

ICS 91.120.10		VDI-RICHTLINIEN		Marz 2012 March 2012	
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE		Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden Fenstermodell Calculation of transient thermal response of rooms and buildings Modelling of windows		VDI 6007 Blatt 2 / Part 2 Ausg. deutsch/englisch Issue German/English	
Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.		The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.			
Inhalt		Seite	Contents		Page
Vorbemerkung		2	Preliminary note		2
Einleitung		2	Introduction		2
1 Anwendungsbereich		3	1 Scope		3
2 Normative Verweise		5	2 Normative references		5
3 Begriffe		6	3 Terms and definitions		6
4 Formelzeichen, Indices und Abkürzungen		6	4 Symbols, subscripts and abbreviations		6
5 Energetische Kenngrößen		9	5 Energetic characteristics		9
5.1 Gesamtenergiedurchlassgrad g		10	5.1 Total energy transmittance g		10
5.2 Wärmedurchgangskoeffizient U		10	5.2 Thermal transmittance U		10
5.3 Inward Flowing Fractions		11	5.3 Inward flowing fractions		11
6 Berechnungsverfahren		12	6 Calculation procedure		12
6.1 Grundlagen		12	6.1 Fundamentals		12
6.2 Geschlossene Lösung		12	6.2 Analytical solution		12
6.3 Gliederung		13	6.3 Structure		13
7 Strahlungsphysikalische Berechnungen		13	7 Radiation calculations		13
7.1 Solarspektrum		14	7.1 Solar spectrum		14
7.2 Zwei-Bereichs-Modell		15	7.2 Two-range model		15
7.3 Strahlungsphysikalische Kenngrößen der Schichten		16	7.3 Radiation characteristics of the layers		16
7.4 Umrechnung strahlungsphysikalischer Kenngrößen		17	7.4 Conversion of radiation characteristics		17
7.5 Strahlungsreflexion, -absorption und -transmission		17	7.5 Radiation reflection, absorption and transmission		17
7.6 Kennwerte für Lamellensysteme		19	7.6 Characteristics for lamellae systems		19
8 Thermische Berechnungen		23	8 Thermal calculations		23
8.1 Konvektiver Wärmeübergang		24	8.1 Convective heat transfer		24
8.2 Thermische Strahlung		24	8.2 Thermal radiation		24
8.3 Durchlüftung		25	8.3 Ventilation		25
8.4 Wärmedurchlasskoeffizienten Λ und Λ_v		26	8.4 Thermal conductances Λ and Λ_v		26
8.5 Gleichungssystem zur Ermittlung des sekundären Wärmeabgabegrads q_i		26	8.5 Set of equations for determining the secondary heat transfer factor q_i		26
8.6 Kenngrößen für Zwischenräume		29	8.6 Characteristics for interstices		29
8.7 Kenngrößen für feste Schichten		35	8.7 Characteristics of solid layers		35
8.8 Einfallswinkel der Solarstrahlung (informativ)		37	8.8 Angle of incidence of solar radiation (for information only)		37
8.9 Zusätzlicher Wärmeeintrag bei Fensterlüftung und gleichzeitig geschlossenem außen liegendem Sonnenschutz (informativ)		38	8.9 Additional thermal input through window ventilation with the external sunshading closed (for information only)		38
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)					
Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung					
VDI-Handbuch Raumluftechnik VDI-Handbuch Wärme-/Heiztechnik					

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

9 Rahmen und Profile bei komplexen Fassaden	38
10 Schnittstelle mit VDI 2078, VDI 6007 Blatt 1 und Blatt 3	39
11 Validierung	39
Anhang	41
A1 Ablaufpläne	41
A2 Randbedingungen	47
A3 Kennwerte für Zwischenräume	47
A4 Kennwerte für feste Schichten	48
A5 Solare Kennwerte für Fensterkombinationen	48
Schrifttum	76

9 Frames and profiles of complex facades	38
10 Interface to VDI 2078, VDI 6007 Part 1 and Part 3	39
11 Validation	39
Annex	58
A1 Flow charts	58
A2 Boundary conditions	64
A3 Characteristics of interstices	64
A4 Characteristics for solid layers	65
A5 Solar characteristics for window combinations	65
Bibliography	76

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Diese Richtlinie dient als Baustein in der Neuordnung der Rechenverfahren zur Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden. Zweck dieser Neuordnung ist die Trennung der Richtlinien entsprechend ihrem Aufgabenbereich. So enthalten die neuen Kühllastregeln die Definitionen und Festlegungen der Parameter und Randbedingungen, unter denen die Kühllast zu bestimmen ist. Die Verfahren für die thermisch-energetische Berechnung (Rechenmodelle) sind getrennt nach ihrer Aufgabenstellung in VDI 6007 eingeordnet.

Blatt 1 Raummodell (als Rechenkern)

Blatt 2 Fenstermodell

Blatt 3 Einstrahlungsrechnung

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/6007.

Diese Zentralisierung der Rechenverfahren in VDI 6007 hat den Vorteil, dass andere Richtlinien

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

Introduction

This guideline is a component of the reorganisation of the procedures for calculating the transient thermal response of rooms and buildings. The reorganisation aims to make a clear distinction between the guidelines with respect to their scope. This means, for instance, that the new cooling-load rules contain the definitions and specifications regarding the parameters and boundary conditions under which the cooling load is to be determined. The procedures for thermal/energetic calculations (calculation models) have been incorporated into VDI 6007 in accordance with their tasks.

Part 1 Room model (as calculation core)

Part 2 Window model

Part 3 Calculation of radiant load

A catalogue of all available parts of this series of guidelines can be accessed on the internet at www.vdi.de/6007.

Centralising the calculation procedures in VDI 6007 is advantageous in that other guidelines

auf diese Verfahren verweisen und mehrfache Bearbeitungen vermieden werden. So wird z.B. in VDI 2067 auf die VDI 6007 verwiesen. Abgesehen von einer besseren Übersichtlichkeit wird damit eine Vereinheitlichung der wichtigsten Rechenverfahren erreicht.

In der Richtlinie VDI 6007 Blatt 1 wird das instationäre thermische Verhalten von Räumen und Gebäuden behandelt. Sie bildet den Rechenkern sowohl für die in Vorbereitung befindliche Neuausgabe der Richtlinie VDI 2078 als auch für die in Überarbeitung befindliche VDI 2067.

1 Anwendungsbereich

Aktuelle Fassaden und Fenstergrößen erfordern eine detaillierte Betrachtung. Die sommerliche Temperaturentwicklung in Gebäuden wird dabei durch die energetischen Fassadenkenngrößen maßgeblich bestimmt. War in früheren Zeiten eine auf Abminderungsfaktoren basierende einfache Berechnung der äußeren Kühllasten (vgl. VDI 2078:1996) in praktisch allen Fällen ausreichend, so sind heute vielfach genauere Berechnungen erforderlich. Dieser Entwicklung wird mit der vorliegenden Richtlinie Rechnung getragen.

Ziel der neuen Richtlinie VDI 6007 Blatt 2 ist es, dem Planer ein leistungsfähiges Werkzeug zur Berechnung energetischer Kenngrößen, speziell des für die sommerlichen Kühllasten entscheidenden Gesamtenergiedurchlassgrads an die Hand zu geben. Das energetische Verhalten moderner transparenter Fassaden wird verständlich und es können entsprechende energetische Tabellenwerte für VDI 2078 erstellt werden.

Um sowohl konvektive Lasten als auch Strahlungslasten geeignet berücksichtigen zu können, müssen diese entsprechend unterschieden werden. Insofern ist es wichtig, die Komponenten des Gesamtenergiedurchlassgrads, das heißt

- Strahlungstransmissionsgrad und
- sekundären Wärmeabgabegrad,

sowie eine eventuelle zusätzliche Raumbelastung aufgrund Durchlüftung wie im Falle eines innen liegenden Sonnenschutzes getrennt zu ermitteln. Der Strahlungstransmissionsgrad beschreibt die durch das Fenster in den Raum eintretende kurzwellige Strahlung und kann ebenso wie die Strahlungsabsorption in den einzelnen Schichten des Fensters zunächst ohne Betrachtung des Wärmetransports ermittelt werden. Die Absorption wirkt sodann allerdings als Wärmequelle, die die thermischen Transportvorgänge innerhalb des Fensters antreibt und in der Folge für die sekundäre Wärmeabgabe zum Raum hin verantwortlich ist. Eine

can refer to this guideline, thus avoiding working on the same subject in several places. As an example, VDI 2067 refers to VDI 6007. In addition to improving the user's access to the topic, it is a bonus that the most important calculation procedures are thus harmonised.

The guideline VDI 6007 Part 1 describes the transient thermal response of rooms and buildings. It is the calculation core both for the new edition of the guideline VDI 2078 (to be published) and the guideline VDI 2067 (under revision).

1 Scope

Current facades and window sizes call for detailed considerations. The temperature development in buildings in summer is essentially influenced by the energetic characteristics of their facades. Whereas previously a simple calculation of the external cooling loads, based on reduction factors (see VDI 2078:1996), was sufficient in almost any case, more precise calculations will often be required today. This trend has been taken into account in this guideline.

The new guideline VDI 6007 Part 2 aims to offer the planner a powerful tool for calculating energetic characteristics, especially for the total energy transmittance which is decisive for summertime cooling loads. The energetic behaviour of contemporary transparent facades becomes comprehensible, and pertinent energetic characteristic values can be tabulated for VDI 2078.

For convective as well as radiant loads to be considered properly, a pertinent distinction has to be made. This means that it is important to separately determine the components of the total energy transmittance, i.e.

- radiation transmittance and
- secondary heat transfer factor,

as well as any additional room load due to ventilation as is the case with internal sunshading. The radiation transmittance characterises the short-wavelength radiation transmitted through the window into the room. Like radiation absorption in the individual layers of the window, it can initially be determined without considering heat transport. However, absorbed radiation then acts as a heat source driving thermal transport processes within the window and, consequently, secondary heat transfer to the room. Such a calculation offers the advantage that the secondary heat transfer can be distinguished into

derartige Berechnung bietet den Vorteil, dass die sekundäre Wärmeabgabe unterschieden werden kann in

- Wärmestrahlung,
- Konvektion und
- Lüftung.

Mit den angegebenen Gleichungen ist es möglich, Fassaden mit bis zu fünf festen Schichten, z. B.

- Glasscheiben,
- Gewebe und/oder
- Lamellensonnenschutz

mit dazwischen liegenden, nicht durchlüfteten oder durchlüfteten Spalten (Zwischenräumen) zu berechnen. Bezüglich des Lamellensonnenschutzes werden ausgehend vom Lamellenmaterial zunächst energetische Kenngrößen der gesamten Anordnung (vergleichbar einer festen Schicht) abgeleitet (siehe Bild 1).

Mit den Gleichungen für fünf feste Schichten können die Kombinationen

- Doppelverglasung oder Dreifachverglasung
- Sonnenschutz innen/außen (Screen oder Lamelle)

und durch eine zusätzliche Scheibe auch

- doppelschalige Fassaden und
- Abluftfassaden

abgedeckt werden.

Grundsätzlich ist dieses Verfahren nicht auf fünf feste Schichten begrenzt, sondern kann auf beliebig viele feste Schichten übertragen werden.

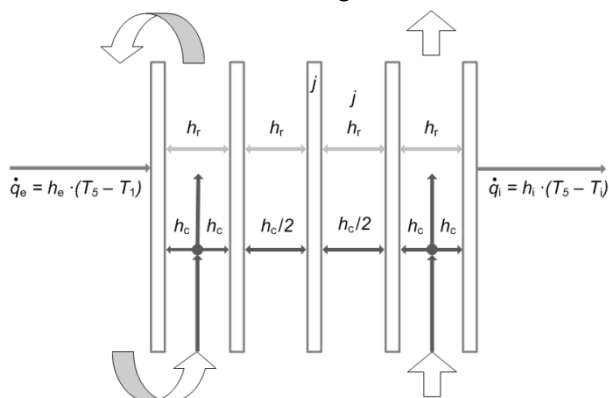


Bild 1. Prinzipdarstellung der Wärmeströme zwischen den einzelnen Schichten des Systems „Verglasung/Sonnenschutz“

Für die VDI 2078 werden diesbezügliche Tabellenwerte (Standardwerte) für sechs ausgewählte Glaskombinationen angegeben, wobei neben klarem Glas auch die weit verbreiteten beschichteten Gläser

- radiant heat,
- convection and
- ventilation.

The equations given allow to calculate facades with up to five solid layers, e.g.,

- glass panes
- textiles and/or
- lamellar sunshading,

with non-ventilated or ventilated interstices. Regarding lamellar sunshading, energetic characteristics for the entire arrangement (comparable to a solid layer) are initially determined based on the lamella material (see Figure 1).

The equations for five solid layers allow to cover the combinations

- double or triple glazing
- internal/external sunshading (screen or lamellae)

and, using an additional pane,

- double-skin facades and
- extract-air facades.

The method is not intrinsically limited to five solid layers but is applicable to any number of layers.

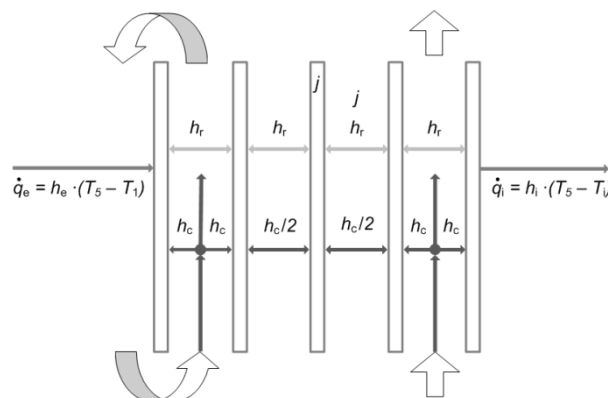


Figure 1. Schematic illustrating the heat fluxes between the individual layers of the “glazing/sunshading” system

Pertinent tabulated values (standard values) for six selected glass combinations are given for VDI 2078, taking into account, in addition to clear glass, the widely-used coated glasses

- Wärmeschutzglas,
- neutrales Sonnenschutzglas und
- spiegelndes Sonnenschutzglas

berücksichtigt werden.

Weiterhin werden tabellarisch für die VDI 2078 Anhaltswerte für drei unterschiedliche Systeme von zweischaligen Fassaden angegeben.

Der in dieser Richtlinie festgelegte Lösungsalgorithmus stellt ein Optimum im Hinblick auf Objektivierbarkeit und Nachvollziehbarkeit dar. Grundsätzlich können jedoch auch weitergehende Effekte berücksichtigt werden; dies würde zu einem wesentlich komplexeren Algorithmus führen und die Objektivierbarkeit und Nachvollziehbarkeit erschweren, vgl. auch [1].

Es muss abschließend noch angemerkt werden, dass komplexe Fassadensysteme in jedem Fall eine angemessene ingenieurmäßige Beurteilung erfordern, bei der auch die Möglichkeiten und Grenzen des Berechnungsverfahrens beachtet werden müssen.

- thermal insulation glass,
- neutral solar control glass and
- reflective solar control glass.

Furthermore, indicative values for three different types of double-skin facades are tabulated for use in VDI 2078.

