

Transparente Wärmedämmung

Berechnung der solaren Wandheizung nach EnEV 2002 - Monatsverfahren

Informationsmappe 6

Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V.

1. EINLEITUNG

Die Grundlagen für die Berechnung der solaren Energiegewinne der solaren Wandheizung mit Transparenter Wärmedämmung (TWD) sind in der Richtlinie des Fachverbandes Transparente Wärmedämmung e.V. „Bestimmung des solaren Energiegewinns durch Massivwände mit transparenter Wärmedämmung“ vom April 2000 dargelegt.

Durch die neue Energieeinsparverordnung (EnEV) 2002 werden Rechenverfahren vorgegeben, mit denen der Heizenergiebedarf sowie der Heizwärmebedarf von Gebäuden bestimmt werden kann.

In der zugrundeliegenden Norm, der DIN 4108-Teil 6:2000 [3], werden in Abschnitt 6.4.5 Solare Wärmeenergiegewinne über opake Bauteile einschließlich transparenter Wärmedämmung beschrieben. In diesem Abschnitt findet sich auch der Hinweis auf das detaillierte Verfahren in der oben erwähnten Richtlinie [1], insbesondere des monatsabhängigen speziellen Gesamtenergiedurchlassgrades der Transparenten Wärmedämmung.

Leider sind bei bisher realisierten einfachen Rechenhilfen, soweit uns bekannt, diese Formeln der Transparenten Wärmedämmung nicht implementiert worden. Ebenso fehlen auch andere speziellere Systeme wie unbeheizte Glasvorbauten oder Trombewände.

Beispiele für diese oft frei verfügbaren Rechenprogramme aus dem Internet lassen sich unter den Internetadressen www.enev.de und www.enev-online.de finden.

Es ist nun durchaus möglich, mit diesen Tools die solare Wandheizung mit Transparenter Wärmedämmung zu berechnen, wenn man Eingabedaten entsprechend der Formeln uminterpretiert und aus den physikalischen Kennwerten der TWD-Bauteile berechnet. Die Basis hierfür ist immer das Monatsverfahren nach DIN 4108-6 [3]. Um dies für den Planer zu vereinfachen, stellt der Fachverband diese Dokumentation des Verfahrens sowie ein Excelrechenblatt zur Verfügung, das die notwendigen Umrechnungen automatisch vornimmt.

Es soll aber nicht verschwiegen werden, dass auf Grund der notwendigen Vereinfachungen das in der Richtlinie beschriebene genauere Verfahren damit nicht erfüllt ist. Die dort notwendigen orientierungsabhängigen monatlichen Gesamtenergiedurchlassgrade werden durch einen Pauschalwert ersetzt, den Gesamtenergiedurchlassgrad für diffus-hemisphärische Einstrahlung. Dieser ist für südorientierte Flächen im Winter allerdings deutlich niedriger (bis zu 15%), im Sommer höher als der exakte monatliche Durch-

schnittswert. Er berücksichtigt nicht den tatsächlichen Sonnenstand. Daher werden Solargewinne im Winter i.a. unterschätzt, im Sommer überschätzt.

2. Bestimmung des solaren Wärmegewinnes der solaren Wandheizung

In [3] wird als Basisgleichung für die opaken Bauteile die Gleichung (60) als Summe von zwei Bestandteilen geschrieben, einmal den solaren Gewinnen auf Grund von Absorption an der Außenoberfläche des opaken Bauteils (z.B. Putz oder Klinkeroberfläche), zum zweiten die erhöhten Wärmeabstrahlungsverluste auf Grund des kalten, klaren Himmels. Der zweite Teil ist in der Realität auch bei Fenstern zu beobachten, in der Norm wurde er dafür jedoch vergessen. Beide Bestandteile werden - etwas unlogisch - zusammen als „solarer Wärmegewinn“ bezeichnet, obwohl der zweite Teil besser als additives Element zu den Wärmeverlusten passen würde.

