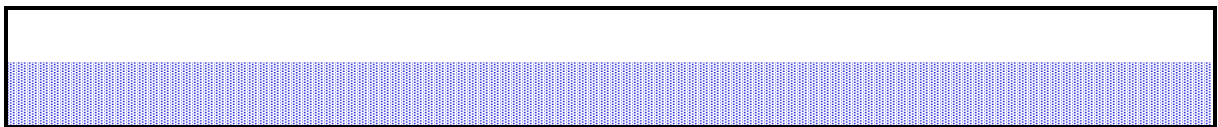
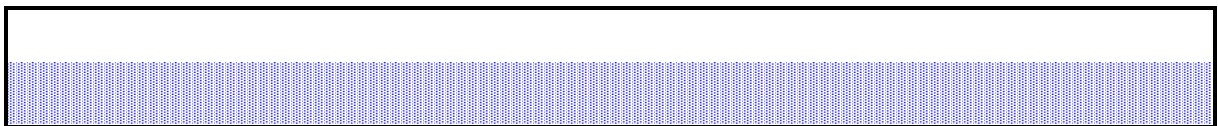


RICHTLINIE



**BESTIMMUNG DES SOLAREN ENERGIEGEWINNS
DURCH MASSIVWÄNDE MIT
TRANSPARENTER WÄRMEDÄMMUNG**

Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V.



Ausgabe Juni 2000

Bestimmung des solaren Energiegewinns durch Massivwände mit transparenter Wärmedämmung

Richtlinie des Fachverbandes Transparente Wärmedämmung e.V.

Ausgabe Juni 2000

Impressum

Autor:

Dr. Werner J. Platzer
Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme
Oltmannsstr. 5, D-79100 Freiburg
Tel. 0761-4588-131, Fax 0761-4588-132

Redaktion der ersten Auflage durch den Arbeitskreis Normung des Fachverbands TWD mit den Mitgliedern:

Prof. Thomas Ackermann (Vorsitz)
Raimund Käser (Grünzweig + Hartmann AG)
Hans-Joachim Neuhaus (Glasfabrik Lamberts)
Dr. Werner J. Platzer (Fraunhofer ISE)
Dr. Stephan Tratzky (Schott Rohrglas)
Markus Zwirger (Sto AG)

Überarbeitung der zweiten Auflage:

Dr. Werner J. Platzer (Fraunhofer ISE)

Die Ausarbeitung dieser Richtlinie wurde durch den Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V. finanziert.

Copyright: Fachverband TWD e.V.
Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe gestattet.
Auszüge ersetzen die Kenntnisse der gesamten Richtlinie nicht.

1. Auflage 1999: 200 Exemplare
2. Auflage 2000: 200 Exemplare

Vertrieb: Fachverband TWD e.V.
Ginsterweg 9, D-79194 Gundelfingen
Tel. +49-761-581441, Fax +49-761-581442

Inhaltsverzeichnis

1. Ziel und Zweck der Richtlinie	5
2. Begriffe und Definitionen	6
2.1. Begriffe.....	6
2.2. Systemtyp und allgemeine Maße	7
2.3. Nomenklatur	8
2.4. Zusammenstellung der wichtigsten Kennwerte	10
3. Grundgleichungen.....	11
4. Bestimmung der Bauteilkennwerte.....	12
4.1. Gesamtenergiedurchlassgrad g_B und solare Transmission $\tau_{e,B}$ des Bauteils	13
4.2. Wärmewiderstand R_B	14
4.3. Kennwerte bei einer Isolier- oder Wärmeschutzverglasung	15
5. Bestimmung der Systemkennwerte der Solarwand.....	15
5.1. Berechnung von U und U_{TWD}	15
5.2. Gesamtenergiedurchlassgrad g_{TWD} (Typ T).....	16
5.3. Gesamtenergiedurchlassgrad g_{TWD} (Typ O).....	16
6. Monatliche Effektivwerte	17
7. Heizperiodenverfahren.....	17
8. Ausblick.....	18
9. Referenzen	19
10. Anhang	20

1. Ziel und Zweck der Richtlinie

Mit dem Prinzip der transparent wärmegeämmten Solarwand lassen sich auf angenehme, komfortsteigernde Art solare Gewinne erzielen. Die wärmespeichernde Massivwand, die vorgesetzte oder aufgebrachte transparent-wärmegeämmte vorgesetzte Schale mit ihren Eigenschaften bestimmen den Wirkungsgrad dieser solaren Niedrigtemperaturheizung. [1]

Das Ziel dieser Richtlinie ist es, ein eindeutiges, bauphysikalisch korrektes und verifiziertes Berechnungsverfahren für die solaren Energiegewinne durch diese Solarwände darzustellen.

Seit Sommer 1997 liegt der wissenschaftliche Bericht des Projektes "Energetische Bewertung von Transparenter Wärmedämmung" vor [2]. Im Rahmen dieses Projektes wurden generell Fragen der energetischen Bilanzierung von Energiegewinnen und Verlusten bei transparenten und opaken Bauteilen mit transparenter Wärmedämmung betrachtet. Wesentliche Teile dieses Berichtes sind veröffentlicht worden [3]. In Diskussionen mit den zuständigen Ausschüssen des Normenausschuss Bau und des Deutschen Instituts für Bautechnik, DIBt, Berlin, zeichnete sich ab, dass die zukünftige Berechnung des Jahres-Heizenergiebedarfes auf dem in der europäischen Normung vorgegebenen Verfahren aufbaut. Diese Richtlinie fügt sich daher in Nomenklatur und Vorgehensweise in den Rahmen des europäischen Normentwurfs DIN EN 832 "Berechnung des Heizenergiebedarfes von Wohngebäuden" [4] bzw. deren deutschen Umsetzung in der Vornorm DIN-V 4108, Teil 6, ein [5]. Die Herausgabe der überarbeiteten Neufassung der DIN-V 4108, Teil 6, steht zum Zeitpunkt der zweiten Auflage dieser Richtlinie unmittelbar bevor.

Die europäische Norm DIN EN 832 berücksichtigt transparente Wärmedämmung im Ansatz, jedoch fehlen für die praktische Anwendung die genauen Hinweise zur Umsetzung. Weder wird festgelegt, wie aus Bauteilkennwerten unter Berücksichtigung der jeweiligen objektspezifischen Gegebenheiten der Systemwirkungsgrad berechnet wird, noch ist die explizit vorhandene Abhängigkeit des Gesamtenergiedurchlassgrades von Fassadenorientierung und Jahreszeit gegeben.