The solution algorithm specified in this guideline represents an optimum in terms of objective treatment and reproducibility. In principle, however, further effects can be taken into consideration; this would result in a significantly more complex algorithm, impeding objective treatment and reproducibility, see also [1].

Finally, it must be noted that complex facade systems will require adequate engineering assessment in any case, giving heed to the potentials and limitations of the calculation procedure.

2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich: /

The following referenced documents are indispensable for the application of this guideline:

DIN EN 410:2011-04 Glas im Bauwesen; Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen; Deutsche Fassung EN 410:2011 (Glass in building; Determination of luminous and solar characteristics of glazing; German version EN 410:2011)

DIN EN 673:2011-04 Glas im Bauwesen; Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert); Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 673:2011 (Glass in building; Determination of thermal transmittance (U value); Calculation method; German version EN 673:2011)

DIN EN 13363-2:2005-06 Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen; Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades; Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 13363-2:2005 (Solar protection devices combined with glazing; Calculation of total solar energy

transmittance and light transmittance; Part 2: Detailed calculation method; German version EN 13363-2:2005)

DIN EN ISO 7345:1996-01-00 Wärmeschutz; Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:1987); Deutsche Fassung EN ISO 7345:1995 (Thermal insulation; Physical quantities and definitions (ISO 7345:1987); German version EN ISO 7345:1995)

ISO 9050:2003-08 Glass in building; Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors (Glas im Bauwesen; Bestimmung von Lichttransmissionsgrad, direktem Sonnenlichttransmissionsgrad, Gesamttransmissionsgrad der Sonnenenergie und Ultravioletttransmissionsgrad sowie der entsprechenden Verglasungsfaktoren)

ISO 15099:2003-11 Thermal performance of windows, doors and shading devices; Detailed calculations

VDI 6007 Blatt 1:2012-03 Berechnung des stationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden; Raummodell (Calculation of transient thermal response of rooms and buildings; Modelling of rooms)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe:

Fassadenelement (feste Schichten)

Festes Element des →Fassadensystems Glas/Sonnenschutz.

Anmerkung: Komplexe Fassadenelemente, z.B. ein Lamellensonnenschutz, werden im Sinne dieser Richtlinie ebenfalls als feste Elemente betrachtet; zu diesem Zweck werden analoge Kenngrößen eingeführt.

Fassadensystem

System aus mehreren →Fassadenelementen und Zwischenräumen (nicht durchlüftet oder durchlüftet), das zwischen Umgebung und Innenraum angeordnet ist.

Standardwert (Anhaltswert)

Standardwerte sind Werte, die dazu dienen, einerseits einen Vergleich der Berechnungsergebnisse mit anderen Regelwerken zu ermöglichen und andererseits eine Grundlage für die erste Planungsphase geben sollen.

Anmerkung 1: Bei den Standardwerten wird von typischen Ansätzen für

- meteorologische Randbedingungen,
- Wärmeübergangskoeffizienten (innen, außen),
- Temperaturen zur Bestimmung der Stoffwerte und

- vertikale Fassadensysteme

ausgegangen. Weitere Einflussgrößen wie

- Rahmen/Profile und
- winkelabhängige Transmission und Reflexion

werden bei den Standardwerten analog DIN EN 673, DIN EN 410, ISO 9050, DIN EN 13363-2 und ISO 15099 nicht berücksichtigt, um die Berechnung zu vereinfachen und die Ergebnisse vergleichen zu können.

Anmerkung 2: Die Winkelabhängigkeit der Transmissions- und Reflexionskoeffizienten wird in VDI 6007 Blatt 3 berücksichtigt.

Zweibereichsmodell

Modell, in dem der Wellenlängenbereich des Solarspektrums in einen

- sichtbaren Spektralbereich (V) und
- nicht sichtbaren Spektralbereich (N)

unterteilt wird, um den zum Teil stark unterschiedlichen spektralen Transmissions- und Reflexionsgraden selektiver Schichten Rechnung zu tragen

4 Formelzeichen, Indices und Abkürzungen

Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

3 Terms and definitions

For the purposes of this guideline, the following terms and definitions apply:

Facade element (solid layers)

Solid element belonging to the →facade system made up of glazing and sunshading.

Note: Complex facade elements such as lamellar sunshading are also considered as solid elements in this guideline; analogous characteristic quantities are introduced to this end.

Facade system

System consisting of several →facade elements and interstices (non-ventilated or ventilated), located between environment and indoor space.

Standard value (indicative value)

Standard values are values serving, on the one hand, to allow comparing calculation results to those obtained using different rules and, on the other hand, to establish a basis for the first planning stage.

Note 1: Standard values assume typical

- meteorological boundary conditions,
- heat transfer coefficients (internal/external),
- temperatures as a basis for the determination of material characteristics, and
- vertical facade systems.

Further influencing quantities such as

- frames/profiles and
- angle-dependent transmission and reflection

are not taken into account in the standard values in analogy to DIN EN 673, DIN EN 410, ISO 9050, DIN EN 13363-2 and ISO 15099 to facilitate calculations and to allow comparing the results.

Note 2: Angular dependence of the transmission and reflection factors is taken into account in VDI 6007 Part 3.

Two-range model

Model in which the wavelength range of the solar spectrum is split up into a

- visible range (V) and
- a non-visible range (N)

so as to account for the sometimes strongly differing spectral transmittances and reflectances of selective layers.

4 Symbols, subscripts and abbreviations

Symbols

This guideline contains the following symbols:

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
A	Strahlungsabsorptionsgrad	–
A	Anteil	–
A	Fassadenfläche	–
a	Geschwindigkeitskoeffizient	Ws/(m ³ ·K)
a_{kon}	Konvektivanteil	–
B	Breite des transparenten Fassadensystems	m
β	thermischer Ausdehnungskoeffizient, $\beta = 1/T$	1/K
c_p	spezifische Wärmekapazität	kJ/(kg·K)
ε	korrigiertes Emissionsvermögen	–
F	Volumenanteil Gaskomponente	–
G	Gesamtenergiedurchlassgrad	–
Gr	Grashofzahl $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot T_{j+1} - T_j \cdot s^3}{\nu^2}$	–
g	Erdbeschleunigung; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$	m/s ²
γ	Neigungs- oder Höhenwinkel	–
H	Höhe des transparenten Fassadensystems	m
h	Wärmeübergangskoeffizient	–
I	Strahlungsenergiestrom	J/m ²
κ	Wärmeübertragerkenngröße	–
Λ	Wärmedurchlasskoeffizient	–
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
λ	Wellenlänge	m
\dot{m}	Massenstrom	kg/s
μ	dynamische Viskosität	kg/(m·s)
N	anteiliger Wärmefluss nach innen	–
Nu	Nusseltzahl $Nu = \frac{h_c \cdot s}{\lambda}$	–
ν	kinematische Viskosität	m ² /s
χ	thermisches Gleichungssystem	–
P	Wärmeeintrag	–
Pr	Prandtlzahl $Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}$	–
p	Druck	Pa
\dot{Q}	Wärmestrom	–
q	sekundärer Wärmeabgabegrad	–
\dot{q}	Wärmestromdichte	–
ρ, P	Reflexionsgrad	–
ρ	Dichte	kg/m ³

Symbol	Term	Unit
A	radiation absorptance	–
A	fraction	–
A	facade area	–
a	velocity coefficient	Ws/(m ³ ·K)
a_{kon}	convective fraction	–
B	width of transparent facade system	m
β	thermal expansion coefficient, $\beta = 1/T$	1/K
c_p	specific heat	kJ/(kg·K)
ε	corrected emissivity	–
F	percentage gas component	–
G	total energy transmittance	–
Gr	Grashof number $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot T_{j+1} - T_j \cdot s^3}{\nu^2}$	–
g	gravitational acceleration $g = 9,81 \text{ m/s}^2$	m/s ²
γ	inclination	–
H	height of transparent facade system	m
h	heat transfer coefficient	–
I	radiant energy flux	J/m ²
κ	number of transfer units	–
Λ	thermal conductance	–
λ	thermal conductivity	W/(m·K)
λ	wavelength	m
\dot{m}	mass flow	kg/s
μ	dynamic viscosity	kg/(m·s)
N	inward flowing fractions	–
Nu	Nusselt number $Nu = \frac{h_c \cdot s}{\lambda}$	–
ν	kinematic viscosity	m ² /s
χ	thermal equation system	–
P	heat input	–
Pr	Prandtl number $Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}$	–
p	pressure	Pa
\dot{Q}	heat flux	–
q	secondary heat transfer factor	–
\dot{q}	heat flux density	–
ρ, P	reflectance	–
ρ	density	kg/m ³

Ra	Rayleigh-Zahl $Ra = Gr \cdot Pr$	–
S_λ	relative spektrale Verteilung	–
S	Gewichtsfaktor für die solare Einstrahlung	–
s	Dicke des Zwischenraums	m
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5,67028 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$	$W/(m^2 \cdot K^4)$
T	(absolute) Temperatur	K
T_L	Lichtdurchlässigkeit ^{a)}	–
τ	Transmissionsgrad	–
τ_v	Lichtdurchlässigkeit ^{b)}	–
U	Wärmedurchgangskoeffizient	–
w	mittlere Geschwindigkeit im Spalt	m/s
Φ	Einstrahlzahl, Winkelfaktor	–
ζ	Strömungswiderstand	–

a) Bezeichnung wie in VDI 6007 Blatt 3 und VDI 2078; in dieser Richtlinie auch als τ_v bezeichnet.

b) Siehe auch T_L .

Indices

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Indices verwendet:

Index	Bedeutung
a	Streifenbreite (Einstrahlzahlen)
Aero	aerodynamisch wirksam
B	Beschleunigung
bo	unten
c	Konvektion
dir	direkt
diff	diffus
e	außen
eq	äquivalent
f	Rahmen
g	Gas
h	Streifenabstand (Einstrahlzahlen)
ho	Löcher
i	innen
j	j-te feste Materialschicht
kon	konvektiv
l	Lauf­länge, durchströmter Zwischenraum
Lam	Bezogen auf die Einzellamelle
H	Länge/Höhe des Zwischenraums
out	aus
in	ein
lf	links

Ra	Rayleigh number $Ra = Gr \cdot Pr$	–
S_λ	relative spectral distribution	–
S	weighting factor for solar irradiation	–
s	Width of interstice	m
σ	Stefan-Boltzmann constant $\sigma = 5,67028 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$	$W/(m^2 \cdot K^4)$
T	(absolute) temperature	K
T_L	light transmittance ^{a)}	–
τ	transmittance	–
τ_v	light transmittance ^{b)}	–
U	thermal transmittance	–
w	mean speed/velocity in the gap	m/s
Φ	view factor, angle factor	–
ζ	flow resistance	–

a) Designation as in VDI 6007 Part 3 und VDI 2078; in this guideline also termed τ_v .

b) See also T_L .

Indices

This guideline contains the following indices:

Subscript	Term
a	strip width (view factors)
Aero	aerodynamically effective
B	acceleration
bo	bottom
c	convection
dir	direct
diff	diffuse
e	external
eq	equivalent
f	frame
g	gas
h	strip spacing (view factors)
ho	holes
i	internal
j	j th solid material layer
kon	convective
l	path length, ventilated interstice
Lam	referred to individual lamella
H	length/height of interstice
out	out
in	in
lf	left

<i>l, m</i>	Zähler, Anzahl Gaskomponenten
L	Licht ^{a)}
<i>n</i>	Anzahl feste Materialschichten, Exponent
mix	Gasgemisch
rt	rechts
r	Strahlung
s	System/Lamellensonnenschutz- system (Jalousie)
t	thermisch
Tab	Tabellenwert
tot	Bezogen auf die Kombination Verglasung mit beweglichem Sonnenschutz
tp	oben
v	Lüftung ^{b)}
V	sichtbar
w	Geschwindigkeit
0	null, außen

a) In VDI 6007 Blatt 3 und VDI 2078 T_L für Lichtdurchlässigkeit anstelle von τ_v .

b) In VDI 6007 Blatt 3 und VDI 2078.

Auszeichnung	Bedeutung
$\dot{}$ (z.B. \dot{Q})	Zeitableitung, Strom (z.B. Wärmestrom)
i	von innen nach außen, Rück- seite
—	mittel
\square	Kenngröße des Fassaden- systems bzw. der Fassaden- schichten

Abkürzungen

Für die im Folgenden behandelten Fassadensysteme mit jeweils zwei bis fünf festen Schichten werden generell folgende Abkürzungen verwendet:

- || (2): zwei feste Schichten
- ||| (3): drei feste Schichten
- |||| (4): vier feste Schichten
- ||||| (5): fünf feste Schichten

Anmerkung: Die physikalischen Größen und Definitionen wurden, soweit möglich, analog DIN EN ISO 7345:1996-01 definiert. Weitere Größen wurden analog DIN EN 673, DIN EN 410, DIN EN 13363-2 und ISO 15099 gewählt.

- IR infrarot
- UV ultraviolett

5 Energetische Kenngrößen

Ziel der Berechnung nach VDI 6007 Blatt 2 ist die Bestimmung der energetischen Kenngrößen

<i>l, m</i>	counting subscript, number of gas components
L	light ^{a)}
<i>n</i>	number of solid material layers, power
mix	gas mixture
rt	right
r	radiation
s	system/lamellar sunshading (blind)
t	thermal
Tab	tabulated value
tot	referred to combination of glazing with movable sunshading
tp	top
v	ventilation ^{b)}
V	visible
w	velocity
0	zero, external

a) In VDI 6007 Part 3 and VDI 2078 T_L used for light transmittance instead of τ_v .

b) In VDI 6007 Blatt 3 and VDI 2078.

Superscript	Term
$\dot{}$ (e.g. \dot{Q})	time derivative, flux (such as heat flux)
i	from inside to outside, rear surface
—	average
\square	characteristic of facade system or facade layers

Abbreviations

The facade systems dealt with in this guideline, having two to five solid layers, are denoted as follows:

- || (2): two solid layers
- ||| (3): three solid layers
- |||| (4): four solid layers
- ||||| (5): five solid layers

Note: The physical quantities and definitions were defined in analogy to DIN EN ISO 7345:1996-01, where possible. Further quantities were selected in analogy to DIN EN 673, DIN EN 410, DIN EN 13363-2 and ISO 15099.

- IR infrared
- UV ultraviolet

5 Energetic characteristics

The calculation as per VDI 6007 Part 2 aims to determine the energetic characteristics

- Gesamtenergiedurchlassgrad g und
 - Wärmedurchgangskoeffizient U (informativ)
- einschließlich der Gliederung in die jeweiligen physikalisch zu unterscheidenden Komponenten.

5.1 Gesamtenergiedurchlassgrad g

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g beinhaltet sowohl die transmittierte Solarstrahlung als auch die sekundäre Wärmeabgabe aufgrund der Strahlungsabsorption an den einzelnen Schichten des Fassadelements.

$$g = \tau_e + q_i \quad (1)$$

Dabei ist τ_e der Strahlungstransmissionsgrad und q_i der sekundären Wärmeabgabegrad.

