

gSKIN® Anwendungsbeschreibung: U-Wert Bestimmung bei Fensterscheiben

Einleitung

Fenster sind für 10 bis 20% des Wärmeverlustes in Gebäuden in der Winterzeit verantwortlich (Axel-Lute, 2009). Das Wärmeverhalten und die Wärmeleitfähigkeit hängen stark vom verwendeten Glas ab und kann von einem U-Wert von 5 W/m²K, für einfach verglaste Fenster, bis zu 0.7 W/m²K, für dreifach verglaste Fenster, variieren (VFF, 2014). Dies bedeutet, dass man durch die Sanierung von alten und schlecht isolierten Fenstern Einsparungen sowohl bei der Wärmeenergie als auch bei den Kosten erzielen kann. Da eine genaue Bestimmung eines U-Wertes bei Fensterglas sehr schwer ist, wird eine genau Berechnung des Einsparpotenzials im Falle einer Sanierung schwierig. Eine in-situ Messung kann jedoch zu einem genauen Ergebnis führen und ist daher von großem Wert. Verlässliche in-situ Messungen können mit dem gSKIN® Wärmeflussensor durchgeführt werden, jedoch muss wegen dem unterschiedlichen Wärmeverhalten von Glas ein differenzierter Ansatz genutzt werden.

In dieser Fallstudie zeigen wir die U-Wert Messung eines doppelverglasten Fensters in einem Wohnhaus mit einem gSKIN® Wärmeflussensor. Alle Messungen wurden während der Nacht durchgeführt um einen möglichen Einfluss von Sonnenstrahlen zu annullieren und somit alle Vorgaben zur Glasmessung gemäß ISO 9869 zu folgen. Um den Effekt von Sonnenstrahlung auf den U-Wert zu untersuchen wurden außerdem Messungen während des Tages durchgeführt.

Das Ziel der Fallstudie war es ein genaueres Verständnis vom Wärmeverhalten von Glas und dem daraus resultierenden Einfluss auf U-Wertmessungen zu erhalten. Zusätzlich wird eine detailliertere Bestimmung des U-Wertes, im Vergleich zu einer rein visuellen Einschätzung, möglich, wodurch das genaue Einsparpotenzial und die Amortisationszeit berechnet werden können.

Untersuchtes Gebäude

Die untersuchten Fenster sind Teil eines Wohngebäudes aus den 90er-Jahren und sind 50 cm breit sowie 90 cm hoch. Die Fenster sind doppelt verglast, haben einen PVC rahmen und befinden sich auf der Südseite des Gebäudes. An der Außenseite des Fensters sind in einem Abstand von 10 cm metallische Sonnenblenden angebracht, die nach belieben geschlossen werden können. Da die Sonnenblenden nicht hochgefahren werden können, wurden diese in die Messungen mit eingerechnet. Die Fenster machen insgesamt 8 m² der Gebäudewand aus und wurden seit der Erbauung nicht saniert oder renoviert.

Messungsaufbau

Der Aufbau der Messung entspricht den Vorgaben der ISO 9869 Norm. Der Wärmeflussensor wird an der Innenseite des Fensters angebracht und der Temperatursensor für innen wird daneben in einem Abstand von 3-5 cm von der Oberfläche des Fensters platziert. Der Temperatursensor für außen wird außerhalb des Fensters, gegenüber des ersten Sensors, mit einem Abstand von 3-5 cm zum Fenster platziert.

Alle Nachtmessungen werden ein paar Stunden nach Sonnenuntergang gestartet und am frühen Morgen, kurz vor Sonnenaufgang, wieder beendet (gemäß ISO 9869). Die dritte Messung wurde direkt nach Sonnenaufgang gestoppt was jedoch keinen Einfluss auf die Messergebnisse hatte. Die Messungen während des Tages begangen zum Sonnenaufgang und wurden zum Sonnenuntergang gestoppt. Über den Zeitraum der Messungen gab es keine Aktivitäten im Raum. Alle Messungen wurden mit der greenTEG Software(V1.00.03) ausgewertet.



