

Vakuum stoppt den Wärmefluss

Vakuum isoliert – auch beim Einsatz am Gebäude. Mit Vakuumverglasungen könnten die Fenster einen noch bedeutenderen Beitrag zur Verminderung von Wärmeverlusten leisten und damit helfen, Energie zu sparen und Emissionen zu reduzieren. Ein Forscherteam der Empa befasst sich deshalb intensiv mit der Entwicklung eines geeigneten Herstellungsverfahrens.



Moderner Fensterbau nutzt Zwei- und Dreifach-Verglasungen zur Verminderung von Wärmeverlusten. (Glas Trösch AG)

Mit dem Wechsel von Luft- zu Edelgas-Füllungen konnte die Isolationswirkung von Verglasungen in den vergangenen Jahren deutlich erhöht werden. Doch die Herausforderung, im Gebäudebereich die vorhandenen Energieverluste weiter stark zu reduzieren – sowohl bei Neubauten als auch vor allem bei Sanierungen – besteht mehr denn je. Die technische und dann auch die kommerzielle Realisierung einer zuverlässigen Vakuumverglasung würden einen grossen Schritt zu diesem Ziel hin bedeuten. Deshalb hat sich ein Team der Empa in Dübendorf an die Entwicklung von Glasverbundsystemen und möglichen Herstellverfahren für Vakuumverglasungen gemacht.

Strategien für Produktionstechniken

Während moderne Doppel- und Dreifach-Verglasungen einen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von 0.9 bis 1.1 W/m² K bzw. 0.6 bis 0.8 W/m² K aufweisen, könnte dieser Wert dank eines Vakuums im schmalen Zwi-

schenraum auf Werte zwischen 0.2 und 0.5 W/m² K reduziert werden. Gleichzeitig besteht eine solche Vakuumisolierverglasung (VIG) nur aus zwei statt drei



Dr. Matthias Koebel leitet die Empa-Forscherguppe zur Entwicklung eines geeigneten Herstellungsverfahrens für Vakuumisolierverglasungen. (VIG)

Scheiben, wodurch Material eingespart wird, und die Transmission der Solarenergie (g-Wert) wird nicht zusätzlich verringert. In unseren Breitengraden ist ein tiefer U-Wert bei möglichst hohem g-Wert gefragt.

Dr. Matthias Koebel, Forscher und Projektleiter an der Abteilung Bautechnologien der Empa, sieht ein grosses Potenzial für die Vakuumverglasung: «Mit unseren umfangreichen Arbeiten konnten wir Strategien zur Verbesserung der bisher verwendeten Verfahren zur Herstellung solcher Vakuumisolierverglasungen entwickeln. Im Mittelpunkt stehen ein neuartiges Fügeverfahren und ein Randverbundsystem, mit welchem die Limitierungen heutiger Glaslotprozesse überwunden werden. Zudem haben wir realistische Isolationsleistungen berechnet und Lebensdauermodelle erstellt. Heute sind wir in der Lage, mögliche Alterungsprozesse verstehen und deren Grössenordnung noch vor dem Schritt ins Labor oder in die Produktion abschätzen zu können. Dringendst braucht die Glas verarbeitende Industrie eine Alternative zu den weltweit beschränkten Ressourcen an den heute verwendeten, besonders geeigneten Edelgasen Krypton und Xenon für Fensterfüllungen.» Seit den 1990er-Jahren wird im internationalen Rahmen mit der Glasverschweissung mittels Glaslot gearbeitet; daraus kreierte man ein kommerzielles Produkt, das vor rund zehn Jahren auf den Markt kam. Dieses wird heute noch verkauft, jedoch hauptsächlich im asiatischen Markt, wo solche Verglasungen als Ersatz für einfach verglaste Scheiben verwendet werden. Erwähnenswert ist dabei die Tatsache, dass diese Erzeugnisse aufgrund von Einschränkungen, die durch den Glaslotprozess bedingt sind, nur gerade einen U-Wert von 1.2 – 1.5 W/m² K

erreichen. Vor einigen Jahren hat die Forschung in Europa im Bereich der Vakuumverglasung begonnen, sich mit Klebe- und Metallisierungsverfahren, aber auch erneut mit der Laserschweissung zu befassen.