Der sekundäre Wärmeabgabegrad gliedert sich nach der Art des Wärmeeintrags in drei Beiträge:

- konvektiver Wärmeübergang
- Wärmestrahlung
- Wärmeeintrag aufgrund Belüftung (Durchlüftung mit Raumluft)

$$q_i = q_{i,c} + q_{i,r} + q_{i,v} \quad (2)$$

Die Belüftung (Durchlüftung mit Raumluft) beschreibt dabei z.B. den massegebundenen Wärmetransport aufgrund einer thermisch angetriebenen natürlichen Durchlüftung eines innen liegenden Sonnenschutzes. Der konvektive Wärmeübergang beschreibt demgegenüber den Wärmetransport über die raumseitige Grenzschicht am Fassadelement und ist in der Regel parallel zum raumseitigen Wärmetransport aufgrund Wärmestrahlung anzusetzen. Es bietet sich daher an, einen kombinierten sekundären Wärmeabgabegrad $q_{i,r+c}$ durch konvektiven Wärmeübergang und Wärmestrahlung zu definieren.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g gliedert sich damit in die Größen

$$\begin{aligned} g &= \tau_e + q_{i,r+c} + q_{i,v} \\ &= \tau_e + q_{i,r} + q_{i,c} + q_{i,v} \end{aligned} \quad (3)$$

Diese Größen werden für Berechnungen nach VDI 6007 Blatt 2 separat ausgewiesen. Von Gleichung (3) ausgehend können die Terme auch wieder neu zusammengefasst werden, z.B. für die Schnittstelle zur Richtlinie VDI 6007 Blatt 1 (siehe Abschnitt 10).

5.2 Wärmedurchgangskoeffizient U

Die Berechnung des sekundären Wärmeabgabegrads als Bestandteil des Gesamtenergiedurchlassgrads ermöglicht die Ermittlung eines Wärme-

- total energy transmittance g and
 - thermal transmittance U (for information only)
- split up into the physical components to be distinguished.

5.1 Total energy transmittance g

The total energy transmittance g contains both the transmitted solar radiation and the secondary heat transfer due to radiation absorption by the individual layers of the facade element.

$$g = \tau_e + q_i \quad (1)$$

Where τ_e is the radiation transmittance and q_i the secondary heat transfer factor.

The secondary heat transfer factor is split up into three contributions according to the type of heat input:

- convective heat transfer
- radiant heat
- heat input due to ventilation (with room air)

$$q_i = q_{i,c} + q_{i,r} + q_{i,v} \quad (2)$$

Ventilation (flow of room air) describes, by way of example, the mass-related heat transport due to thermally driven natural ventilation of an internal sunshade. Convective heat transfer, on the other hand, describes the heat transport via the interface layer of the facade system towards the room; as a rule it has to be treated in parallel to the heat transport in the room due to radiant heat. It seems straightforward, therefore, to define a combined secondary heat transfer factor $q_{i,r+c}$ for convective heat transfer and radiant heat.

The total energy transmittance g therefore consists of the quantities:

$$\begin{aligned} g &= \tau_e + q_{i,r+c} + q_{i,v} \\ &= \tau_e + q_{i,r} + q_{i,c} + q_{i,v} \end{aligned} \quad (3)$$

These quantities are listed separately for calculations as per VDI 6007 Part 2. Starting with Equation (3) the terms may also be subsumed again in new combinations, for instance for the interface to the guideline VDI 6007 Part 1 (see Section 10).

5.2 Thermal transmittance U

The calculation of the secondary heat transfer factor as part of the total energy transmittance allows to determine a thermal transmittance of the glaz-

durchgangskoeffizienten des Systems Verglasung/Sonnenschutz auch unter Berücksichtigung der Durchlüftung des Systems (siehe Abschnitt 8.3).

Der Wärmedurchgangskoeffizient U besitzt zwei Komponenten:

$$U = U_{r+c} + U_v \quad (4)$$

Die Komponenten sind dabei zu verstehen als Wärmedurchgangskoeffizienten

- U_{r+c} unter Berücksichtigung von konvektivem Wärmeübergang und Wärmestrahlung und
- U_v aufgrund Belüftung (Durchlüftung mit Raumluft).

Der Wärmedurchgang aufgrund Belüftung beschreibt einen Wärmeaustausch mit der Raumluft, der z.B. bei Durchlüftung eines innen liegenden Sonnenschutzes auftritt. Fehlt dieser, so erfolgt der raumseitige Wärmeübergang zwischen Fassadenelement und Raum lediglich aufgrund des konvektiven Wärmeübergangs und der Wärmestrahlung, wie in vereinfachten Definitionen des Wärmedurchgangskoeffizienten zugrunde gelegt.

Anmerkung: Der mit VDI 6007 Blatt 2 berechnete Wärmedurchgangskoeffizient für Verglasungen einschließlich der Auswirkungen von Sonnenschutzmaßnahmen wird nur für informative Zwecke benötigt. Der ausgewiesene Wert geht nicht in die Berechnungen nach VDI 6007 Blatt 1, VDI 6007 Blatt 3 und VDI 2078 ein.

5.3 Inward Flowing Fractions

Im Rahmen dieser Richtlinie werden der Gesamtenergiedurchlassgrad sowie der Wärmedurchgangskoeffizient unter Berücksichtigung von

- Inward Flowing Fractions N_j ,
- Inward Flowing Fractions $N_{v,j}$ und
- Absorptionsgrad $a_{e,j}$

ermittelt, wobei die $N_{v,j}$ wieder den Fall der Belüftung (Durchlüftung mit Raumluft) beschreiben.

Mit

$$\begin{aligned} q_{i,r+c} &= \sum_j N_j a_{e,j} \\ q_{i,v} &= \sum_j N_{v,j} a_{e,j} \end{aligned} \quad (5)$$

lautet die allgemeine Definition des Gesamtenergiedurchlassgrads g :

$$\begin{aligned} g &= \tau_e + \sum_j N_j a_{e,j} + \sum_j N_{v,j} a_{e,j} \\ &= \tau_e + \sum_j (N_j + N_{v,j}) a_{e,j} \end{aligned} \quad (6)$$

Diese Darstellung bietet insofern Vorteile, da sich die Größen den physikalischen Transportvorgängen klar zuordnen lassen bzw. diese klar unterschieden

ing/sunshading system, also taking into account ventilation of the system (see Section 8.3).

The thermal transmittance U has two components:

$$U = U_{r+c} + U_v \quad (4)$$

The components are to be understood as thermal transmittances

- U_{r+c} taking into account convective heat transfer and radiant heat and
- U_v due to ventilation (flow of room air).

The thermal transmittance due to ventilation describes heat exchange with the room air, as it occurs, e.g., when an internal sunshade is ventilated. In the absence of such heat exchange, room-side heat transfer between facade element and room occurs solely by convective heat transfer and radiant heat, as assumed as the basis of simplified definitions of the thermal transmittance.

Note: The thermal transmittance calculated as per VDI 6007 Part 2 for glazing, including the effects of sunshading, is required for information only. The value listed is not used in the calculations as per VDI 6007 Part 1, VDI 6007 Part 3 and VDI 2078.

5.3 Inward flowing fractions

In this guideline, the total energy transmittance and the thermal transmittance are determined taking into account

- inward flowing fractions N_j ,
- inward flowing fractions $N_{v,j}$ and
- absorptance $a_{e,j}$,

$N_{v,j}$ again describing the case of ventilation (flow of room air).

Using

$$\begin{aligned} q_{i,r+c} &= \sum_j N_j a_{e,j} \\ q_{i,v} &= \sum_j N_{v,j} a_{e,j} \end{aligned} \quad (5)$$

the general definition of the total energy transmittance g is:

$$\begin{aligned} g &= \tau_e + \sum_j N_j a_{e,j} + \sum_j N_{v,j} a_{e,j} \\ &= \tau_e + \sum_j (N_j + N_{v,j}) a_{e,j} \end{aligned} \quad (6)$$

This representation is advantageous because the quantities can be unambiguously assigned to the physical transport processes, and these can be

werden können. Die Größen τ_e und $a_{e,j}$ sind Ergebnisse der kurzwelligen strahlungsphysikalischen Berechnungen, während die Inward Flowing Fractions N_j das Ergebnis des thermischen Wärmetransports im Fassadenelement widerspiegeln.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten lassen sich analog in Abhängigkeit der Inward Flowing Fractions angeben (vgl. Abschnitt 5.3).

6 Berechnungsverfahren

6.1 Grundlagen

Berechnungsverfahren zur Ermittlung energetischer Kenngrößen für mehrschichtige Bauteile werden u. a. angegeben in:

- DIN EN 410
- DIN EN 673
- ISO 9050
- Optics 5 [2]
- WIS Reference Manual [3]
- DIN EN 13363-2
- ISO 15099
- *Edwards* [4]
- *Klems et al.* [5]
- *Wright* [6]

Die Angaben in DIN EN 410 beschränken sich allerdings auf nur drei Glasschichten. In DIN EN 13363-2 werden zwar die Bilanzgleichungen allgemein angegeben, aber keine Angaben zur Lösung des Gleichungssystems gemacht. Entsprechende Berechnungen für mehrere Glasscheiben können z.B. mit dem Programm Optics 5 auf Basis der Glasdatenbank IGDB 15 durchgeführt werden. Im Rahmen der von der Europäischen Union geförderten Projekte WIS und WinDat wurde das Programm WIS einschließlich einer inzwischen ebenfalls umfangreichen Glasdatenbank entwickelt, das bei Kombination mehrerer Schichten allerdings generell von einem Strahlungseinfall senkrecht zum Fassadenelement ausgeht. Andererseits bietet WIS auch komplexere Verfahren, z.B. zur Berechnung winkelabhängiger Transmissions- und Reflexionsgrade mittels Raytracing an. Einige der in WIS verwendeten Algorithmen finden sich in der aktuellen ISO 15099.

6.2 Geschlossene Lösung

Das in VDI 6007 Blatt 2 angegebene Berechnungsverfahren erlaubt eine geschlossene Lösung des zugrunde liegenden Gleichungssystems und damit auch die Berechnung der früher teilweise kalorisch gemessenen Inward Flowing Fractions, vgl. [5; 6]. Gesamtenergiedurchlassgrade und Wärmedurch-

clearly distinguished. The quantities τ_e and $a_{e,j}$ are results of the short-wavelength radiation calculations, whereas the inward flowing fractions N_j reflect the result of thermal heat transport in the facade element.

The thermal transmittances can be given in analogy, depending on the inward flowing fractions (cf. Section 5.3).

6 Calculation procedure

6.1 Fundamentals

Calculation procedures for determining energetic characteristics for multi-layer components are given, among others, in:

- DIN EN 410
- DIN EN 673
- ISO 9050
- Optics 5 [2]
- WIS Reference Manual [3]
- DIN EN 13363-2
- ISO 15099
- *Edwards* [4]
- *Klems et al.* [5]
- *Wright* [6]

DIN EN 410, however, is limited to three layers of glass. Balancing equations in DIN EN 13363-2 are given in general form, but no guidance is given regarding the solving of the resulting system of equations. Corresponding calculations for several glass panes can be carried out using, e.g., the Optics 5 software based on the glazing database IGDB 15. In the context of the EU-sponsored projects WIS and WinDat, the WIS software was developed, including a meanwhile equally comprehensive glazing database. When several layers are combined, however, this software will always assume radiation to hit the facade element at right angles. Still, WIS also offers more complex methods, e.g. for calculating angle-dependent transmittances and reflectances using ray tracing. Some of the algorithms used in WIS can be found in the current edition of ISO 15099.

6.2 Analytical solution

The calculation procedure given in guideline VDI 6007 Part 2 is accessible to analytical solution of the underlying system of equations, thus also allowing the calculation of the inward flowing fractions, cf. [5; 6], which were previously sometimes determined by caloric measurements. Total

gangskoeffizienten werden in einem einzigen Berechnungsgang automatisch paarweise ermittelt und können aufgrund der einheitlichen Austausch-terme dann auch mathematisch einwandfrei überlagert werden. Das vorliegende Berechnungsverfahren ist im Wesentlichen in [8; 9] hergeleitet und erläutert.

6.3 Gliederung

Der grundsätzliche Ablauf der Berechnung gliedert sich in eine

- strahlungsphysikalische (siehe Abschnitt 7) und
 - thermische (siehe Abschnitt 8) Berechnungen
- und ist zudem anhand des Ablaufplans im Anhang A1 erläutert.

Die Berechnung der kurzwelligigen Solarstrahlung liefert u. a. die Strahlungsabsorptionsgrade auf den festen Schichten des Fassadensystems, die als Wärmequelle den thermischen Transport antreiben und die Schnittstelle zwischen den beiden Teilen bilden. In den folgenden Abschnitten und in den Ablaufplänen im Anhang A1 werden die beiden Berechnungsteile näher erläutert.

7 Strahlungsphysikalische Berechnungen

Die kurzwellige Strahlung wird auf ihrem Weg durch die einzelnen Schichten des Fensters verfolgt; unter Berücksichtigung unendlich vieler Reflexionen ergeben sich daraus letztlich

- die Strahlungsreflexion,
- die Strahlungsabsorption an den einzelnen Schichten und
- die Strahlungstransmission

des gesamten transparenten Fassadensystems (siehe Bild 2).

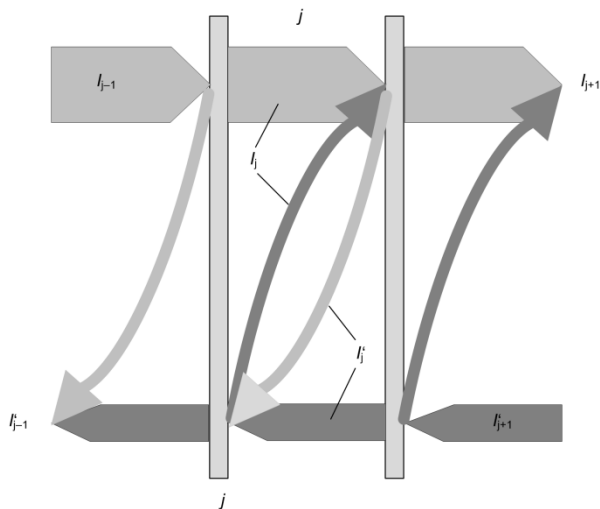


Bild 2. Prinzipdarstellung von Strahlungstransmission und (Mehrfach-)Reflexion

energy transmittances and thermal transmittances are automatically determined in pairs in a single calculation run and can then be superimposed mathematically properly thanks to uniform heat transfer terms. This calculation method is essentially derived and explained in [8; 9].

6.3 Structure

The basic process of calculation is structured into

- radiation calculations (see Section 7) and
- thermal calculations (see Section 8)

and is additionally explained by the flow chart in Annex A1.

The calculation of the short-wavelength solar radiation yields, among other things, the radiation absorptances of the solid layers of the facade system, which, acting as heat sources, drive thermal transport and are the interface between the two parts of the calculation. The two parts are explained in more detail in subsequent sections and in the flow charts in Annex A1.

7 Radiation calculations

The short-wavelength radiation is traced on its path through the individual layers of the window; allowing an infinite number of reflections, this eventually yields

- radiation reflection,
- radiation absorption by the individual layers and
- radiation transmission

of the entire transparent facade system (see Figure 2).

