



Bericht MAO-WJP-0611-E06

**Bestimmung von Lichttransmission, Gesamtenergie-
durchlassgrad und Wärmedurchgangskoeffizienten für eine
Verglasung mit Glasgestrich**

für:

Wacotech GmbH
Bielefeld

bearbeitet von:

Dr. Werner Platzer

10. November 2006

Anschrift:

Fraunhofer-Institut
für Solare Energiesysteme
Abteilung Materialforschung und Angewandte Optik
Heidenhofstraße 2
D-79110 Freiburg

Inhalt

1	Beschreibung der Probe	3
2	Beschreibung der Messungen	3
2.1	Messung des Wärmedurchlasswiderstandes und Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten U	3
2.2	Messung der Licht und Strahlungstransmission	4
2.3	Messung des Gesamtenergiedurchlassgrades	5
3	Ergebnisse	8
3.1	U-Wert	8
3.2	Licht- und Strahlungstransmission	10
3.3	Gesamtenergiedurchlassgrad	11
4	Anhang: Transmissionswerte	12

Dieser Prüfbericht umfaßt 12 Seiten. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder in sinnentstellendem Zusammenhang erfolgen.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE,
Abteilung Materialforschung und Angewandte Optik

Freiburg, 10. November 2006

Dr. Werner Platzer
Bearbeiter

Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert
Abteilungsleiter

1 Beschreibung der Probe

Für die Prüfung wurde vom Hersteller, der Firma Wacotech GmbH, Bielefeld, eine Verglasungsprobe der Größe 800mm x 800mm mit Glasgespinst im Scheibenzwischenraum zur Verfügung gestellt. Der Aufbau geht aus der folgenden Beschreibung hervor:

Schichtenabfolge:

Fraunhofer-ISE Kennung der Verglasung: LS081008

Dicke [mm]	Aufbau
6	Lamberts Gussglas Ornament 504 (außen)
55	SZR mit Füllung TIMax GL/HD Glasgespinst
6	Lamberts Gussglas Ornament 504 (innen)

2 Beschreibung der Messungen

2.1 Messung des Wärmedurchlasswiderstandes und Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Der Wärmedurchlasskoeffizient $\Lambda=R^{-1}$ (inverser Wärmewiderstand) wurde bei den Mitteltemperaturen T_M gleich 10 °C, 20 °C und 30 mit einer Platten-Apparatur nach ISO 8302 und DIN 52612 bestimmt. Dazu werden zwei identische Proben benötigt, die in symmetrischer Anordnung zwischen elektrische Heizplatte und den zwei Kühlplatten eingebracht werden. Die Messung in dieser Anordnung wurde entsprechend mit 2 identischen Proben in symmetrischer Anordnung normgerecht durchgeführt. Die Messung erfolgte in waagrechtlicher Stellung der Platten. Kontrollmessungen in vertikaler Stellung zeigten, dass mit den Glasgespinstinlets die Konvektion bei der Temperaturdifferenz der Messung von 10K keine messbare Rolle spielte.

Der Wärmedurchlasswiderstand $R=1/\Lambda$ wird durch Extrapolation auf 10°C ermittelt. Der Wärmedurchgangskoeffizient oder U-Wert der Verglasung U wird

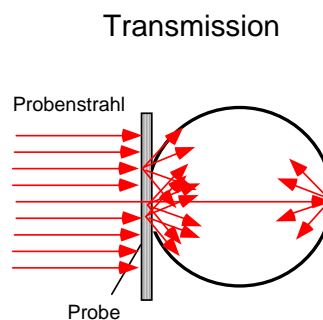
aus Λ entsprechend EN ISO 6946 berechnet, wobei der innere Wärmeübergangswiderstand $1/\alpha_i=0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ und der äußere Wärmeübergangswiderstand $1/\alpha_a=0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ zum gemessenen Wärmedurchlasswiderstand R addiert werden.

