

B E R I C H T

Ermittlung des U-Wertes von Rolladensystemen bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten

**im Auftrag des
Bundesverbandes Rolladen + Sonnenschutz e.V.**

Report ZAE 2 - 0802 - 3 (2002)

BERICHT

03.Mai 2002

Auftraggeber: Bundesverband Rolladen + Sonnenschutz e.V.

Auftragsnummer: A00052

Gegenstand der Untersuchungen: Ermittlung des U-Wertes von Rolladensystemen
bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten

Bearbeiter: Dipl. Phys. S. Korder
Herr M. Poller

Anzahl Seiten: 18

Abbildungen: 4

Tabellen: 5

Anlagen: 2

1 Meßverfahren

1.1 Aufgabenstellung

Die Verbesserung des Wärmeschutzes von Fenstern durch den temporären Einsatz von Rolladensystemen werden mit Hilfe einer Hotbox untersucht. Gemessen werden ein Vorbaurolladen und ein Einbaurolladen an einem Fenster unter praxisnahen Einbaubedingungen und in Abhängigkeit von verschiedenen Windgeschwindigkeiten und verschiedenen Rollladenstellungen.

1.2 Meßapparatur Hotbox

Der Probekörper wird zwischen zwei Räume mit unterschiedlichen Temperaturen eingebaut (siehe Abb. 1). Im stationären Fall fließt ein konstanter Wärmestrom von der warmen Seite durch den Probekörper auf die kalte Seite.

Die Wärmestromdichte wird durch die Energiezufuhr in den Heizkasten bestimmt, die benötigt wird, um in diesem eine bestimmte Temperatur konstant zu erhalten. Da die Temperatur im Heizkasten so geregelt ist, daß sie exakt der Temperatur des umgebenden warmen Hotbox-Raumes entspricht, kann Wärme nur durch den Probekörper zur kalten Seite hin abfließen. Aus der Wärmestromdichte und der Temperaturdifferenz zwischen kalter und warmer Seite der Hotbox wird der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) bei den gewählten Umgebungsbedingungen berechnet.

Zur Simulation von Windbedingungen können mit einem Radiallüfter unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten im Kühlraum eingestellt werden.

Zur Probenvermessung stehen zwei verschieden große Heizkästen zur Verfügung. Mit dem großen Heizkasten (siehe Abb. 1) wird die gesamte Probe, die in die Probenwandöffnung eingebaut ist, vermessen. Mit dem kleineren Heizkasten (ca. 50 cm x 50 cm) kann ein Ausschnitt der Probe vermessen werden. Zum Beispiel kann der Einfluß des Rahmens bei Isolierverglasungen bestimmt werden, indem zuerst mit dem kleineren Heizkasten der Wärmedurchgangskoeffizient der von den Randeffekten ungestörten Isolierglasfläche gemessen wird. Danach kann mit dem großen Heizkasten der Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Elements - inklusive Rahmenkonstruktion - bestimmt werden.