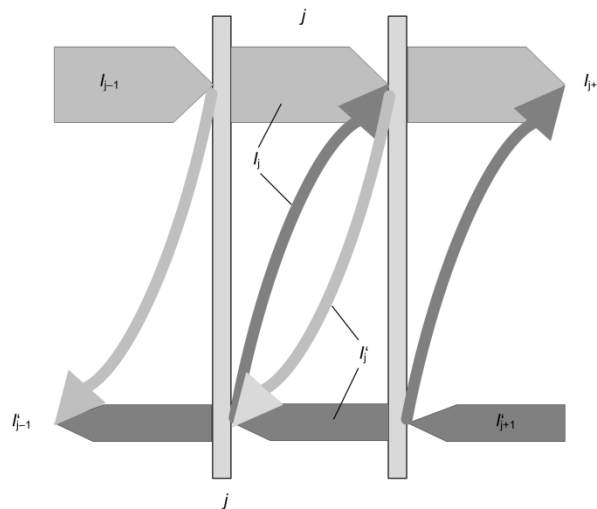


Figure 2. Schematic representation of radiation transmission and (multiple) reflections

Bezüglich des Solarspektrums wird dabei in

- sichtbaren Bereich
- unsichtbaren Bereich

unterschieden, um den spektral unterschiedlichen, zum Teil stark selektiven Eigenschaften moderner Wärmeschutz- und Sonnenschutzverglasungen Rechnung zu tragen.

7.1 Solarspektrum

Die Globalstrahlung erreicht die Erde im Wesentlichen im Wellenlängenbereich von ca. 300 nm bis 2500 nm.

Der unterschiedlichen Intensität der Globalstrahlung wird durch die in DIN EN 410 tabellierten Werte für die „normierte relative spektrale Verteilung der Globalstrahlung S_λ multipliziert mit dem Wellenlängenintervall $\Delta\lambda$ “ Rechnung getragen. Das zugehörige Spektrum der terrestrischen Globalstrahlung ist im Bild 3 exemplarisch für eine Strahlungsintensität von 1000 W/m^2 dargestellt. Integriert oder summiert man die angegebene Verteilung separat über die Wellenlängenbereich (UV, sichtbar, IR), so erhält man sofort die entsprechenden Energieanteile dieser Wellenlängenbereiche, siehe Tabelle 1.

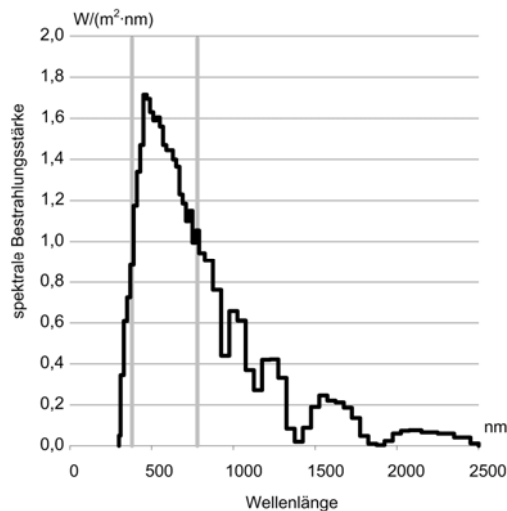


Bild 3. Solarspektrum nach DIN EN 410

Tabelle 1. Globalstrahlung, energetische Gewichtung

Solarspektrum Bereich	Wellenlänge λ in nm		Energetische Gewichtung $\sum_\lambda S_\lambda \cdot \Delta\lambda$
	von	bis	
UV (Ultraviolett)	300	380	4,3%
Licht (sichtbar)	380	780	55,1%
IR (Infrarot)	780	2500	40,6%

Das Solarspektrum der DIN EN 410 und die daraus resultierende energetische Gewichtung werden für

As far as the solar spectrum is concerned, a distinction is made here between

- the visible range and
- the non-visible range,

so as to make allowance for different spectral, sometimes strongly selective, characteristics of modern thermal insulation and solar control glazing.

7.1 Solar spectrum

Global radiation reaches the Earth essentially in the wavelength range between approximately 300 nm and 2500 nm.

The varying intensity of global radiation is taken into account by means of the tabulated values of DIN EN 410 for the “normalised relative spectral distribution of the global radiation S_λ multiplied by the wavelength interval $\Delta\lambda$ ”. An example of the associated spectrum of terrestrial global radiation is shown in Figure 3 for a radiation intensity of 1000 W/m^2 . If the distribution given is integrated or summed up separately over each wavelength range (UV, visible, IR), the associated energy fractions are obtained immediately, see Table 1.

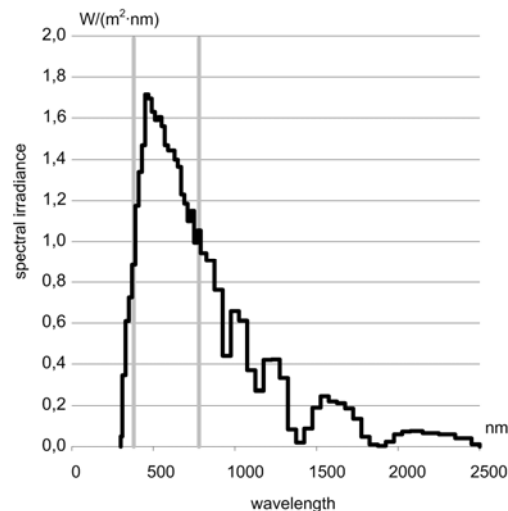


Figure 3. Solar spectrum as per DIN EN 410

Table 1. Global radiation, energetic weighting

Solar spectrum range	Wavelength λ in nm		Energetic weighting $\sum_\lambda S_\lambda \cdot \Delta\lambda$
	from	to	
UV (ultraviolet)	300	380	4,3%
Light (visible)	380	780	55,1%
IR (infrared)	780	2500	40,6%

The solar spectrum of DIN EN 410 and the resulting energetic weighting are specified as the manda-

diese Richtlinie verbindlich zugrunde gelegt, eine Verwendung anderer Gewichtungen bzw. Spektralverteilungen, z.B. nach ISO 9050, ist für diese Richtlinie nicht zulässig.

Verglasungen und Beschattungsvorrichtungen weisen ebenfalls von der Wellenlänge abhängige

- Transmissionsgrade $\tau(\lambda)$ und
- Reflexionsgrade $\rho(\lambda)$

und entsprechend auch Absorptionsgrade auf. Bei neutralen Sonnenschutzgläsern werden häufig spezielle selektive Beschichtungen aufgebracht, die im sichtbaren Wellenlängenbereich eine hohe Transmission erlauben, den Infrarot- und Ultraviolettbereich der Globalstrahlung aber weitgehend reflektieren oder absorbieren. Auch Wärmeschutzgläser mit Softcoating weisen – etwas weniger ausgeprägte – selektive Eigenschaften mit relativ hoher Lichttransmission und vergleichsweise geringerer Transmission im übrigen Wellenlängenbereich auf.

7.2 Zwei-Bereichs-Modell

Um den Unterschieden zwischen sichtbarem Bereich und dem übrigen Wellenlängenbereich sowie den spektralen Unterschieden aktueller Gläser Rechnung zu tragen, wird in VDI 6007 Blatt 2 ein Zwei-Bereichs-Modell verwendet. Die strahlungsphysikalischen Kenngrößen berechnen sich aus

$$\begin{aligned}\rho_e &= S_{eV} \cdot \boxed{\rho}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{\rho}_{eN} \\ a_{e1} &= S_{eV} \cdot \boxed{a1}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{a1}_{eN} \\ &\vdots \\ a_{en} &= S_{eV} \cdot \boxed{a_n}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{a_n}_{eN} \\ \tau_e &= S_{eV} \cdot \boxed{\tau}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{\tau}_{eN}\end{aligned}\quad (7)$$

mit den entsprechenden Gewichtungsfaktoren S_{eV} und S_{eN} für den sichtbaren (V) und den nicht (N) sichtbaren Wellenlängenbereich:

$$\begin{aligned}S_{eV} &= \sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda = 55,1\% \\ S_{eN} &= \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda + \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda = 44,9\%\end{aligned}\quad (8)$$

tory basis for this guideline; it is not permissible, for the purposes of this guideline, to use other weightings or spectral distributions, as, e.g., the one given in ISO 9050.

Glazings and shadings also have wavelength-dependent

- transmittances $\tau(\lambda)$ and
- reflectances $\rho(\lambda)$

and, accordingly, absorptances. Special selective coatings are often applied to neutral solar control glasses, which allow for high visible-light transmission while largely reflecting or absorbing the infrared and ultraviolet fractions of global radiation. Thermal insulation glass with soft coating also exhibits selective characteristics, albeit somewhat less pronounced, transmitting a relatively large fraction of visible light but comparatively little of the remaining spectral range.

7.2 Two-range model

VDI 6007 Part 2 uses a two-range model to take into account the differences between the visible range and the remaining wavelengths, and the spectral differences between current glasses. Radiation characteristics are calculated from

$$\begin{aligned}\rho_e &= S_{eV} \cdot \boxed{\rho}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{\rho}_{eN} \\ a_{e1} &= S_{eV} \cdot \boxed{a1}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{a1}_{eN} \\ &\vdots \\ a_{en} &= S_{eV} \cdot \boxed{a_n}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{a_n}_{eN} \\ \tau_e &= S_{eV} \cdot \boxed{\tau}_{eV} + S_{eN} \cdot \boxed{\tau}_{eN}\end{aligned}\quad (7)$$

using the pertinent weighting factors S_{eV} and S_{eN} for the visible (V) and non-visible (N) wavelength ranges:

$$\begin{aligned}S_{eV} &= \sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda = 55,1\% \\ S_{eN} &= \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda + \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda = 44,9\%\end{aligned}\quad (8)$$

Die Kenngrößen

$$\begin{array}{c} \boxed{\rho}_{eV}, \boxed{\rho}_{eN} \\ \boxed{a_1}_{eV}, \boxed{a_1}_{eN} \\ \vdots \\ \boxed{a_n}_{eV}, \boxed{a_n}_{eN} \\ \boxed{\tau}_{eV}, \boxed{\tau}_{eN} \end{array} \quad (9)$$

des transparenten Fassadensystems müssen dazu zunächst für den sichtbaren und den nicht sichtbaren Wellenlängenbereich aus den strahlungsphysikalischen Kenngrößen der einzelnen Schichten bestimmt werden.

7.3 Strahlungsphysikalische Kenngrößen der Schichten

Für die einzelnen Schichten werden die entsprechenden

- Transmissionsgrade und
- Reflexionsgrade

in den beiden Wellenlängenbereichen benötigt, die aus vorhandenen Spektraldaten ableitbar sind:

$$\begin{aligned} \tau_{eV} &= \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eV}} \\ \tau_{eN} &= \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta \lambda + \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eN}} \\ \rho_{eV} &= \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eV}} \\ \rho_{eN} &= \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta \lambda + \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eN}} \end{aligned} \quad (10)$$

Beschichtete Gläser weisen in der Regel unterschiedliche Reflexionseigenschaften für Strahlung von außen und Strahlung von innen auf und bei Lamellen gilt dies auch für die Strahlungstransmission (vgl. Anhang A5.3.3), sodass maximal folgender Datensatz

- $\tau_{eV}, \rho_{eV}, \rho'_{eV}, \tau'_{eV}$ (sichtbarer Bereich)
- $\tau_{eN}, \rho_{eN}, \rho'_{eN}, \tau'_{eN}$ („nicht sichtbarer“ Bereich)

erforderlich ist. Die Kennzeichnung durch den hochgestellten Strich (τ', ρ') bezeichnet dabei jeweils die rückseitige Oberfläche.

To this end, the characteristic quantities

$$\begin{array}{c} \boxed{\rho}_{eV}, \boxed{\rho}_{eN} \\ \boxed{a_1}_{eV}, \boxed{a_1}_{eN} \\ \vdots \\ \boxed{a_n}_{eV}, \boxed{a_n}_{eN} \\ \boxed{\tau}_{eV}, \boxed{\tau}_{eN} \end{array} \quad (9)$$

of the transparent facade system must first be determined from the radiation characteristics of the individual layers for the visible and non-visible wavelength ranges.

7.3 Radiation characteristics of the layers

The

- transmittances and
- reflectances

of the individual layers are required for both wavelength ranges; they can be derived from available spectral data:

$$\begin{aligned} \tau_{eV} &= \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eV}} \\ \tau_{eN} &= \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta \lambda + \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eN}} \\ \rho_{eV} &= \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eV}} \\ \rho_{eN} &= \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta \lambda + \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta \lambda}{S_{eN}} \end{aligned} \quad (10)$$

As a rule, coated glasses have differing reflection characteristics for radiation incident on the external and internal sides, and this also applies to the radiation transmission of lamellae (cf. Annex A5.3.3), so that the maximum set of data required comprises

- $\tau_{eV}, \rho_{eV}, \rho'_{eV}, \tau'_{eV}$ (visible range)
- $\tau_{eN}, \rho_{eN}, \rho'_{eN}, \tau'_{eN}$ (“non-visible” range)

The prime (τ', ρ') denotes the rear surface in each case.

7.4 Umrechnung strahlungsphysikalischer Kenngrößen

Die meist bekannten integralen Kenngrößen τ_V und ρ_V für den sichtbaren Wellenlängenbereich sind aufgrund der beinhalteten Hellempfindlichkeitsfunktion des menschlichen Auges nicht für den gesamten sichtbaren Bereich repräsentativ und unterscheiden sich insofern von den soeben betrachteten Kenngrößen τ_{eV} und ρ_{eV} . Stehen keine anderen strahlungsphysikalischen Daten zur Verfügung, können die benötigten Kenngrößen näherungsweise wie folgt abgeleitet werden:

$$\begin{aligned}\frac{\tau_{eV}}{\tau_e} &= \left(\frac{\tau_V}{\tau_e} \right)^{0,85} \\ \frac{\rho_{eV}}{\rho_e} &= \left(\frac{\rho_V}{\rho_e} \right)^{0,85}\end{aligned}\quad (11)$$

Damit lassen sich die Kenngrößen im nicht sichtbaren Bereich berechnen:

$$\begin{aligned}\tau_{eN} &= (\tau_e - S_{eV} \cdot \tau_{eV}) / S_{eN} \\ \rho_{eN} &= (\rho_e - S_{eV} \cdot \rho_{eV}) / S_{eN}\end{aligned}\quad (12)$$

Falls vorhanden, sollten Herstellerangaben für die Kenngrößen τ_{eV} und ρ_{eV} neben τ_V und ρ_V verwendet werden.

7.5 Strahlungsreflexion, -absorption und -transmission

Das Prinzip der Mehrfachreflexion ist anhand von Bild 2 erkennbar. Dabei sind prinzipiell unendlich viele Reflexionen zu berücksichtigen, bis die Strahlung entweder das System wieder verlassen hat oder an den Schichten des Systems absorbiert wurde. Diese können am einfachsten beginnend von der Innenseite des Systems berechnet werden, wenn die aus dem Innenraum kommende kurzwellige Strahlung – wie auch in DIN EN 410, ISO 9050, ISO 15099 und DIN EN 13363-2 – vernachlässigt oder bei höheren Genauigkeitsanforderungen gegebenenfalls separat berücksichtigt wird. Physikalisch gesehen beschreiben die Reflexionsgrade P (großes griechisches rho – ρ) die Gesamtreflexion an der jeweiligen Schicht unter Berücksichtigung aller dahinter bzw. zum Raum hin liegenden Schichten. Der Gesamtreflexionsgrad P_1 ist damit gleichzeitig schon der Gesamtreflexionsgrad des Fassadensystems.