Empa startete mit theoretischen Berechnungen

Im Jahr 2005 hatte der Empa-Forscher Dr. Heinrich Manz den Grundstein zu den Aktivitäten zum Thema Vakuumglas an der Empa gelegt. Damals begann er mit theoretischen Berechnungen des Wärmedurchflusses und des mechanischen Verhaltens von solchen Verglasungen. Im Gegensatz zu konventionellen Fenstern erfolgt im Vakuum kein Energietransport mehr durch Gasmoleküle, so dass der Glasabstand auf wenige Zehntel Millimeter verringert werden kann. Die Bauweise wird dadurch schlanker und die nötigen Distanzhalter klein und kaum erkennbar.

Bei dem seit 2007 vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützten Forschungsprojekt ging es dann in erster Linie um praktische Aspekte einer technischen Realisierung: Ziel war ein vakuumdichtes Verbundsystem mit einer Leckrate von weniger als 10 – 12 mbar/l/s sowie mögliche Herstellverfahren von Verglasungen im Hochvakuum zu entwickeln und mit einer Prozesstemperatur unter 300 °C zu arbeiten. Für ein fertiges Produkt müssen zudem die nötige mechanische Festigkeit und eine genügende Ermüdungsstabilität über ca. 30 Betriebsjahre garantiert werden können.

Am Randverbund entscheidet sich die Wirkung

Matthias Koebel: «Erste Analysen von üblichen Randverbundmaterialien zeigten, dass sie entweder bei hohen Temperaturen realisiert werden und/oder dass sie für Vakuum ungeeignet sind. Den Randverbund erkannten wir als das Haupthindernis auf dem Weg zu einer hochwertigen Vakuumverglasung.» Es wurde bald klar, dass man eine deutliche Verbesserung der Vakuumverglasung nur durch

verschiedene Einschränkungen beim Herstellprozess erreichen kann. Genügend niedrige Temperaturen von 250 – 300 °C verhindern eine Beschädigung bereits auf dem Glas applizierter Oberflächenbeschichtungen. Ausserdem eliminiert eine Herstellung unter Vakuum das nachträgliche Auspumpen und Versiegeln eines Pumpstutzens. Letzteres kann die gewünschte Lebensdauer einer Vakuumverglasung aus heutiger Sicht stark gefährden.



Muster eines Randverbunds mit der Zinnlot-Legierung und dem zugehörigen Ultraschall-Bild.

Ebenfalls erkannt hatte das Team die Notwendigkeit, rein anorganische Materialien, wie Oxide (Gläser), Metalle usw. als Fugenwerkstoff zu verwenden. «Wohl wussten wir, welche Auswahl uns hierfür zur Verfügung stand. Aber unsere ersten Tests mit 250 µm starkem Aluminium-Rahmen zwischen zwei Glasplatten und bei 300 °C verschweisst, brachten zunächst noch keinen Erfolg, sondern zeigten Lecks, durch welche das Vakuum schliesslich verloren ging. Dies wurde beispielsweise mit Elektronenmikroskopie- und Ultraschall-Untersuchungen sichtbar gemacht.» Danach nutzten die Forscher eine wesentlich dünnere Folie (30 µm), mit welcher bessere Resultate erzielt werden konnten, weil eine biegsamere Metallschicht zur besseren Haftung am Glas führte. Der richtige Durchbruch gelang aber erst mit dem Einsatz flüssiger Metallverbindungen (Lote), welche vor allem aus wirtschaftlicher und produktionstechnischer Sicht überzeugten. Wichtig ist, dass das entwickelte Verfahren ohne Vormetallisierung eine mechanisch feste und dichte Versiegelung realisieren lässt.

Glaswahl für ein ideales Gesamtsystem

Auch die Glasqualität ist ein wichtiges Thema. So galt es, das Durchdringen (Permeation) von Gasen durch das Glas abzuschätzen und dadurch eine Auswahl geeigneter Sorten zu treffen. Quarz-, Pyrex- und Borosilikat-Glas sind in dieser Hinsicht ungünstig, denn durch sie diffundieren kleine Moleküle, wie etwa Helium, viel zu schnell, was zu einem unerwünschten Druckanstieg und somit einer künstlichen Lebensdauerverkürzung führt. Als wäre dies ein Wink der Natur, hat sich Natronalkaliglas (Float Glas), welches ausschliesslich für Verglasungen zum Einsatz kommt, als optimaler Kandidat profiliert. Dieses zeichnet sich nicht nur besonders durch planparallele Flächen aus, sondern hat auch die geringste Gas-Permeation, was sich in verminderter Druckanstieg und erhöhter Lebensdauer widerspiegelt. Ebenfalls nicht zu vernachlässigen sind geringste Mengen an organischen Oberflächenverschmutzungen. Im Fenster kann es durch Strahlungseinwirkung zur Aufspaltung von grossen organischen Molekülen, beispielsweise Fettsäuren oder Tensiden, kommen. Dieser Prozess könnte dann einen fatalen Druckanstieg bewirken. Eine Oberflächenreinigung im Vorvakuum, sei es mit UV/Ozon oder Sputter-Verfahren, entschärft jedoch diese Problematik gänzlich.

