

Verschattung und Raumtemperierung mit flüssigkeitsdurchströmten Glasfassaden

Modulating light and temperature with fluidglass facades

Jochen Stopper, Volker Ritter, Daniel Gstöhl

Flüssigkeitsdurchströmte Glasfassaden (sogenannte Fluidglasfassaden) können den Energiebedarf von Gebäuden reduzieren, für optimalen Nutzerkomfort sorgen und über die gesamte Fassadenfläche thermische Energie gewinnen. Ermöglicht wird dies durch die vier Funktionen von Fluidgläsern: Überhitzungsschutz, transparente Wärmedämmung, Heiz- und Kühlelement sowie transparenter Solarkollektor.

Konzepte flüssigkeitsdurchströmter Glasfassaden

Die Grundidee besteht darin, Flüssigkeiten vollflächig in die transparente Fassade zu integrieren, um mit diesen die Energieflüsse zwischen Außen- und Innenraum zu kontrollieren. Die verschiedenen Fluidglaskonzepte unterscheiden sich in der Zahl der Flüssigkeitsschichten sowie der Anzahl und Anordnung der Isolierglaseinheiten (Abb. 1). Dabei fungieren nach außen orientierte Flüssigkeitsschichten als Verschattungselement und als Solarkollektor. Innere Schichten dienen ebenfalls zur Verschattung und als Heiz- oder Kühlfläche, je nachdem, ob warme oder kalte Flüssigkeit zirkuliert (Abb. 2). 1973 meldete Pilkington Brothers ein Patent für zwei transparente Glas- oder Kunststoffscheiben an, in deren Zwischenraum sich Flüssigkeiten befinden.

Aktuell beschäftigen sich verschiedene Forschergruppen mit diesem Thema, darunter das Konsortium des EU-Projekts »Fluidglass« [1], dem die drei Autoren angehören und das auf Basis eines Patents von Prof. Dietrich Schwarz (Universität Liechtenstein) forscht.

EU-Projekt »Fluidglass«: Aufbau und Integration ins Gebäude

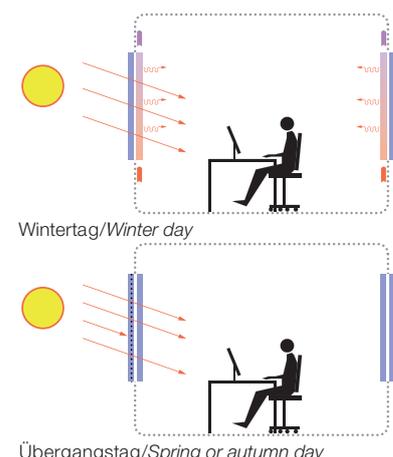
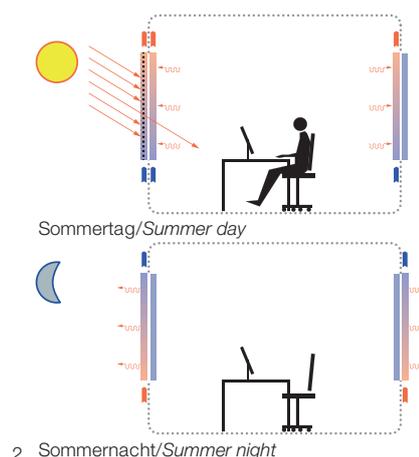
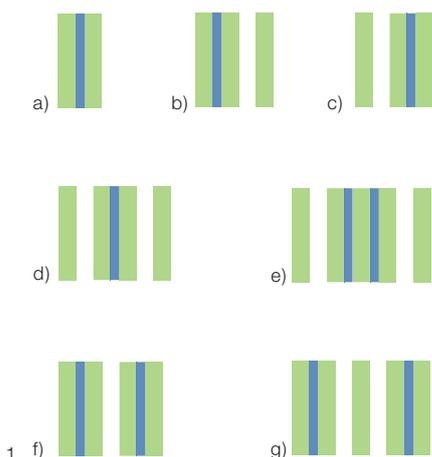
Die im EU-Projekt entwickelte Fluidglas-einheit besteht aus zwei flüssigkeitsführenden Schichten, die thermisch getrennt sind. Bei dem bisher für die Messungen und Simulationen verwendeten Prototypen besteht die thermische Trennung aus einer Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit 6 mm dicken, wärmeschutzbeschichteten Floatgläsern und zwei Krypton-Gasfüllungen (Abb. 3). Außen und innen sind weitere 6 mm dicke Floatgläser angebracht, die jeweils einen 2 mm breiten, flüssigkeitsführenden Scheibenzwischenraum bilden [2].

