

Was ist Solarglas?

Stefan Brunold, Ueli Frei
Institut für Solartechnik SPF
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 55 222 48 10; Fax: +41 55 210 61 31
e-mail: stefan.brunold@solarenergy.ch, Internet: <http://www.solarenergy.ch>

1. Einleitung

Die Abdeckung ist neben dem Absorber die wichtigste Komponente leistungsfähiger Flachkollektoren. In der Regel handelt es sich dabei um eine Glasscheibe. Und damit ist bereits ein Begriff geprägt: Glas verwendet in Solaranlagen – Solarglas.

Gilt also nun die Regel „Glas auf Kollektor“ = Solarglas?

Diese Definition wäre wenig hilfreich. An Solarglas sollten ganz bestimmte Anforderungen gestellt werden. Zumindest muss es gehärtet sein (ESG), um den thermischen und mechanischen Belastungen, denen die Kollektorverglasung ausgesetzt ist, schadlos widerstehen zu können. Gilt also damit ESG = Solarglas?

Auch diese Forderung ist unzulänglich. Ist doch das Hauptziel einer Solaranlage möglichst viel Energie aus dem bereitgestellten Strahlungsangebot der Sonne in Form von Wärme zur Verfügung zu stellen. Damit wird offensichtlich, dass der „solare Transmissionsgrad“, unter Berücksichtigung einer möglichen Veränderung durch Degradation, ein geeignetes Kriterium für den Begriff „Solarglas“ darstellt.

Häufig Verwendung findet auch Glas mit einer strukturierten Oberfläche. Die Struktur dient dazu, direkte Reflexionen, zum Beispiel der Sonne, zu unterdrücken und damit einen Spiegeleffekt zu vermeiden. Ausserdem wird die ungestörte Durchsicht ins Kollektorinnere verhindert. Ist daher „strukturiertes Glas“ = Solarglas? Und wie beeinflusst eine Struktur die Leistungsfähigkeit?

Um diesem Wirrwarr rund um den Begriff Solarglas entgegen zu wirken, hat sich das Institut für Solartechnik, SPF, dazu entschieden, ein Zertifizierungsverfahren auszuarbeiten, in dem unter anderem die oben angesprochenen Aspekte berücksichtigt werden. Dazu wird der Begriff des „Glaswirkungsgrades“ eingeführt, der die optischen Einflüsse einer Kollektorabdeckung auf die Leistungsfähigkeit einer Solaranlage quantifiziert. Mit Hilfe des Glaswirkungsgrades werden die Gläser in unterschiedliche „Leistungsklassen“ eingeteilt.

2. Glaswirkungsgrad und Leistungsklassen

Der Glaswirkungsgrad η_{GL} beschreibt den Einfluss der Kollektorabdeckung auf den Kollektorfeldertrag einer Referenzsolaranlage zur Wassererwärmung (4 m² Kollektorfläche, 400 l Speicher, solarer Deckungsgrad ca. 52%) Er ist das Produkt einzelner, die unterschiedlichen Glaseigenschaften beschreibender, Faktoren:

$$\eta_{GL} = F_{\tau} * F_{IAM} * F_{UV} * F_{DEG} \quad (1)$$

Im einzelnen sind dies der Transmissionsfaktor F_{τ} zur Quantifizierung des solaren Transmissionsgrades, der Winkelgewichtungsfaktor F_{IAM} zur Berücksichtigung der winkelabhängigen solaren Transmission, der Fotodegradationsfaktor F_{UV} sowie der Degradationsfaktor F_{DEG} zur Berücksichtigung möglicher Degradationseffekte aufgrund von UV Strahlung oder anderer Umwelteinflüsse (ohne Verschmutzung).

Ein Glaswirkungsgrad von 1 wird erzielt durch eine idealisierte Abdeckung mit einem solaren Transmissionsgrad von 100%, einem Verlauf des Winkelfaktors entsprechend nicht strukturiertem eisenarmem Glas welches im Laufe der Zeit weder Fotodegradation noch andere Degradationen zeigt.