Die Gleichung in der gültigen Form lautet

$$Q_{S,op} = U \cdot A_j \cdot R_{se} \cdot (a \cdot I_{sj} - F_f \cdot h_r \cdot \Delta q_{er}) \cdot t \quad (1)$$

wobei

U	[W/m ² K]	U-Wert des gesamten Bauteils inklusiver äußerem und innerem Wärmeübergang
A _j	[m ²]	Gesamtfläche des Bauteils in Orientierung j
R _{se}	[m ² K/W]	äußerer Wärmeübergangswiderstand 0,04 (m ² K)/W
α	[1]	Absorptionskoeffizient des Bauteils
I _{sj}	[W/m ²]	globale Sonneneinstrahlung der Orientierung j
F _f	[1]	Formfaktor zwischen Bauteil und Himmel (0,5 für senkrechte Wände)
h _r	[W/m ² K]	äußerer Abstrahlungskoeffizient (näherungsweise 4 W/m ² K)
Δθ _{re}	[K]	mittlere Temperaturdifferenz zwischen Umgebungsluft und scheinbarer Himmelstemperatur (laut Norm darf Δθ _{re} =10K gesetzt werden)
t	[h]	Dauer des Berechnungszeitraumes (Monat)

Für opake Bauteile mit transparenter Wärmedämmung gilt eine sehr ähnliche Gleichung (62) mit (64), die sich jedoch in wichtigen Details unterscheidet:

$$Q_{S,TWD} = U \cdot A_j \cdot \left(\frac{\alpha \cdot g_{TWD}}{U_{TWD}} F_S \cdot F_F \cdot I_{sj} - R_{se} \cdot F_f \cdot h_r \cdot \Delta q_{er} \right) \cdot t \quad (2)$$

wobei

g_{TWD}	[-]	der Gesamtenergiedurchlassgrad der transparenten Wärmedämmung nach Prüfzeugnis (eine Umrechnung mit F_w ist nicht erforderlich)
U_{TWD}	[W/m ² K]	der Wärmedurchgangskoeffizient aller äußerer Schichten, die vor der absorbierenden Oberfläche liegen, $U_{TWD} = R_{TWD}^{-1}$
F_S	[-]	Verschattungsfaktor
F_F	[-]	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil

In der Norm wird darauf hingewiesen, dass bei speziellen transparenten Wärmedämmsystemen die Solargewinne nicht nach Gleichung (2) ermittelt werden können. Näheres sei in [1] beschrieben.

Dies liegt im wesentlichen an der Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades und des Wärmewiderstands der Bauteile der transparenten Wärmedämmung in der Praxis.

- Manche Systeme (wie z.B. das Transparente Wärmedämmverbundsystem StoTHERM oder das modulare System SOLFAS haben im Produkt bereits den Solarabsorber integriert - die Produkte als solche lassen kein Licht mehr durch sondern absorbieren komplett die Sonnenstrahlung. Bei einer Prüfung des Gesamtenergiedurchlasses ist daher dieser Absorptionsgrad bereits mit inbegriffen. Die Färbung der Wand hinter dem Bauteil ist völlig unwichtig. Deshalb muss der Absorptionsgrad α aus der Gleichung (2) entfernt werden.
- Auch für transparente Systeme ist die Produktsetzung $g_{TWD} \cdot \alpha$ nicht richtig, wenn der Gesamtenergiedurchlassgrad zu einem substantiellen Teil aus sekundärem Wärmeabgabegrad besteht (was übrigens auch bei Wärmeschutzverglasungen der Fall ist) - dieser wird ebenfalls durch die Farbe der Wand nicht beeinflusst
- Um eine eindeutige Systemschnittstelle zu schaffen, hat der Fachverband als Grenze des TWD-Systems die nach außen weisende Wandoberfläche der hinter der TWD

liegenden Massivwand definiert. In den meisten Fällen wird sich hier aus Gründen der Bauteiltoleranz ein nicht belüfteter Luftspalt befinden, das Bauteil kann jedoch auch direkt aufgeklebt sein. Der Widerstand dieses Luftspaltes muss im Wärmedurchgangskoeffizienten UTWD berücksichtigt sein, aber auch im effektiven Gesamtenergiedurchlassgrad (der aussagt, welche Energiemenge der solaren Einstrahlung an der Wandoberfläche ankommt).