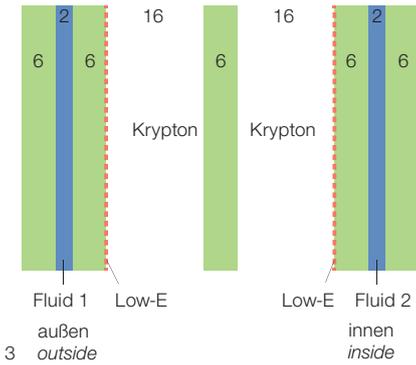
Das System wird im Unterdruck betrieben, um bei raumhohen Verglasungen den statischen Druck durch die Flüssigkeiten mit möglichst schlanken Konstruktionen aufnehmen zu können. In den flüssigkeitsführenden Scheibenzwischenräumen sind zur Gewährleistung eines gleichmäßigen Scheibenabstands punktförmige Abstandhalter angebracht. In den

beiden Fluidkreisläufen befinden sich Vorrichtungen, die die Flüssigkeiten ein- und entfärben und so deren Absorptionsgrad verändern. Die Flüssigkeitskreisläufe sind über Wärmetauscher mit dem konventionellen Haustechniksystem verbunden. Wärmeüberschüsse aus dem Raum oder einfallender Solarstrahlung können so von den Fluidschichten an die Haustechnik weitergegeben werden. Umgekehrt ist auch eine (Teil-)Beheizung des Innenraums über die innere Flüssigkeitsschicht möglich, wenn diese entsprechend vorerwärmt wird.

Anwendungsgebiete sowie Vor- und Nachteile von Fluidglasfassaden

Das größte Anwendungspotenzial für Fluidglasfassaden liegt bei Gebäuden mit einem großen, windexponierten Verglasungsanteil, z. B. bei Verwaltungshochhäusern. Um bei diesen Gebäuden den Energiebedarf zu reduzieren und den Komfort sicherzustellen, müssen die solaren Einträge während der Kühltage reduziert werden. Da aufgrund der hohen Windlasten kein ungeschützter, externer Sonnenschutz angebracht werden kann, kommen entweder einschalige Sonnenschutzverglasungen oder mehrschalige Systeme (z. B. Doppelfassaden) zum Einsatz. Sonnenschutzverglasungen mit unveränderbarem g-Wert und Lichttransmis-





Jochen Stopper ist Architekt und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für nachhaltiges Bauen der Technischen Universität München. Daniel Gstöhl ist Leiter Forschungsprojekte und Volker Ritter ist Postdoktorand am Lehrstuhl für nachhaltiges Bauen der Universität Liechtenstein.

Jochen Stopper is an architect and research assistant at the Centre for Sustainable Construction at the Technical University, Munich. Daniel Gstöhl manages the research projects, and Volker Ritter is a post-doctorate researcher at the chair for sustainable construction at Liechtenstein University.