Abbildung 1: Messaufbau; Fenster mit metallischer Sonnenblende; Wärmeflussensor mit 2 Temperatursensoren, einer innen und einer außen, beide ungefähr 3-5 cm Abstand zum Glas.

Auswertung der Daten

Nachtmessung

Die Ergebnisse der drei Nachtmessungen werden in den folgenden drei Abbildung wiedergegeben. Die drei Graphen beinhalten den Wärmefluss, die Innentemperatur, die Außentemperatur und den U-Wert. Alle Parameter sind relativ konstant in allen drei Messungen.

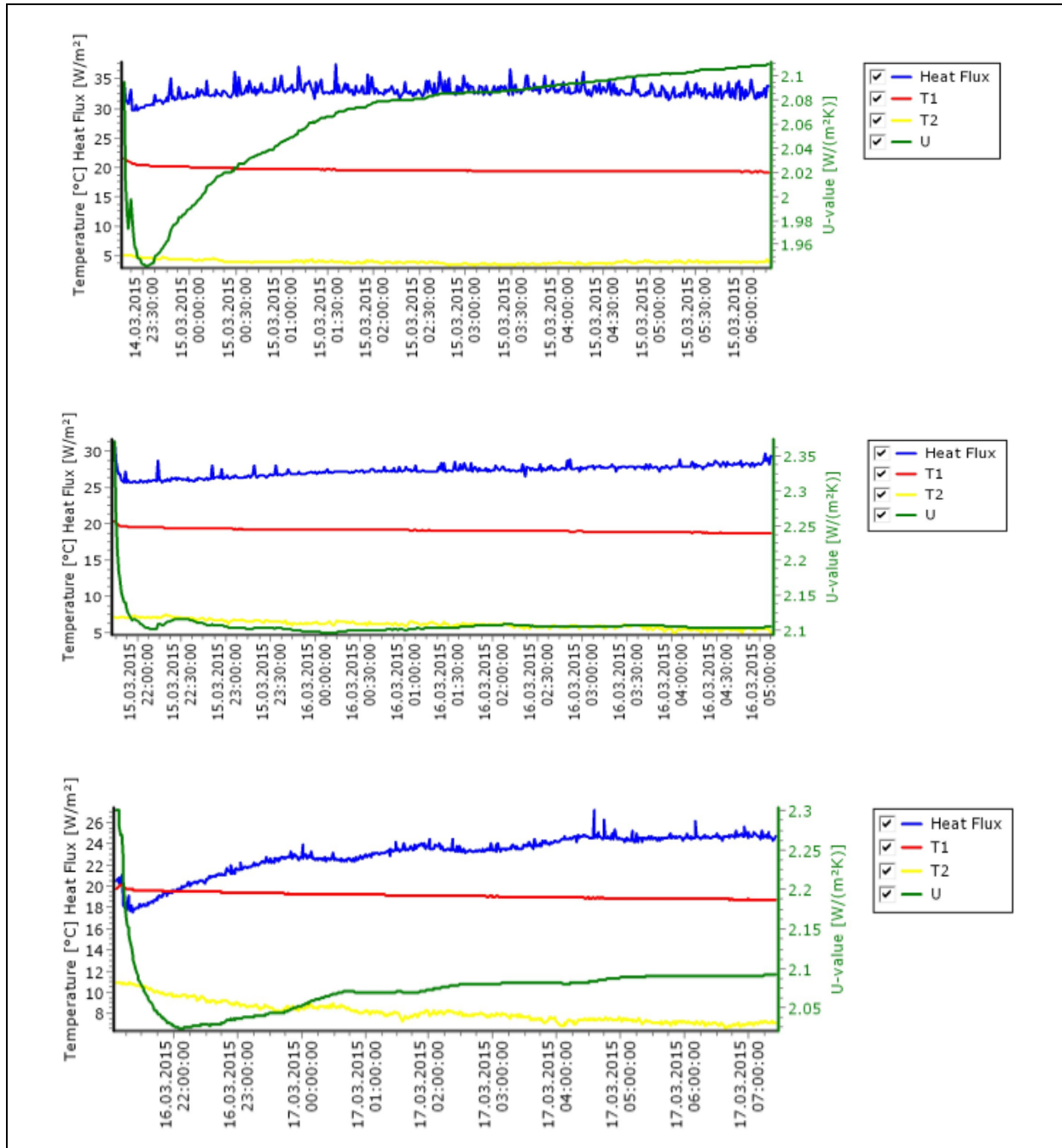


Abbildung 2: Ergebnisse der drei Nachtmessungen, Differenz < 5%, entspricht ISO 9869 (greenTEG Software V1.00.03, 2015)

