

In-situ-Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades von Verglasungen

Der reale g-Wert bei verbauten Verglasungen



1

Autoren

Daniel Plörer,
Susanne Gosztanyi,
Institut für Bauingenieurwesen,
HSLU T&A

Christoph Zumbühl,
Raphael Kummer,
Institut für Elektrotechnik,
HSLU T&A

Fotos

Susanne Gosztanyi

Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) ist eine zentrale Kenngrösse zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes von Verglasungen. Während dieser Wert für neue Verglasungen nach der Norm SN EN 410 unter definierten Bedingungen im Labor ermittelt wird, fehlte bislang eine praxistaugliche Methode, um den g-Wert direkt an eingebauten Verglasungen messen zu können. An der Hochschule Luzern wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck ein mobiles Messsystem entwickelt,

das eine zuverlässige in-situ-Bestimmung des g-Werts ermöglicht.

Der vorliegende Artikel beschreibt Motivation, Messprinzip, Geräteaufbau und erste Erfahrungen aus der Entwicklung. Ziel ist es, das Verfahren der Praxis – insbesondere Architekt:innen, Fassadeningenieur:innen, Fachplaner:innen und Sachverständigen – vorzustellen und das Anwendungspotenzial aufzuzeigen. Konkrete Fallstudien und Messergebnisse werden in einem Folgeartikel behandelt.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) beschreibt den Anteil der einfallenden solaren Strahlung, der in den Innenraum gelangt – sowohl durch direkte kurzwellige Transmission als auch durch sekundäre Wärmeabgabe infolge der Erwärmung der Verglasung. Der g-Wert ist somit eine wesentliche Grösse für die bauphysikalische Bewertung einer Verglasung respektive die Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes und energetischer Bilanzierungen. Er liefert auch eine wesentliche Basis für die Planung von Verschattungssystemen, für die Beurteilung des thermischen Komfortempfindens sowie für die Beurteilung der Performance von innovativen Lösungen, wie zum Beispiel schaltbarer Gläser.

Üblicherweise nutzt die Planungspraxis Laborwerte, die nach der Norm SN EN 410 ermittelt wurden. Bei Bestandsbauten ist diese Information jedoch oft nicht verfügbar oder nicht mehr verlässlich. Gründe hierfür sind unter anderem:

- Alterung und Degradation von Beschichtungen;
- unklare Kombinationen in Verbundsicherheitsgläsern;
- fehlende Dokumentation oder herstellerseitige Kennungen;
- instabile Füllgase und/oder Undichtigkeiten.

Gleichzeitig steigt der Bedarf, bestehende Fassadenverglasungen energetisch korrekt zu erfassen, insbesondere im Kontext von energetischen Sanierungen, Nachrüstungen oder Wiedernutzungsvorhaben.

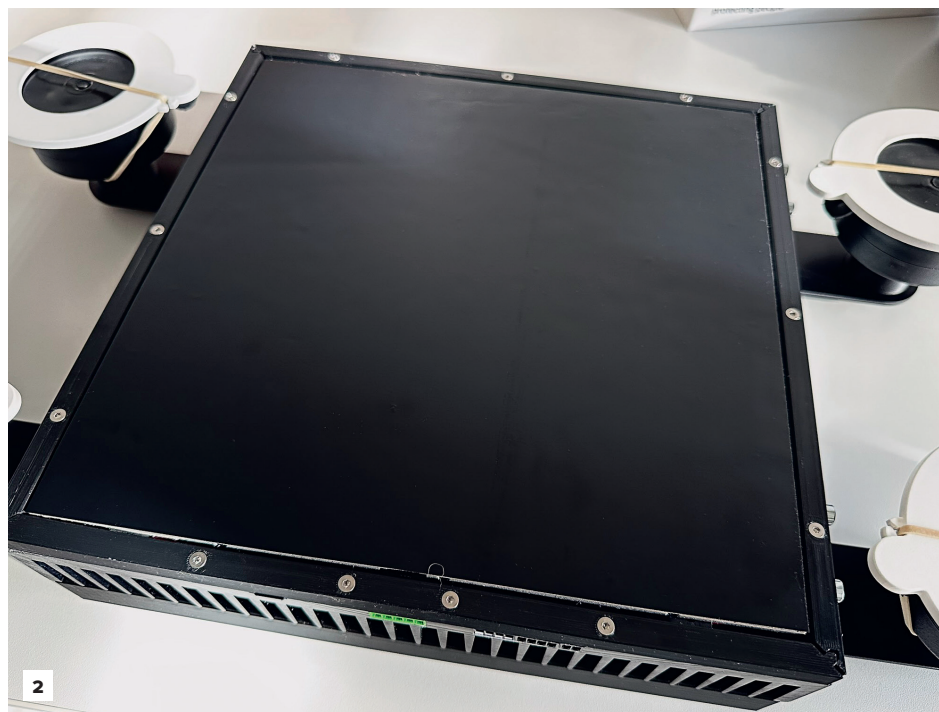
Um diese Lücke zu schliessen, wurde an der Universität Innsbruck ein erster Prototyp entwickelt, welcher direkt an der eingebauten Verglasung eingesetzt werden kann, also in-situ. Auf Basis der dort gewonnenen Erkenntnisse entstand nun an der Hochschule Luzern Technik & Architektur – als Kooperation zwischen deren Kompetenzzentren «Gebäudehülle und Ingenieurbau» und «Autonome Systeme und Robotik» – ein kompakteres, praxistauglicheres Messgerät zur In-situ-Bestimmung des g-Werts.