Die experimentelle Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades kann bei derart komplexen Bauteilen nicht auf den bekannten Normen für Mehrfachverglasungen aufbauen (ISO 9050 bzw. DIN EN 410 [6, 7] - früher DIN 67507). Die in dieser Richtlinie vorausgesetzte Lösung ist die winkelabhängige Bestimmung mittels eines kalorimetrischen Messverfahrens. Das europäische Projekt ALTSET (Angular-dependent Light and Solar Energy Transmittance) im Rahmen des Forschungsprogrammes "Messen und Prüfen" definiert für derartige Messungen eindeutige Randbedingungen und Messvorschriften [8]. Die Vorgaben der Richtlinie orientieren sich an den Ergebnissen dieses Forschungsprojektes. Die Sicherstellung der Einhaltung dieser Vorgaben liegt in der Verantwortung des jeweiligen Prüfinstitutes. Die technischen Richtlinien dazu werden auf europäischer Ebene erarbeitet und der CEN zur Verfügung gestellt. Deshalb wird innerhalb dieser Richtlinie nicht genauer darauf eingegangen. In einem ergänzenden deutschen Forschungsprojekt werden die Arbeiten auf Sonnenschutzsysteme und Freiluftmessungen ausgeweitet [9].

2. Begriffe und Definitionen

2.1. Begriffe

TWD-Material

Es gibt eine Reihe von Strukturen und Schichten aus Kunststoff und Glas, die als transparente Wärmedämmmaterialien bezeichnet werden. Diese Materialien optimieren den Wärmeschutz mit entsprechend hoher solarer Transmission. Je nach Materialart sind Schutz von Feuchteinflüssen Staub oder mechanischen Einwirkungen zu beachten.

TWD-Bauteil

TWD-Bauteile sind handhabbare Bauprodukte, die zur Gewinnung von solarer Energie eingesetzt werden können. Meist werden Rahmensysteme zusätzlich benötigt. Auch Mehrfachisolierverglasungen können bei entsprechendem Einsatz als TWD-Bauteile bezeichnet werden. Wird der solare Energiegewinn vollständig im Bauteil absorbiert, so spricht man von opaken, sonst transparente TWD-Bauteilen.

Während TWD-Materialien eine einheitliche und gleichmäßige Zusammensetzung haben und vom Laien am schnellsten als "TWD" identifiziert werden (Aerogele, Waben-, Röhren- und Kapillarstrukturen aus Kunststoff oder Glas u.a.m.), sind bei den TWD-Bauteilen auch konventionellere Produkte im Schema inbegriffen. So z.B. kann eine normale Wärmeschutzverglasung durchaus als Bauteil in einer Solarspeicherwand als transparente Wärmedämmung eingesetzt werden. Auch wenn es paradox klingt, können nicht-transparente Bauteile in transparenten Wärmedämmsystemen eingesetzt werden. In diesem Falle ist eine Absorberplatte in dem Bauteil bereits integriert. Eine breite Palette von Varianten ist denkbar und größtenteils auch in Prototypen realisiert:

T	Transparente Bauteile
	1 - offene, belüftete Bauteile
	2 - druckentspannte Bauteile
	3 - geschlossene, luftbefüllte Bauteile
	4 - geschlossene, gasgefüllte Bauteile
O	Opake, nichttransparente Bauteile
	1 - offene Bauteile mit integriertem Absorber
	2 - druckentspannte Bauteile mit integriertem Absorber
	3 - geschlossene, luftbefüllte Bauteile mit integriertem Absorber
	4 - geschlossene, gasbefüllte Bauteile mit integriertem Absorber

Die heute üblichen Bauteile sind in den allermeisten Fällen mit Luft befüllt und offen oder druckentspannt.

Massivwand

Zur Speicherung der solaren Gewinne ist ein massives Wandbauteil raumseitig zum TWD-Bauteil sinnvoll. Die Wärme muss durch dieses Bauteil nach innen abgeführt werden, daher ist ein nicht allzu hoher Wärmewiderstand erwünscht. Auch sollte die Massivwand die Wärme gut speichern. Baustoffe ab 1200 kg/m^3 werden daher empfohlen.

Solarwand

Die Solarwand ist das gesamte Bauteil aus Massivwand und vorgesetzter oder aufgebrachtener TWD-Schale. Die Befestigung des TWD-Bauteils auf der Massivwand ist produktspezifisch.

Bauteilkennwert

Derjenige Prüfwert einer Kenngröße (z.B. Wärmedurchlasswiderstand), der in einer Prüfapparatur bei standardisierten Prüfbedingungen ermittelt wird.

Systemkennwert

Derjenige Wert einer Kenngröße, der für den konkreten Objektfall einer TWD-Fassade aus dem Bauteilkennwert sowie weiteren Zusatzinformationen (z.B. zusätzliche angrenzende Luftschichten beim Wärmedurchlasswiderstand) errechnet wird.

2.2. Systemtyp und allgemeine Maße

Es gibt zwei grundlegend verschiedene Varianten der TWD-Solarwand, die in dieser Richtlinie behandelt werden:

Typ T Solarwand mit vorgesetztem lichtdurchlässigem TWD-Produkt
z.B. Verglasung mit innenliegendem TWD-Material

Typ O Solarwand mit vorgesetztem TWD-Produkt mit vollständiger interner Absorption
z.B. TWD-Modul mit integrierter rückseitiger Absorberplatte

Bei Typ T trifft zumindest teilweise noch Solarstrahlung auf die Massivwand, wo sie in Abhängigkeit von deren Farbe absorbiert werden kann, bei Typ O ist dies nicht mehr der Fall.

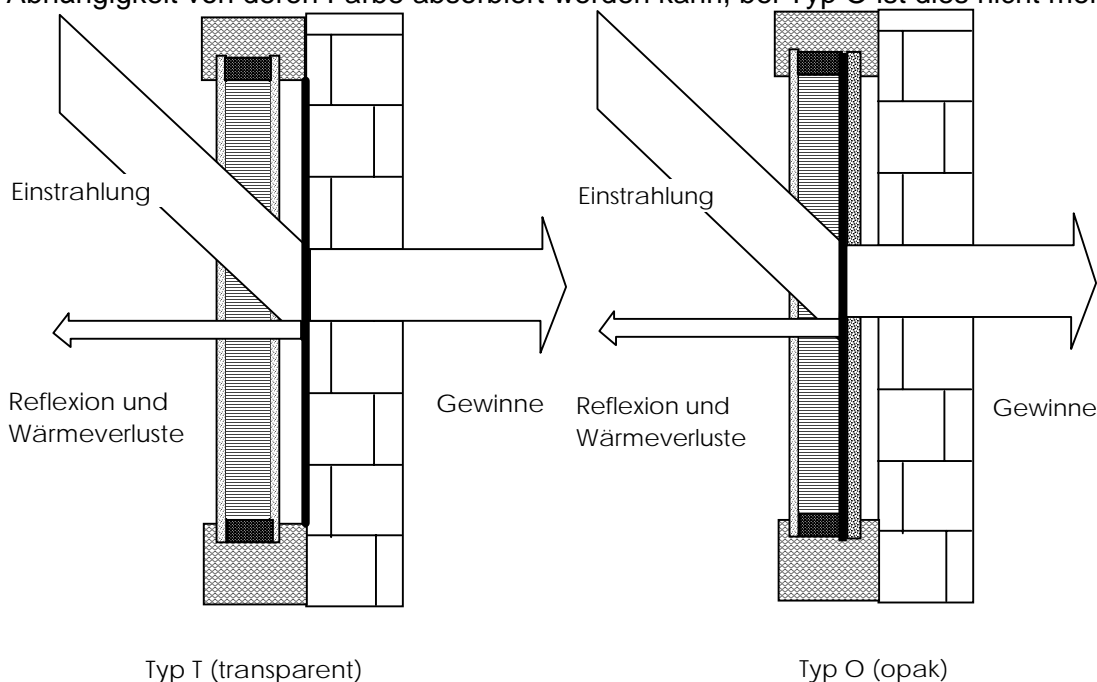


Abb. 1: Schematische Darstellung von solaren WärmegeWINnen und Verlusten bei den beiden Solarwand-Typen T und O

Projektspezifische Abmessungen und Flächen der Solarwand müssen in dem Berechnungsverfahren berücksichtigt werden.