2.2 Messung der Licht und Strahlungstransmission

Da bei einer streuenden Platte teilweise gestreutes Licht durch die Scheibe transmittiert wird, aber auf Grund der kleinen Kugelöffnung nicht mehr in die Kugel gelangt, wird prinzipiell bei dem oben beschriebenen Verfahren ein zu kleiner Transmissionsgrad bestimmt. Dies kann korrigiert werden, indem man eine große Probe homogen beleuchtet und das transmittierte Signal an einer zentralen Stelle der Probe bestimmt. Dieses Prinzip ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Die Messung wurde mit Breitbanddetektoren durchgeführt, so dass lichttechnische und strahlungsphysikalische Werte ermittelt werden konnten.

Abbildung 1:

Prinzip der Transmissionsmessung mit großflächiger Beleuchtung und Ulbrichtkugel



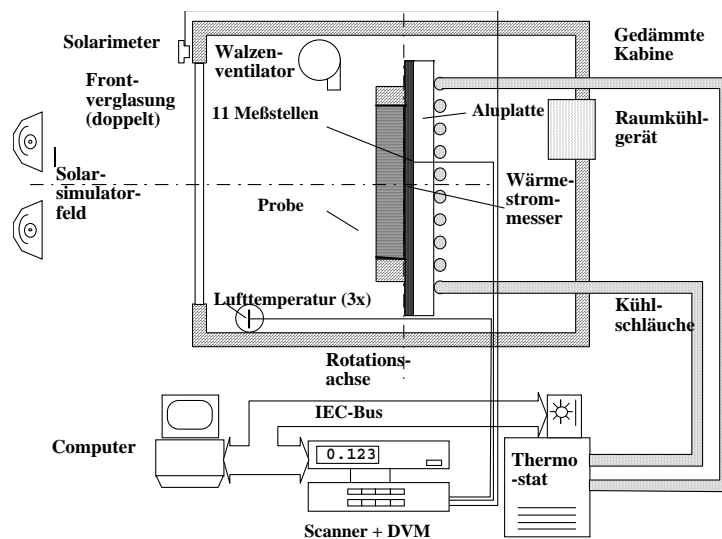
Der Strahlungs- und Lichttransmissionsgrad wurde mit einer Ulbrichtkugel (Radiometer/Photometer) des Durchmessers 650 mm gemessen. Die Probenöffnung beträgt 100 mm im Durchmesser. Die Beschichtung aus weißem PTFE-Pulver hat einen im gesamten Solarbereich sehr gleichmäßigen Reflexionsgrad von 95%. Die hemisphärische Reflexion ρ_{hh} der Probenrückseite für einfallende diffuse Strahlung (der Messkugel) wurde für die Proben

gemessen. Dieser Wert hat einen untergeordneten Einfluss auf das Endergebnis und wird nur zur Korrektur des Ergebnisses genutzt.

2.3 Messung des Gesamtenergiedurchlassgrades

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g wurde mit dem Solarkalorimeter des Fraunhofer ISE GKAL3 mit Sonnensimulator gemessen. Die Vermessung erfolgte nur für senkrechten Strahlungseinfall, eine Bestimmung des winkelabhängigen Gesamtenergiedurchlasses wurde nicht durchgeführt. Das Versuchselement wurde in einen den Absorber bedeckenden Dämmrahmen aus Polystyrol dicht eingebaut.

Abbildung 2:
Schematischer
Aufbau des
Solarkalorimeters -
Version GCAL3



Die Probe wurde mit einem Dämmrahmen (Styrodur) versehen, seitlich luftdicht mit aluminisiertem Klebeband abgeklebt, und vor die Absorberplatte des Solarkalorimeters (Absorptionsgrad 98%) gestellt. Die Probe wurde ohne Distanzabstand vor den Absorber gestellt. Der innere Wärmeübergangswiderstand von der innenseitigen Oberfläche zur Oberfläche der Wärmestrommessung ist daher vernachlässigbar klein.