Basierend auf dem Glaswirkungsgrad wird eine Klasseneinteilung vorgenommen, um auf einfache Weise die Glaseigenschaften aufzuzeigen. Da behandelte Gläser (etwa Anti-Reflex oder Anti-Schmutz beschichtete) zusätzliche Unabwägbarkeiten für den bedeuten, werden diese Gläser in separaten Gruppen klassifiziert.

Tab. 2: Klasseneinteilung für Solarglas

unbehandelte (U) / behandelte (Z) Gläser					AR - behandelte Gläser				
Klasse U1, Z1			$\eta_{GL} \geq$	0.900	Klasse X1			$\eta_{GL} \geq$	0.950
Klasse U2, Z2	0.900	>	$\eta_{GL} \geq$	0.885	Klasse X2	0.950	>	$\eta_{GL} \geq$	0.935
Klasse U3, Z3	0.885	>	$\eta_{GL} \geq$	0.870	Klasse X3	0.935	>	$\eta_{GL} \geq$	0.920
Klasse U4, Z4	0.870	>	$\eta_{GL} \geq$	0.850	Klasse X4	0.920	>	$\eta_{GL} \geq$	0.890
Kein Solarglas	0.850	>	η_{GL}		Kein Solarglas	0.890	>	η_{GL}	

3. Die Faktoren des Glaswirkungsgrades

Transmissionsfaktor

Der Transmissionsfaktor F_{τ} quantifiziert den Einfluss des solaren Transmissionsgrades auf den Kollektorfeldertrag einer thermischen Solaranlage. Er wird wie folgt bestimmt:

$$F_{\tau} = \tau_{sol} \quad (2)$$

Dabei bezeichnet τ_{sol} den „direkt – hemisphärischen solaren Transmissionsgrad bei nahezu senkrechtem Einfall“.

Dieser Zusammenhang soll anhand einer Parameterstudie bestätigt werden. Dazu wird der solare Transmissionsgrad τ_{sol} einer Solaranlage zur Brauchwarmwasserbereitung als Parameter variiert. Zur Berechnung des Kollektorfeldertrages wird die Simulationssoftware *Polysun 3.3* verwendet. Die Variation des Transmissionsgrades ist indirekt über den Koeffizienten c_0 der Kollektorwirkungsgradkennlinie realisiert, in welchen der Transmissionsgrad linear eingeht.

Der in der Referenzsolaranlage verwendete Flachkollektor (s. Kap. 2) verfügt über einen Koeffizienten c_0 der Kollektorwirkungsgradkennlinie von 0.80. Seine Abdeckung soll einen solaren Transmissionsgrad von $\tau_{sol} = 0.90$ aufweisen. Da bis auf den

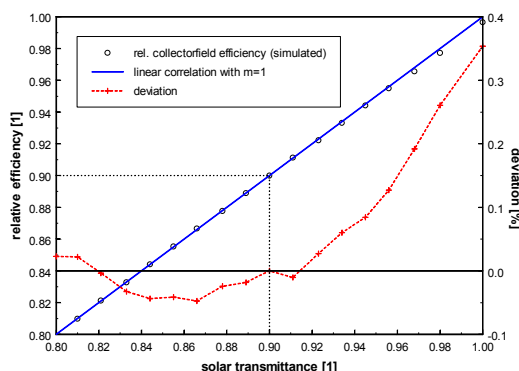
Transmissionsfaktor aus Gleichung (1) alle anderen Faktoren 1 sein sollen, ist der Glaswirkungsgrad η_{Gl} dieses Glases 0.9.

Mit dieser Anlage wird nun ein Kollektorfeldertrag von 2443 kWh erzielt. Da der Glaswirkungsgrad $\eta_{Gl} = 0.9$ ist, entspricht diese Energie einem relativen Kollektorfeldertrag von 90%. Davon ausgehend wird nun die solare Transmission der Abdeckung im Bereich von 0.80 bis 1.00 verändert. Dies entspricht einer Variation von c_0 zwischen 0.711 und 0.889.