2.3. Nomenklatur

A	Projektionsfläche	m ²
α	solarer Absorptionsgrad einer Oberfläche	1
τ	solarer Transmissionsgrad	1
ρ	solarer Reflexionsgrad	1
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	1
q _i	sekundärer Wärmeabgabegrad nach innen	1
g _B	Gesamtenergiedurchlassgrad des Bauteils (Prüfwert)	1
g _{TWD}	Gesamtenergiedurchlassgrad des TWD-Systems	1
R	Thermischer Widerstand	(m ² K)/W
R _B	Wärmedurchlasswiderstand des TWD-Bauteils	(m ² K)/W
R _S	Wärmedurchlasswiderstand eines geschlossenen senkrechten Luftspaltes	(m ² K)/W
R _{si}	Wärmeübergangswiderstand innen	(m ² K)/W
R _{se}	Wärmeübergangswiderstand außen	(m ² K)/W
U	Wärmedurchgangskoeffizient (früher k)	W/(m ² K)
U _{TWD}	Wärmedurchlasskoeffizient des TWD-Systems	W/(m ² K)
F _F	Reduktionsfaktor auf Grund von nicht solar-aktiven Rahmen- oder Randflächen	1
F _S	Reduktionsfaktor auf Grund von Verschattung	1
F _C	Reduktionsfaktor auf Grund von Sonnenschutz	1
I _s	mittlere solare Einstrahlung	W/m ²
Φ	mittlere solaren Gewinne im betrachteten Zeitraum	W/m ²

Indices

i	innen, intern	B	Bauteil
e	außen, extern	W	Wand
n	normal, senkrechter Strahlungseinfall	M	Monat
h	halbräumlicher Strahlungseinfall	HP	Heizperiode
abs	Absorber	g	gesamt
s	solar	t	transparent
e	energetisch / solar	V	Verschattung
j	Orientierung	R	Rahmen

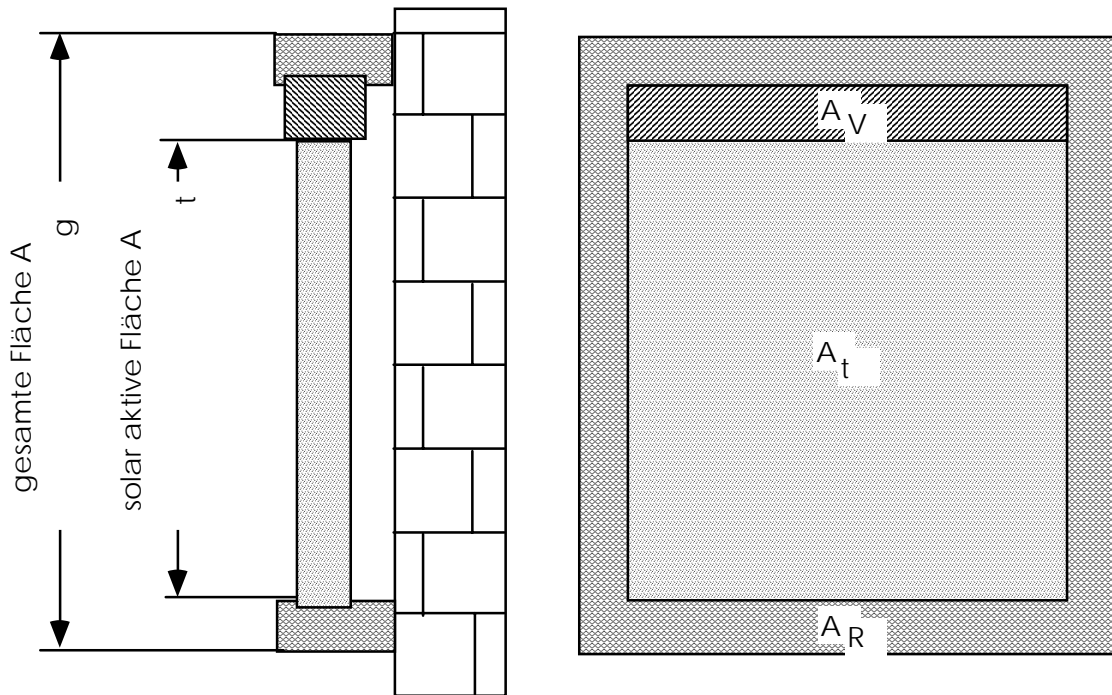


Abb. 2: Solar-aktive Fläche A_t mit Reduktionsfaktor F_F ($F_F=1-(A_R+A_V)/A_g$); Beispiel TWD-Bauteil mit Rahmen R und Verschattungsvorrichtung V (in hochgezogenem Zustand)