Mit einem Querstromlüfter wurden äußere Windbedingungen simuliert, indem dieser Aufbau mit einer Luftgeschwindigkeit von 3-4 m/s angeströmt wurde.

Dies entspricht einem äußeren Wärmeübergangskoeffizienten von $\alpha_a = 23 \pm 3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Die Bestrahlungsstärke auf der Probenoberfläche beträgt in der Mitte der Probe während der Messung rund 550 W/m^2 . Dies wird durch eine Bestrahlung mit 4 quadratisch angeordneten Simulatoreinheiten der Brenner erreicht. Die operative Temperatur der Messkabine (Luft- und Oberflächentemperatur) lag während der Messung bei etwa $26\text{-}27^\circ\text{C}$ und die Oberflächentemperatur des Absorbers I bei rund 26°C .

Die Bestimmung des experimentellen Gesamtenergiedurchlassgrades g_{exp} erfolgt mit Hilfe der folgenden Gleichung:

$$q_{\text{net}} = U_{\text{exp}} \cdot (T_o - T_u) - g_{\text{exp}} \cdot E \quad (1)$$

E	=	mittlere Bestrahlungsstärke für die Probe [W/m^2]
T_o	=	Oberflächentemperatur der Kalorimeterplatte [$^\circ\text{C}$]
T_u	=	Umgebungstemperatur [$^\circ\text{C}$]
U_{exp}	=	Wärmedurchgangskoeffizient [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

Mit Hilfe dieser Gleichung, den gemessenen Größen T_o , T_u , E und q_{net} lässt sich bei bekanntem U_{exp} der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{exp} ermitteln. Die Auswertung dieser Größen erfolgt im stationären Zustand (Auswertung nach Erreichen der Stationarität über minütliche Werte innerhalb einer Stunde).

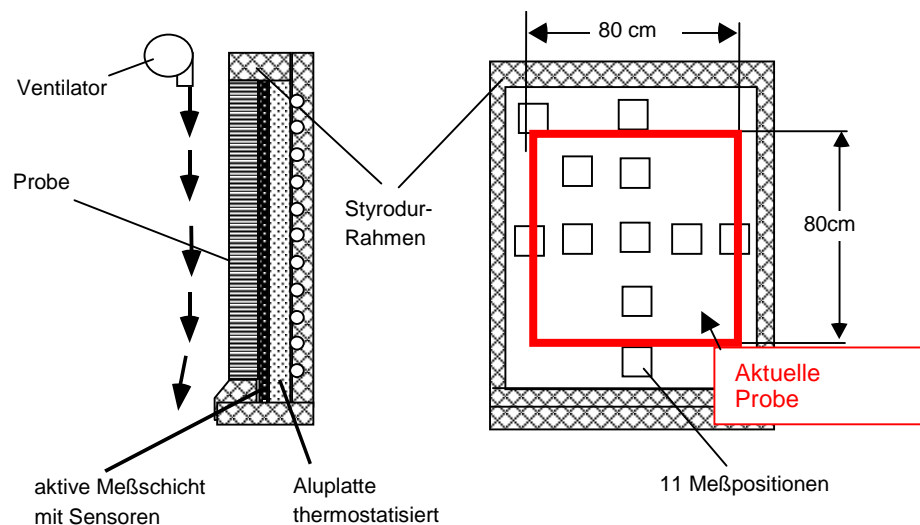
Der Wärmedurchgangskoeffizient U_{exp} für die Probe, der zur Bestimmung des g_{exp} -Wertes aus obiger Gleichung benötigt wird, wird ebenfalls mit dem Kalorimeter, allerdings ohne Bestrahlung gemessen (Dunkelwert). Dazu werden die Lufttemperatur der Messkabine und die Plattentemperatur des Kalorimeters so geregelt, dass die Mitteltemperatur der Dunkelmessung in etwa beim Temperaturwert der Messung unter Bestrahlung liegt. Die Differenz zwischen Kalorimeteroberfläche und Umgebungstemperatur beträgt dabei 20K .