Die Ergebnisse der Simulation sind in Diagramm 1 zusammengefasst. Die berechneten Änderungen des Kollektorfeldertrages als Funktion des solaren Transmissionsvermögens sind als kleine Kreise eingezeichnet. Im Vergleich dazu ist der durch die Gleichungen (2) und (1) eingeführte lineare Zusammenhang sowie dessen Abweichung vom berechneten Kollektorfeldertrag eingezeichnet.

Diag. 1:

Relativer Kollektorfeldertrag in Abhängigkeit des solaren Transmissionsgrades



Offensichtlich bleibt die Abweichung zwischen Linearisierung und Simulation über den gesamten betrachteten Bereich deutlich besser als +0.4% und -0.05%. Unterhalb einer solaren Transmission von 92%, also dem Bereich der nicht entspiegelten Gläser, ist die Übereinstimmung sogar besser als $\pm 0.05\%$.

Degradationsfaktoren

Die Degradationsfaktoren F_{UV} bzw. F_{DEG} quantifizieren den Einfluss den die Degradation der Kollektorabdeckung aufgrund von UV Einstrahlung bzw. anderer Umwelteinflüsse auf den Kollektorfeldertrag hat. Da es sich dabei um eine Änderung des solaren Transmissionsgrades handelt, bilden diese Faktoren ein Analoges zum Transmissionsfaktor F_{τ} und sind daher wie folgt definiert:

$$F_{UV} = \frac{\tau_{sol}^{UV}}{\tau_{sol}^{ref}} \quad \text{bzw.} \quad F_{DEG} = \frac{\tau_{sol}^{DEG}}{\tau_{sol}^{ref}} \quad (3)$$

Dabei ist τ_{sol}^{ref} die solare Transmission der virginalen Kollektorabdeckung und τ_{sol}^{UV} diejenige nachdem diese mit einer Dosis von 600 kWh/m² UVA und 36 kWh/m² UVB belastet wurde (entsprechend etwa 15 Jahren in mitteleuropäischem Klima). Für unbehandelte

Gläser kann $F_{DEG} = 1$ angenommen werden. Im Falle behandelter Gläser und Kunststoffe muss τ_{sol}^{DEG} nach beschleunigte Alterungsuntersuchungen (entsprechend 15 Jahre Kollektorbetrieb) bestimmt werden. Momentan ist eine solche Methode jedoch nicht bekannt.

Winkelgewichtungsfaktor

Der Winkelgewichtungsfaktor F_{IAM} quantifiziert den Einfluss des winkelabhängigen solaren Transmissionsgrades auf den Kollektorfeldertrag einer thermischen Solaranlage. Er wird wie folgt bestimmt:

$$F_{IAM} = \min([F_{Vert}^{tr} \cdot F_{Hor}^{lo}]_{Str.in}, [F_{Vert}^{lo} \cdot F_{Hor}^{tr}]_{Str.in}, [F_{Vert}^{tr} \cdot F_{Hor}^{lo}]_{Str.out}, [F_{Vert}^{lo} \cdot F_{Hor}^{tr}]_{Str.out}) \quad (4)$$

mit:

$$F_{Geo}^{Axis} = \sum_n IAM_n^{Axis} \cdot S_n^{Geo} \quad (5)$$

- IAM_n gemessener Winkelfaktor an der Winkelposition n
- S_n Koeffizient für die Winkelposition n
- $n = 0, \dots, 5$ Index der Winkelposition ($0^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$)
- $Axis \in (tr, lo)$ Achse des Glases, auf die sich der gemessene IAM bezieht (transversal, longitudinal)
- $Geo \in (Vert, Hor)$ Orientierung der entsprechenden Glasachse (vertikal, horizontal):
horizontale Achse liegt parallel zur Erdoberfläche,
vertikale Achse und Erdoberfläche bestimmen Anstellwinkel
- $(Str.in, Str.out)$ Lage der strukturierten Seite des Glases auf dem Kollektor

F_{Geo}^{Axis} ist also die Summe der Produkte n gemessener Werte des Winkelfaktors IAM_n mit den dazugehörigen Koeffizienten S_n . Die Winkel an denen der IAM gemessen wird, sind zusammen mit den zugehörigen Koeffizienten in Tabelle 3 zusammengefasst.