Reflexionsgrad, Absorptionsgrad und Transmissionsgrad für das Gesamtsystem

Mit Gleichung (14) und Gleichung (15) sind alle erforderlichen Größen bekannt. Der Transmissionsgrad τ des gesamten Systems wird in der letzten Zeile der Formeln in Gleichung (16) angege-

7.4 Conversion of radiation characteristics

The integral characteristics τ_V and ρ_V for the visible wavelengths, which are known in most cases, do not represent the entire visible range, owing to the spectral sensitivity of the human eye, which means that they differ from the characteristics τ_{eV} and ρ_{eV} considered above. Where no other radiation data are available, the required characteristics can be derived approximately as follows:

$$\begin{aligned}\frac{\tau_{eV}}{\tau_e} &= \left(\frac{\tau_V}{\tau_e} \right)^{0,85} \\ \frac{\rho_{eV}}{\rho_e} &= \left(\frac{\rho_V}{\rho_e} \right)^{0,85}\end{aligned}\quad (11)$$

The characteristics for the non-visible range can then be calculated as follows:

$$\begin{aligned}\tau_{eN} &= (\tau_e - S_{eV} \cdot \tau_{eV}) / S_{eN} \\ \rho_{eN} &= (\rho_e - S_{eV} \cdot \rho_{eV}) / S_{eN}\end{aligned}\quad (12)$$

Where available, manufacturers' data for the characteristics τ_{eV} and ρ_{eV} should be used in addition to τ_V and ρ_V .

7.5 Radiation reflection, absorption and transmission

The principle of multiple reflections can be seen in Figure 3. Strictly, an infinite number of reflections must be taken into account, until the radiation has either left the system or has been absorbed by its layers. Calculating these reflections starting from the internal side of the system will be most straightforward if short-wavelength radiation from inside the room is either neglected – as is the case in DIN EN 410, ISO 9050, ISO 15099 and DIN EN 13363-2 – or is considered separately in the case of stricter accuracy requirements. Physically, the reflectances P (capital Greek rho – ρ) describe the total reflection by the layer in question, taking into account all lower layers or layers towards the room side. The total reflectance P_1 , then, is also the total reflectance of the facade system.

Reflectance, absorptance and transmittance for the entire system

After using Equation (14) and Equation (15) all required quantities are known. The transmittance τ of the entire system is given in the last line of the formulae in Equation (16). The absorptances

ben. Die noch benötigten Absorptionsgrade a_j an den einzelnen Schichten ergeben sich direkt aus den Strahlungsenergieströmen. Der Reflexionsgrad ρ des gesamten Systems wird in analoger Form ebenfalls mit angegeben, ist aber, wie oben schon angegeben, aus $\rho = P_1$ nach Gleichung (13) bereits bekannt.

a_j of the individual layers, which are required in addition, result directly from the radiant energy fluxes. The reflectance ρ of the entire system is given in analogous form, but, as mentioned above, it is already known from $\rho = P_1$ after using Equation (13).

$$\begin{array}{llll}
 \parallel (2) & \parallel\parallel (3) & \parallel\parallel\parallel (4) & \parallel\parallel\parallel\parallel (5) \\
 & & & P_4 = \rho_4 + \frac{\tau_4 \tau'_4 \rho_5}{1 - \rho'_4 \rho_5} \\
 & & P_3 = \rho_3 + \frac{\tau_3 \tau'_3 \rho_4}{1 - \rho'_3 \rho_4} & P_3 = \rho_3 + \frac{\tau_3 \tau'_3 P_4}{1 - \rho'_3 P_4} \\
 & P_2 = \rho_2 + \frac{\tau_2 \tau'_2 \rho_3}{1 - \rho'_2 \rho_3} & P_2 = \rho_2 + \frac{\tau_2 \tau'_2 P_4}{1 - \rho'_2 P_3} & P_2 = \rho_2 + \frac{\tau_2 \tau'_2 P_3}{1 - \rho'_2 P_3} \\
 P_1 = \rho_1 + \frac{\tau_1 \tau'_1 \rho_2}{1 - \rho'_1 \rho_2} & P_1 = \rho_1 + \frac{\tau_1 \tau'_1 P_2}{1 - \rho'_1 P_2} & P_1 = \rho_1 + \frac{\tau_1 \tau'_1 P_2}{1 - \rho'_1 P_2} & P_1 = \rho_1 + \frac{\tau_1 \tau'_1 P_2}{1 - \rho'_1 P_2}
 \end{array} \quad (13)$$

Mit diesen Gesamtreflexionsgraden P_j können die Strahlungsenergieströme

Using these total reflectances P_j , the radiant energy fluxes

- I (von außen nach innen gerichtet) und
- I' (von innen nach außen gerichtet)

- I (from the outside to the inside) and
- I' (from the inside to the outside)

in Bezug zu dem von außen eintretenden Strahlungsenergiestrom I_0 unmittelbar angegeben werden:

can be given directly referred to the radiant energy flux I_0 incident from the outside:

$$\begin{array}{llll}
 \parallel (2) & \parallel\parallel (3) & \parallel\parallel\parallel (4) & \parallel\parallel\parallel\parallel (5) \\
 \frac{I_1}{I_0} = \frac{\tau_1}{(1 - \rho'_1 P_2)} & \frac{I_1}{I_0} = \frac{\tau_1}{(1 - \rho'_1 P_2)} & \frac{I_1}{I_0} = \frac{\tau_1}{(1 - \rho'_1 P_2)} & \frac{I_1}{I_0} = \frac{\tau_1}{(1 - \rho'_1 P_2)} \\
 \frac{I_2}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} \tau_2 & \frac{I_2}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} \frac{\tau_2}{(1 - \rho'_2 P_3)} & \frac{I_2}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} \frac{\tau_2}{(1 - \rho'_2 P_3)} & \frac{I_2}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} \frac{\tau_2}{(1 - \rho'_2 P_3)} \\
 & \frac{I_3}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} \tau_3 & \frac{I_3}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} \frac{\tau_3}{(1 - \rho'_3 P_4)} & \frac{I_3}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} \frac{\tau_3}{(1 - \rho'_3 P_4)} \\
 & & \frac{I_4}{I_0} = \frac{I_3}{I_0} \tau_4 & \frac{I_4}{I_0} = \frac{I_3}{I_0} \frac{\tau_4}{(1 - \rho'_4 \rho_5)} \\
 & & & \frac{I_5}{I_0} = \frac{I_4}{I_0} \tau_5
 \end{array} \quad (14)$$

$$\begin{array}{llll}
 \parallel (2) & \parallel\parallel (3) & \parallel\parallel\parallel (4) & \parallel\parallel\parallel\parallel (5) \\
 \frac{I'_1}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} \rho_2 & \frac{I'_1}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} P_2 & \frac{I'_1}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} P_2 & \frac{I'_1}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} P_2 \\
 & \frac{I'_2}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} \rho_3 & \frac{I'_2}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} P_3 & \frac{I'_2}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} P_3 \\
 & & \frac{I'_3}{I_0} = \frac{I_3}{I_0} P_4 & \frac{I'_3}{I_0} = \frac{I_3}{I_0} P_4 \\
 & & & \frac{I'_4}{I_0} = \frac{I_4}{I_0} \rho_5
 \end{array} \quad (15)$$

$\parallel \quad (2)$ $\boxed{\rho} = \rho_1 + \tau'_1 \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_1} = (1 - \rho_1 - \tau_1) + (1 - \rho'_1 - \tau'_1) \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_2} = (1 - \rho_2 - \tau_2) \cdot \frac{I_1}{I_0}$	$\equiv \equiv \quad (3)$ $\boxed{\rho} = \rho_1 + \tau'_1 \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_1} = (1 - \rho_1 - \tau_1) + (1 - \rho'_1 - \tau'_1) \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_2} = (1 - \rho_2 - \tau_2) \cdot \frac{I_1}{I_0} + (1 - \rho'_2 - \tau'_2) \cdot \frac{I'_2}{I_0}$ $\boxed{a_3} = (1 - \rho_3 - \tau_3) \cdot \frac{I_2}{I_0}$	$\equiv \equiv \equiv \quad (4)$ $\boxed{\rho} = \rho_1 + \tau'_1 \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_1} = (1 - \rho_1 - \tau_1) + (1 - \rho'_1 - \tau'_1) \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_2} = (1 - \rho_2 - \tau_2) \cdot \frac{I_1}{I_0} + (1 - \rho'_2 - \tau'_2) \cdot \frac{I'_2}{I_0}$ $\boxed{a_3} = (1 - \rho_3 - \tau_3) \cdot \frac{I_2}{I_0} + (1 - \rho'_3 - \tau'_3) \cdot \frac{I'_3}{I_0}$ $\boxed{a_4} = (1 - \rho_4 - \tau_4) \cdot \frac{I_3}{I_0}$	$\equiv \equiv \equiv \equiv \quad (5)$ $\boxed{\rho} = \rho_1 + \tau'_1 \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_1} = (1 - \rho_1 - \tau_1) + (1 - \rho'_1 - \tau'_1) \cdot \frac{I'_1}{I_0}$ $\boxed{a_2} = (1 - \rho_2 - \tau_2) \cdot \frac{I_1}{I_0} + (1 - \rho'_2 - \tau'_2) \cdot \frac{I'_2}{I_0}$ $\boxed{a_3} = (1 - \rho_3 - \tau_3) \cdot \frac{I_2}{I_0} + (1 - \rho'_3 - \tau'_3) \cdot \frac{I'_3}{I_0}$ $\boxed{a_4} = (1 - \rho_4 - \tau_4) \cdot \frac{I_3}{I_0} + (1 - \rho'_4 - \tau'_4) \cdot \frac{I'_4}{I_0}$ $\boxed{a_5} = (1 - \rho_5 - \tau_5) \cdot \frac{I_4}{I_0}$
$\boxed{\tau} = \tau_2 \cdot \frac{I_1}{I_0}$	$\boxed{\tau} = \tau_3 \cdot \frac{I_2}{I_0}$	$\boxed{\tau} = \tau_4 \cdot \frac{I_3}{I_0}$	$\boxed{\tau} = \tau_5 \cdot \frac{I_4}{I_0}$

(16)

7.6 Kennwerte für Lamellensysteme

Lamellensysteme und ähnliche Systeme können mit den beschriebenen Algorithmen ebenfalls behandelt werden. Dazu werden geeignete strahlungsphysikalische Eigenschaften für den gesamten Lamellensonnenschutz definiert. Es existieren verschiedene Modelle, die von unendlich langen Lamellen in einer Ebene parallel zur Verglasung ausgehen und die zunächst mehrdimensionale Aufgabenstellung damit auf eine eindimensionale Lösung und letztlich eine Betrachtung der Verhältnisse zwischen zwei Lamellen reduzieren. Im allgemeinen Fall tritt sowohl direkte Transmission als auch direkt und diffus reflektierte Transmission auf. Bei unterschiedlicher Vorder- und Rückseite der Lamelle werden sich entsprechend unterschiedliche Transmissionsgrade von außen nach innen und von innen nach außen ergeben. Als weitere Einflussparameter sind Krümmung und Dicke der Lamellen zu nennen, die aber in dieser Richtlinie nicht berücksichtigt werden.

Zur Berechnung der Kennwerte für Lamellensysteme (Jalousien) existieren verschiedene Ansätze, u. a. nach

7.6 Characteristics for lamellae systems

Lamellae systems and similar systems can also be treated using the algorithms described. To this end, suitable radiation properties are defined for the entire lamellar sunshading. Various models exist, assuming infinitely long lamellae in a plane parallel to the glazing, thus reducing the initially multi-dimensional problem to a one-dimensional solution and, eventually, to the consideration of the conditions between two lamellae. In the general case, there will be direct transmission as well as directly and diffusely reflected transmission. Where front and rear faces of a lamella are different, transmittances will differ for transmission from the outside to the inside and from the inside to the outside. Further parameters, which, however, are not addressed in this guideline, are the curvature and thickness of the lamellae.

There are various approaches for calculating the characteristics of lamellae systems (blinds), specified in, among others:

- ISO 15099,
- WIS [3] und
- DIN EN 13363-2,

die sich sowohl bezüglich der Diskretisierung wie auch der berücksichtigten Oberflächeneigenschaften unterscheiden. Komplexere Verfahren auf Basis von Raytracern werden aktuell erprobt. Ein umfassenderer Vergleich über Entwicklung und Stand der Modelle zur Berechnung von Lamellensystemen findet sich in [10].

In dieser Richtlinie wird zur Ermittlung der Kennwerte für Lamellensysteme auf das noch vergleichsweise einfache Modell in DIN EN 13363-2 zurückgegriffen.

Dieses Modell steht für die näherungsweise Berücksichtigung der „üblichen“ Einstellung der Lamellen nach der „Cut-off-Stellung“, bei der Lamellen so eingestellt werden, dass die Sonne direkt nicht sichtbar ist, eine Durchsicht jedoch weiterhin möglich ist und Tageslicht ausreichend einfallen kann.

Das Verfahren gilt unter der Annahme, dass

- Jalousien/Lamellen so eingestellt werden, dass sie direkten Einfall der Sonnenstrahlen ausschließen (das heißt Solareinstrahlung parallel zur Normale der Jalousie),
- Transmissions- und Reflexionsgrade der Oberflächen diffus sind,
- Lamellen senkrecht zu den Sonnenstrahlen stehen und
- Lamellen und ebene Schichten sich bezüglich des konvektiven Wärmeübergangs ähnlich verhalten.

Für Fälle, in denen diese Annahmen nicht zutreffen, sind aufwendigere Berechnungen oder Messungen erforderlich.

Das Verfahren ist für direkte und diffuse Sonneneinstrahlung jeweils separat anzuwenden. Bei selektiven Unterschieden der Lamellenoberflächen, z.B. bezüglich der Reflexionsgrade im sichtbaren und nicht sichtbaren Bereich, sind die Berechnungen entsprechend dem Zwei-Bereichs-Modell sowohl für den sichtbaren als auch für den nicht sichtbaren Bereich durchzuführen.

7.6.1 Geometrische Kenngrößen

Bild 4 veranschaulicht die geometrischen Verhältnisse.

Für die Berechnung des Strahlungsaustauschs innerhalb des Lamellensystems werden Einstrahlzahlen bzw. sogenannte Winkelfaktoren $\Phi_{i,j}$ benötigt.

- ISO 15099,
- WIS [3] and
- DIN EN 13363-2.

Differences between these approaches exist in discretisation as well as in the surface properties taken into account. More complex techniques based on ray tracing are currently under test. A comprehensive survey of the development and status of the models for calculating lamellae systems can be found in [10].

For determining the characteristics of lamellae systems, this guideline relies on the relatively simple model described in DIN EN 13363-2.

This model represents the approximate consideration of the “common” alignment of the lamellae based on the cut-off angle, where lamellae are so aligned that direct visibility of the sun is cut off while maintaining the view to the outside and allowing sufficient daylight penetration.