- 1 verschiedene Optionen für Fluidglasaufbauten
- 2 Funktion einer Fluidglasfassade bei unterschiedlichen Klimabedingungen
- 3 Scheibenaufbau des untersuchten Prototypen im EU-Forschungsprojekt
- 4 Fluidglasscheibe im eingefärbten Zustand
- 5 Prüfstand (mit künstlicher Sonne und Klimakammer) an der Technischen Universität München

- 1 Different options for fluid glass units
- 2 Functioning of a fluid glass facade in different climatic conditions
- 3 Composition of the fluid glass prototype that was investigated in the EU research project
- 4 Fluid glass unit in its dyed state
- 5 Test facility (with artificial sun and climate chamber) at the Technical University of Munich

sionsgrad sind nur auf eine Situation optimiert und können nicht auf klimatische Veränderungen und wechselnde Nutzungen reagieren. Dies führt u. a. zu Einschränkungen hinsichtlich der Tageslichtverfügbarkeit und der Nutzung von solaren Gewinnen in der Heizperiode. Doppelfassaden wiederum, die mit veränderbaren Sonnenschutzsystemen ausgestattet werden können, weisen große Konstruktionstiefen auf und sind technisch aufwendig. Durch den Einsatz von adaptiven Fluidglasfassaden mit einer Verglasungstiefe von nur ca. sechs Zentimetern steht eine deutlich höhere Gebäudenutzfläche zur Verfügung. Durch die reversible Einfärbbarkeit der Flüssigkeitsschichten lässt sich der solare Eintrag in den Raum aktiv regeln. Dadurch erhält man nicht nur einen variablen Überhitzungsschutz, der andere Sonnenschutzsysteme ersetzt, sondern auch einen transparenten Solarkollektor, der an der gesamten, sonnenexponierten Glasfassade zur Energiegewinnung eingesetzt werden kann. Durch die Heiz- und Kühlfunktion der Fluidglasfassade werden darüber hinaus andere Wärmeübergabesysteme verzichtbar, und bei Sanierungen wird mit der Fluidglasfassade zugleich ein flächiges Niedertemperatursystem nachgerüstet. Aufgrund der aktiven Kontrolle von Transparenz und innerer Oberflächentempera-

tur lässt sich die Fluidglasfassade flexibel wechselnden Außen- und Innenraumbedingungen anpassen. Das System sollte daher unter allen klimatischen Bedingungen einsetzbar sein und dabei für optimalen thermischen und visuellen Komfort bei geringem Energieaufwand sorgen. Eine große Herausforderung liegt darin, die optischen Eigenschaften der Flüssigkeiten und der Verglasung über den gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten. Darüber hinaus wird die Herstellung, Montage und Wartung des Systems aufwendiger als bei konventionellen Glasfassaden sein. Aufgrund des relativ dicken und schweren Verglasungsaufbaus und der Flüssigkeitsanschlüsse müssen spezielle Fassadensysteme eingesetzt werden. Die Fluidglasfassade wird sich dadurch im oberen Preissegment von Glasfassaden bewegen, wobei der Wegfall anderer Gebäudetechniksysteme die höheren Fassadenkosten ausgleicht. Die skizzierten Annahmen zum Anwendungsgebiet und den Vor- bzw. Nachteilen werden im aktuellen Forschungsprojekt umfangreich untersucht.

sungen an Prototypen validiert. Bereits die Messergebnisse zeigen große Potenziale von Fluidgläsern auf. Durch Einfärben der Flüssigkeiten wurde der g-Wert von 34% auf 6%, die Lichttransmission sogar von 50% auf 0% reduziert – der Raum wurde also komplett verdunkelt. In ersten, vereinfachten Simulationen wurde ein nach Südwesten orientiertes Einzelbüro mit Vollverglasung an den Standorten München und Dubai untersucht. Dabei wurden drei Fluidglasvarianten mit einer optimierten Sonnenschutzverglasung als Benchmark-Szenario verglichen. Die Fluidgläser unterscheiden sich einerseits bezüglich der Färbung der Flüssigkeit (klar bzw. mit variabler Einfärbung), andererseits hinsichtlich der Verglasungsart (Floatglas bzw. eisenoxidarmes Weißglas) (Abb. 6). Die Simulationsergebnisse (Abb. 7) zeigen, dass eine reversible Einfärbung der Flüssigkeiten für das Fluidglassystem entscheidend ist. Büroräume mit Fluidglasfassaden mit klarer Flüssigkeit haben an beiden untersuchten Standorten und in beiden Verglasungsvarianten eine schlechtere Energiebilanz als mit Sonnenschutzverglasungen. Dagegen ermöglichen Fluidgläser mit variabler Einfärbung große Energieeinsparpotenziale, die in München ca. 20% und in Dubai sogar ca. 40% betragen. Die zusätzlich anfallenden