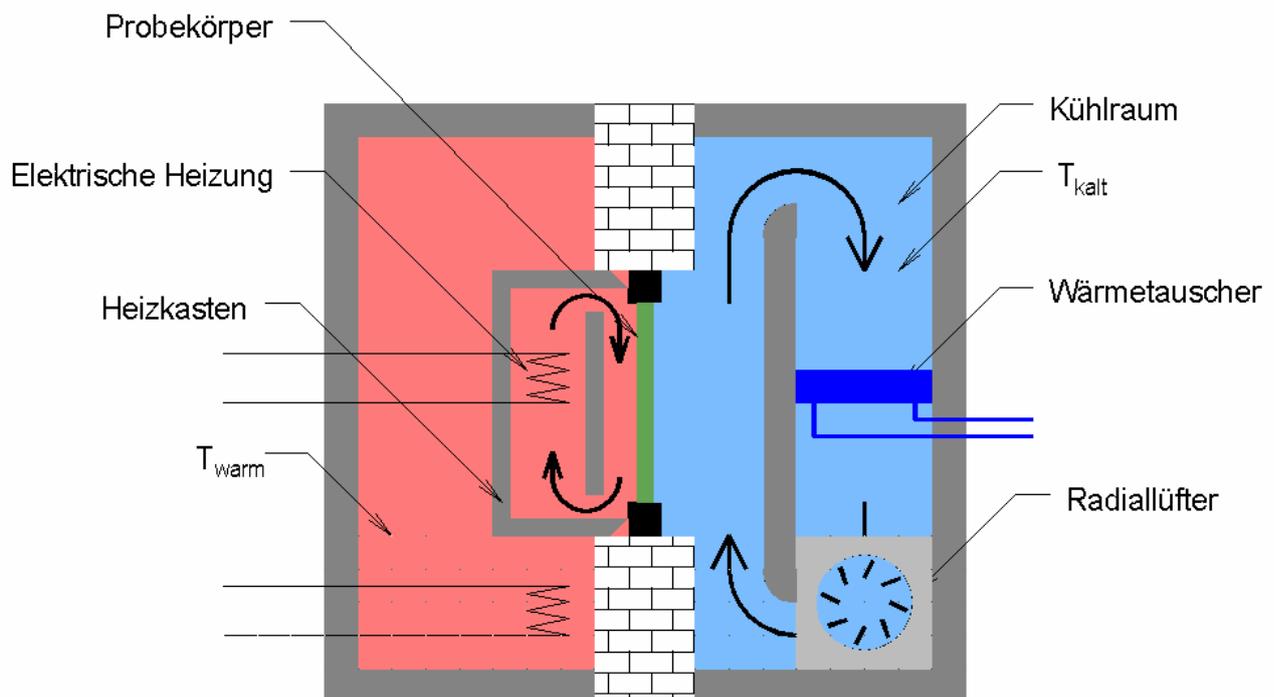


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Hotbox zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)

1.3 Auswertung

Die Auswertung erfolgt in Anlehnung an DIN 52 619: "Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstands (R) und Wärmedurchgangskoeffizienten (U) von Fenstern; Messung an der Gesamtkonstruktion" sowie ASTM C 236/89 "Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hotbox".

Grundlage bildet die Wärmeleitungsgleichung für stationäre Wärmeleitung durch eine ebene Wand:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx},$$

oder $\dot{Q} = \Lambda \cdot A \cdot \Delta T,$

mit $\Lambda = \frac{\lambda}{s}.$

Dabei bedeuten:

\dot{Q} Wärmestrom,

λ spez. Wärmeleitfähigkeit,

$\frac{dT}{dx}$ Temperaturgefälle in Richtung des Wärmestroms,

ΔT Temperaturdifferenz,

Λ Wärmedurchlaßkoeffizient,

s Probendicke,

A Probenfläche.

Im Versuch werden die Temperaturen an der Innen- und Außenseite der Probe, sowie die Temperaturen im Heizkasten und im Kühlraum der Hotbox gemessen. Die zur Aufrechterhaltung der Temperatur im Heizkasten nötige Heizleistung wird registriert.

Mit den Anschlußbedingungen (Luft-Probe, Probe-Luft) ergibt sich der U-Wert letztendlich aus:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{sa}},$$

$$\text{wobei gilt } R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{\Delta T}{P/A}.$$

Dabei bedeuten:

$R = 1/\Lambda$ Wärmedurchlaßwiderstand ,

R_{si}, R_{sa} Wärmeübergangswiderstand (innen und außen),

P Leistung im Heizkasten.

1.4 Randbedingungen der Messung

Die Messungen werden bei einer Mittel-Temperatur von 10°C an der Probe durchgeführt, die Differenztemperatur beträgt 20 Kelvin; d.h. die Temperatur im Heizkasten beträgt hier 20°C, die Temperatur im Kühlraum 0°C.