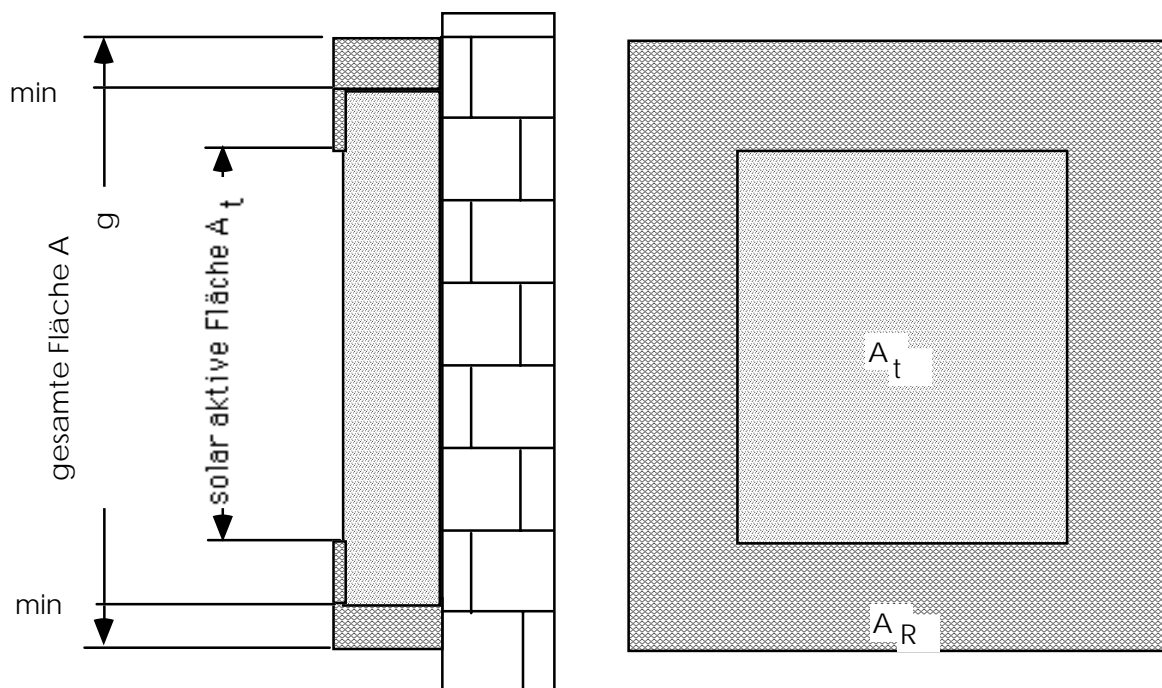


Abb. 3: Solar-aktive A_t mit Reduktionsfaktor F_F ($F_F=1-A_R/A_g$); Beispiel TWD-Bauteil Transparentes Wärmedämmverbundsystem mit Putzüberlappung; Rahmengrenze (opakes WDVS) ohne solare Gewinne bis Bezeichnung "min" ohne Auswirkung auf Energiebilanz reduzierbar

2.4. Zusammenstellung der wichtigsten Kennwerte**Parameter des TWD-Produktes**

Im folgenden werden die benötigten Eingabegrößen des energetisch aktiven Teil der Solarwand (TWD-Produkt) noch einmal kurz aufgelistet:

Größe	Einheit	Beschreibung	Anm.
$g_{n,B}$	1	Gesamtenergiedurchlassgrad bei Besonnung durch direkte Sonne senkrecht zur äußeren Bauteiloberfläche	1
$g_{h,B}$	1	Gesamtenergiedurchlassgrad für diffuse, halbräumliche Bestrahlung	1, 2
$\tau_{e,n,B}$	1	Strahlungstransmissionsgrad für normal-senkrechten Strahlungseinfall	3
$\tau_{e,h,B}$	1	Strahlungstransmissionsgrad für diffuse, halbräumliche Bestrahlung	3
R_B	m^2KW^{-1}	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils im Zentralbereich	4

1 - Bestimmung durch kalorimetrisches Prüfverfahren; bei klar durchsichtigen Verglasungen reicht die Bestimmung nach DIN EN 410 [7]

2 - bei klar durchsichtigen Verglasungen kann gesetzt werden (DIN EN832 [4]):

$$g_h = 0.85 \cdot g_n$$

3 - Ist der Strahlungstransmissionsgrad bei transparenten Bauteilen unbekannt, so wird gesetzt: $\tau_e = g_B$

4 - Bestimmung durch Plattenverfahren nach DIN 52619-1 oder Heizkasten nach DIN 52619-2 [16]

Charakterisierung der Massivwand

Projektspezifisch sind im allgemeinen die Kennwerte der Massivwand hinter dem TWD-Bauteil. Auch hier sind Eingabewerte zu ermitteln:

Größe	Einheit	Beschreibung	Anm.
R_W	m^2KW^{-1}	gesamter Wärmedurchlasswiderstand des massiven Tragwerks	5
α_0	1	solarer Strahlungsabsorptionsgrad der äußeren Oberfläche der Massivwand	

5 - Die DIN V 4108-4 [14] enthält eine Reihe von Materialdaten verschiedener genormter Baustoffe. Unbekannte Daten können entsprechend DIN EN ISO 6946 [17] bestimmt werden.

3. Grundgleichungen

Die Grundgleichungen zur Bestimmung des solaren Energieeintrages sind je nach gewähltem Nachweisverfahren - Monatsverfahren oder Heizperiodenverfahren - unterschiedlich. Diese werden in der Vornorm DIN V 4108-6:1995-04 [5] ausgeführt. Diese Vornorm wurde überarbeitet, um mit den Vorgaben der europäischen Normung (DIN EN 832 [4]) konform zu sein. Die hier zitierten Gleichungen sind der überarbeiteten Endversion DIN V 4108-6:2000 [18] entnommen. Die Gleichungsnumerierung bezieht sich auf die dort benutzte.

Beim insbesondere beim für Gebäude mit solarer Bauweise genaueren Monatsbilanzverfahren wird Gleichung (23) der DIN V 4108-6:2000 benutzt und im weiteren ausgeführt (zum vereinfachten Heizperiodenbilanzverfahren siehe Abschnitt 8):

$$\Phi_{s,M} = \sum_{j(\text{Orientierung})} (I_s)_{M,j} \times \left(\sum_{i(\text{Bauteil})} F_{F,i} \cdot F_{S,i} \cdot F_{C,i} \cdot F_W \cdot g_{\perp,i} \cdot A_i \right) \quad (1)$$

Als Fläche ist stets die Gesamtfläche A_g des Bauteils einzusetzen. Zur vereinfachten Abschätzung der solaren Energiegewinne von opaken Massivwänden mit transparenter Wärmedämmung ist der Abschnitt 6.4.5 "Solare Gewinne über opake Bauteile einschließlich transparenter Wärmedämmung" der Vornorm vorgesehen. In der vorliegenden Richtlinie wird darüber hinaus folgendes berücksichtigt:

- g_{TWD} (oder engl. g_{TI}) ist auf Grund der Winkelabhängigkeit der TWD und des unterschiedlichen Sonnenstandes für jeden Monat und jede Fassadenorientierung separat zu ermitteln; der pauschale Ansatz $F_W \cdot g_i$ unterschätzt i.a. die Energiegewinne in der Heizperiode
- Die Lage der Absorptionsebene der Solarstrahlung im Gesamtbauteil ist nicht eindeutig. Die Absorption findet teilweise oder sogar ganz im TWD-Bauteil statt; auch auf der Oberfläche des dahinterliegenden Bauteils (Massivwand) kann Solarstrahlung absorbiert werden. Dieser Anteil hängt neben dem Transmissionsgrad des TWD-Bauteils auch von der bauseitig bestimmbaren Farbe des Anstrichs bzw. Putzes der Massivwand ab.
- Der Abminderungsfaktor F_C für Sonnenschutzvorrichtungen kann im allgemeinen Fall identisch eins gesetzt werden, wenn der Sonnenschutz in der Heizperiode nicht aktiviert wird, oder wenn keine Sonnenschutzvorrichtung eingesetzt wird
- Der Verschattungsfaktor F_S mit Werten zwischen 0 und 1 stellt die Reduzierung der auftreffenden Sonnenstrahlung als Folge dauernder Verschattung der betroffenen Oberfläche dar (andere Gebäude, Topographie oder Bauteilüberstände). Auch dieser Faktor kann für verschiedene Orientierungen und Jahreszeiten variieren. Im Sommer beispielsweise kann dieser Faktor auf Grund vorgelegter Balkone oder Dachüberstände klein genug sein, um eine Verschattungsvorrichtung zu ersetzen, während er im Winter wegen tiefstehender Sonne nahe bei 1 liegt.