The method will be valid if

- blinds/lamellae are adjusted to exclude direct incidence of sunrays (i.e. solar incidence normal to the blind),
- transmittances and reflectances of the surfaces are for diffuse radiation,
- lamellae are aligned normal to the sunrays, and
- lamellae and plane layers behave similarly in terms of convective heat transfer.

Where these assumptions do not hold, more complex calculations or measurements are required.

The method must be applied separately for direct and diffuse solar irradiation. In the presence of selective differences of the lamella surfaces, for instance regarding reflectances in the visible and non-visible ranges, calculations of the two-range model must be carried out for the visible as well as for the non-visible range.

7.6.1 Geometric characteristics

Figure 4 illustrates the geometric conditions.

The calculation of the radiation exchange within the lamellae system requires view factors, or so-called angle factors, $\Phi_{i,j}$.

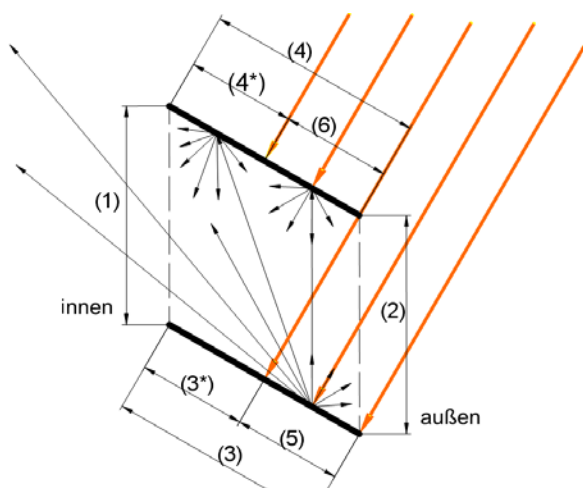


Bild 4. Lamellen mit Lamellenbreite (3) = (4) und Lamellenabstand (2) = (1)

Die Berücksichtigung der Mehrfachreflexion inklusive einer möglichen – diffusen – Transmission durch die Lamellen selbst führt auf die in DIN EN 13363-2 verwendeten Terme, durch deren Verwendung die Lösungen noch überschaubar gehalten werden können.

Mit den Kennwerten für die Einzellamellen werden die Zwischenwerte Z (Vorderseite) und Z' (Rückseite) ermittelt zu:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}}{1 - \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}} \\ Z' &= \frac{\rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}}{1 - \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}} \end{aligned} \quad (17)$$

Dabei sind τ_{Lam} , ρ_{Lam} und ρ'_{Lam} die Kennwerte für die Einzellamelle.

Grundsätzlich können die Einstrahlzahlen $\Phi_{i,j}$ für beliebige geometrische Anordnungen und für einen variablen Anstellwinkel der Strahlung berechnet werden. Das ist aufwendig. Für die Berechnung des thermischen Gebäudeverhaltens wird der „typische“ Fall für die Kennwerte des Systems Verglasung/Sonnenschutz betrachtet:

- Lamellenbreite = Lamellenabstand + 10% (das entspricht einer 10%igen „Überdeckung“)
- Anstellwinkel: 45°
- Einstrahlung parallel zur Flächennormalen der Einzellamellen

Zahlenwerte für Einstrahlzahlen $\Phi_{i,j}$ sind für diese Randbedingungen im Anhang A4.1 zusammengestellt.

Grundsätzlich können mit Gleichung (17) bis Gleichung (23) auch vom Lamellenwinkel 45° und von der Sonnenhöhe 45° abweichende Sonnenstände berücksichtigt werden. Dazu sind die zugehörigen Werte für $\Phi_{i,j}$ einzusetzen. (Dies ist nicht Bestandteil dieser Richtlinie.)

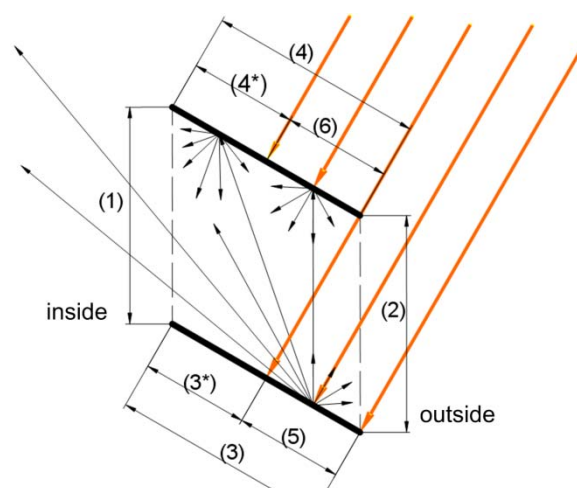


Figure 4. Lamellae where lamella thickness (3) = (4) and lamella spacing (2) = (1)

Taking into account multiple reflections including a potential – diffuse – transmission through the lamellae proper leads to the terms used in DIN EN 13363-2, which allow to keep the solutions just straightforward.

Using the characteristics for the individual lamellae, the intermediate values, Z (front) and Z' (rear) are determined as:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}}{1 - \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}} \\ Z' &= \frac{\rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}}{1 - \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34}} \end{aligned} \quad (17)$$

where, τ_{Lam} , ρ_{Lam} and ρ'_{Lam} are characteristics of the individual lamella.

View factors $\Phi_{i,j}$ can, in principle, be calculated for arbitrary geometrical arrangements and for variable angles of incidence of the radiation. This procedure takes quite an effort. The calculation of the thermal response of the building considers the “typical” case for the characteristics of the glazing/sunshading system:

- lamella width = lamella spacing + 10% (corresponding to 10% overlap)
- angle of incidence: 45°
- incidence of radiation normal to individual lamella

Numerical values of view factors, $\Phi_{i,j}$, have been compiled for these boundary conditions in Annex A4.1.

Using Equation (17) through Equation (23) will, in principle, also allow to calculate solar positions deviating from a lamella angle of 45° and from a solar altitude of 45° . To this end, enter the pertinent values of $\Phi_{i,j}$. (This calculation is not part of the method laid out in this guideline.)

Bei der Ermittlung der Kennwerte für das Lamellensystem (Jalousie) τ_s , ρ_s , τ'_s und ρ'_s muss zwischen dem Fall der direkten Sonneneinstrahlung und dem der diffusen Sonneneinstrahlung unterschieden werden (siehe hierzu auch die Erläuterungen zum Berechnungsablaufplan in Anhang A1.2).

Die Kennwerte τ_s , ρ_s , τ'_s und ρ'_s nach Gleichung (18) bis Gleichung (23) sind dann als Kennwerte τ_s , ρ_s , τ'_s und ρ'_s der „festen“ Schicht j des Lamellensystem in Gleichung (13) bis Gleichung (16) einzusetzen.

7.6.2 Direkte Strahlung

Für direkte Strahlung auf das Lamellensystem (Jalousie) lassen sich die folgenden Gleichungen angeben:

$$\tau_{s,\text{dir}} = \rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{51} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{61} + \frac{(\Phi_{31} + \Phi_{41} \cdot Z') \cdot \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{63} + (\Phi_{31} \cdot Z + \Phi_{41}) \cdot \rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{54}}{\Phi_{34} \cdot (1 - Z \cdot Z')} \cdot Z \quad (18)$$

$$\rho_{s,\text{dir}} = \rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{52} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{62} + \frac{(\Phi_{32} + \Phi_{42} \cdot Z') \cdot \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{63} + (\Phi_{32} \cdot Z + \Phi_{42}) \cdot \rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{54}}{\Phi_{34} \cdot (1 - Z \cdot Z')} \cdot Z \quad (19)$$

7.6.3 Diffuse Strahlung

Für diffuse Strahlung gelten die folgenden Gleichungen:

$$\tau_{s,\text{diff}} = \Phi_{21} + \frac{(\Phi_{31} + \Phi_{41} \cdot Z') \cdot (\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{23} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{24}) + (\Phi_{31} \cdot Z + \Phi_{41}) \cdot (\rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{24} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{23})}{\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34} \cdot (1 - Z \cdot Z')} \cdot Z \quad (20)$$

$$\rho_{s,\text{diff}} = \frac{(\Phi_{32} + \Phi_{42} \cdot Z') \cdot (\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{23} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{24}) + (\Phi_{32} \cdot Z + \Phi_{42}) \cdot (\rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{24} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{23})}{\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34} \cdot (1 - Z \cdot Z')} \cdot Z \quad (21)$$

Liegt der Lamellensonnenschutz innerhalb des Fassadensystems (bzw. außen vor der Verglasung), werden die Kenngrößen für die Behandlung der an den dahinter liegenden Scheiben reflektierten Strahlung benötigt. Diese wird grundsätzlich als diffus angesetzt.

$$\tau'_{s,\text{diff}} = \Phi_{12} + \frac{(\Phi_{32} + \Phi_{42} \cdot Z') \cdot (\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{13} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{14}) + (\Phi_{32} \cdot Z + \Phi_{42}) \cdot (\rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{14} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{13})}{\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34} \cdot (1 - Z \cdot Z')} \cdot Z \quad (22)$$

$$\rho'_{s,\text{diff}} = \frac{(\Phi_{31} + \Phi_{41} \cdot Z') \cdot (\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{13} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{14}) + (\Phi_{31} \cdot Z + \Phi_{41}) \cdot (\rho'_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{14} + \tau_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{13})}{\rho_{\text{Lam}} \cdot \Phi_{34} \cdot (1 - Z \cdot Z')} \cdot Z \quad (23)$$

7.6.4 Globalstrahlung

Im Sinne eines einfachen Ergebnisses können auch Strahlungstransmissionsgrade und Strahlungsreflexionsgrade für Globalstrahlung definiert werden. Dies erfordert allerdings, dass geeignete Annahmen für die Anteile der Direktstrahlung und der Diffusstrahlung an der Globalstrahlung getroffen werden, die im Jahresgang natürlich zwangsläufig nur näherungsweise gelten und auch bei eventuellen Sonnenschutzmaßnahmen an Nord-, Nordost oder Nordwestfassaden oder auch bei geneigten

When determining the characteristics for the lamellae system (blind), τ_s , ρ_s , τ'_s and ρ'_s , a distinction must be made between direct solar irradiation and diffuse solar irradiation (in this context, see also the explanations regarding the calculation process in Annex A1.2).

The characteristics τ_s , ρ_s , τ'_s and ρ'_s as per Equation (18) through Equation (23) shall then be used as the characteristics τ_s , ρ_s , τ'_s and ρ'_s of the “solid” layer j of the lamellae system in Equation (13) through Equation (16).

7.6.2 Direct radiation

The following equations can be given for direct radiation incident on the lamellae system (blind):

7.6.3 Diffuse radiation

The following equations apply to diffuse radiation:

If the lamellar sunshading is positioned within the facade system (or on the outer side of the glazing), the characteristics for treating the radiation reflected by the panes arranged behind it are required. This radiation is always assumed to be diffuse.

7.6.4 Global radiation

For a straightforward result to be obtained, radiation transmittances and radiation reflectances can also be defined for global radiation; to this end, however, suitable assumptions of the direct and diffuse fractions of global radiation are required, which can naturally only be approximations over a year and will yield insufficient results even with any sunshading on north, northeast or northwest facades and inclined facades (cf. DIN EN 410). The total energy transmittance as per this guide-

Fassaden zu unzureichenden Ergebnissen führen (vgl. DIN EN 410). Der Gesamtenergiedurchlassgrad nach dieser Richtlinie ist daher separat für Direkt- und Diffusstrahlung anzugeben und bei der Berechnung von Kühllasten oder Raumtemperaturen nach VDI 2078 auf die jeweiligen Komponenten der auftretenden kurzwelligen Strahlung anzuwenden.

In DIN EN 13363-2 wird eine Gewichtung der Transmissions- und Reflexionsgrade für direkte und diffuse Strahlung mit 85% bzw. 15% empfohlen, gleichzeitig aber angemerkt, dass eine Mischung von Direkt- und Diffusstrahlung verwendet werden sollte, die für die örtlichen Klimabedingungen geeignet ist. Angesichts der skizzierten Zusammenhänge und auch der Anteile der Direkt- und Diffusstrahlung in den Strahlungsdaten der in Vorbereitung befindlichen VDI 2078 wird diese Gewichtung nicht übernommen werden. In [7] wird eine etwas andere Gewichtung des Gesamtenergiedurchlassgrads angegeben:

$$g_{\text{tot}} = 0,75 \cdot g_{\text{tot,dir}} + 0,25 \cdot g_{\text{tot,diff}} \quad (24)$$

Diese Wichtung ist nur für informative Zwecke und Vergleiche mit anderen Berechnungsverfahren erforderlich.

In Bezug auf die Richtlinien VDI 6007 Blatt 1 und Blatt 3 und VDI 2078 wird die Wichtung zu g_{tot} gemäß Gleichung (24) nur zur Ermittlung des Konvektivanteils des Solarenergieeintrags $a_{\text{tot,kon}}$ durch das Verglasungssystem (mit Sonnenschutz-einrichtung) erforderlich, siehe Gleichung (60).

7.6.5 Besonderheiten bei mehreren beweglichen Sonnenschutz-einrichtungen

Für die Kombination von Verglasung mit mehreren beweglichen Sonnenschutz-einrichtungen gilt unabhängig davon, ob der äußere Sonnenschutz durch ein Lamellensystem oder einem Screen gebildet wird:

Ist der äußere Sonnenschutz wirksam, wird der innere Sonnenschutz nur mit diffuser Strahlung beaufschlagt.

Das bedeutet, dass in diesem Fall ein inneres Lamellensystem nur für diffuse Strahlung zu berechnen ist.

8 Thermische Berechnungen

In den mit Luft oder Gas gefüllten Spalten zwischen den festen Schichten (Glas, Sonnenschutz) findet sowohl konvektiver Wärmetransport als auch Wärmetransport aufgrund thermischer Strahlung statt. Gegebenenfalls ist zusätzlich eine Durchlüftung zu berücksichtigen. Diese Wärmetransportmechanismen werden zunächst in einem

line, then, must be given separately for direct and diffuse radiation and must be applied to the pertinent components of the incident short-wavelength radiation in the calculation of cooling loads or room temperatures as per VDI 2078.

DIN EN 13363-2 recommends weighting the transmittances and reflectances for direct and diffuse radiation with 85% and 15%, respectively, while noting at the same time that the direct and diffuse radiation should be combined in a manner representative of local climatic conditions. In view of the facts outlined above, and the fractions of direct and diffuse radiation to be published in the upcoming edition of VDI 2078, this weighting is not adopted in this guideline. [8] suggests a slightly different weighting of the total energy transmittance:

$$g_{\text{tot}} = 0,75 \cdot g_{\text{tot,dir}} + 0,25 \cdot g_{\text{tot,diff}} \quad (24)$$

This weighting is required but for information and for comparisons with different calculation procedures.

In the context of the guidelines VDI 6007 Part 1 and Part 3 and VDI 2078, the weighting of g_{tot} described in Equation (24) is solely required for determining the convective fraction of the solar energy input, $a_{\text{tot,kon}}$, through the glazing system (with sunshading installed), see Equation (60).

7.6.5 Specifics in the case of several movable sunshading units

Where glazing is combined with several movable sunshading units, the following applies irrespective of whether the external sunshading is a lamellae system or a screen:

If the external sunshading is effective, only diffuse radiation will impinge on the internal sunshading.

This means that in such a case an internal lamellae system need only be calculated for diffuse radiation.