Wie viel Wärme kommt wirklich an?

Der tatsächliche g-Wert eines eingebauten Fensters weicht in der Praxis häufig deutlich von den unter Laborbedingungen bestimmten Kennwerten ab. So beeinflusst die reale Einbausituation (Neigung, Orientierung) die tatsächliche solare Einstrahlung. Aber auch spezifische Glaseigenschaften und Schichtaufbauten, sowie Alterungsprozesse der Schichten und des Glaspakets verändern den Kennwert. Diese Abweichungen können im Betrieb erhebliche energetische Konsequenzen auslösen – etwa Überhitzungsrisiken, erhöhten Kühlenergiebedarf oder Beeinträchtigungen des thermischen Komforts.

Ein Messsystem, das direkt auf der verbauten Verglasung montiert wird und unter realen Aussenbedingungen präzise misst, ermöglicht nun eine belastbare Bewertung des tatsächlichen energetischen Verhaltens von Verglasungen. Es liefert eine verlässliche Grundlage für Sanierungsentscheidungen, Qualitätssicherung oder technische Überprüfungen.

Das von der Hochschule Luzern entwickelte Messgerät lässt sich in wenigen Minuten montieren, erfasst die Messdaten automatisiert und führt eine Plausibilisierung der Ergebnisse durch. Anschliessend können die Resul-



tate mit Simulationsdaten und Verglasungsdatenbanken abgeglichen werden. Die Messdauer ist, abhängig von der Sonneneinstrahlung vor Ort, erstaunlich kurz: Bereits rund 24 Stunden, also ein Tag-Nacht-Zyklus, reichen aus, um sowohl den g-Wert als auch zusätzlich noch den Ug-Wert bestimmen zu können.

Messprinzip

Die In-situ-Bestimmung des g-Werts erfolgt durch die simultane Erfassung der aktuell auftreffenden solaren Strahlung, der durch die Verglasung transmittierten Strahlung, der Innen- und Aussentemperaturen sowie des Wärmestroms an der raumseitigen Glasoberfläche. Aus dem Verhältnis von auftreffender zu transmittierter Strahlung wird die direkte solare Transmission bestimmt. Der Wärmestromsensor erfasst zusätzlich die Sekundärwärmeabgabe infolge der Erwärmung der Scheiben. Durch die Kombination beider Anteile, direkter Strahlungstransmission und sekundärer Wärmeabgabe lässt sich der vollständige g-Wert unter realen Bedingungen ermitteln.