Die Windgeschwindigkeit auf der kalten Seite wird durch Änderung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Radiallüfters variiert. Folgende Windgeschwindigkeiten können eingestellt werden:

1,0 m/s (das entspricht etwa Windstärke 1 nach Beaufort: leichter Zug)

Diese Windgeschwindigkeit gewährleistet ungefähr das Erreichen des nach dem DIN-Verfahren üblichen äußeren Wärmeübergangswiderstandes $R_{sa} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

1,7 m/s (Windstärke 2: leichte Brise)

2,7 m/s

3,7 m/s (Windstärke 3: schwache Brise)

4,8 m/s

Die Auswahl der Windgeschwindigkeiten erfolgt in Anlehnung nach ASTM (cross wind 3,35 m/s). Das Testreferenzjahr in Würzburg zeigt zum Beispiel eine mittlere Windgeschwindigkeit von etwa 3,1 m/s.

Höhere Windgeschwindigkeiten als 4,8 m/s können in der Hotbox nicht realisiert werden, da durch den Wärmeeintrag des Radiallüfters eine zuverlässige Thermostatisierung des Kühlraumes nicht mehr gewährleistet wäre.

Zu beachten ist, daß die Windrichtung in der Meßapparatur durch die gesamte Konstruktion festgelegt ist. Die Anströmung erfolgt von unten nach oben an der Probenwand.

In der Realität wird die Windgeschwindigkeit im freien Feld, horizontal über der Erdoberfläche gemessen. Trifft Wind auf ein Gebäude, so hängt die Luftgeschwindigkeit und auch die Richtung der Luftbewegung an der Fensteroberfläche, bzw. Rolladenoberfläche von der Lage der Fenster am Gebäude und von der Gebäudegeometrie ab. Turbulenzen, Druckdifferenzen etc. können in unterschiedlichster Weise an Fenstern auftauchen.

Die Winderzeugung in der Meßapparatur beschreibt nun eine bestimmte Möglichkeit der Luftanströmung und der damit induzierten Druckverhältnisse an Fenstern. Die Luftströmungen (parallel zur Probenoberfläche) bilden hier eher einen Extremfall der Windanströmung an Fenstern und Rolläden.

Da Rolläden von Hausbewohnern in unterschiedlicher Weise genutzt werden, wird dieses Nutzerverhalten durch unterschiedliche Stellungen des Rolladens simuliert:

- Rolladen ausgefahren (d.h. völlig geschlossen),
- Rolladen mit geöffneten Lichtschlitzen,
- Rolladen teilgeschlossen bis auf 10 cm Spalt (als Sichtschutz),
- Rolladen eingefahren.

Durch die Experimente kann der Einfluß des Nutzerverhaltens auf die Dämmwirkung des Rolladens beurteilt werden.