Explizit ergibt sich durch Einsetzen in obige Gleichung für jeden Monat M und für betrachtete Gebäudeaußenwände i mit TWD und evtl. mehreren Orientierungen j folgende Gleichung:

$$\Phi_{s,M} = \sum_{j(\text{Orientierung})} (I_s)_{M,j} \cdot \left(\sum_{i(\text{TWD-Wand})} F_{F,i} \cdot F_{S,i} \cdot F_{C,i} \cdot g_{TWD,i,j} \cdot \frac{U_i}{U_{TWD,i}} \cdot A_i \right) \quad (2)$$

U_i ist hier der Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Wandaufbaus inklusive TWD, während $U_{TWD,i}$ den Wärmedurchgangskoeffizient des TWD-Bauteils i bis zur Energiebilanzgrenze (die Oberfläche der hinter dem TWD-Bauteil liegenden Massivwand) darstellt. Der Term $A \cdot F_w \cdot g$ mit dem Reduktionsfaktor $F_w=0.85$ auf Grund nicht-senkrechter

Einstrahlung wird ersetzt durch $A \cdot g_{TWD} \cdot \frac{U}{U_{TWD}}$.

NB: Die Gleichungen (102-104) der DIN V-4108-6:2000 haben eine geringfügig anders lautende Bezeichnungsweise, die der Klarheit wegen geändert wurde, da sie nur für den Spezialfall gelten, dass die Absorptionsoberfläche außerhalb des TWD-Bauteils liegt:

- Der Wert U_e in Gleichung (103) beschreibt den Wärmeverlust durch eine transparente Wärmedämmung des Typs T. Dagegen ist U_{TWD} eindeutig aus einem Bauteilkennwert ermittelbar, auch wenn die Absorption der Solarstrahlung teilweise oder ganz innerhalb dieses Bauteils liegt (Typ O); ist die absorbierende Oberfläche gleichzusetzen mit der Oberfläche der hinter dem TWD-Bauteil liegenden Massivwand (Typ T), so gilt $U_{TWD}=U_e$.
- Liegt die Absorption der Solarstrahlung innerhalb eines TWD-Bauteils (Typ O, z.B. Komplettelement mit integrierter Absorberplatte), so ist notwendigerweise der Absorptionsgrad α im Prüfwert für den Gesamtenergiedurchlassgrad berücksichtigt und mitbestimmt; nur für den oben erwähnten Spezialfall (Typ T) kann näherungsweise (s.u.) gelten: $g_{TWD}=g_{TI} \cdot \alpha \approx F_w \cdot g_{n,B} \cdot \alpha$.
- Grundsätzlich wird in der Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades die langwellige Abstrahlung mitberücksichtigt. Es ist also auch bei der vereinfachten Methode Gleichung (104) der DIN V-4108-6:2000 zu empfehlen. Ein zusätzlicher Wärmeabstrahlungsverlust von der Bauteilaußenoberfläche an den klaren Himmel erfolgt sowohl tagsüber als auch nachts. Er hat mit den solaren Energiegewinnen nichts zu tun, sondern ist den Wärmeverlusten zuzurechnen. Auch ist dieser zusätzliche Wärmeabstrahlungsverlust keine spezielle Eigenschaft der Transparenten Wärmedämmung, sondern müsste ggf. bei allen Bauteilen (opake und transparente einschließlich der Fenster) berücksichtigt werden. Gleichung (101) der DIN V-4108-6:2000 ist daher irreführend.

4. Bestimmung der Bauteilkennwerte

Die Kennwerte eines einzusetzenden TWD-Bauteils werden in einem Prüflabor unter standardisierten Prüfbedingungen ermittelt worden sein. Sie gelten für den ungestörten Zentralbereich der solar aktiven Fläche des Bauteils.

Analog zu Verglasungen müssen bei den Wärmeverlusten auch Wärmebrücken mit berücksichtigt werden - bei den Fenster ist dies der Unterschied zwischen U_V (früher: k_V) und U_F (früher: k_F). Insbesondere die Wärmeverluste über Abstandshalter und Rahmenprofile können dabei entsprechend zu Buche schlagen. In dieser Richtlinie werden nur die solaren Energiegewinne der aktiven Fläche betrachtet. Wärmeverluste z.B. von Profilen werden wie bei nicht-transparenten konstruktiv ähnlichen Systemen berechnet. Auch Wärmebrücken durch die Haltersysteme können nach den Verfahren der DIN EN 10211 Teil 1+2 berücksichtigt. [12]

4.1. Gesamtenergiedurchlassgrad g_B und solare Transmission $\tau_{e,B}$ des Bauteils

Der den Solargewinn bestimmende Bauteilkennwert des TWD-Bauteils ist der Gesamtenergiedurchlassgrad. Um die Winkelabhängigkeit der TWD richtig zu beschreiben, werden die Werte bei verschiedenen Einfallswinkeln gemessen. Daraus werden zwei Kennwerte $g_{n,B}$ (für senkrechte Bestrahlung) und $g_{h,B}$ (für diffuse Bestrahlung aus dem Halbraum) bestimmt. Die Randbedingungen für die Vermessung entsprechen denen des europäischen Projektes ALTSET (Angular-dependent Light- and Solar Energy Transmittance). Im allgemeinen müssen die Kennwerte mit einem kalorimetrischen Verfahren gemessen werden.

Für eine Prüfung müssen die Laborverfahren so gestaltet werden, dass die Ergebnisse zwischen einzelnen Instituten nicht differieren. Dies geschieht durch die Definition von Standardbedingungen. Die Festlegung von Standardbedingungen für

- innere und äußere Wärmeübergänge
- innere und äußere Temperaturen
- Bestrahlungsspektrum
- Absorptionsgrad und Emissionsgrad des Absorbers / Kalorimeters

ist wesentlich für eine korrekte Bestimmung des g -Wertes. Bei Abweichungen müssen Korrekturen zum bloßen Messwert bestimmt werden. [10, 11]