Die konvektiven äußeren Wärmeübergangskoeffizienten sind in einem Versuch ohne Probe an der Kalorimeteroberfläche messtechnisch ermittelt worden. Der Ventilatorabstand von Kalorimeteroberfläche bzw. Probenoberfläche wird durch Verstellen des Ventilators konstant gehalten. Die gemessenen konvektiven Übergangskoeffizienten können daher für die Vermessung der Probe verwendet werden.

Der gesamte Wärmestrom innerhalb der Probe unter Bestrahlung setzt sich aus dem transmittierten Anteil der einfallenden Bestrahlung und einem Wärmestrom auf Grund des durch die solare Absorption induzierten Temperaturgradienten zusammen. Da diese Proben nicht lichtdurchlässig sind, liegt bei diesen Proben der transmittierte Anteil bei Null.

Abbildung 3:

Prinzip-Anordnung von Proben vor der Sensorebene und der Sensoren in der Fläche (Auswertung mehrere Positionen)



3 Ergebnisse

3.1 U-Wert

Abbildung 4

Temperaturabhängige
Wärmeleitfähigkeit
(effektiv über
Gesamtdicke)

LS081008

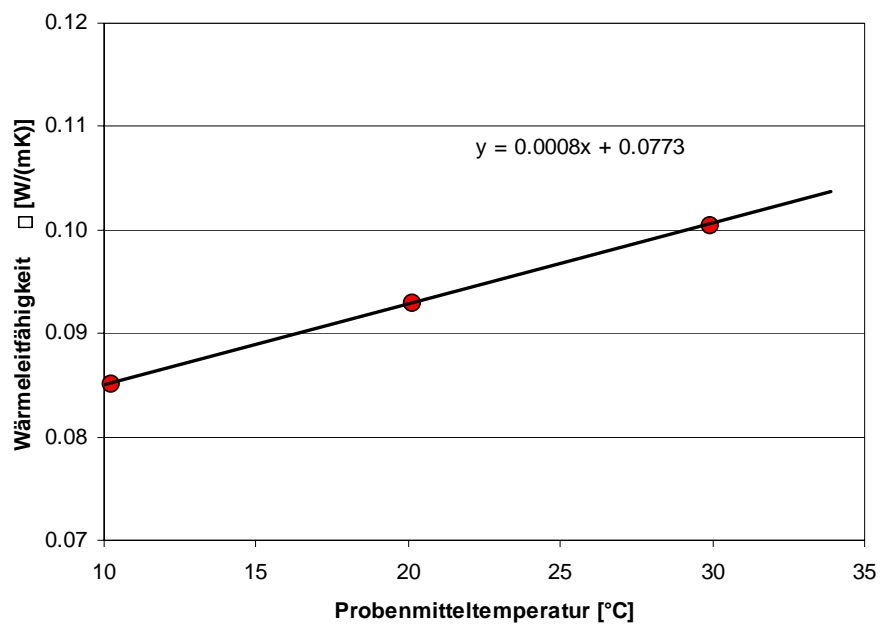
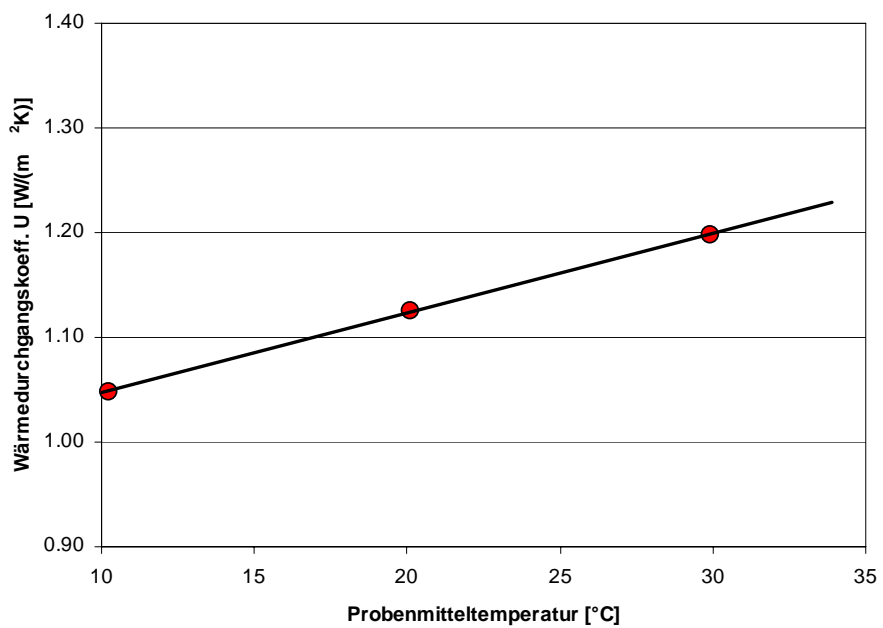