1.5 Einbausituation der Meßproben:

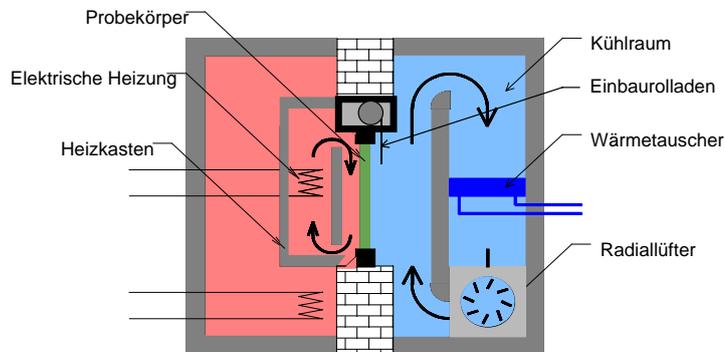


Abbildung 2: Einbau des Einbaurolladens

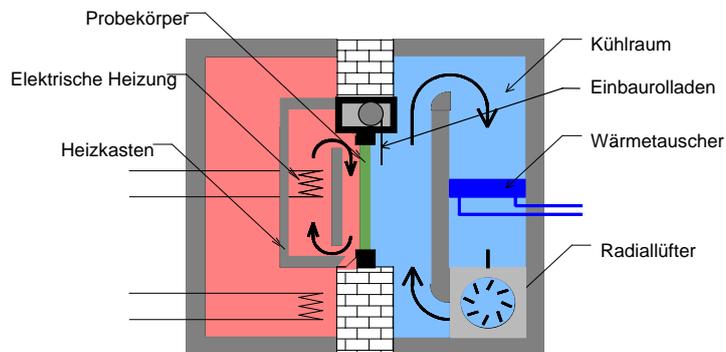


Abbildung 3: Einbau des Vorbaurolladens

Die Probenwand, in die Fenster und Rolläden einbaut werden, ist in Holzständerbauweise gefertigt. Die Außenhaut besteht aus Holzspanplatten (Stärke 16 mm), als Wärmedämmung ist Glaswolle eingesetzt. Die Außenseite der Wand - inklusive Fensterleibung - ist mit einem Gipsputz versehen. Die Gesamtdicke der Wand beträgt 30 cm, der U-Wert liegt bei 0,3 W/m²K.

Das eingesetzte, einflügelige Fenster besteht aus einem Kunststoffrahmen und einer argongefüllten und infrarotbeschichteten Isolierverglasung (U-Wert Verglasung: 1,4 W/m²K). Die Außenmaße betragen 950 mm x 950 mm. Die Breite des Rahmens beträgt rundum ca. 120 mm. Der Einbau erfolgt in einer Weise, die einer tatsächlichen Einbausituation in der Praxis entspricht.

Gemessen wird ein Vorbaurolladen und ein Einbaurolladen mit verschiedenen Rolladenpanzern. Fenster und Rolläden werden von der Firma WAREMA jeweils fachgerecht eingebaut. Der Rolladenpanzer kann dann problemlos gewechselt werden.

Der Panzerauslaßschlitz des Einbaurolladenkastens wird durch eine Abrolleiste aus Holz soweit geschlossen, daß der Kasten die Anforderungen der Bauregelliste erfüllt (siehe Konstruktionszeichnung, Anlage 1). Die Revisionsklappe und die Auflage der Holzleiste auf dem Fensterrahmen werden durch ein Dichtband, alle anderen Anschlüsse mit einem spritzbaren Dichtstoff fachgerecht abgedichtet.

Diese Maßnahmen gewährleisten eine Abdichtung des Systems nach dem Stand der Technik, damit sind die Anforderungen nach DIN 4108-2 und der Energieeinsparverordnung eingehalten.

Die Aufzugsurte werden durch eine Gurtführung mit doppelter Bürste geführt. Trotz dieser Bürstendichtung werden noch große Luftundichtigkeiten festgestellt, die insbesondere bei hohen Windgeschwindigkeiten den U-Wert stark erhöhen. Es zeigte sich auch, daß die Luftwechselrate durch die Gurtführung stark von deren Konstruktion abhängt und sich bei mehrmaligem Ein- und Ausbau des Rolladenpanzers verändert (z.B. durch Veränderung der Bürsten etc.) . Da die Aussagekraft der Messungen dadurch leiden würde, wird die Gurtführung rundum mit Dichtstoff abgedichtet. Die Probe entspricht dann in ihrer Luftdichtigkeit einem Rolladensystem mit elektrischem Antrieb.

Zur Vermessung des gesamten Rolladen-Fenster-Systems kommt der große Heizkasten mit den Maßen 123,4 cm mal 94,5 cm zum Einsatz. Dieser deckt genau die Fensteröffnung und den Bereich des Einbau-Rolladenkastens ab (siehe Abb. 2). Um Systemvergleiche zu ermöglichen, wird im Falle des Vorbaurolladens eine dem Rolladenkasten entsprechende Wandfläche mitvermessen (Abb. 1). Die gemessenen U-Werte setzen sich zusammen aus den U-Werten der Verglasung U_V , des Rahmens U_R und des Rolladenkastens U_{RK} , im Falle des Vorbaurolladens auch noch dem U-Wert der entsprechenden Wandfläche U_W , sowie diverser Randeffekte.