Die folgende Tabelle zeigt den U-Wert der drei jeweiligen Nächte und die Standardabweichung während der Messzeit. Die durchschnittlichen Werte basieren auf den Messungen während der drei Nächte.

Tabelle 1: Resultat der 3 Nachtmessungen.

	U-Wert (W/m ² .K)	Std. Abw.
1. Nachtmessung	2.11	4.4%
2. Nachtmessung	2.10	1.7%
3. Nachtmessung	2.09	3.2%
Durchschnitt	2.10	3.1%

Die Messungen an den Fenstern während der Nacht haben zu sehr ähnlichen U-Werten geführt die von 2.09 bis 2.11 W/m²K variieren. Dieser Unterschied ist weniger als 1%, wodurch die ISO 9869 Kriterien von < 5% erfüllt sind. Die Standardabweichung der U-Werte während einer Nacht beträgt im Durchschnitt 3,1% und ist somit niedrig und wenig volatil. Wie in Abbildung 2 zu sehen, kann eine Messung von wenigen Stunden schon aussagekräftige und genaue Daten für den U-Wert wiedergeben.

Tagmessung

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Tagmessung. Es sind starke Fluktuationen sowohl bei dem Wärmefluss, Außentemperatur als auch beim U-Wert erkennbar.

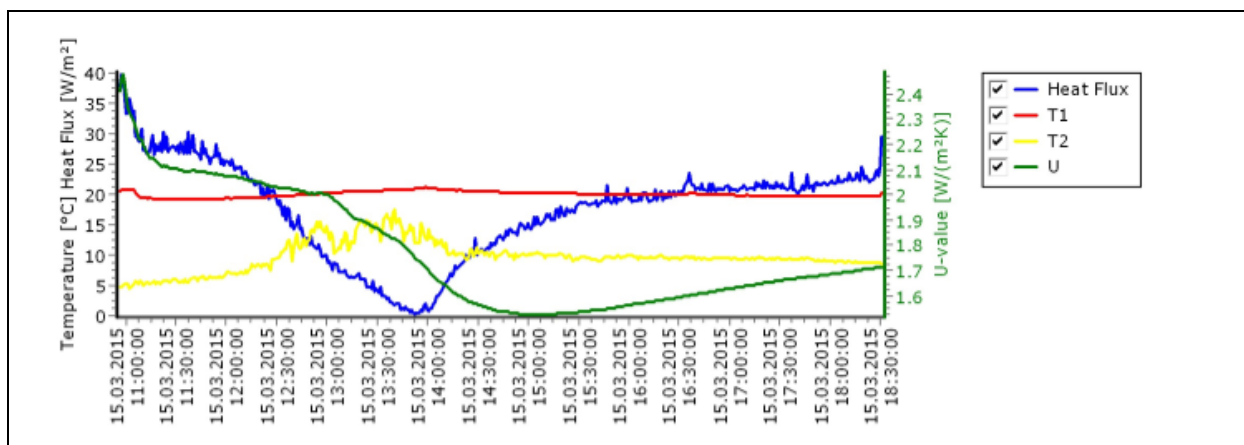


Abbildung 3: Ergebnisse der Tagmessung, inkorrekt U-Wert durch Sonneneinstrahlung (greenTEG Software V1.00.03, 2015)

In der folgenden Tabelle wird der U-Wert und die Standardabweichung der Tagmessung mit dem Durchschnitt der Nachtmessungen verglichen.

