange-nen Beispiele aber nutzten ausschließlich die transparenten Eigenschaften des Materials, dabei sind die Möglichkeiten der thermischen Ausnutzung der Stegplatten genauso interessant. Das Beispiel des Patchworkhauses in Müllheim (Bild 3), von Pfeifer Roser Kuhn Architekten, verwendet gezielt die Hohlkammern der Stegplatte, um die darin aufgeheizte Luft dem Gebäude hinzuführen.

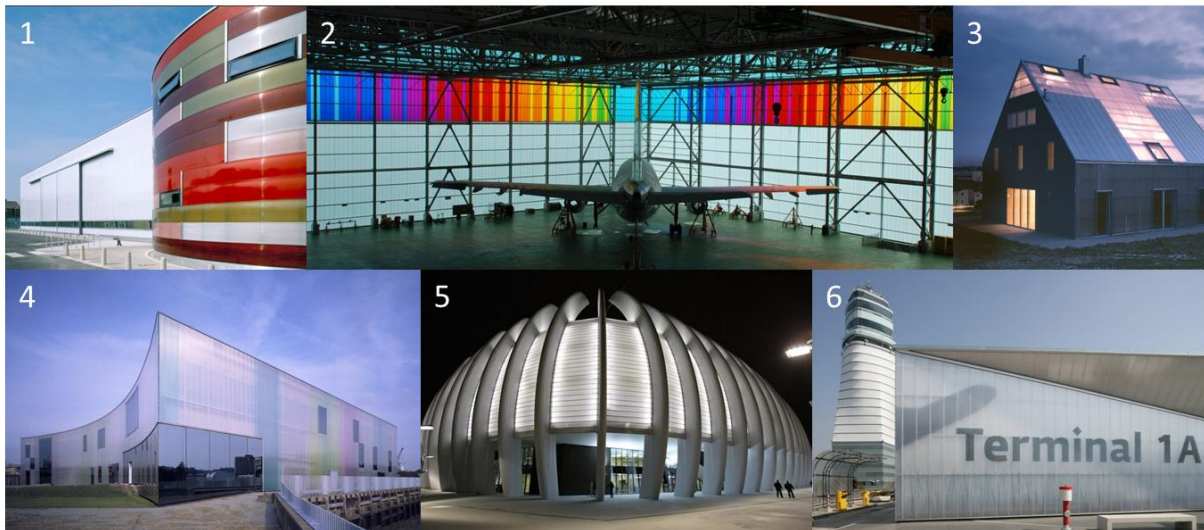


Abbildung 1: 1) Rolls Royce Cricket Club – Fluid architects; 2) Flugzeughangar Istanbul – Yilmaz Deger; 3) Patchworkhaus in Müllheim – Pfeifer Roser Kuhn Architekten; 4) Laban Dance Centre – Herzog & de Meuron; 5) Arena Zagreb – UPI-2M; 6) Flughafen Wien - Baumschlagler & Eberle

Aktive Luftdurchströmung zur Vorkonditionierung der Außenluft

In der Architektur werden die PC Stegpaneele bislang fast ausschließlich als transluzenter Wetter-schutz oder als signifikante mediale Fassade genutzt. Nur in einigen wenigen Projekten wird die Nutzung intelligent weitergedacht und die Stegplatten an der Fassade z.B. als Luftkollektor eingesetzt. Dann kann die sich bei Sonneneinstrahlung erwärmende Luft im Zwischenraum zwischen raumabschließender Konstruktion und Fassadenhüllfläche zur Raumkonditionierung eingesetzt wird. Dies gelingt durch ein kybernetisches System, welches die hinterlüfteten Stegplatten nutzt und im Winter die erwärmte Luft zur Heizungsunterstützung (Bauteilaktivierung) in den Raum einleitet (mittels Ventilator), im Sommer jedoch nach außen abführt und somit eine Art Dämmschicht darstellt. [6]

Eine weitere Möglichkeit ist die direkte Nutzung des Stegplattenaufbaus zur direkten Durchströmung und damit verbundenen Vorkonditionierung der Außenluft. Um dieses Potential genauer zu untersuchen, wurde im Zuge des Forschungsprojekts an der HFT Stuttgart der bereits bestehende Fassadenprüfstand modifiziert, so dass sowohl verschiedenfarbige Stegplatten der Firma Rodeca sowie auch Stegplatten mit integrierten Absorbern im Prüfstand untersucht werden können.