Der Rolladenkasten deckt 22,6 %, das Fenster deckt 77,4 % der gesamten Probenfläche ab.

Der gesamte U-Wert des Systems beim Rolladensystem setzt sich somit wie folgt zusammen:

$$U_{ges} = \frac{A_V \cdot U_V + A_R \cdot U_R + A_W \cdot U_W}{A_V + A_R + A_W}$$

Im Falle des geschlossenen Rolladens sind die Verhältnisse komplexer, da hierbei mehrere Systeme (Isolierverglasung und Rolladenpanzer) hintereinandergeschaltet werden.

2 Untersuchte Objekte

Im Rahmen des Auftrages wurden die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) verschiedener Rolladensysteme bei einer Temperaturdifferenz von $\Delta T=20$ K und verschiedenen Windgeschwindigkeiten bestimmt.

Der Aufbau des gemessenen Systems:

Kunststoff-Fenster mit Doppelverglasung (Argonfüllung, Low-E-Beschichtung auf der inneren Scheibe, dem Scheibenzwischenraum zugewendet) in Kombination mit folgenden Rolläden:

- Vorbaurolladen WAREMA, Deckbreite des Rolladenpanzers 35 mm, Material Aluminium und Kunststoff
- Einbaurolladen , Deckbreite des Rolladenpanzers 55 mm, Kunststoff

Messungen gemäß Auftrag:

1. Vorbaurolladen, Aluminiumpanzer, geschlossen, 1m/s und 4,8 m/s.
2. Vorbaurolladen, Kunststoffpanzer, Lichtschlitze noch offen, 1m/s und 4,8 m/s.
3. Vorbaurolladen, Kunststoffpanzer, geschlossen, 1m/s und 4,8 m/s.
4. Einbaurolladen, Kunststoffpanzer, geschlossen, 1 m/s, 2,7 m/s und 4,8 m/s.
5. Einbaurolladen, Kunststoffpanzer, Lichtschlitze offen, 1m/s, 2,7 m/s und 4.,8 m/s
6. Einbaurolladen, Kunststoffpanzer, bis auf 10 cm Spalt geschlossen, 1m/s

3 Ergebnisse

Alle Meßwerte sind tabellarisch (Tabelle 1,2 und 3) aufgeführt.

Tabelle 1: U-Wert des Fenstersystems mit Einbaurolladen ohne zusätzlich abgedichtete Gurtführung in [W/m²K], abhängig von der jeweiligen Windgeschwindigkeiten, mit Verbesserung in %.

Rolladentyp	Nutzung	1,0 m/s	2,7 m/s	4,8 m/s
Einbau	Geschlossen	1,13 (25 %)	1,43 (24 %)	1,80 (23 %)
Einbau	Lichtschlitze	1,24 (18 %)	1,57 (16 %)	2,04 (12 %)
Einbau	10 cm Spalt	1,27 (16 %)		
Einbau	Geöffnet	1,51	1,88*	2,33*

*diese Werte wurden aus Messungen mit anderen Windgeschwindigkeiten extrapoliert.

Tabelle 2: U-Wert des Fenstersystems mit Einbaurolladen mit zusätzlich abgedichteter Gurtführung (entspricht Elektroantrieb) in [W/m²K], abhängig von der jeweiligen Windgeschwindigkeit, mit Verbesserung in %.

Rolladentyp	Nutzung	1,0 m/s	2,7 m/s	4,8 m/s
Einbau	Geschlossen	1,08 (25 %)	1,28 (24 %)	1,56 (22 %)
Einbau	Geöffnet	1,43	1,68	1,99

Tabelle 3: U-Wert des Fenstersystems mit Vorbaurolladen mit zusätzlich abgedichteter Gurtführung_ in [W/m²K], abhängig von der jeweiligen Windgeschwindigkeit, mit Verbesserung in %.