Tabelle 1: Standardbedingungen für die Bestimmung des g-Wertes (nach [10])

innere Randbedingungen	
$T_i=20^\circ\text{C}$	Lufttemperatur gleich Strahlungstemperatur
$\varepsilon_{\text{abs}}=1,0$	Emissionsgrad der Kalorimeterkavität (Absorber) gleich maximal
$h_i=8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	natürliche Konvektion bei Glasoberfläche: DIN EN 673 [13]: $h_i=h_{i,k} + h_{i,r} = (3,6 + 4,4 \cdot \varepsilon_g / 0,837) \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ Emissionsgrad $\cdot \varepsilon_g$ der innenseitigen Bauteiloberfläche (Glas: $\cdot \varepsilon_g = 0,837$)
$\alpha=1,0$	Absorptionsgrad des Kalorimeters / Absorbers maximal schwarz
äußere Randbedingungen	
$T_e=20^\circ\text{C}$	Lufttemperatur gleich Strahlungstemperatur
$h_e=23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	externer Wärmeübergangskoeffizient nach DIN-V 4108-4 [14]; externe Windgeschwindigkeit etwa 4m/s: erzwungene Konvektion; korrigierte Emissivität $\varepsilon_a=0,837$
I_λ	solare spektrale Verteilung nach AM1,5 Global nach ISO 9845-1:1992 Teil1 [15]

Bei nichttransparenten TWD-Bauteilen ist der bauteilspezifische Absorptionsgrad vorgegeben und i.a. nicht bekannt. Eine Korrektur auf ideal schwarzen Absorber ($\alpha=1$) ist weder vorgesehen noch möglich.

Die mit dem Gesamtenergiedurchlassgrad g beschriebene Energietransmission setzt sich in der Regel aus dem transmittierten solaren Strahlungsanteil und der sekundären Wärmeabgabe nach innen zusammen. Idealisiert für den absolut schwarzen Absorber bedeutet dies:

$$g = \tau_e + q_i \quad (3)$$

Für ein opakes TWD-Bauteil gilt für alle Einfallswinkel $\tau_e = 0$. Für ein transparentes TWD-Bauteil wird die transmittierte Strahlung entsprechend dem Absorptionsgrad α der Massivwand absorbiert, die sekundäre Wärmeabgabe wird anders beeinflusst. Aus diesem Grunde wird wegen der späteren Ermittlung der Systemkennwerte empfohlen, auch den solaren Transmissionsgrad τ_e ebenfalls für ein transparentes Bauteil zu bestimmen. Ansonsten wird in den später folgenden Formeln der eher ungünstige Fall $g=\tau_e$ bzw $q_i=0$ für alle Einfallswinkel angenommen. Eine Überschätzung der tatsächlichen Energiegewinne ist damit ausgeschlossen.

4.2. Wärmewiderstand R_B

Der zu bestimmende wärmetechnische Bauteilkennwert ist der Wärmedurchlasswiderstand des TWD-Bauteils im ungestörten Zentralbereich der solar aktiven Fläche. Die Bezeichnung ist R_B . Der Wärmewiderstand wird gemessen von innerer Bauteiloberfläche bis zur äußeren Bauteiloberfläche. Entsprechend dem Prüfverfahren bei Verglasungen wird die Bestimmung mit einer Plattenapparatur gemäß DIN 52619-1 [16] empfohlen. Die sich rasch entwickelnde

europäische Normung sollte in diesem Bereich beobachtet werden. Die Prüfung muss von der Herstellern nach den jeweils aktuellen Regeln der Technik durchgeführt werden. Im allgemeinen ist die Art der Prüfung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBT) vorgeschrieben (z.B. im Rahmen einer Zulassung).

4.3. Kennwerte bei einer Isolier- oder Wärmeschutzverglasung

In einem TWD-System kann prinzipiell auch eine Isolier- oder Wärmeschutzverglasung als transparentes Bauteil (Typ T) eingesetzt werden. Auch wenn exakte Werte für den halbräumlichen g-Wert $g_{h,B}$ nicht verfügbar sind, kann alternativ zum beschriebenen Kalorimeterverfahren der Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN EN 410 (bzw. früher DIN 67507) herangezogen werden (Gl. 4). Der Wärmedurchlasswiderstand R_B wird direkt nach DIN 52612 gemessen oder aus dem U-Wert ermittelt (Gl. 5):

$$g_{n,B} = g \quad (4)$$

$$g_{h,B} = 0,85 \cdot g$$

$$R_B = \frac{1}{U_V} - R_{si} - R_{se} \quad (5)$$

5. Bestimmung der Systemkennwerte der Solarwand

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie aus den produktspezifischen Bauteilkennwerten die im allgemeinen Fall objektspezifischen Systemkennwerte der Solarwand berechnet werden. Auf den Systemkennwert Gesamtenergiedurchlassgrad g_{TWD} wirkt sich insbesondere die objektspezifische Farbe der Massivwand hinter einem TWD-Bauteil Typ T aus. Physikalisch und energetisch optimal ist sicherlich eine schwarze Einfärbung (Absorptionsgrad $> 0,9$), Dunkle Farben bewirken zwar eine Reduktion des Solargewinns (10%-40%), können aber architektonisch vorteilhaft sein. Eine Verwendung von helle Farben wird nicht angeraten.

5.1. Berechnung von U und U_{TWD}

Zur Berechnung der U-Werte der Solarwand wird der innere und äußere Wärmeübergangswiderstände benötigt. Ist zwischen dem TWD-Bauteil und der Massivwand ein geschlossener Luftspalt, so wird dessen Wärmeübergangswiderstand R_S nach DIN EN ISO 6946 [17] dem TWD-Bauteil zugeschlagen. Damit ergibt sich

$$U_{TWD} = \frac{1}{R_{se} + R_B (+R_S)}$$
$$U_W = \frac{1}{R_W + R_{si}} \quad (6)$$

mit

$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ als innerem Wärmeübergangswiderstand und

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ als äußerem Wärmeübergangswiderstand

R_S Wert des Wärmeübergangswiderstands in einem optionalen Luftspalt

5.2. Gesamtenergiedurchlassgrad g_{TWD} (Typ T)

Bei einem transparenten TWD-Bauteil (Typ T) ist der bauseitige Absorptionsgrad der Massivwand für die Absorption der transmittierten Solarstrahlung entscheidend. Nicht absorbierte Strahlung wird zurückreflektiert und teilweise im TWD-Bauteil absorbiert. Dieser letztere Anteil ist für dunkle Farben vernachlässigbar klein, bei höheren Wandreflexionsgraden wird er wichtig. Daher existiert eine Fallunterscheidung bei der Berechnung des g_{TWD} :

A) Wandaußenoberfläche dunkel gestrichen oder verputzt ($\alpha_{e,0} > 0,9$):

$$g_{TWD,k} = g_{k,B} \cdot \alpha_{e,0} \quad (7a)$$

jeweils für k=n,h (normaler und halbräumlicher Strahlungseinfall)

B) Wandaußenoberfläche hell gestrichen oder verputzt ($\alpha_{e,0} = 0,9$)

$$g_{TWD,k} = (g_{k,B} - \tau_{e,k,B}) \left(1 + \tau_{k,e,B} \cdot (1 - \alpha_{e,0}) \right) + \frac{\tau_{k,e,B} \cdot \alpha_{e,0}}{1 - \rho_{e,h,B} \cdot (1 - \alpha_{e,0})} \quad (7b)$$

jeweils für k=n,h (normaler und halbräumlicher Strahlungseinfall)