Beschreibung des Prüfstandes

Der ursprüngliche Aufbau des Fassaden-Prüfstandes der HFT Stuttgart wurde für strömungstechnische Untersuchungen an Doppelfassaden mit integriertem Sonnenschutz konzipiert. Dies bedeutet, dass nach einigen Modifikationen in diesem bestehenden Prüfstand auch 2,00 x 0,70 m große Stegplatten Fassadenelemente untersucht werden können.

Hauptbestandteil des Prüflabors ist der Sonnensimulator, bestehend aus 15 Metall-Halogenid-Lampen mit je 1000 W elektrischer Anschlussleistung, die in fünf Reihen mit je drei Lampen angeordnet sind. Damit stellt sich an der Fassadenebene eine Strahlungsleistung von ca. 400 W/m² ein. Vor dem Lampenfeld ist ein sogenannter Luftschleier angebracht, bestehend aus zwei Plexiglasscheiben, die einen Luftspalt bilden. Dieser Luftspalt wird klimatisiert damit ausschließlich sichtbare Strahlung auf der Fassade auftrifft. Der Luftschleier „filtert“ die von den Lampen ausgehende Wärmestrahlung.

Neben dem Sonnensimulator stellt die Kühlbox, die sich an der Rückseite der Testfassade befindet, eine weitere wichtige Komponente des Aufbaus dar. Mit der Kühlbox, die über einen Wärmetauscher und einen Heizlüfter temperiert werden kann, können kalorimetrische g-Werte von verschiedensten Fassadensystemen ermittelt werden.

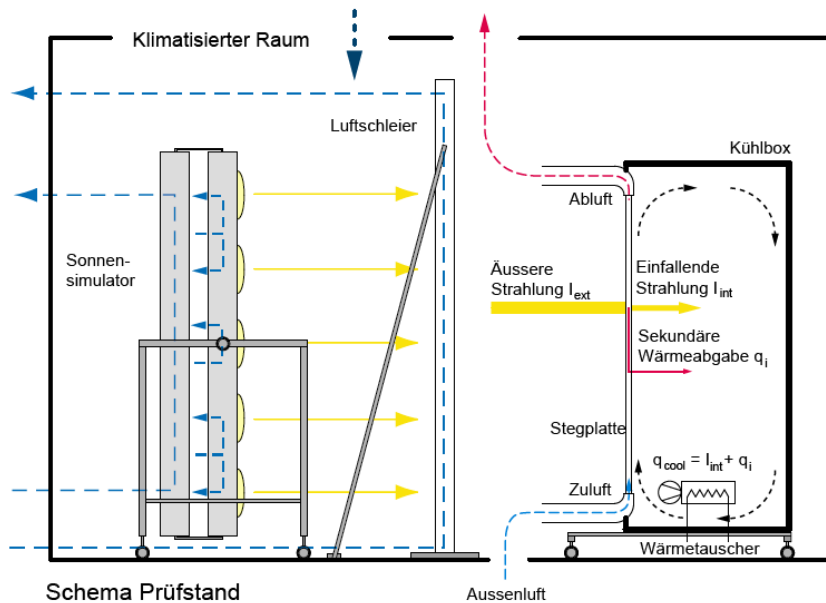


Abbildung 2: Schnitt durch Sonnensimulator, Luftschiele, Prüfling mit Kühlbox

Bisher konnten die Fassadelemente nur auf ihre Gesamtenergiedurchlassgrade (g-Wert) untersucht werden. Für die Untersuchungen an den PC-Stegplatten wurde der Prüfstand modifiziert, so dass die thermische Aktivierung der Stegplatten untersucht werden kann. Die Stegplatten können über einen Zuluft- (Außenluft) und einen Abluftkanal mechanisch durchströmt werden (vgl. Abbildung 2). Die Zuluft- und Abluft-

haben einen Querschnitt von 40 x 700 mm, so dass ein 40 mm starke und 70 cm breite Stegplatte komplett durchströmt werden kann. Der Volumenstrom lässt sich über eine Regelklappe hinter dem Ventilator stufenlos variieren.