- Im Detail sind diese genauen Definitionen und Festlegungen in der Richtlinie beschrieben. An dieser Stelle soll daher nur eine Form der Gleichung (2) dargestellt werden, die diese Bemerkungen berücksichtigt.

$$Q_{S,TWD} = U \cdot A_j \cdot (g_{TWD} \cdot R_{TWD} \cdot F_F \cdot I_{sj} - R_{se} \cdot F_f \cdot h_r \cdot \Delta q_{er}) \cdot t \quad (3)$$

Aus der Gleichsetzung von Gleichung (1) mit (3) erkennt man, dass

- a) der Wärmeabstrahlungsverlust identisch ist
- b) der solare Energiegewinn der TWD um den Faktor $\frac{g_{TWD} \cdot R_{TWD} \cdot F_F}{\alpha \cdot R_{se}}$ größer ist.

Setzt man also für die Absorption α der Außenoberfläche eines opaken Bauteils den Wert

$\frac{g_{TWD} \cdot R_{TWD} \cdot F_F}{R_{se}}$ ein, so erhält man mit Formel (1) der solaren Energiegewinn der TWD

nach Formel (3). Ein Verschattungsfaktor F_s - der für beide Gleichungen (1) und (3) gelten müsste - kann leider in den meisten Programmen nicht berücksichtigt werden.

Der Unterschied zur Richtlinie besteht nunmehr nur noch darin, dass in den Programmen α als konstant angenommen wird und daher nur als Konstante eingegeben werden kann, während doch die Strukturen der TWD mit ihrer großen Winkelabhängigkeit große Abhängigkeiten von Betrachtungszeitraum und Orientierung haben. Die Konstante, die am besten den Jahresmittelwert für alle TWD-Systeme beschreibt, ist der diffus-hemisphärische Gesamtenergiedurchlassgrad, der deswegen in die Gleichungen (3) bzw. (1) eingesetzt werden muss.

Es ist zu beachten, dass der Wärmewiderstand $RTWD$ für das TWD-Bauteil gilt, und nicht Effekte des Rahmens beinhaltet. Der solare Energiegewinn wird durch den Rahmenanteil $1-F_F$ reduziert. Im Bereich des Rahmens wird kein Energiegewinn angesetzt.

3. Bestimmung des Wärmeverlustes der solaren Wandheizung

Der Wärmedurchgangskoeffizient U der gesamten Wandkonstruktion inklusive TWD-Bauteil, Rahmenkonstruktion und Massivwand sollte entsprechend der aktuell gültigen Normen bestimmt werden. Für inhomogene Bauteile ist bietet die DIN EN ISO 6946 ein mögliches Verfahren, den Wärmedurchgangskoeffizient zu berechnen. Ein alternatives Verfahren wäre, den U -Wert des ungestörten TWD-Bauteils zu benutzen und die Rahmenkonstruktion als Wärmebrücke zu berechnen.

Die exakten Strukturen innerhalb eines TWD-Bauteils sind im allgemeinen nicht bekannt. Daher sollte das TWD-Bauteil in diesem Fall als homogener Block in der inhomogenen Konstruktion mit Wärmewiderstand R_B (Bauteilwiderstand) und Bauteildicke d berechnet werden - für das Rechenverfahren kann man daraus eine effektive Wärmeleitfähigkeit bestimmen. Der mögliche Luftspalt zwischen TWD und Wand wird als Luftschicht betrachtet. Die Situation ist hier analog zu einem inhomogenen Holzständerbauteil. Sind weitere Details des TWD-Bauteils bekannt, so lässt sich entsprechend genauer der Wärmedurchgangskoeffizient durch Simulation (z.B. mit den zweidimensionalen Wärmeleitungsprogrammen Kobru oder THERM) bestimmen. Die Basis für diese Rechnungen sind die Normen DIN EN ISO 10077-1 und E DIN EN ISO 10077-2 für fensterähnliche Systeme (Verglasungen mit TWD-Füllung und Rahmenprofil) sowie allgemeiner für linienförmige Wärmebrücken E DIN EN ISO 10211-2.