8 Thermal calculations

Both convective heat transfer and radiant heat transfer occur in the air- or gas-filled interstices between the solid layers (glazing, sunshading). Ventilation may be taken into account in addition. These mechanisms of heat transfer are initially explained using a resistor network model (see Figure 5) and can be subsumed in an overall re-

Widerstandsnetzwerk erläutert (siehe Bild 5) und können bei nicht durchlüftetem Zwischenraum zu einem Gesamtwiderstand zusammengefasst werden.

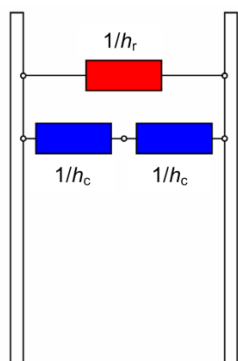


Bild 5. Thermische Strahlung und Konvektion im Zwischenraum

8.1 Konvektiver Wärmeübergang

Der konvektive Wärmeübergang zwischen den festen Schichten und dem Gas bzw. der Luft im Zwischenraum wird durch einen konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten h_c beschrieben, der nach bekannten Beziehungen (vgl. Abschnitt 8.6.3) berechnet werden kann. Die erforderlichen Stoffwerte für Gase werden im Anhang A1.1 angegeben, die Stoffwerte für Gasgemische mit 10% Luftanteil finden sich im Anhang A3.2. Die Bezugstemperaturen stehen im Anhang A2.1.

8.2 Thermische Strahlung

Die thermische Strahlung ist physikalisch nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz zu berechnen. Zwischen zwei parallelen großen Flächen (feste Schichten j und $j+1$) kann die Berechnung des thermischen Strahlungsaustauschs allerdings ohne Einschränkung auch mittels eines fiktiven Wärmeaustauschkoeffizienten oder Strahlungsleitwerts

$$h_r = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_j} + \frac{1}{\varepsilon_{j+1}} - 1} \cdot \frac{(T_j^4 - T_{j+1}^4)}{(T_j - T_{j+1})} \quad (25)$$

$$= \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_j} + \frac{1}{\varepsilon_{j+1}} - 1} \cdot (T_j^2 + T_{j+1}^2)(T_j + T_{j+1})$$

durchgeführt werden. Im betrachteten Temperaturbereich hängt dieser Austauschkoefizient nur geringfügig von den absoluten Temperaturen ab, sodass für die Anhaltswerte nach VDI 6007 Blatt 2 eine Berechnung bei vorgegebener Bezugstemperatur (vgl. Anhang A2.1) ausreicht.

distance in the case of a non-ventilated interstice.

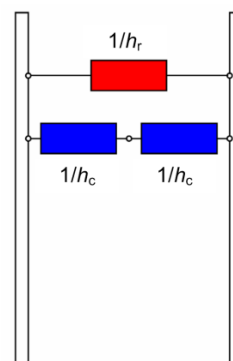


Figure 5. Thermal radiation and convection in the interstice

8.1 Convective heat transfer

Convective heat transfer between the solid layers and the gas or the air in the interstice is described by a convective heat transfer coefficient, h_c , which can be calculated using known relations (cf. Section 8.6.3). The required material characteristics for gases are given in Annex A1.1, for mixtures of gases with a fraction of air of 10% in Annex A3.2. Reference temperatures are given in Annex A2.1.

8.2 Thermal radiation

The physics underlying the calculation of thermal radiation is described by the Stefan-Boltzmann law. However, the exchange of thermal radiation between two parallel large surfaces (solid layers j and $j+1$) can also be calculated without any limitations using a fictitious heat transfer coefficient or radiation conductance:

$$h_r = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_j} + \frac{1}{\varepsilon_{j+1}} - 1} \cdot \frac{(T_j^4 - T_{j+1}^4)}{(T_j - T_{j+1})} \quad (25)$$

$$= \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_j} + \frac{1}{\varepsilon_{j+1}} - 1} \cdot (T_j^2 + T_{j+1}^2)(T_j + T_{j+1})$$

In the temperature range under consideration, this transfer coefficient varies only marginally with absolute temperatures so that a calculation for a specified reference temperature (cf. Annex A2.1) will suffice for the indicative values as per VDI 6007 Part 2.

8.3 Durchlüftung

Die Intensität der Durchlüftung der Zwischenräume wird in analoger Weise zu Bild 5 mit Wärmeaustauschkoeffizienten h_v (bzw. Wärmewiderständen $1/h_v$) beschrieben, sodass letztlich einfache Widerstandsnetzwerke für die Zwischenräume resultieren (vgl. Bild 6).

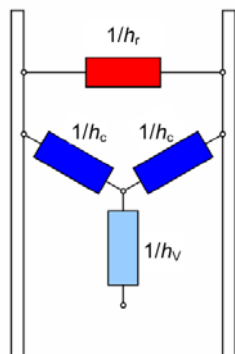


Bild 6. Thermische Strahlung, Konvektion und Durchlüftung

Die Lufttemperatur im Zwischenraum ändert sich mit der Lauflänge im Zwischenraum (siehe auch ISO 15099 und DIN EN 13363-2). Um ein einfaches und überschaubares Berechnungsverfahren zu erhalten, wird die Austrittstemperatur in der Bilanz durch die mittlere Temperatur im Zwischenraum ersetzt. Damit kann man folgende Näherungsgleichung ansetzen:

$$h_v = \frac{\dot{V} \cdot c_p \cdot \rho}{A} \cdot \frac{\kappa \cdot [1 - \exp(-\kappa)]}{\kappa - [1 - \exp(-\kappa)]} \quad (26)$$

In Gleichung (26) ist die bekannte dimensionslose, charakteristische Wärmeübertragerkenngröße κ enthalten:

$$\kappa = \frac{2 \cdot h_c \cdot A}{\dot{V} \cdot c_p \cdot \rho} \quad (27)$$

Dabei ist

\dot{V} Luftvolumenstrom durch den Zwischenraum

- bei mechanischer Durchlüftung des Zwischenraums: Vorgabewert (siehe Abschnitt 8.6.4)
- bei natürlicher Durchlüftung des Zwischenraums: errechneter Wert (siehe Abschnitt 8.6.5)

A Ansichtsfläche des Zwischenraums = Höhe \times Breite

Anmerkung: Dies ist nicht die Querschnittsfläche der Durchströmung!

Bei fehlender Durchlüftung mit $\dot{V} = 0$ wird $\kappa \rightarrow \infty$. Somit ist $h_v \rightarrow 0$ bzw. $1/h_v \rightarrow \infty$. Somit ergeben sich automatisch wieder dieselben Gleichungen wie bei einem nicht durchlüfteten Zwischenraum.

8.3 Ventilation

The intensity of the ventilation of the interstices is described by means of heat transfer coefficients, h_v (or thermal resistances $1/h_v$), in a manner analogous to Figure 5, which means that eventually simple resistor networks result for the interstices (cf. Figure 6).

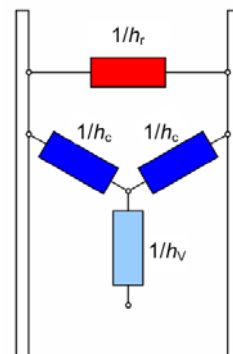


Figure 6. Thermal radiation, convection and ventilation

The air temperature in the interstice will vary with the distance travelled in the interstice (see also ISO 15099 and DIN EN 13363-2). For a simple and straightforward calculation procedure, the exit temperature is replaced, in the balance, by the average temperature in the interstice; thus, the following approximate equation can be formulated:

$$h_v = \frac{\dot{V} \cdot c_p \cdot \rho}{A} \cdot \frac{\kappa \cdot [1 - \exp(-\kappa)]}{\kappa - [1 - \exp(-\kappa)]} \quad (26)$$

Equation (26) contains the known, dimensionless characteristic number of transfer units κ :

$$\kappa = \frac{2 \cdot h_c \cdot A}{\dot{V} \cdot c_p \cdot \rho} \quad (27)$$

where

\dot{V} air volume flow through the interstice

- for mechanical ventilation of the interstice: default value (see Section 8.6.4)
- for natural-draught ventilation of the interstice: calculated value (see Section 8.6.5)

A area of interstice = height \times width

Note: This is not the cross-sectional area of the flow!

In the absence of ventilation, i.e. $\dot{V} = 0$, then $\kappa \rightarrow \infty$; thus, the same equations result as for a non-ventilated interstice.

8.4 Wärmedurchlasskoeffizienten Λ und Λ_v

Mit den folgenden fiktiven Wärmedurchlasskoeffizienten für den durchlüfteten Zwischenraum

$$\Lambda = \frac{h_c}{\frac{h_v}{h_c} + 2} + h_r \quad (28)$$

$$\Lambda_v = \frac{h_v}{\frac{h_v}{h_c} + 2} \quad (29)$$

kann das Widerstandnetzwerk in eine Dreieck-Schaltung (vgl. Bild 7) überführt werden.

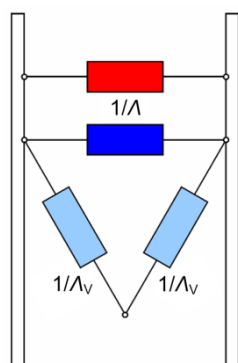


Bild 7. Dreieck-Schaltung

Die parallel geschalteten Widerstände aufgrund Konvektion und thermischer Strahlung sind dabei zu einem Gesamtwiderstand $1/\Lambda$ zusammengefasst.

8.5 Gleichungssystem zur Ermittlung des sekundären Wärmeabgabegrads q_i

Die Gleichungen mit den Wärmedurchlasskoeffizienten Λ und Λ_v bzw. Wärmewiderständen $1/\Lambda$ und $1/\Lambda_v$ nach Gleichung (28) und Gleichung (29) sind für alle Zwischenräume aufzustellen. Die Lösung des resultierenden Gleichungssatzes gelingt, indem man, physikalisch gesehen, von außen sukzessive eine Schicht nach der anderen eliminiert und ersatzweise einen Wärmeübergangskoeffizienten $(1 - \chi_j) \cdot \Lambda_j + \Lambda_{v,j}$ bzw. Wärmewiderstand $1/[(1 - \chi_j) \cdot \Lambda_j + \Lambda_{v,j}]$ zur – quasi neuen – Umgebung einführt. Mathematisch gesehen, sind folgende Größen χ_j zu bestimmen:

8.4 Thermal conductances Λ and Λ_v

Using the following fictitious thermal conductances for the ventilated interstice

$$\Lambda = \frac{h_c}{\frac{h_v}{h_c} + 2} + h_r \quad (28)$$

$$\Lambda_v = \frac{h_v}{\frac{h_v}{h_c} + 2} \quad (29)$$

the resistor network can be converted to a delta connection (cf. Figure 7).

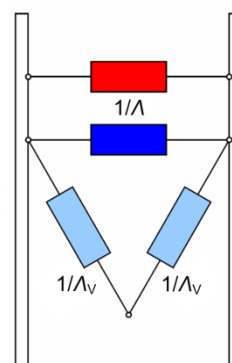


Figure 7. Delta connection

The parallel resistances due to convection and thermal radiation are subsumed in an overall resistance $1/\Lambda$.

8.5 Set of equations for determining the secondary heat transfer factor q_i

The equations using the thermal conductances Λ and Λ_v or the thermal resistances $1/\Lambda$ and $1/\Lambda_v$ as per Equation (28) and Equation (29) must be formulated for all interstices. Solving the resulting set of equations, in the language of physics, is a process of successively eliminating layer after layer, starting from the outside, introducing a heat transfer coefficient $(1 - \chi_j) \cdot \Lambda_j + \Lambda_{v,j}$ or a thermal resistance $1/[(1 - \chi_j) \cdot \Lambda_j + \Lambda_{v,j}]$ towards the – new, virtual – environment. Mathematically speaking, the following quantities χ_j must be determined:

$$\begin{array}{llll}
 \text{|| (2)} & \text{||| (3)} & \text{|||| (4)} & \text{||||| (5)} \\
 \chi_1 = \frac{A_1}{h_e + A_{v1} + A_1} & \chi_1 = \frac{A_1}{h_e + A_{v1} + A_1} & \chi_1 = \frac{A_1}{h_e + A_{v1} + A_1} & \chi_1 = \frac{A_1}{h_e + A_{v1} + A_1} \\
 \chi_2 = \frac{A_2}{(1 - \chi_1)A_1 + A_{v1} + h_i} & \chi_2 = \frac{A_2}{(1 - \chi_1)A_1 + A_{v1} + A_{v2} + A_2} & \chi_2 = \frac{A_2}{(1 - \chi_1)A_1 + A_{v1} + A_{v2} + A_2} & \chi_2 = \frac{A_2}{(1 - \chi_1)A_1 + A_{v1} + A_{v2} + A_2} \\
 & \chi_3 = \frac{A_3}{(1 - \chi_2)A_2 + A_{v2} + h_i} & \chi_3 = \frac{A_3}{(1 - \chi_2)A_2 + A_{v2} + A_{v3} + A_3} & \chi_3 = \frac{A_3}{(1 - \chi_2)A_2 + A_{v2} + A_{v3} + A_3} \\
 & & \chi_4 = \frac{h_i}{(1 - \chi_3)A_3 + A_{v3} + h_i} & \chi_4 = \frac{A_4}{(1 - \chi_3)A_3 + A_{v3} + A_{v4} + A_4} \\
 & & & \chi_5 = \frac{h_i}{(1 - \chi_4)A_4 + A_{v4} + h_i}
 \end{array} \quad (30)$$

Inward Flowing Fractions

Mit den Abkürzungen χ_j nach Gleichung (30) lassen sich die Inward Flowing Fractions N_1, N_2, \dots bestimmen. Diese geben an, welcher Anteil der Strahlungsabsorption auf den jeweiligen Schichten dem Raum zufließt und sind für Optimierungsuntersuchungen zu den einzelnen Schichten interessant.

$$\begin{array}{llll}
 \text{|| (2)} & \text{||| (3)} & \text{|||| (4)} & \text{||||| (5)} \\
 N_1 = \chi_2 \chi_1 & N_1 = \chi_3 \chi_2 \chi_1 & N_1 = \chi_4 \chi_3 \chi_2 \chi_1 & N_1 = \chi_5 \chi_4 \chi_3 \chi_2 \chi_1 \\
 N_2 = \chi_2 & N_2 = \chi_3 \chi_2 & N_2 = \chi_4 \chi_3 \chi_2 & N_2 = \chi_5 \chi_4 \chi_3 \chi_2 \\
 & N_3 = \chi_3 & N_3 = \chi_4 \chi_3 & N_3 = \chi_5 \chi_4 \chi_3 \\
 & & N_4 = \chi_4 & N_4 = \chi_5 \chi_4 \\
 & & & N_5 = \chi_5
 \end{array} \quad (31)$$

8.5.1 Sekundärer Wärmeabgabegrad

$q_{i,c}, q_{i,r}, q_{i,c}$

Der sekundäre Wärmeabgabegrad ergibt sich nun aus:

$$\begin{array}{llll}
 \text{|| (2)} & \text{||| (3)} & \text{|||| (4)} & \text{||||| (5)} \\
 q_{i,r+c} = N_1 a_{e1} & q_{i,r+c} = N_1 a_{e1} & q_{i,r+c} = N_1 a_{e1} & q_{i,r+c} = N_1 a_{e1} \\
 + N_2 a_{e2} & + N_2 a_{e2} & + N_2 a_{e2} & + N_2 a_{e2} \\
 & + N_3 a_{e3} & + N_3 a_{e3} & + N_3 a_{e3} \\
 & & + N_4 a_{e4} & + N_4 a_{e4} \\
 & & & + N_5 a_{e5}
 \end{array} \quad (32)$$

Die Unterscheidung der sekundären Wärmeabgabe in die Komponenten

- sekundärer Wärmeabgabegrad aufgrund Wärmestrahlung $q_{i,r}$ und
- sekundärer Wärmeabgabegrad aufgrund Konvektion $q_{i,c}$

erfolgt entsprechend den jeweiligen Wärmeübergangskoeffizienten

Inward flowing fractions

The abbreviations χ_j as per Equation (30) allow to determine the inward flowing fractions N_1, N_2, \dots . These values indicate the fractions of radiation absorption by the layers in question, which flow into the room and are of interest for investigating optimisations of the individual layers.