Die installierte Messtechnik liefert alle relevanten Daten zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der jeweiligen Stegplatte. Es wird die Oberflächentemperatur an der Rückseite der Stegplatten mit PT100 Temperatursensoren an sechs verschiedenen Punkten gemessen und ein Mittelwert errechnet. Im Zuluft- und Abluftkanal befinden sich jeweils zwei Temperatursensoren aus denen sich die für die Leistungsbestimmung relevante Temperaturspannung ergibt. Der Volumenstrom, mit dem die Außenluft durch die Stegplatte strömt, wird mit einem Druckdifferenzmesser ermittelt. Die vom Lampenfeld ausgehende Strahlungsleistung wird von 3 Pyranometern in der Fassadenebene aufgezeichnet. Alle Messwerte werden mit einem Datenlogger Typ Agilent HP 34970A erfasst und mit dem Datenerfassungsprogramm LABVIEW ausgewertet und „live“ dargestellt.

Auswertung der Messergebnisse für unterschiedliche PC-Stegplatten

Folgende Varianten, der geometrisch gleichen Stegplatten, mit drei „Luftkammern“ und vier „Stegen“, wurden am Fassadenprüfstand getestet:

- Kristallklar: transluzente Standardvariante, Absorptionsgrad einer Schicht: $\alpha=0,05$
- Blau: äußerste Stegplattenschicht ist blau ($\alpha=0,6$) beschichtet
- Makrosolar innen: innere Schicht ist schwarz ($\alpha=0,9$) beschichtet
- Makrosolar außen: äußerste Schicht ist schwarz beschichtet

Die Messungen erfolgten bei einer konstanten, horizontal auftreffenden Strahlungsleistung von 400 W/m². Bei unterschiedlichen Volumenströmen wurde die Lufteintrittstemperatur in den Stegplattenkollektor und Austrittstemperatur messtechnisch ermittelt. Aus dieser Temperaturdifferenz, dem

Volumenstrom und den Eigenschaften der Luft erhält man die Stegplattenleistung nach folgender Formel:

$$\dot{Q}_{\text{Steg}} = \dot{V}_{\text{air}} \cdot c_{p\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

Dividiert man diese Leistung durch die eingebaute Fassadenfläche (1,40m²) so erhält man die spezifische Leistung der Stegplatte.

In der folgenden Grafik (Abbildung 3) ist eine Messreihe aus dem Prüfstand abgebildet. Es handelt sich dabei um eine schwarz beschichtete Stegplatte („Makrosolar“), die mit unterschiedlichem Volumenstrom durchströmt wurde. Es ist die Lufteintritts- sowie die Luftaustrittstemperatur im zeitlichen Verlauf der Messung dargestellt. Außerdem enthält die Grafik die mittlere Oberflächentemperatur der Stegplattenrückseite.