	U-Wert (W/m ² .K)	Std. Abw.
Tagmessung	1.71	22.1%
Durchschnittliche Nachtmessung	2.10	3.1%

Tabelle 2: Resultate der Tag und Nachtmessungen

Die Tagmessung unterscheidet sich signifikant von dem Durchschnitt der Nachtmessungen und hat eine sehr hohe Standardabweichung. Die Ursache dafür ist die Sonnenstrahlung. Der Graph in Abbildung 3 zeigt deutlich, dass der

Wärmefluss bei einem bedecktem Himmel 30 W/m² beträgt, sobald die Wolken gegen 12 Uhr verschwunden sind und die Sonnenstrahlen direkt auf das Fenster scheinen sinkt der gemessene Wert auf 0 W/m².

Der Wärmefluss von innen nach außen wird durch die direkte Strahlung kompensiert. Als sich gegen 14:00 Uhr wieder eine Wolkendecke bildet und die Sonneneinstrahlung blockiert, steigt der gemessene Wärmefluss langsam auf einen Wert von 25 W/m² wieder an.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass durch eine Messung am Tag nicht nur der Wärmeverlust gemessen werden kann, sondern auch der Wärmegewinn durch Sonneneinstrahlung. Somit sind Messungen am Tag hilfreich wenn das komplette Wärmeverhalten von einem Fenster gemessen werden soll. Eine akkurate und verlässliche U-Wert Messung gemäß ISO 9869 kann jedoch nur, wie beschrieben, Nachts durchgeführt werden.

Berechnung Heizkosten Einsparung

Wenn man die bekannten Merkmale und Eigenschaften der installierten Fenster aus den 90er-Jahren zur Bestimmung des U-Wertes heranzieht kann man einen U-Wert von 1.7 bis 2.8 W/m²K schätzen. Diese Spanne ist relativ groß, sodass sich daraus keine genauen Heizkosten Ersparung für einer Sanierung berechnen lässt. Durch die in-situ U-Wert Berechnung mithilfe des gSKIN® Wärmeflussensors kann ein genauer Wert bestimmt werden, durch den sich die Heizkosten Ersparung genau berechnen lässt und man eine genaue Amortisationszeit bestimmen kann. Die Messungen am Fensterglas beziehen den Rahmen nicht mit ein und sind daher nicht auf das gesamte Fenster übertragbar. Zusätzliche Messungen am Rahmen können ebenfalls mit dem gSKIN® Wärmeflussensor gemacht werden.

Der durchschnittliche U-Wert aller drei Nächte beträgt 2.10 W/m²K (zu sehen in Tabelle 1). Dieser Wert kann erheblich verbessert werden, indem man entweder das beste doppelverglaste Fenster (1.1W/m²K) oder ein dreifachverglastes Fenster (0.7W/m²K) einsetzt.

In der Tabelle 3 wird der gegenwärtige U-Wert und die Heizkosten mit den möglichen Verbesserungen zu doppelverglasten Fenstern und dreifachverglasten Fenstern verglichen. Um genaue Kostenersparnisse zu berechnen, werden die durchschnittlichen Heiztage der letzten zwei Jahre im Norden der Schweiz (Wetterstation Zürich-Kloten) verwendet. Für die Kostenersparnisrechnung wird ein durchschnittlicher Heizpreis von 0,10/kWh verwendet. Die Rechnung in Tabelle 3 basiert auf Annahmen und kann daher nur als ein Indikator für die tatsächlichen Einsparungen verwendet werden. Die exakten Einsparungen hängen von dem verwendeten Rahmen und weiteren Randbedingungen (wie z.B. Nutzverhalten). Die Austauschkosten in Tabelle 3 sind inbegriffen der Arbeitskosten sie können von Fall zu Fall aber in verschiedenen Fälle unterscheiden. Die Amortisationszeit wird berechnet indem die Austauschkosten durch die Heizkostenersparnisse geteilt werden.