Abbildung 5

Temperaturabhängiger U-Wert

LS081008



Die temperaturabhängige Messung der Wärmeleitfähigkeit des luftgefüllten
Verglasung mit Glasgespinst mit dem Plattengerät nach DIN 52612, ISO 8302
bzw. DIN EN 674 ergab folgendes Ergebnis:

Nr	Wärmestrom Q [W]	T_warm [°C]	T_kalt [°C]	ΔT [K]	T_mittel [°C]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]
1	6.20	5.30	15.10	9.70	10.20	0.085
2	6.69	15.30	24.90	9.60	20.10	0.093
3	7.17	25.20	34.70	9.60	29.90	0.101

Aus den Messdaten wurden die folgenden Werte für 10°C ermittelt
(Bezugsdicke der Probe 67 mm):

Wärmeleitfähigkeit (eff. Mittel) λ (10°C)	0.085 W/(mK)
Wärmedurchgangskoeffizient U_g (10°C)	1.05 W/(m ² K)
Wärmedurchlasswiderstand R (10°C)	0.79 (m ² K)/W

3.2 Licht- und Strahlungstransmission

Abbildung 6

Lichttransmission
LS081008

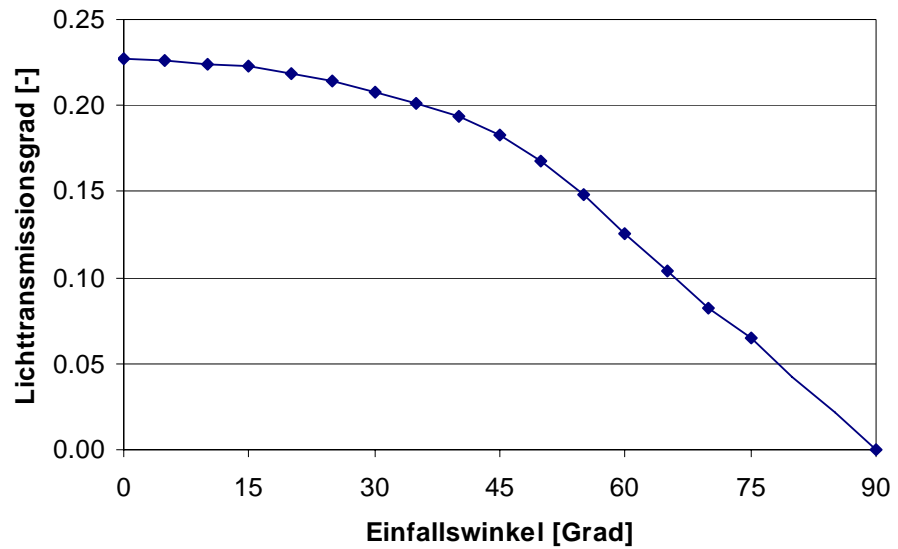
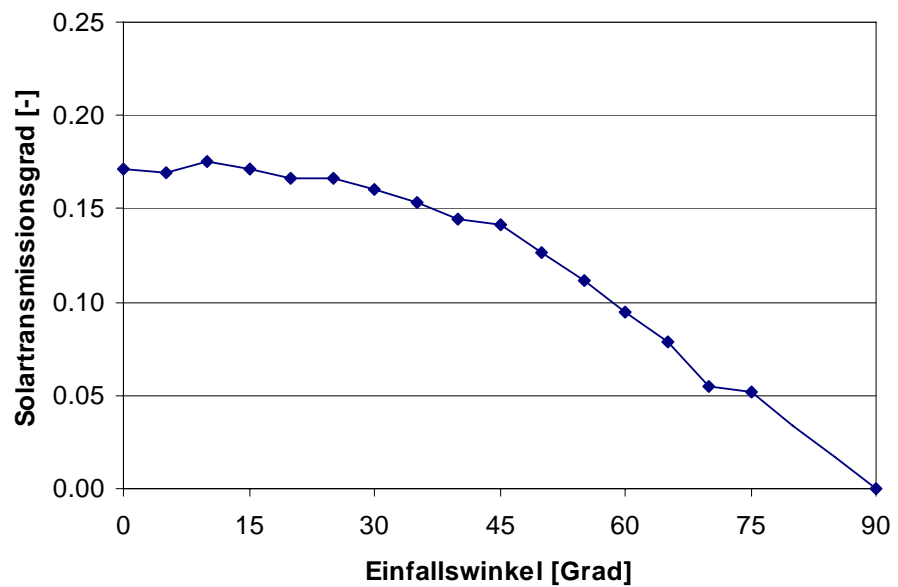


Abbildung 7

Solare Strahlungs-
transmission
LS081008



Die numerischen Werte für die Transmissionsdaten sind im Anhang aufgeführt. Es wurde jeweils von 75° auf 90° extrapoliert (streifender Einfall, daher Transmission Null).