Rolladentyp	Nutzung	1,0 m/s	4,8 m/s
Vorbau, Aluminium	Geschlossen	1,08 (20 %)	1,63 (18 %)
Vorbau, Kunststoff	Geschlossen	1,08 (20 %)	1,62 (17 %)
Vorbau, Kunststoff	Lichtschlitze	1,18 (13 %)	1,90 (4 %)
Vorbau, Kunststoff	Geöffnet	1,35	1,97

Die gemessenen U-Werte beziehen sich auf die Fläche des Gesamtsystems aus Fenster und Einbau-Rolladenkasten, bzw. beim Vorbaurolladen auf das Fenster und eine dem Einbau-Rolladenkasten entsprechende Wandfläche.

Um die Verbesserung des U-Wertes durch geschlossene Rolläden ermitteln zu können, wurden die Systeme mit geöffneten Rolläden gemessen. Die Verbesserung in % bezieht sich immer auf das System mit geöffnetem Rolladen.

Der Meßfehler beträgt ca. $\pm 0,03$ W/m²K.

Der systematische Fehler muß mit ± 5 % angenommen werden.

Für das System des Vorbaurolladens kann der U-Wert auch ohne die gemessene zusätzliche Wandfläche durch Berechnung angegeben werden (siehe Tabelle 4).

Für die mit Glasfasermatten gedämmte Wand wird ein U-Wert von 0,3 W/m²K angesetzt, die zusätzliche Wandfläche bedeckt 22,6 % der gesamten Meßfläche:

Tabelle 4: Berechneter U-Wert des Fenstersystems mit Vorbaurolladen ohne die gemessene zusätzliche Wandfläche in [W/m²K], mit Verbesserung in %.

Rolladentyp	Nutzung	1,0 m/s
Vorbau, Aluminium	Geschlossen	1,31 (20 %)
Vorbau, Kunststoff	Geschlossen	1,31 (20 %)
Vorbau, Kunststoff	Lichtschlitze	1,44 (13 %)
Vorbau, Kunststoff	Geöffnet	1,66

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Einbaurolladen bei unterschiedlicher Schließung:

Die Meßwerte für den Einbaurolladen umfassen das gesamte Fenstersystem, sowie den Rolladenkasten (der U-Wert des Rolladenkastens kann bei geöffnetem und geschlossenem Zustand des Rolladens unterschiedlich sein.) Die Werte bei verschiedenen Schließzuständen sind in folgender Tabelle nochmals aufgeführt:

Tabelle 5:

Nutzung :	U-Wert [W/m²K]	Verbesserung in %
Geöffnet	1,51 ± 0,03	
Geschlossen	1,13	25 %
Lichtschlitze	1,24	18 %
10 cm Spalt	1,27	16 %

Für das Fenstersystem mit Einbaurolladen ergibt sich bei dicht geschlossenem Rolladen eine Verbesserung des U-Wertes gegenüber dem offenen Rolladen von mehr als 25 %. Bei geöffneten Lichtschlitzen ergibt sich eine Verbesserung des U-Wertes von fast 18 %. Wird der Rolladen nur bis auf einen Spalt von 10 cm geschlossen, so verbleibt immerhin eine Verbesserung des U-Wertes von etwa 16 %.

Offensichtlich wirkt beim Fenster mit nicht ganz geschlossenem Rolladen das kaum bewegte und isolierende Luftpolster zwischen Scheibe und Rolladen, sowie der Rolladen als Strahlungsschild, erheblich dämmend.

Bei höheren Windgeschwindigkeiten verringert sich dieser Effekt (siehe Tabelle 1). Der U-Wert nimmt mit steigender Windgeschwindigkeit zu. Bei 4,8 m/s Windgeschwindigkeit erreicht der Rolladen mit Lichtschlitzen noch eine Verbesserung von 12 % im Vergleich zum U-Wert bei geöffnetem Rolladen.