NB: Ist der Reflexionsgrad des TWD-Bauteils für halbräumliche Strahlung nicht bekannt, so wird konservativ $\rho_{e,h,B}=0$ gesetzt

5.3. Gesamtenergiedurchlassgrad g_{TWD} (Typ O)

Bei einem opaken TWD-Bauteil (Typ O) ist der bauseitige Absorptionsgrad der Massivwand nicht entscheidend. Die Strahlung wird im Bauteil absorbiert. Ein zusätzlicher Wärmewiderstand R_s etwa eines Luftspaltes zwischen Massivwand und Bauteil reduziert den solaren Wärmegegewinn und damit den auf die Außenoberfläche der Massivwand bezogenen g_{TWD} .

$$g_{TWD,k} = \frac{g_{k,B}}{1 + \frac{R_s}{R_B + R_e}} \quad (8)$$

jeweils für k=n,h (normaler und halbräumlicher Strahlungseinfall)

6. Monatliche Effektivwerte

Für das Monatsverfahren nach DIN-V 4108-6:2000 werden effektive monatliche Gesamtenergiedurchlassgrade nach folgender Gleichung und mit Koeffizienten $a_{M,j}$ aus Tabelle 2 ermittelt:

$$g_{TWD,M,j} = g_{TWD,h} - a_{M,j} \cdot g_{TWD,n} \quad (9)$$

mit M=Index für Monat, Heiz/Sommersaison
j=Index für Himmelsrichtung, Orientierung

Tabelle 2: Koeffizienten $a_{M,j}$ zur Berechnung der orientierungsabhängigen monatlichen effektiven Gesamtenergiedurchlassgrade

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S	-0,105	-0,067	-0,023	0,042	0,073	0,089	0,094	0,062	0,005	-0,054	-0,093	-0,105
SW/SO	-0,034	-0,027	-0,010	0,002	0,022	0,037	0,036	0,013	-0,015	-0,025	-0,034	-0,026
W/O	0,054	0,033	0,016	-0,012	-0,005	-0,002	-0,012	-0,007	-0,001	0,024	0,049	0,052
NO/NW	0,002	0,008	0,016	0,030	0,018	0,013	0,013	0,024	0,033	0,014	0,004	0,000
N	0,000	0,000	0,000	0,011	0,021	0,031	0,042	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000

NB: Statt des effektiven Gesamtenergiedurchlassgrades $g_{TWD,M,j}$ kann analog auch der effektive Wirkungsgrad ermittelt werden.

7. Heizperiodenverfahren

Werden Kennwerte für den Gesamtenergiedurchlassgrad beim Heizperiodenverfahren benötigt, so müssen andere effektive Gesamtenergiedurchlassgrade definiert werden.

Aus den Funktionsverläufen des monatlichen effektiven Gesamtenergiedurchlassgrades für die verschiedenen Himmelsrichtungen ist klar ersichtlich, dass auch ein repräsentativer Wert für die Heizsaison abhängig von den Himmelsrichtungen ist.

Entscheidend ist die Erkenntnis, dass bei TWD-Komponenten der Wert g_n alleine nicht zur Bewertung herangezogen werden darf. Dies liegt anschaulich daran, dass die Länge oder die Beschaffenheit von Röhrchen oder Waben in Durchsicht keinen Einfluss auf die Transmission haben (ein Laserstrahl leuchtet auch durch 1m dickes Wabenmaterial ungestört durch). Dagegen ist der Wert für diffuse Einstrahlung g_h charakteristisch. Dieser Wert kann in erster Näherung auch als effektiver g-Wert für die Heizsaison herangezogen werden. Um das unterschiedliche Verhalten bei verschiedenen Himmelsrichtungen zu berücksichtigen, genügt ein Zu- bzw. Abschlagsfaktor z_j entsprechend der Himmelsrichtung j (s. Tabelle 3).

Als Grundgleichung für die solaren Gewinne im Heizperiodenbilanzverfahren dient Gleichung (19) der DIN 4108-6:2000 anstatt (23):

$$\Phi_{s,HP} = \sum_{j(\text{Orientierung})} (I_s)_{HP,j} \times \left(\sum_{i(\text{Bauteil})} F_{F,i} \cdot F_{C,i} \cdot F_W \cdot g_{\perp,i} \cdot A_i \right) \quad (10)$$

Diese Gleichung geht nicht vom effektiven g-Wert, sondern von einem maximalen g-Wert (entspricht g_n) aus. Im Heizperiodenbilanzverfahren ist also implizit eine Reduktion um 15% in den Strahlungsgewinnfaktoren eingerechnet. Daher müssen die dort einzusetzenden Werte rückgerechnet werden. Unter Berücksichtigung der Himmelsrichtungen gilt also:

$$g_{j,HP} = \frac{g_{TWD,h}}{F_W} \cdot z_j \quad (11)$$

Dieser Wert wird mit Hilfe der Gleichungen (7) oder (8) für $g_{TWD,h}$ und Tabelle 3 berechnet und in Gleichung (10) eingesetzt. Ebenso muss der Wärmewiderstand der Wand berücksichtigt werden, so dass sich analog zu (2) ergibt:

$$\Phi_{s,HP} = \sum_{j(\text{Orientierung})} (I_s)_{HP,j} \times \left(\sum_{i(\text{Bauteil})} F_{F,i} \cdot F_{C,i} \cdot g_{TWD,h,i} \cdot z_j \cdot \frac{U_i}{U_{TWD,i}} \cdot A_i \right) \quad (12)$$

Tabelle 3: Multiplikative Faktoren zur Berücksichtigung der Himmelsrichtung bei der Angabe des effektiven g-Werts für die Heizsaison

Himmelsrichtung	Süd	Südost/ Südwest	Ost/ West	Nordost/ Nordwest	Nord
Faktor z_j	1,04	1,02	0,98	0,99	1,00

8. Ausblick

Mit der vorgestellten Richtlinie ist erstmals eine detaillierte Anleitung für den Planer von TWD-Systemen vorhanden, die in eindeutiger und unparteiischer Weise eine Berechnung der Solargewinne innerhalb des Rahmenwerks der neu überarbeiteten DIN-V 4108-6 ausführt. Die Durchführung des Monatsverfahrens ist sicherlich die zu bevorzugende Variante, wenn die Energiegewinne genauer spezifiziert werden sollen. Die einfachere Variante des Heizperiodenverfahrens erlaubt dagegen eine rasche Entscheidung.

Die Schlussredaktion der DIN-V 4108-6:2000 kann unter Umständen noch Änderungen insbesondere der Formelnumerierung mit sich bringen. Aus diesem Grunde werden eventuell Anpassungen auch dieser Richtlinie in einer zukünftigen Auflage berücksichtigt werden müssen. Die wissenschaftlich fundierten Inhalte der Richtlinie werden jedoch davon nicht betroffen sein.