Aus den winkelabhängigen Transmissionsgrades wurde der Wert für isotrop-diffuse Einstrahlung rechnerisch ermittelt. In der folgenden Tabelle sind die Transmissionsgrad für senkrechten und diffuse Einfall aufgeführt.

Bereich Licht	LS0810008
senkrecht	0.227
diffus	0.164
Bereich Solar	LS0810008
senkrecht	0.172
diffus	0.124

3.3 Gesamtenergiedurchlassgrad

Der Gesamtenergiedurchlassgrad setzt sich zusammen aus dem solaren Strahlungstransmissionsgrad τ_e und dem (durch Absorption der Solarstrahlung in der Verglasung hervorgerufenen) sekundären Wärmeabgabegrad nach innen q_i zusammen. Aus der kalorimetrischen Vermessung ergaben sich folgende Werte:

Probe	τ_e [-]	g [-]	q_i [-]
LS0810008	0.17	0.24	0.07

Der Fehler bei der Bestimmung des g -Wertes liegt etwa bei ± 0.01 absolut. Deswegen wird auch in dieser Tabelle der Transmissionswert- als auch der sekundäre Wärmeabgabegrad auf die zweite Nachkommastelle gerundet.

4 Anhang: Transmissionswerte

Probe LS0810008

Winkel:	Vis	Rad
0	0.227	0.172
5	0.227	0.169
10	0.224	0.175
15	0.222	0.171
20	0.219	0.167
25	0.214	0.166
30	0.208	0.160
35	0.201	0.153
40	0.193	0.144
45	0.183	0.142
50	0.168	0.127
55	0.148	0.111
60	0.125	0.095
65	0.104	0.079
70	0.082	0.055
75	0.065	0.052