4.2 Einbaurolladen bei höheren Windgeschwindigkeiten mit und ohne zusätzlich abgedichteter Gurtführung:

Betrachtet man die U-Werte bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten, so läßt sich feststellen, daß der U-Wert im gemessenen Geschwindigkeitsbereich linear mit der Windgeschwindigkeit ansteigt (siehe Abbildung 4). Die Steigung der Geraden in der nachstehenden Grafik ist ein Maß für die Luftundichtigkeit im Gesamtsystem, d.h. die Luftwechselrate durch ein Leck steigt linear mit der Windgeschwindigkeit. Diese Luftundichtigkeit kann sowohl durch die Gurtführung als auch durch Leckagen in den Fensterdichtungen verursacht worden sein.

Im vorliegenden Fall wurde eine offensichtliche Ursache der Undichtigkeit, nämlich die Gurtführung, vollständig abgedichtet, die Messungen wurden dann bei geöffnetem und geschlossenem Rolladen wiederholt (siehe Tabelle 2).

Bei kleinen Windgeschwindigkeiten machen sich Undichtigkeiten weniger bemerkbar; bei größeren Windgeschwindigkeiten treten sie deutlich hervor. Abbildung 4 zeigt die U-Werte für den Rolladen im nichtabgedichteten und abgedichteten Zustand. Durch die Abdichtungsmaßnahmen wird die Steigung der Geraden flacher. Die verbleibende Steigung ist aber noch zu groß, um sie mit windabhängiger Konvektion erklären zu können. Sie wird durch Undichtigkeiten der Fensterdichtungen verursacht; die Luftwechselraten liegen aber in einem für Fenster zulässigen Bereich.

Aus der Abbildung 4 ist zu erkennen, daß Luftundichtigkeit durch Gurtführungen im vorliegenden Fenstersystem bei höheren Windgeschwindigkeiten (bei 4,8 m/s) den U-Wert um Beträge bis etwa 0,3 W/m² erhöhen kann. Dieser unerwünschte Effekt wird durch einen Elektroantrieb vermieden.

Die prozentuale Verbesserung des U-Wertes bei geschlossenem Rolladen bleibt von den auftretenden Leckagen jedoch unberührt. (siehe Tabelle 2). Bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s ist die Verbesserung in beiden Fällen etwa 25 %. Bei einer Windgeschwindigkeit von 4,8 m/s verbleibt immerhin noch eine Verbesserung von etwa 22 %.