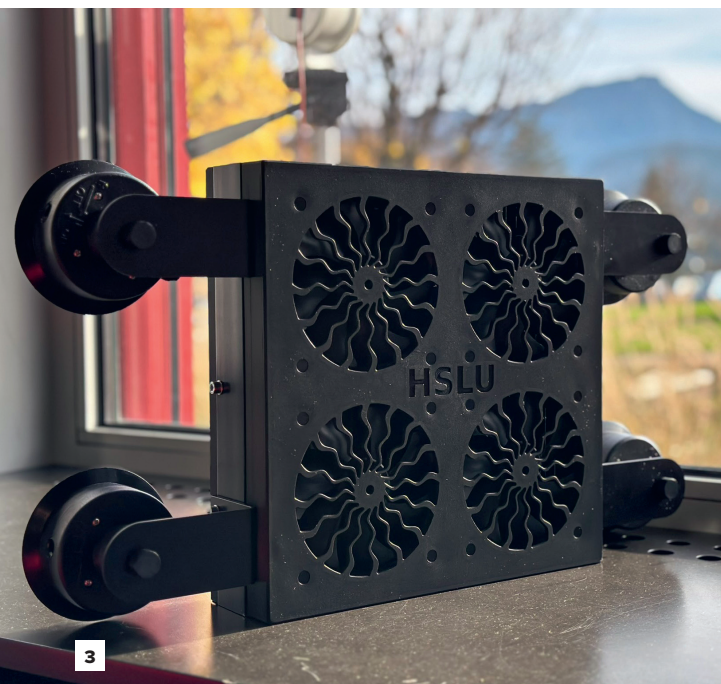
Das Messsystem

Das Messsystem besteht aus einer zentralen Haupteinheit mit integrierter Wärmestrommessplatte, die über zwei regelnde Kühlkreise aktiv kontrolliert wird. Ihre Funktionsweise beruht darauf, dass die Rückseite der Messplatte auf eine definierte Temperatur geregelt wird. Diese präzise Regelung ist entscheidend, um den durch das Glas in den Raum abgegebenen Wärmestrom zuverlässig zu erfassen und eine stabile, kontrollierbare Messsituation sicherzustellen – und damit auch eine hohe Messgenauigkeit.

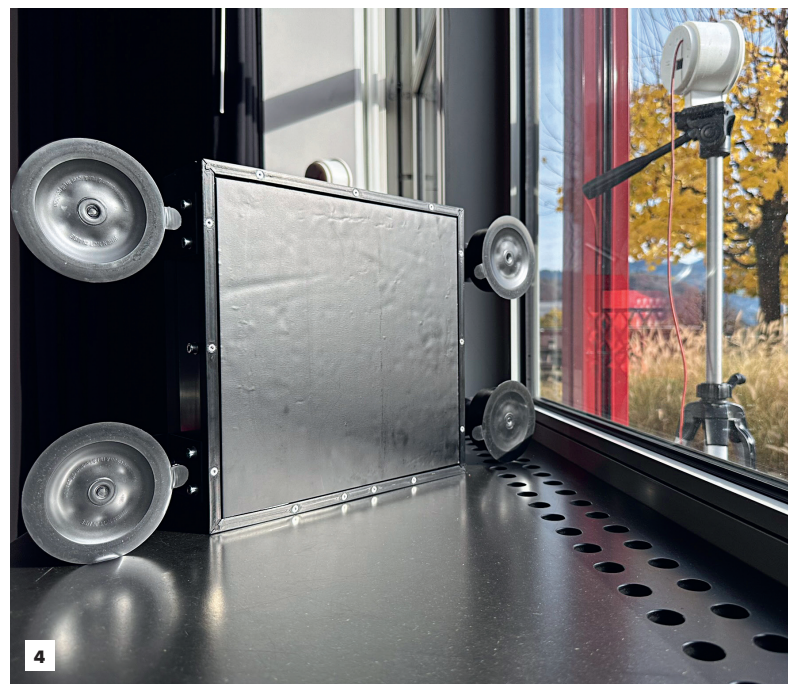
Die Haupteinheit wird durch periphere Sensoren ergänzt, darunter Lufttemperatursensoren und Pyranometer zur Erfassung der globalen Solarstrahlung. Der Betrieb dieser Sensoren ist durch die Energieversorgung mit Akku-

1 In-situ-Messgerät im Einsatz mit den peripheren Sensoren, den Pyranometern (provisorisch auf Stativen montiert; werden im Normalfall mittels Saugnäpfen direkt an die Glasoberflächen montiert).

2 Die der Glasoberfläche zugewandte Seite des Messgeräts hat eine elastische mattschwarze Auflage, um Unebenheiten in der Glasoberfläche auszugleichen und so eine unverfälschte Messung der transmittierten Strahlung zu ermöglichen.