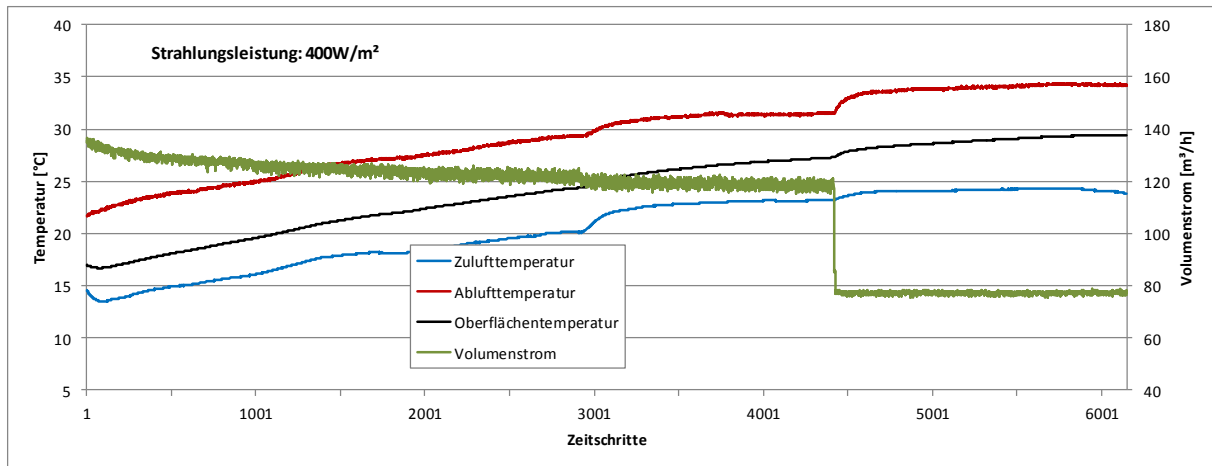


Abbildung 3: Messung einer Stegplatte (Makrosolar) im Fassadenprüfstand

Bei einem Volumenstrom von 120-140 m³/h liegt die Temperaturspreizung von Lufteintritt zu Luftaustritt bei knapp unter 10 Kelvin vor. Bei geringerem Volumenstrom (hier 80 m³/h) wird eine Temperaturspreizung von ziemlich genau 10 Kelvin erreicht.

Mit der oben beschriebenen Formel kann nun aus Messreihen, wie sie in exemplarisch in Abbildung 3 dargestellt sind, die Leistung der Stegplatte bei unterschiedlichem Volumenstrom berechnet werden. Diese volumenstromabhängigen Stegplattenleistungen sind in der folgenden Grafik (Abbildung 4) für

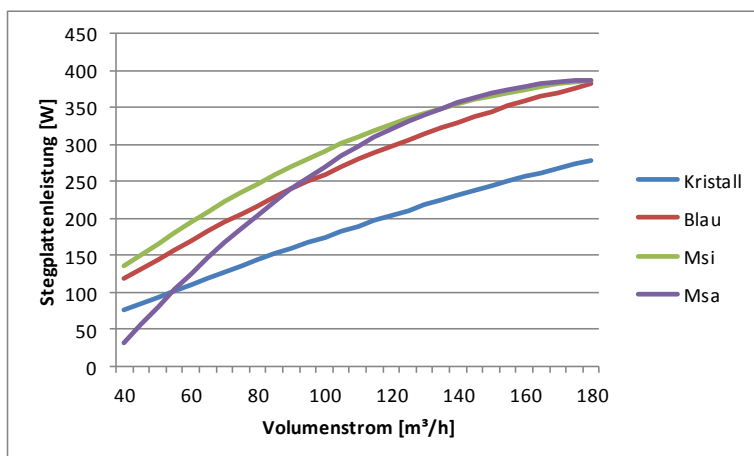


Abbildung 4: Volumenstromabhängige Stegplattenleistung

verschiedene Stegplattentypen (Stegplattenfärbungen) dargestellt.

Wie zu erwarten steigt bei allen Varianten die Leistung mit zunehmenden Volumenstrom (vgl. Formel). Jedoch wird deutlich, dass sich die unterschiedliche Färbung und die damit verbundene Absorption auf die Steigung und den Verlauf der Kurven auswirken. Die beiden Varianten mit der schwarzen Färbung der äußersten Stegplattenebene erzielen den größten Ertrag.