Fluidglassimulationen und Ergebnisse

Um die Anwendbarkeit flüssigkeitsdurchströmter Glasfassaden an verschiedenen Standorten zu überprüfen, wurden Simulationsmodelle entwickelt und mit Mes-



4

5

- 6 Eigenschaften der Glasaufbauten, die in den Simulationen untersucht wurden
- 7 Simulationsergebnisse für die in Abb. 6 genannten Verglasungen
- 6 *Properties of the glazing units investigated in the simulations*
- 7 *Simulation results for the glazing units listed in fig. 6*
- [1] Forschungsprojekt »Fluidglass«. Finanziert durch die Europäische Kommission innerhalb des siebten Rahmenprogramms Grant Agreement No. 608509. www.fluidglass.eu.
- [2] In den nächsten Prototypen wird mindestens eine Scheibe als Verbundsicherheitsglas (VSG) und die Krypton gasfüllung 12 mm breit ausgeführt. Langfristig wäre ein Aufbau mit Vakuumisolierverglasung (VIG) eine interessante Option für schlanke Konstruktionen (ca. 30 mm).

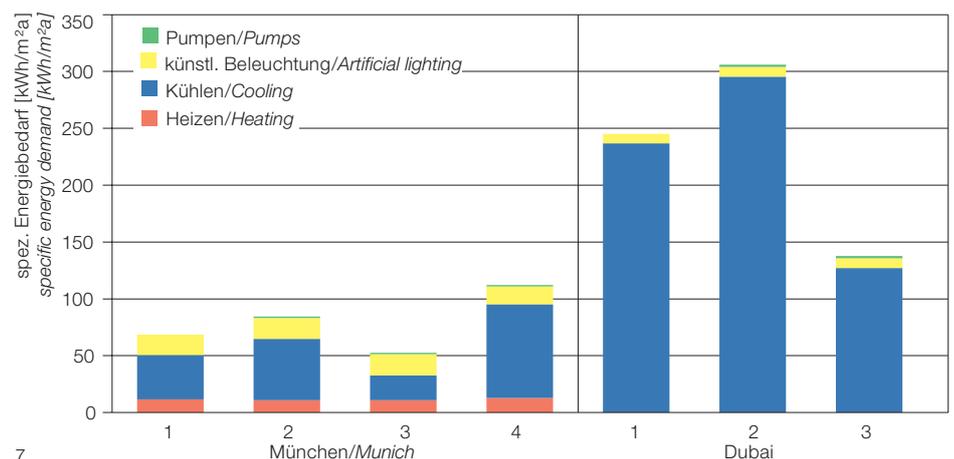
Nr.	Beschreibung Description	g-Wert g-value	solare Trans- mission solar trans- mission t_{sol}	visuelle Transmission visual trans- mission t_{vis}	U-Wert U-value [W/m ² K]
1.	Sonnenschutzverglasung (SSV) <i>Solar control glazing</i>	0,25	0,22	0,53	0,40
2.	Fluidglas aus Floatglas ohne Einfärbung <i>Fluidglass made from float glass, clear</i>	0,34	0,25	0,50	0,44
3.	Fluidglas aus Floatglas, eingefärbt <i>Fluidglass made from float glass, dyed</i>	0,34–0,06	0,25–0,02	0,50–0,00	0,44
4.	Fluidglas aus Weißglas, eingefärbt <i>Fluidglass made from extra white glass, dyed</i>	0,55–0,14	0,47–0,09	0,70–0,00	0,50

6

Glass facades with inner circulating fluids (so-called 'fluidglass facades') can reduce the energy demand of buildings, increase user comfort, as well as capture thermal energy from the sun and store it within buildings. The basic idea is to circulate fluids between the glazing planes of transparent facades in order to control the flow of energy between the inside and the outside of buildings. Currently, there are several research groups exploring this topic, including the EU project consortium 'Fluidglass' [1], which the three authors are members of. The fluidglass unit developed in the EU project consists of two fluid conducting layers with a total of five panes of glass, each 6 mm thick (fig. 1).