4. Beispielrechnung

Im folgenden soll kurz ein fiktives Beispiel dargestellt werden, um das Vorgehen zu illustrieren. Das Beispiel wird mit dem auf der Internetseite des Fachverbandes verfügbaren Excel-Rechenblatt durchgeführt.

Zuerst werden im Blatt „Geometrie“ die Felddaten der solaren Wandheizung eingegeben. Es ergeben sich 4 Felder mit einer Gesamtfläche von 10m² und einem Rahmenanteil von 13.9%.

Geometriedaten des Feldes

Anzahl TWD-Bauteile:

4



Geometriedaten eines TWD-Bauteils

Höhe des TWD-Bauteils:

H_B = 250 cm

Breite des TWD-Bauteils:

B_B = 100 cm

Höhe Rahmen oben:

H_{F,t} = 8 cm

Höhe der effektiv solar aktiven Fläche:

H_{eff} = 234 cm

Höhe Rahmen unten:

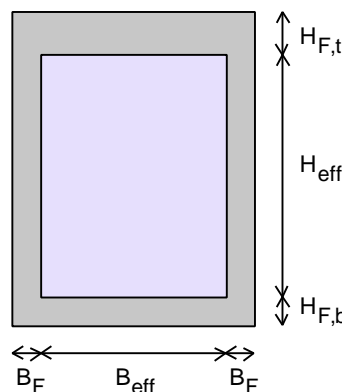
H_{F,b} = 8 cm

Breite Rahmen (1 Seite):

B_F = 4 cm

Breite der effektiv solar aktiven Fläche:

B_{eff} = 92 cm



Flächendaten des TWD-Bauteils	
A _B	= 2.500 m ²
A _{B,eff}	= 2.153 m ²
A _{B,F}	= 0.347 m ²
F _F	= 0.861

Flächendaten des TWD-Feldes	
A _{Feld}	= 10.000 m ²
A _{Feld,eff}	= 8.611 m ²
A _{Feld,F}	= 1.389 m ²
Rahmenanteil	13.9 %

In realen Projekten schwanken die Rahmenanteile an der Fläche typischerweise zwischen 10% und 20%, je nach Modulgröße.

Im weiteren wird im Blatt „Systemkennwerte“ die Art der solaren Wandheizung festgelegt. Es wird ein transparentes TWD-System gewählt, die Bauteilkennwerte (z.B. vom Hersteller) werden in die gelb unterlegten Felder eingetragen, ebenso der Rahmenanteil aus dem Geometrieblatt (manuell, da ggf. separate Rechnung).

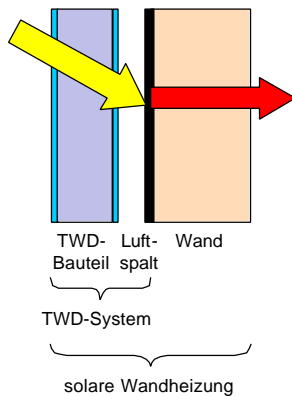
Berechnung der Systemkennwerte

1. Eingabe der Konstruktion

Konstruktionsart:
Wandoberfläche als Absorber (bitte linke Spalte ausfüllen)



Fall 1: Absorber auf Wand



Kennwerte TWD-Bauteil

- $g_{h,B}$ = 0.60
- $g_{h,B}$ = 0.45
- $\tau_{n,B}$ = 0.38 (vgl. Bem. unten)
- $\tau_{h,B}$ = 0.29 (vgl. Bem. unten)
- R_B = 1.10 m²*K/W

Kennwert Luftspalt

R_{sp} = 0.15 m²*K/W (vgl. Bem. unten)

Kennwert Absorber

α = 0.95 (vgl. Bem. unten)

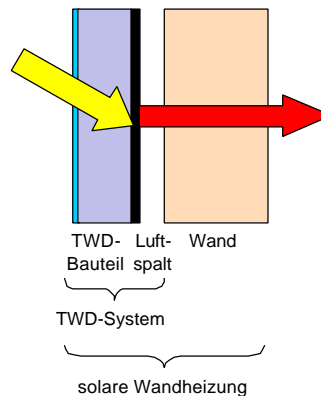
Kennwert Wand

R_W = 0.198 m²*K/W

Rahmenanteil an gesamter TWD-Fläche (z.B. aus dem Blatt "Geometrie")