Tabelle 3: Energie- und Kostenvergleich verschiedener Fenstertypen

	U-Wert (W/m ² K)	Wärmeverlust ¹ (kWh/Jahr m ²)	Kosten ersparnis ¹ (€/Jahr m ²)	Austauschkosten ² (€/m ²)	Amortisationszeit (Jahre)
m² Derzeitige Verglasung	2.1	174	-	-	-
m² Vergl. Doppel-verglast 3. Generation	1.1	91	~ € 8,-	€ 120,00	~ 14
m² Vergl. Dreifach-verglasung	0.7	58	~ € 12,-	€ 160,00	~ 14

¹ Ort: Zürich-Kloten; Basistemperatur: 19 °C; www.degreedays.net

² Beispielkosten inklusive Arbeitszeit, Quelle: www.dubbelglas-weetjes.nl/hr-glas/driedubbel-glas/

³ Das beste doppel verglaste Fenster und dreifach verglaste Fenster; Quelle (VFF, 2014)

Die Amortisationszeit bei einem Wechsel von den jetzigen Fenstern zu den besten doppelt verglasten oder dreifach verglasten Fenstern würde in beiden Fällen ungefähr 14 Jahre betragen. Im Vergleich zu anderen Methoden die möglich sind um Energie und Kosten zu sparen (z.B. LED Lampen) ist dies ein sehr langer Zeitraum. Da ein Fenster aber eine sehr lange Lebensdauer hat, würde sich das Investment rentieren. Eine Sanierung der Fenster hätte außerdem auch andere positive Effekte, wie zum Beispiel Senkung der Geräuschbelastung, Reduzierung von Kondenswassers etc. In diesem untersuchten Gebäude ist die Geräuschbelastung in der Umgebung besonders hoch und würde somit ein wichtiges Entscheidungskriterium darstellen. Durch die neue Messmethode ist es nun möglich die Kostenersparnisse (und die Vorteile der Geräuschreduzierung) mit den Kosten zu vergleichen und eine Entscheidung zu treffen. In diesem Fall nehmen die Fenster eine Fläche von 8 m² ein. Das beste doppeltverglaste Fenster würde eine Investition von €1000,- (8 x €120,-) benötigen und zu Kostenersparnissen von €65,- (8 x €8,29) pro Jahr führen. Anhand dieser Informationen können nun Entscheidungen getroffen werden ob sich eine Sanierung lohnen würde.

Richtlinien zum Aufbau einer Fensterglas-Messung

Eine U-Wertmessung bei einem Fensterglas durchzuführen ist relativ einfach. Die meisten Schritte werden in dem mitgelieferten Handbuch des U-Wert Messgeräts erklärt. Man muss einige wenige zusätzliche Faktoren beachten.

- Verlässliche und ISO konforme Messungen können nur nach Sonnenuntergang und vor dem Sonnenaufgang durchgeführt werden. Die Timerfunktion lässt den Beginn der Messung zeitlich nach hinten verschieben. Alternativ kann man durch das Auslesen der Daten in einem Excel Dokument nur die relevanten Zeiten auswählen.
- Künstliches Licht kann die Messung ebenfalls verfälschen, daher sollten alle Lichtquellen ausgeschaltet bleiben.

Fazit

Das U-Wert KIT kann benutzt werden um sehr genaue in-situ U-Wertmessungen durchzuführen. Messungen die während der Nacht unter stabilen Umständen durchgeführt werden liefern genaue und zuverlässige Daten schon nach wenigen Stunden. Messungen die am Tag durchgeführt werden weisen starke Schwankungen auf die auf die Sonneneinstrahlung zurückzuführen sind. Eine in-situ U-Wertmessung bei Fensterglas kann sehr hilfreich sein, da sich das Wärmeverhalten stark unterscheiden kann und es oftmals bei verbauten alten Fenstern unbekannt ist. Daher ist die Gewinnung von exakten Messdaten unerlässlich um eine richtige Kostenrechnung zu erstellen.

Referenzen

Axel-Lute, M. 2009; Three steps to super-efficient windows; Green America, retrieved at: April 2, 2015 aus <http://www.greenamerica.org/livinggreen/windows.cfm>

International Standard Organisation. ISO 9869:2014: Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance – Part 1: Heat flow meter method. Genève; ISO; 2014

VFF-BF, 2014, Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern; retrieved at April 1, 2015, from http://www.bundesverband-flachglas.de/cms/upload/publikationen/VFF-BF-Studie_Mehr_Energie_sparen_mit_neuen_Fenstern.pdf