Vakuumkammer für Prototypen

Parallel zur Entwicklung von möglichen Glas- und Verbindungsmaterialien wurden auch die nötigen Testeinrichtungen aufgebaut. So entstand an der Empa eine Vakuumkammer, mit welcher bis zu 50 x 50 cm grosse

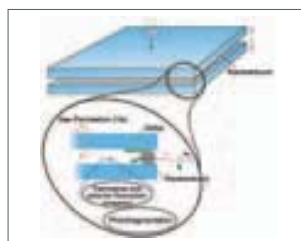


Hochvakuumanlage für die Fertigung von 50 x 50 cm grossen Prototypen.



Design der Hochvakuumkammer mit integriertem Schmelztiegel im Rahmen des von der EKZ unterstützten Forschungsprojekts der Empa in Dübendorf.

Verbundprototypen hergestellt werden können. «Die bisherigen Tests mit kleinformatigen Mustern haben gezeigt, dass eine anodische Verbindung von Glas und Metall mit einem tiefen Schmelzpunkt einen möglichen Weg mit viel Potenzial darstellt. Das «Anodic Bonding» oder «Mallory Bonding» ist aus der Halbleiter-Industrie bestens bekannt. Den weiteren Schritt machten wir dann mit einer Zinn-Legierung, die im Vakuum aufgeschmolzen und direkt zwischen die Glasplatten eingegossen und versiegelt wird», erläutert



Verschiedene Gefahren, die zu einem Druckanstieg führen können und somit das Vakuum zwischen den beiden Gläsern beeinträchtigen. (Empa)

Matthias Koebel die weiteren Projektarbeiten. Im Moment besteht der Fokus der Forschungsarbeiten auf der oxidfreien Einbringung des flüssigen Metalls in den Zwischenraum, damit eine bessere Haftung erreicht werden kann. Für die Methode wurde eine im Vakuum funktionierende Schmelzanlage für Metalle gebaut. Die Tests mit dieser direkten Applikation von flüssiger Metalllegierung zeigten bereits erste Erfolge. Durch

die Injektion von flüssigem Lot und der Herstellung weitgehend oxidfreier Drähte soll eine optimale Verbindung mit dem Glas möglich gemacht werden. Kurze Bindezeiten von nur 90 Sekunden und eine gleichmässige Haftung sind der Schlüssel für den Schritt in die Fabrikation. Diese Arbeiten werden durch ein Nachfolgeprojekt mit Unterstützung durch den Innovationsfonds der EKZ ermöglicht.

Fortsetzung zum Up-Scaling

Die Entwicklung und Demonstration des Randverbunds waren Ziele des vom BFE geförderten Projekts. Dies sowie die numerische Modellierung diverser Phänomene konnten zwar erreicht werden, aber noch nicht die Herstellung grosser quadratischer Prototypen. Daher setzt man an der Empa das Projekt mit vermehrtem Ausblick auf die Fabrikation grösserer Prototypen fort und arbeitet intensiv an einer Vakuumverglasung, die sowohl verfahrenstechnisch als auch qualitativ alle Anforderungen des modernen Bauwesens erfüllen soll. ☞

Jürg Wellstein, Basel

Kontakte

Empa

Dr. Matthias Koebel
8600 Dübendorf
matthias.koebel@empa.ch
www.empa.ch

Glas Trösch AG

www.glastroesch.ch

EKZ Innovationsfonds

André Montani
Projektleiter Energieberatung
andre.montani@ekz.ch
www.ekz.ch

BFE-Energieforschung:

Energie in Gebäuden
Programmleiter:
Dr. Charles Filleux
Bereichsleiter:
Andreas Eckmanns
www.bfe.admin.ch
[→ Themen → Energieforschung]
www.energieforschung.ch