3 In-situ-Messgerät der HSLU T&A: raumseitige Ansicht mit integrierten Lüftern zum Ausgleich der Temperaturentwicklungen im Messsystem.



4 In-situ-Messgerät der HSLU T&A: glasseitige Ansicht mit Messebene und vier Saugnapfen, mit denen das Gerät angebracht wird.

mulatoren und Funkübertragung ans Hauptgerät für einen kabellosen Betrieb vorgesehen. Dieses verfügt über eine integrierte Datenverarbeitung und Speichereinheit, die die Messdaten unmittelbar aufzeichnet.

Die vollständige kabelfreie Systemarchitektur ermöglicht Messungen auch in Situationen, in denen kein direkt zugängliches und offenes Fenster in der Nähe ist. Ein wesentlicher Vorteil bei grösseren Flächen oder Fixverglasungen.

Die erfassten Messdaten werden über geeignete Zeitfenster gemittelt, um kurzfristige Schwankungen der solaren Einstrahlung auszugleichen. Dabei sind mehrere Effekte zu berücksichtigen: die thermische Trägheit der Verglasung, die zu kurzzeitiger Phasenverschiebung zwischen Strahlungstransmission und Wärmestrom führen, variable Aussenbedingungen, welche die Stabilität der Messung beeinflusst, und die Signalqualität bei niedriger Einstrahlung, die eine sorgfältige Auswahl der Auswertungsintervalle erfordert.

Praxiserfahrungen

Die bisherigen Erprobungen des neuen Messgeräts bestätigen die Zuverlässigkeit des Messkonzepts, sofern zentrale Randbedingungen eingehalten werden. Entscheidend sind eine ausreichend hohe und stabile solare Einstrahlung, vollständige Verschattungsfreiheit sowie saubere Glasoberflächen. Letzteres ist aufgrund der saugnapfbasierten Befestigung aus Sicherheitsgründen zwingend erforderlich.

Für eine korrekte Berücksichtigung der thermischen Trägheit der Verglasung muss ein durchgehender Zeitraum von zumindest drei Stunden mit direkter und weitestgehend ungestörter Besonnung auf die zu messende Verglasung vorliegen, um den g-Wert bestimmen zu können.

Um diese Messung abzusichern und wenn zusätzlich auch noch der Ug-Wert gemessen werden soll, ist, wie bereits erwähnt, ein ganzer Tag-Nacht-Zyklus vorgesehen.

Anwendungspotenzial

Mit dem neu entwickelten Messsystem steht erstmals eine praxistaugliche Methode zur In-situ-Bestimmung des g-Werts von eingebauten Verglasungen zur Verfügung. Damit lässt sich die tatsächliche energetischen Performance des Bauelements zuverlässig bewerten – unabhängig von Dokumentationsstand oder Herstellerangaben.

Die In-situ-Messung eröffnet vielfältige Einsatzmöglichkeiten:

- Qualitätssicherung im Neubau, etwa bei komplexen Glasaufbauten,
- Bestandserfassung bei Sanierungsvorhaben, inklusive Überprüfung gealterter oder unbekannter Verglasungszustände,
- technische Due Diligence im Immobilienkontext,
- Forschung und Produktentwicklung, so auch für adaptive Verglasungen oder innovative Beschichtungstechnologien.

Damit adressiert die Methode den zunehmenden Bedarf an präzisen, schnellen und zerstörungsfreien Erhebungen der technischen Eigenschaften von Bestandsverglasungen – ein zentraler Baustein für zirkuläre Planungs- und Rückbauprozesse.

Aktuell wird das System um Funktionen wie die automatisierte Erkennung geeigneter Messintervalle sowie eine softwarebasierte Normierung auf Standardbedingungen erweitert, um eine Vergleichbarkeit mit normativ ermittelten g-Werten zu ermöglichen.