Mit unendlicher Ventilatorleistung lässt sich der Ertrag immer weiter steigern, dabei geht jedoch der wirtschaftliche und tatsächlich sinnvolle Nutzen verloren. Das Potential der einzelnen Kollektorvarianten kann nur richtig eingeschätzt werden, wenn man die notwendige Ventilatorleistung mit der Stegplattenleistung in Kombination betrachtet. Dazu wurden für diese Volumenströme und eine Druckdifferenz von 100 Pa Ventilator Kennlinien zugrunde gelegt, woraus sich eine volumenstromabhängige elektrische Anschlussleistung ergibt. Die Ventilator Kennlinien beziehen sich auf einen EC Radialventilator und –gebläse des Typs 3G 108 der Firma *ebmpapst*. In der folgenden Grafik ist der Quotient aus Stegplattenleistung pro elektrischer Anschlussleistung ($P_{\text{steg}}/P_{\text{elec}}$) über den Volumenstrom für die verschiedenen Varianten aufgetragen.

Die Abbildung 5 verdeutlicht, dass eine weitere Steigerung des Volumenstromes bei dieser Anwendung nicht sinnvoll ist. Alle Varianten haben ihr Maximum zwischen 60 und 110 m³/h, was somit als

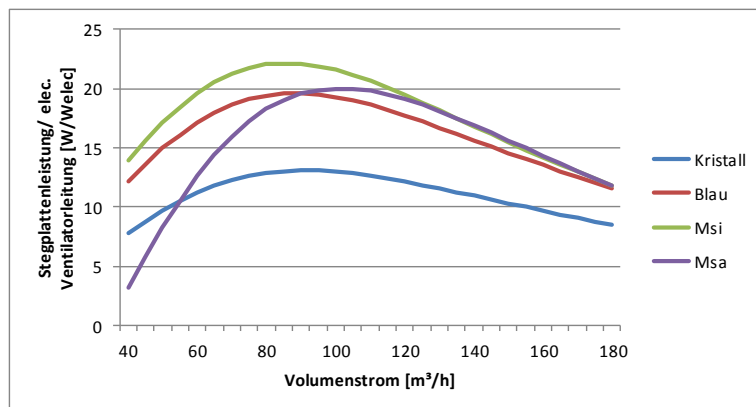


Abbildung 5: Volumenstromabhängige Stegplattenleistung in Bezug zur elektrischen Anschlussleistung

optimales Volumenstromfenster für den wirtschaftlichsten Ertrag bezeichnet werden kann. Dieser Bereich kann sich bei größeren Fassaden und/oder höherer Strahlungsleistung durchaus verschieben, was nur mittels Simulationen überprüft werden kann. Es kann aber auch durchaus sein, dass dieses Volumenstromfenster nicht für alle Anwendungen sinnvoll ist. Wird ein maximaler Temperaturhub benötigt, so ist muss mit einem mög-

lichst geringen Volumenstrom gefahren werden. Soll eine Überhitzung des Materials verhindert werden, so muss gegebenenfalls der Volumenstrom deutlich über dem optimalen Bereich liegen.

Ausblick

Entwicklung eines Simulationsmodells

Nachdem der thermische Nutzen der Stegplatte als aktive Solarkomponente zur Außenlufttemperaturerhöhung mit exemplarischen Messungen am Prüfstand nachgewiesen worden ist, ist es erstrebenswert, diesen Versuch mit einem mathematischen Modell nachzubilden.

Anhand der messtechnischen Erfahrungen soll ein Modell validiert werden, dass für die Berechnung und Auswertung von anderen Varianten (größere Stegplattenfläche, höhere Einstrahlung etc.) geeignet ist. Mit diesem Modell soll das aktive Nutzen der Stegplatten für unterschiedliche Anwendungen bei einer Jahresbilanzierung berücksichtigt werden. Dies soll in ein Simulationstool für Gebäude integriert werden, bei dem der Nutzer schnell und einfach über die Programmoberfläche die wichtigsten Systemkonfigurationen eingeben kann. Vorgesehen ist ein Tool für zunächst zwei Referenzgebäude (mehrgeschossiges Wohngebäude, Altbau und ein zweigeschossiges Büro- und Industriegebäude) zu erstellen, bei dem die relevanten Daten, welche die Integration in Fassadenflächen betreffen (Fläche, Ausrichtung, Farbe, etc.), variabel einzugeben sind.