The two fluid layers are closed circulation loops with devices to colour and 'uncolour' the liquid and thereby also alter its absorbance. The fluid circulation loops are connected to the heating and cooling system via heat exchangers within the building. In this manner the fluid layers can absorb excess heat from radiation or the room, and conduct it, for instance, to a buffer storage tank. Conversely, it is also possible to (partially) heat the interior by means of the inner fluid layer. The most significant potential use for fluidglass facades lies with buildings that have a large glazed surface exposed to the wind, such as office high-rises. In these cases, the fluidglass provides an alternative

to external blinds that would need costly protective measures against the wind, for example by a double-glazed facade. In order to test the applicability of fluid circulated facades at various locations, simulation models were developed and subsequently validated by performance data gathered from prototypes. The data showed that dyeing the fluids reduced the g-value from 34 % to 6 % and reduced the light transmission from 50 % to 0 % – i. e. the space was completely darkened. In the simplified preliminary simulations, a fully glazed single-person office facing southwest was analysed for the locations Munich and Dubai. Three fluidglass options were compared with an optimised sun protection glazing as a benchmark scenario (fig. 6). The results (fig. 7) show that fluidglass composed of float glass provides an energy savings between 20 % (in Munich) and 40 % (in Dubai). Additional passive solar gain collected by the fluidglass facades was disregarded for these calculations. In contrast, the cooling demand within the building strongly increases when fluidglass is composed of extra clear transparent glass with low iron oxide content. The reason for this lies with the used dye, which does not sufficiently reduce the infrared radiation. For this reason, the research scientists are working on finding an optimal combination of glazing and dyeing.



7

Solarkollektorgewinne sind dabei noch nicht berücksichtigt. Weitere, verfeinerte Simulationen, bei denen eine reduzierte thermische Masse des Gebäudes (extreme Leichtbauweise) angenommen wurde, haben diese Tendenz bestätigt bzw. noch größere Energieeinsparpotenziale aufgezeigt.

Zur Überprüfung von Verbesserungspotenzialen wurden weitere Simulationen mit eisenoxidarmen Weißgläsern durchgeführt, mit denen sich die maximalen Transmissionswerte deutlich erhöhen. Überraschenderweise steigt dabei jedoch der Kühlbedarf des Büroraums dramatisch an. Die Ursache liegt in dem verwendeten Farbstoff, der die Strahlungstransmission im Infrarotbereich nicht ausreichend reduziert. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird daher an einer optimalen Kombination aus Verglasung und Einfärbung gearbeitet.

Die Sinnhaftigkeit von vollverglasten Hochhäusern in heißen Klimazonen soll an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Die gebaute Realität zeigt aber, dass für diese Fälle nach wie vor energieoptimierte Lösungen gefunden werden müssen. Auch Gebäude mit geringeren Verglasungsanteilen werden in weiteren Simulationen untersucht. Da bei sinkendem Glasanteil in der Fassade der Kühlenergiebedarf von Gebäuden abnimmt, wird das Energieeinsparpotenzial bei diesen Gebäuden voraussichtlich geringer ausfallen, der Nutzerkomfort sollte aber auch hier mit Fluidglasfassaden höher sein.

Ausblick auf die weitere Fluidglasforschung
Im September 2013 startete das vierjährige EU-Forschungsprojekt »Fluidglass«, das von der Europäischen Kommission finanziert und vom Lehrstuhl für nachhaltiges Bauen der Universität Liechtenstein (Prof. Dietrich Schwarz) geleitet wird. Am Ende der Projektlaufzeit soll ein Container mit Fluidglasfassaden errichtet und an verschiedenen europäischen Standorten unter realen Bedingungen betrieben und untersucht werden.