13.9 %

Fall 2: Absorber im TWD-Bauteil integriert



Kennwerte TWD-Bauteil (inkl. Absorber)

- $g_{h,B}$ = 0.59
- $g_{h,B}$ = 0.40
- R_B = 1.18 m²*K/W

Kennwert Luftspalt

R_{sp} = 0 m²*K/W (vgl. Bem. unten)

Kennwert Wand

R_W = 0.177 m²*K/W

15 %

Der Wärmewiderstand der Wand resultiert von 175mm Kalksandstein ($\lambda=0.99$ W/mK) und 15mm Innenputz ($\lambda=0.7$ W/mK). Der Widerstand eines 10mm Luftspalts entspricht nach

DIN EN ISO 6946 dem Wert von $0.15 \text{ m}^2\text{K/W}$. Eine schwarz gestrichene Wand hat als Absorptionsgrad 95%.

Die resultierenden Systemkennwerte werden auch gleich umgerechnet für die Eingabe in das EnEV-Datenblatt:

2. Systemkennwerte

Gewählte Konstruktionsart:
Wand als Absorber, transparentes TWD-Bauteil Typ T

Vereinfachte Kennwerte zur Berechnung der solaren Wandheizung als "opakes Bauteil" in Rechenverfahren nach EnEV 2002

Wichtige Systemkennwerte:	
$g_{\text{TWD},n}$	= 0.585
$g_{\text{TWD},h}$	= 0.440
U_{SWH}	= $0.62 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
FF	= 0.86

Kennwerte "opakes Bauteil"	
α_e	= 12.21
U	= $0.62 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Nützlicher Planungswert:	
$R_{\text{TWD}}/R_{\text{SWH}}$	= 0.80

Bemerkung:

Der Wert U bzw. U_{SWH} gilt nur für das Bauteil ohne Rahmen; der mittlere U-Wert für das gesamte inhomogene Bauteil mit Rahmen muss nach DIN EN ISO 6946 berechnet werden; alternativ können die Wärmebrücken im Nachweis separat angesetzt werden. (s. Beispielrechnung auf Blatt "U-Wert")

Equivalenten Wärmeleitfähigkeit des TWD-Bauteiles für Rechnung nach DIN EN ISO 6946

Dicke = 100 mm $\Rightarrow \lambda_{\text{eff}} = 0.091 \text{ W}/(\text{mK})$

Da in unserem Beispiel der U-Wert des gesamten Bauteils benutzt werden soll, und keine Wärmebrückenverlustkoeffizienten bestimmt werden sollen, wird die effektive Wärmeleitfähigkeit des TWD-Bauteils mit einer Dicke von 100mm in das Blatt „U-Wert“ eingetragen.

In diesem Blatt wird auf der Massivwand (Kalksandstein und Putz) eine einfache Holzrahmenkonstruktion angenommen, in dessen Ausfachung das TWD-Bauteil eingestellt sei.

Es ergibt sich ein mittlerer U-Wert von $0.65 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

In einem Rechenblatt für ein EnEV-Monatsverfahren wird nun die solare Wandheizung mit Transparenter Wärmedämmung als opake Wand AW4 (im Beispiel Zeile 9) eingetragen - dort werden Fläche und U-Wert benötigt:

Bei Verwendung der Tabulator-Taste springt der Cursor automatisch nur in die Zellen, in die anwenderseitig Eintragungen gemacht werden können. Diese Zellen können auch markiert werden (siehe Schaltfläche rechts).

Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV-Entwurf 13.7.2001) - Wohngebäude - MONATSBILANZ -							
Objekt: <i>Beispielgebäude Einfamilienhaus mit TWD</i>							
1. Gebäudedaten							
1	Volumen (Außenmaß) [m³] $V_e = 459.0$						
2	Nutzfläche [m²] $A_{Nl} = 0,32 * V_e = 0,32 * 459.00 = 146.9$						
	A/V _e -Verhältnis [1/m] $A / V_e = 389.50 / 459.00 = 0.85$						
2. Wärmeverlust							
2.1 Transmissionswärmeverlust [W/K]							
5	Bauteil	Kurzbezeichnung	Fläche A _i [m²]	Wärmedurchgangskoeffizient U _i [W/(m²K)]	U _i * A _i [W/K]	Temperatur-Korrekturfaktor F _{xi} [-]	U _i * A _i * F _{xi} [W/K]
6	Außenwand <small>(Orientierung: siehe Zeilen 60-65)</small>	AW 1	30.30	0.20	6.06	1	6.06
7		AW 2	13.30	0.20	2.66	1	2.66
8		AW 3	50.70	0.20	10.14	1	10.14
9		AW 4	10.00	0.65	6.50	1	6.50
10		AW 5				1	
11		AW 6				1	

Im Bereich „solare Wärmegewinne“ wird dann für die Außenwand AW4 (hier: in Zeile 63) der Faktor α eingetragen. Als Ausrichtung wird „Süd-90°“ eingestellt. Alle weiteren Parameter und Größen werden automatisch berechnet. Die solaren Wärmegewinne werden entsprechend den Formeln aus den vorigen Abschnitten berücksichtigt.

3.2 Solare Wärmegewinne opaker Bauteile Q _{s,o} [kWh/a]								
57	Orientierung/Neigung	Kurzbezeichnung	Fläche A _i [m²]	Strahlungsabsorptionsgrad ⁵⁾ α _i [-]	übrige Parameter U _i * R _e [-]	F _{i,i} * h * Δt _{er} [W/m²]	Strahlungsintensität I _{s,i,M} [W/m²]	
60	Nord - 90°	AW 1	30.3	0.50	0.008	20	Monatswerte werden nicht dargestellt	
61	Süd - 90°	AW 2	13.3	0.50	0.008	20		
62	Ost/West - 90°	AW 3	50.7	0.50	0.008	20		
63	Süd - 90°	AW 4	10	12.20	0.026	20		
64		AW 5		0.50				
65		AW 6		0.50				
66	Ost/West - 90°	T 1	2.1	0.50	0.072	20		
67	Ost/West - 45°	D 1	84.9	0.80	0.007	40		
68		D 2		0.80				
69		D 3		0.80				
70		D 4		0.80				
71	Solare Wärmegewinne über opake Bauteile:		$\Phi_{s,o,M} = \sum (U_i * A_i * R_e * (\alpha_i * I_{s,i,M} - F_{i,i} * h * \Delta t_{er}))$			[W]	$\Phi_{s,o,M} =$	Monatswerte
72			$Q_{s,o,M} = \sum (0,024 * \Phi_{s,o,Mi} * t_{M})$				$Q_{s,o,M} =$	Monatswerte

Damit kann das Gebäude mit TWD fertig berechnet werden.

Literatur

- [1] *W.J. Platzer, Richtlinie „Bestimmung des solaren Energiegewinns durch Massivwände mit transparenter Wärmedämmung“, 2. Auflage, Gundelfingen (April 2000)*
- [2] *Energieeinsparverordnung EnEV: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (November 2001)*
- [3] *DIN-V 4108-6:2000-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs (November 2000)*
- [4] *DIN-V 4701-10:2001-02: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung (Februar 2001)*
- [5] *DIN EN ISO 6946:1996, Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchlasskoeffizient - Berechnungsverfahren*
- [6] *E DIN EN ISO 10077-1:1998, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Vereinfachtes Verfahren*
- [7] *E DIN EN ISO 10077-2:2000, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren*
- [8] *E DIN EN ISO 10211-2:1995, Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 2: Berechnungsverfahren für linienförmige Wärmebrücken*
- [9] *Platzer W.J. (1999). Energetische Bewertung von Transparenter Wärmedämmung. Bauphysik, Band 21, Heft 2, pp. 67-76.*
- [10] *Ochs M., Haller A., Simmler H. H. (2000). A simple method to calculate the heat gains of solar wall heating with transparent insulation. Third ISES Europe Solar Congress EuroSun 2000, 19.-22. Juni, Kopenhagen, Dänemark.*