Dieser empirische Zusammenhang zwischen IAM und Kollektorfeldertrag wird durch eine Sensitivitätsanalyse bestimmt. Dazu wird der Winkelfaktor eines Glases in schmalen Winkelintervallen variiert (Diag. 2) und die Änderung des Kollektorfeldertrages beobachtet. Für jedes dieser Winkelintervalle kann somit ein Gewichtungsfaktor S bestimmt werden. Der Gesamteinfluss auf den Kollektorfeldertrag ergibt sich aus der Summe der gewichteten Einflüsse aus den einzelnen Winkelintervallen.

Tab. 3: Winkel an denen der IAM gemessen wird und zugehörige Koeffizienten

n	0	1	2	3	4	5
Winkel [°]	0	30	40	50	60	70
S_n^{Vert}	0.6986	0.1715	0.0454	0.0389	0.0326	0.0231
S_n^{Hor}	0.5530	0.2113	0.0742	0.0756	0.0697	0.0334
IAM Werte nach Fresnel (Referenz)	1	0.9965	0.9886	0.9678	0.9148	0.7846

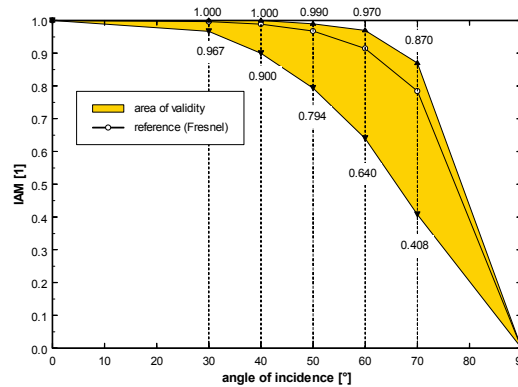
Bemerkung: Bei senkrechter Einstrahlung ist der Wert für den Winkelfaktor Definitionsgemäss = 1, also $IAM_0 = 1$

Die zur Simulation betrachtete Anlage entspricht wieder der Referenz – Solaranlage. Die aus der Analyse ermittelten Koeffizienten S sind so skaliert, dass F_{IAM} ein Propor-

tionalitätsfaktor für den Kollektorfeldertrag darstellt und für das Referenzglas (Dicke $d = 4 \text{ mm}$, Brechungsindex $n = 1.53$, Extinktionskoeff. $K = 4 \text{ m}^{-1}$).

Diag. 2:

Gültigkeitsbereich für die Berechnung des Faktors F_{IAM} . Innerhalb der markierten Fläche ist der Winkelfaktor des Referenz - Glases eingezeichnet.



Die praktische Bedeutung von Gleichung (4) ist folgende: Eine Glasscheibe kann prinzipiell auf 4 verschiedene Weisen in einen Kollektor eingebaut sein (Struktur innen / aussen, Glaslängsachse entspricht Kollektorlängs / -querachse). Jede dieser Orientierungen kann den Kollektorfeldertrag unterschiedlich beeinflussen. Mit Hilfe von Gleichung (4), den Koeffizienten aus Tabelle 3 und dem gemessenen Winkelfaktor eines Glases kann berechnet werden, wie gross jeweils der Einfluss auf den Kollektorfeldertrag ist. Die Orientierung welche zum schlechtesten Ergebnis führt, wird als *Winkelgewichtsfaktor* F_{IAM} ausgewählt.

4. Schlussfolgerung

Die Einführung der Zertifizierung von Solarglas hat folgende entscheidenden Vorteile:

- klare Definition was der Begriff „Solarglas“ bedeutet
- besserer Schutz des Endkunden durch Glasstempel mit Klassenangabe
- Austauschbarkeit von Gläsern innerhalb einer Klasse, ohne neue Kollektorleistungsprüfung

5. Literatur

/1/ Zertifizierung von Solarglas, Version 1.1; download unter www.solarenergy.ch