Im nächsten Artikel stellen wir konkrete Praxisbeispiele, Messauswertungen und die daraus abgeleiteten Planungs- und Sanierungsimplikationen vor – und zeigen, wie stark die real gemessenen g-Werte vom nominellen Laborwert abweichen können. ♦

Détermination in situ du coefficient global de transmission énergétique des vitrages

La valeur g réelle des vitrages installés

Le coefficient global de transmission énergétique (valeur g) est un indicateur clé pour évaluer la performance énergétique des vitrages. Il est particulièrement pertinent pour la protection thermique estivale, la planification des systèmes d'ombrage et l'évaluation des technologies innovantes en matière de verre. Il décrit la part du rayonnement solaire qui pénètre à l'intérieur du bâtiment par transmission directe et par émission thermique secondaire. Alors que la valeur g est généralement déterminée en laboratoire conformément à la norme SN EN 410, il n'existait jusqu'à présent aucune méthode permettant de la mesurer de manière fiable sur des vitrages déjà installés.

Dans la pratique, les valeurs de laboratoire sont souvent insuffisantes, voire indisponibles, en particulier dans les bâtiments existants. Cela s'explique par le vieillissement des revêtements, des assemblages peu clairs dans les verres feuilletés, l'absence de documentation et la modification des remplissages de gaz. De plus, les conditions réelles d'installation telles que l'orientation, l'inclinaison et la saleté influencent considérablement la valeur g réelle. Ces écarts peuvent avoir des conséquences énergétiques importantes, telles que des risques de surchauffe ou un besoin accru de refroidissement. Il existe donc un besoin important de mesures in situ précises, pratiques et non destructives.

Afin de combler cette lacune, un premier appareil de mesure in situ a d'abord été développé à l'université d'Innsbruck. Sur cette base, la Haute école de Lucerne a mis au point un système plus compact, plus robuste et mobile, qui se fixe directement sur le vitrage installé. Il mesure la valeur g réelle dans des conditions extérieures réelles et permet une évaluation énergétique fiable des vitrages existants.

Le principe de mesure repose sur la détection simultanée du rayonnement solaire incident et transmis, ainsi que des températures intérieure et extérieure et du flux thermique à la surface vitrée côté pièce. Le rapport entre le rayonnement incident et le rayonnement transmis donne la transmission directe. En complément, un capteur de flux thermique enregistre le dégagement de chaleur secondaire résultant du réchauffement du verre. Les deux composants combinés donnent la valeur g réelle.

Le système de mesure se compose d'une unité principale régulée avec une plaque de mesure du flux thermique, qui est maintenue à une température définie grâce à deux circuits de refroidissement à commande active. Cela permet de créer des conditions de mesure stables et reproductibles. Des capteurs supplémentaires, une sonde de température de l'air et un pyranomètre fournissent les données complémentaires nécessaires. L'alimentation électrique est assurée par des batteries rechargeables et la transmission des données est sans fil. Un système de traitement des données intégré enregistre les valeurs mesurées et permet une validation immédiate. Le système fonctionnant entièrement sans câble, il peut également être utilisé sur de grandes surfaces vitrées fixes.

Pour obtenir des résultats significatifs, certaines conditions doivent être remplies: un ensoleillement suffisamment élevé et aussi constant que possible, l'absence d'ombrage et des surfaces vitrées propres (pour des raisons de sécurité, car le système est fixé à l'aide de ventouses). De plus, l'inertie thermique du vitrage doit être prise en compte, c'est pourquoi une période d'ensoleillement continu d'au moins trois heures est nécessaire. La mesure d'un cycle jour-nuit complet (environ 24 heures) permet en outre de déterminer la valeur Ug.

Les expériences pratiques réalisées jusqu'à présent confirment la précision des mesures et l'applicabilité du système. Des optimisations continues, telles que la détection automatisée des plages horaires appropriées ou une normalisation assistée par logiciel pour permettre la comparaison avec les conditions standard, sont en cours de développement.

Le potentiel d'application est très large et comprend l'assurance qualité pour les nouvelles constructions, l'inventaire et la planification de la rénovation, la diligence raisonnable technique, la recherche sur les vitrages adaptatifs ou les revêtements innovants, ainsi que le soutien aux processus de planification et de démolition circulaires. Cette méthode permet pour la première fois un enregistrement rapide, précis et non destructif des propriétés énergétiques réelles des vitrages installés, indépendamment des informations fournies par le fabricant et de l'état de la documentation.

Un article suivant présentera des études de cas concrets et montrera à quel point les valeurs g réelles peuvent s'écarter des valeurs de laboratoire, avec des conséquences directes sur la planification, le confort et l'efficacité énergétique. ♦