9. Referenzen

- [1] Kerschberger, A., Platzer, W., Weidlich, B.: Transparente Wärmedämmung: Produkte - Projekte - Planungshinweise, Bauverlag, Wiesbaden (1998)
- [2] Platzer, W.J., Sack, N.(*): Energetische Bewertung der Transparenten Wärmedämmung, Studie TOS4-WJP-9705-E01, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (1997), interner Bericht (* Institut für Fenstertechnik e.V. Rosenheim)
- [3] Platzer, W.J.: Energetische Bewertung der Transparenten Wärmedämmung, Bauphysik Heft 2-1999 (1999)
- [4] DIN EN 832 1998-12: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs - Wohngebäude
- [5] DIN-V 4108-6 1995-04: Wärmeschutz im Hochbau -, Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs von Gebäuden
- [6] ISO 9050 1990-02: Glas im Bauwesen; Bestimmung von Lichttransmissionsgrad, direktem Sonnenlichttransmissionsgrad, Gesamtenergiedurchlassgrad der Sonnenenergie und Ultravioletttransmissionsgrad sowie der entsprechenden Verglasungsfaktoren
- [7] DIN EN 410 1998-04: Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen
- [8] Platzer, W.J.: The ALTSET Project - Measurement of Angular Properties for Complex Glazings, Eurosun 2000, 16.-19 Juni 2000, Copenhagen (2000)
sowie: Europäisches Projekt SMT4-CT96-2099 Angular-dependent Light and Solar Energy Transmittance, Synthesis Report, Koordinator W. J. Platzer, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
- [9] Sack, N., Platzer, W.J., Kuhn, T., Beck, A.: Entwicklung einer Referenzmethode zur kalorimetrischen Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades von transparenten und transluzenten Bauteilen REGES; Statusbericht BMBF "Solar optimiertes Bauen" Freiburg, 27.-28. August 1998 (1998)
- [10] Platzer, W.J.: Intercomparison Testing on Conventional Glazings, Interner Bericht ALTSET-1-1998 zum Forschungsvorhaben SMT4-CT96-2099 (1998)
- [11] Platzer, W.J.(Hrsg.): Untersuchungen der Grundlagen des optischen und thermischen Energietransportes bei großflächigen Komponenten mit transparenter Wärmedämmung und Verschattung, Endbericht TOS1-WJP-9711-01 zum Forschungsvorhaben BMBF 0335004M (1997)
- [12] DIN EN ISO 10211 1996-01: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren; Teil 2: Numerische Verfahren (Entwurf)
- [13] DIN EN 673 1999-01: Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U -Wert) - Berechnungsverfahren
- [14] DIN V 4108-4 1998-10: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte
- [15] ISO 9845-1 1992-10: Solar energy - Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions - Part 1: Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass 1,5
- [16] DIN 52619-2 1985-02: Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes und Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern - Messung an der Verglasung
DIN 52612 1979-09: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät
- [17] DIN EN ISO 6946 1996-11: Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren
- [18] DIN-V 4108-6:2000: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Berechnung des Jahresheizwärme-, des Jahresheizenergie- und Primärenergiebedarfs

10. Anhang

In diesem Anhang soll exemplarisch die Berechnung der Kennwerte einer TWD-Solarwand aufgezeigt werden. Es wird ein transparentes TWD-Bauteil (Typ T) betrachtet, das mit einem Luftspalt zum Ausgleich von Unebenheiten der Massivwand montiert wird. Es befindet sich vor dem schwarz gestrichenen Absorber, der Außenwandoberfläche (unverputzt) der Massivwand

Systemtyp T
 Luftspalt ja, 7mm
 Hinterlüftung nein

Die gemessenen Bauteilkennwerte lauten wie folgt:

Kennwerte des TWD-Bauteils

R_B	1,20 m ² K/W
$\tau_{e,n,B}$	0,60
$\tau_{e,h,B}$	0,48
$g_{n,B}$	0,66
$g_{h,B}$	0,55

Die Massivwand hat folgenden Aufbau (von innen nach außen):

Aufbau Massivwand

Dicke	Wärmeleitf.	Dichte	R	Bezeichnung
[mm]	[W/(mK)]	[kg/m ³]	[m ² K/W]	
20	0,7	1400	0,029	Kalkgipsputz
240	1,0	1800	0,242	Kalksandstein
Gesamt			0,272	

Damit ergibt sich für die Massivwand:

Kennwerte der Massivwand

R_W	0,272 m ² K/W
α_0	0,95

Die benutzten Wärmeübergangswiderstände nach DIN 4108 lauten:

R_{si}	0,13 m ² K/W	DIN-V 4108 Teil 4
R_{se}	0,04 m ² K/W	DIN-V 4108 Teil 4
R_s	0,13 m ² K/W	DIN EN ISO 6946

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der transparenten vorgesetzten TWD-Schale und des gesamten Wandaufbaus werden damit berechnet:

U_{TWD}	0,730 W/(m ² K)	Formel (6)
U	0,565 W/(m ² K)	Formel (6)

Die Berechnung des System-Gesamtenergiedurchlassgrades g_{TWD} für den Typ T berücksichtigt den Absorptionsgrad der Wand; da dieser größer als 0,90 ist, kann die vereinfachte Berechnung nach Gleichung (7a) angewandt werden:

Fall $\alpha_0=0,9$

$g_{TWD,n}$	0,627	Formel (7a)
$g_{TWD,h}$	0,523	Formel (7a)

Die etwas aufwendigere Berechnung nach Gleichung (7b) (rückseitige Reflexion auf Null gesetzt) ergibt ein kaum unterschiedliches Ergebnis, belegt also die Berechtigung der Näherung in diesem Fall:

Fall $\alpha_0 < 0,9$

$g_{TWD,n}$	0,632	Formel (7b)
$g_{TWD,h}$	0,528	Formel (7b)

Die effektiven Monatswerte $g_{TWD,j,M}$ für den Monat M und die Orientierung j sind:

M j	S	SW/SO	W/O	NO/NW	N
Januar	0,588	0,544	0,489	0,521	0,523
Februar	0,565	0,539	0,502	0,517	0,523
März	0,537	0,529	0,512	0,512	0,523
April	0,496	0,521	0,530	0,504	0,516
Mai	0,477	0,509	0,526	0,511	0,509
Juni	0,467	0,499	0,524	0,514	0,503
Juli	0,464	0,500	0,530	0,514	0,496
August	0,484	0,514	0,527	0,507	0,515
September	0,519	0,532	0,523	0,502	0,523
Oktober	0,556	0,538	0,507	0,514	0,523
November	0,581	0,544	0,492	0,520	0,523
Dezember	0,588	0,539	0,490	0,523	0,523

Der effektive Wert für das Heizperiodenverfahren $g_{TWD,h}z_j$ lautet:

HP j	S	SW/SO	W/O	NO/NW	N
Heizperiode	0,543	0,533	0,512	0,517	0,523