Diese einfach gehaltene Anwendung soll Planern dazu dienen, die energetischen Potentiale einer Integration von PC Stegplatten in ihre Fassadenplanung besser abschätzen zu können. Die Anwendungsfelder dazu sind umfangreich. So können Fassadenflächen z.B. von Industriebauten dazu genutzt werden, um das Gebäude im Sommer zu isolieren und im Winter zu beheizen. Neben der energetischen Nutzung ist hier sicherlich auch die mediale Gestaltung der Fassade anzuführen, die vielfältige Möglichkeiten bietet, nicht zuletzt durch die wirtschaftliche Attraktivität gegenüber Glas. Auch im Wohnungsbau sind viele Anwendungen vorstellbar. Bei Sanierungen von Gebäuden können PC-Stegplatten in die Fassade integriert werden, zum einen als kostengünstiger Ersatz für TWD (Transparente Wärmedämmung) und zum anderen als sinnvoller Ersatz für die immer mehr umstrittenen WDVS-Systeme. Im Neubausektor könnten Stegplatten dazu genutzt werden, bislang ungenutzte Fassadenflächen thermisch zu aktivieren und die Solarenergie in die Systemtechnik (z.B. von Passivhäusern) zu integrieren.

Anbindung an die Systemtechnik

Genau diese Fragestellung - die Anbindung, der durch Stegplatten vorkonditionierten Außenluft an die Gebäudesystemtechnik - gilt es noch genauer zu untersuchen. Hierbei sind besonders die Potentiale für die unterschiedlichen Anwendungen genauer zu analysieren, wie z.B. die direkte Vorwärmung der Luft für Lüftungsanlagen (direkte Heizung), die Nutzung als Wärmequelle für eine Wärmepumpenanwendung (indirekte Heizung) und auch die Nutzung der warmen Luft zur solaren Kühlung mit Kältemaschinen. Mit einem zuverlässigen Simulationsmodell für die Stegplatten und der Kombination mit vorhandenen, validierten Modellen für Gebäude und der entsprechenden Anlagentechnik lassen sich diese Anwendungen genau bewerten und beziffern. Die technisch realisierbaren Anbindungen an die Systemtechnik, wie Anschlussdetails, Luftkanalführungen und die Steuerung des Systems muss jedoch sicherlich an einer Pilotanlage entwickelt und optimiert werden.

Literatur

- [1] Röhm GmbH, Europäische Patentanmeldung, Kreuzstromwärmetauscher aus Kunststoff, Veröffentlichungsnummer 0 315 052 A1, Veröffentlichungstag der Anmeldung 10.05.1989 Patentblatt 89/19.
- [2] Röhm GmbH, Europäische Patentanmeldung, Flächenstromwärmetauscher, Veröffentlichungsnummer 0 381 028 A1, Veröffentlichungstag der Anmeldung 08.08.1990 Patentblatt 90/32.
- [3] Schwarz D., Europäische Patentanmeldung, lichtdurchlässige Isolationsschicht, Internationale Veröffentlichungsnummer W95/22886, Veröffentlichungstag der Anmeldung 12.02.1997 Patentblatt 1997/07.
- [4] Schwarz D., Europäische Patentanmeldung, Vorrichtung zur transparenten Wärmedämmung an einem Gebäude, Internationale Veröffentlichungsnummer WO98/51973, Veröffentlichungstag der Anmeldung 23.02.2000 Patentblatt 2000/08.
- [5] Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V., Informationsmappe 1, „Produkte und Systeme“, 10/2004
- [6] Beschriebenen Systemtechnik des Patchworkhaus in Müllheim von Pfeifer Kuhn Architekten

Bildrechte

Alle Abbildungen in Abbildung 1: RODECA GmbH, Mülheim an der Ruhr
Abbildungen 2-5: Hochschule für Technik Stuttgart