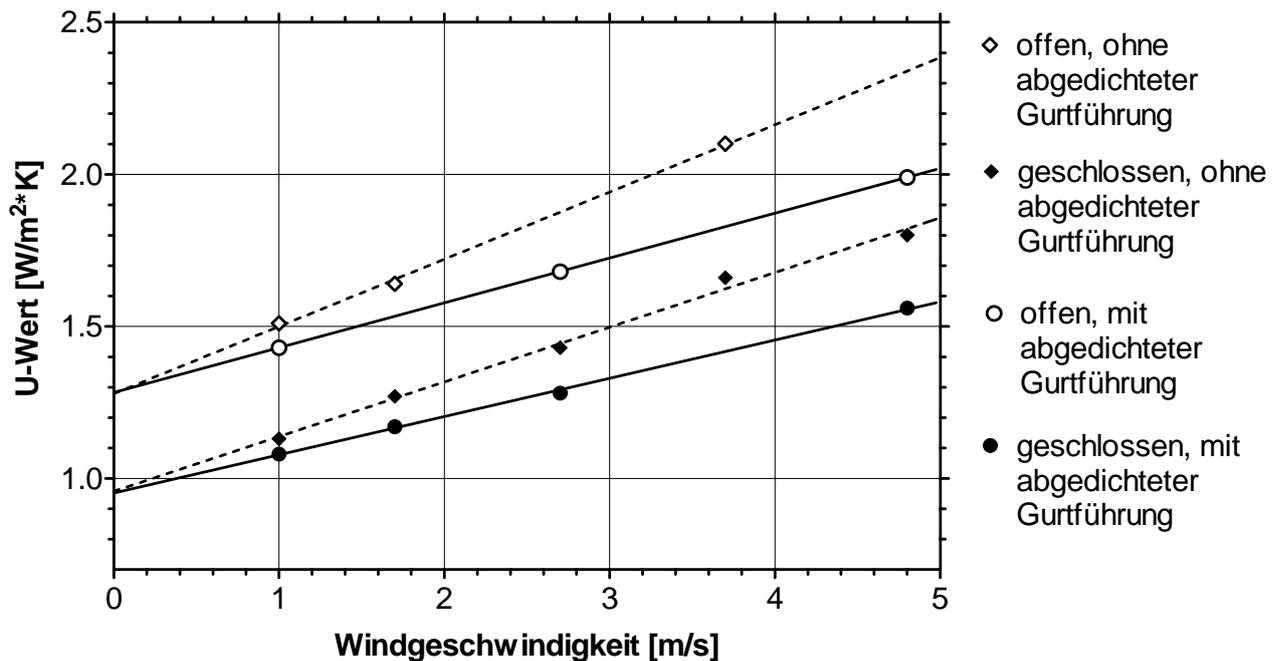


Abbildung 4: U-Wert eines Fenstersystems mit Einbaurolladen mit und ohne zusätzlich abgedichteter Gurtführung im geöffneten und geschlossenen Zustand.

4.3 Vorbaurolladen:

Die Meßwerte für den Vorbaurolladen enthalten die Einflüsse aller Systemkomponenten, sowie den Anteil der Wand, welcher der Größe des Einbau-Rolladenkastens entspricht (siehe Abb. 2). Der Anteil der Wand an der Meßfläche beträgt etwa 22,6%; der U-Wert der mit Glaswolle gedämmten Wand beträgt etwa 0,3 W/m²K. Der Vorbaurolladenkasten deckt den oberen Teil des Fensterrahmens ab, trägt aber nicht zu einer Veränderung des U-Wertes des Fenstersystems bei.

Die Gurtführung wird beim Vorbaurolladen ebenfalls zusätzlich abgedichtet, die gemessenen U-Werte sind in Tabelle 3 (Seite 13) aufgeführt.

Für das System ergibt sich bei einem geöffneten Rolladen und einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s ein U-Wert von 1,35 W/m²K. Mit geschlossenem Rolladen ist eine Verringerung

rung des U-Wertes um 20 % zu erreichen. Bei einer Windgeschwindigkeit von 4,8 m/s erhöht sich der U-Wert wieder durch Leckagen in den Fensterdichtungen. Die Verbesserung des Gesamt-U-Wertes bei geschlossenem Rolladen beträgt aber immerhin noch fast 18 %.

Dabei ist es unerheblich, ob der Rolladenpanzer aus Kunststoff oder aus Aluminium besteht. Die Dämmwirkung des Gesamtsystems bei geschlossenem Rolladen wird hier fast nur durch den eingeschlossenen Luftraum zwischen Fensterscheibe und den Rolladenpanzern hervorgerufen und nicht durch die Materialauswahl des Rolladenpanzers.

Wird der Rolladen nur soweit geschlossen, daß die Lichtschlitze offen bleiben, so ergibt sich bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s eine Verbesserung des U-Wertes von etwa 13 %.

Bei einer Windgeschwindigkeit von 4,8 m/s verbleibt nur noch eine Verbesserung von 4%. Bei der größeren Anzahl der Lichtschlitze gegenüber dem Einbaurolladen (mit größerer Deckbreite) wird das Luftpolster zwischen Fensterscheibe und Rolladen bei höheren Windgeschwindigkeiten schnell gestört und verliert seine dämmende Wirkung.

Würzburg, den 13.08.02

Dipl. Phys. S. Korder

Dr. Andreas Beck
(Abteilungsleitung)