8.5.1 Secondary heat transfer factors

$q_{i,c}, q_{i,r}, q_{i,c}$

The secondary heat transfer factor, then, results from:

Distinguishing the secondary heat transfer factor into its components

- secondary heat transfer factor due to radiant heat, $q_{i,r}$, and
- secondary heat transfer factor due to convection, $q_{i,c}$,

is carried out based on the corresponding heat transfer coefficients

$$\begin{aligned} q_{i,r} &= \frac{h_{i,r}}{h_i} q_{i,r+c} \\ q_{i,c} &= \frac{h_{i,c}}{h_i} q_{i,r+c} \end{aligned} \quad (33)$$

wobei für die Wärmeübergangskoeffizienten $h_{i,r} + h_{i,c} = h_i$ gilt.

Diese Aufteilung der sekundären Wärmeabgabe ist zur Ermittlung des Konvektivanteils des Gesamtenergiedurchlassgrads g nach Gleichung (39) erforderlich.

Wärmedurchgangskoeffizient U_{r+c}

In analoger Weise ergibt sich für den ungestörten Bereich (ohne Rahmen, Profile etc.) auch der zugehörige Wärmedurchgangskoeffizient U_{r+c} unter Berücksichtigung eventueller Durchlüftungen:

$$\begin{aligned} \text{II (2)} \quad U_{r+c} &= N_1 \cdot h_e \\ &+ (N_2 + N_1) A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e} \\ \text{III (3)} \quad U_{r+c} &= N_1 \cdot h_e \\ &+ (N_2 + N_1) A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e} \\ &+ (N_3 + N_2) A_{v2} \frac{\Delta T_{in,2}}{\Delta T_e} \\ \text{IV (4)} \quad U_{r+c} &= N_1 \cdot h_e \\ &+ (N_2 + N_1) A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e} \\ &+ (N_3 + N_2) A_{v2} \frac{\Delta T_{in,2}}{\Delta T_e} \\ &+ (N_4 + N_3) A_{v3} \frac{\Delta T_{in,3}}{\Delta T_e} \\ \text{V (5)} \quad U_{r+c} &= N_1 \cdot h_e \\ &+ (N_2 + N_1) A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e} \\ &+ (N_3 + N_2) A_{v2} \frac{\Delta T_{in,2}}{\Delta T_e} \\ &+ (N_4 + N_3) A_{v3} \frac{\Delta T_{in,3}}{\Delta T_e} \\ &+ (N_5 + N_4) A_{v4} \frac{\Delta T_{in,4}}{\Delta T_e} \end{aligned} \quad (34)$$

8.5.2 Sekundärer Wärmeabgabegrad $q_{i,v}$

Im Falle einer Durchlüftung eines Zwischenraums mit Raumluft (z.B. bei einem innen liegenden Sonnenschutz) ist zusätzlich zur sekundären Wärmeabgabe $q_{i,r+c}$ nach Gleichung (32) noch die sekundäre Wärmeabgabe $q_{i,v}$ für die Durchlüftung mittels Raumluft zu berücksichtigen. Damit wird dem Wärmeaustausch der Luft zwischen Sonnenschutz und Verglasung mit dem Raum Rechnung getragen.

Unter Einbezug der Kennwerte aus Gleichung (28) bis Gleichung (30) gilt:

$$\begin{aligned} \text{II (2)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_1) \frac{A_{v1}}{h_i} + \frac{A_{v1}}{\chi_2 A_1} \\ \text{III (3)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_2) \frac{A_{v2}}{h_i} + \frac{A_{v2}}{\chi_3 A_2} \\ \text{IV (4)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_3) \frac{A_{v3}}{h_i} + \frac{A_{v3}}{\chi_4 A_3} \\ \text{V (5)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_4) \frac{A_{v4}}{h_i} + \frac{A_{v4}}{\chi_5 A_4} \end{aligned} \quad (35)$$

Bei fehlender Durchlüftung mit Raumluft ist $\chi_v = 0$. (Ebenso ist $A_{v,n-1} = 0$.)

Die zusätzliche sekundäre Wärmeabgabe $q_{i,v}$ aufgrund Durchlüftung mit Raumluft wird unter Einbezug von Gleichung (36) mit dem Index v für Ventilation ermittelt.

$$\begin{aligned} q_{i,r} &= \frac{h_{i,r}}{h_i} q_{i,r+c} \\ q_{i,c} &= \frac{h_{i,c}}{h_i} q_{i,r+c} \end{aligned} \quad (33)$$

where the following holds for the heat transfer coefficients: $h_{i,r} + h_{i,c} = h_i$.

Breaking down the secondary heat transfer in this manner is required for determining the convective fraction of the total energy transmittance g as per Equation (39).

Thermal transmittance U_{r+c}

The associated thermal transmittance U_{r+c} for the undisturbed area (without frame, profiles, etc.) results in an analogous manner, taking into account any ventilation:

8.5.2 Secondary heat transfer factor $q_{i,v}$

Where the interstice is filled with room air (as is the case, e.g., with internal sunshading), take into account, in addition to the secondary heat transfer, $q_{i,r+c}$, as per Equation (32), the secondary heat transfer, $q_{i,v}$, for ventilation with room air. This accounts for the heat exchange with the room, effected by the air between the sunshading and the glazing.

Taking into account the characteristics from Equation (28) through Equation (30), one obtains:

$$\begin{aligned} \text{II (2)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_1) \frac{A_{v1}}{h_i} + \frac{A_{v1}}{\chi_2 A_1} \\ \text{III (3)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_2) \frac{A_{v2}}{h_i} + \frac{A_{v2}}{\chi_3 A_2} \\ \text{IV (4)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_3) \frac{A_{v3}}{h_i} + \frac{A_{v3}}{\chi_4 A_3} \\ \text{V (5)} \quad \chi_v &= (1 + \chi_4) \frac{A_{v4}}{h_i} + \frac{A_{v4}}{\chi_5 A_4} \end{aligned} \quad (35)$$

In the absence of ventilation with room air, $\chi_v = 0$. (Also: $A_{v,n-1} = 0$.)

The additional secondary heat transfer, $q_{i,v}$, due to ventilation with room air is determined taking into account Equation (36) with subscript v for ventilation.

Inward Flowing Fractions

(2)	(3)	(4)	(5)
$N_{1v} = \chi_2 \chi_1 \chi_v$	$N_{1v} = \chi_3 \chi_2 \chi_1 \chi_v$	$N_{1v} = \chi_4 \chi_3 \chi_2 \chi_1 \chi_v$	$N_{1v} = \chi_5 \chi_4 \chi_3 \chi_2 \chi_1 \chi_v$
$N_{2v} = \chi_2 \chi_v - \frac{A_{v1}}{A_1}$	$N_{2v} = \chi_3 \chi_2 \chi_v$	$N_{2v} = \chi_4 \chi_3 \chi_2 \chi_v$	$N_{2v} = \chi_5 \chi_4 \chi_3 \chi_2 \chi_v$
	$N_{3v} = \chi_3 \chi_v - \frac{A_{v2}}{A_2}$	$N_{3v} = \chi_4 \chi_3 \chi_v$	$N_{3v} = \chi_5 \chi_4 \chi_3 \chi_v$
		$N_{4v} = \chi_4 \chi_v - \frac{A_{v3}}{A_3}$	$N_{4v} = \chi_5 \chi_4 \chi_v$
			$N_{5v} = \chi_5 \chi_v - \frac{A_{v4}}{A_4}$

(36)

Der zusätzliche sekundäre Wärmeabgabegrad q_{iv} aufgrund Durchlüftung mit Raumluft ergibt sich dann nach Gleichung (37):

(2)	(3)	(4)	(5)
$q_{iv} = N_{1v} a_{e1}$	$q_{iv} = N_{1v} a_{e1}$	$q_{iv} = N_{1v} a_{e1}$	$q_{iv} = N_{1v} a_{e1}$
$+ N_{2v} a_{e2}$	$+ N_{2v} a_{e2}$	$+ N_{2v} a_{e2}$	$+ N_{2v} a_{e2}$
	$+ N_{3v} a_{e3}$	$+ N_{3v} a_{e3}$	$+ N_{3v} a_{e3}$
		$+ N_{4v} a_{e4}$	$+ N_{4v} a_{e4}$
			$+ N_{5v} a_{e5}$

(37)

Der zusätzliche Wärmedurchgangskoeffizient U_v aufgrund Durchlüftung mit Raumluft ergibt sich dann nach Gleichung (38) (informativ):

(2)	(3)	(4)	(5)
$U_v = N_1 \chi_v \cdot h_e$	$U_v = N_1 \chi_v \cdot h_e$	$U_v = N_1 \chi_v \cdot h_e$	$U_v = N_1 \chi_v \cdot h_e$
$+ (N_2 + N_1) \chi_v A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e}$	$+ (N_2 + N_1) \chi_v A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e}$	$+ (N_2 + N_1) \chi_v A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e}$	$+ (N_2 + N_1) \chi_v A_{v1} \frac{\Delta T_{in,1}}{\Delta T_e}$
	$+ (N_3 + N_2) \chi_v A_{v2} \frac{\Delta T_{in,2}}{\Delta T_e}$	$+ (N_3 + N_2) \chi_v A_{v2} \frac{\Delta T_{in,2}}{\Delta T_e}$	$+ (N_3 + N_2) \chi_v A_{v2} \frac{\Delta T_{in,2}}{\Delta T_e}$
		$+ (N_4 + N_3) \chi_v A_{v3} \frac{\Delta T_{in,3}}{\Delta T_e}$	$+ (N_4 + N_3) \chi_v A_{v3} \frac{\Delta T_{in,3}}{\Delta T_e}$

(38)

8.5.3 Konvektivanteil a_{kon} des Gesamtenergiedurchlassgrads

Der Konvektivanteil des Gesamtenergiedurchlassgrads g ist definiert zu:

$$a_{kon} = \frac{q_{i,c} + q_{i,v}}{g} \quad (39)$$

a_{kon} lässt sich somit aus Gleichung (6) bzw. Gleichung (16) sowie Gleichung (33) und Gleichung (36) bestimmen.

8.6 Kenngrößen für Zwischenräume

Die zwischen den festen Schichten liegenden Zwischenräume sind entweder mit Luft oder mit Gas gefüllt. Wärmeleitung und Konvektion im Zwischenraum lassen sich bestimmen in Abhängigkeit von:

- Stoffwerten des Gases bzw. der Luft
- Geometrie des Zwischenraums

Inward flowing fractions

The additional secondary heat transfer factor, q_{iv} , due to ventilation with room air then results from Equation (37):

The additional thermal transmittance, U_v , due to ventilation with room air then results from Equation (38) (for information only):

8.5.3 Convective fraction a_{kon} of the total energy transmittance

The convective fraction of the total energy transmittance g is defined as:

$$a_{kon} = \frac{q_{i,c} + q_{i,v}}{g} \quad (39)$$

a_{kon} , then, can be determined from Equation (6) or Equation (16) and Equation (33) and Equation (36).

8.6 Characteristics for interstices

The interstices lying between the solid layers are filled with either air or gas. Thermal conduction and convection in the interstice can be determined depending on:

- material characteristics of the gas or air
- geometry of the interstice

- Neigung der Fassade
- Temperaturdifferenzen zwischen Gas und Oberflächen

Diese Einflussgrößen werden nachfolgend im Detail betrachtet.

8.6.1 Geometrie des Zwischenraums

Der Zwischenraum wird charakterisiert durch die Parameter

- Dicke s des Zwischenraums und
- Neigungswinkel der Fassade γ_F .

Der Fassadenneigung bzw. Wärmestromrichtung kann grundsätzlich analog DIN EN 673 durch entsprechende Wärmeübergangsbeziehungen und Zwischenwerte Rechnung getragen werden. Standardwert für die Neigung der Fläche ist

$$\gamma_F = 0^\circ$$

(senkrechte Fläche, siehe auch Tabelle A1).

8.6.2 Stoffwerte, Bezugstemperatur

Für die Berechnungen werden die Stoffwerte

- Wärmeleitfähigkeit λ ,
- kinematische Viskosität $\nu = \mu/\rho$ und
- Prandtlzahl $Pr = (\mu \cdot c_p)/\lambda$

benötigt. Diese lassen sich aus den Angaben für

- Dichte ρ ,
- dynamische Viskosität μ ,
- Wärmeleitfähigkeit λ und
- spezifische Wärmekapazität c_p

in DIN EN 673, DIN EN 13363-2 oder ISO 15099 gewinnen.

DIN EN 673, Tabelle 1, gibt die Stoffwerte im Temperaturbereich von -10°C bis 20°C an. Prinzipiell können Stoffwerte innerhalb dieses Bereichs linear interpoliert und oberhalb 20°C gemäß DIN EN 13363-2, Anhang D, linear extrapoliert werden. Eine Berücksichtigung der temperaturabhängigen Stoffwerte ist durch iterative Berechnung der Temperaturen und der Austauschtermen prinzipiell möglich.

Es ergeben sich allerdings nur relativ geringe Rückwirkungen auf die Ergebnisse, sodass die Kennwerte nach VDI 6007 Blatt 2 vereinfachend bei 20°C Bezugstemperatur entsprechend Tabelle A15 berechnet werden.

Somit wird eine iterative Berechnung vermieden.

- facade inclination
- temperature differences between gas and surfaces

These quantities of influence are examined in detail below.

8.6.1 Geometry of the interstice

The interstice is characterised in terms of the parameters

- thickness s of the interstice and
- angle of inclination of the facade, γ_F .

Facade inclination and direction of heat flux can basically be taken into account in analogy to DIN EN 673 using pertinent heat transfer relations and intermediate values. The standard value for the inclination of the surface is:

$$\gamma_F = 0^\circ$$

(vertical surface, see also Table A1).

8.6.2 Material characteristics, reference temperature

The material characteristics

- thermal conductivity λ ,
- kinematic viscosity $\nu = \mu/\rho$ and
- Prandtl number $Pr = (\mu \cdot c_p)/\lambda$

are required for the calculations. They can be obtained from data for

- density ρ ,
- dynamic viscosity μ ,
- thermal conductivity λ and
- specific heat c_p

in DIN EN 673, DIN EN 13363-2 or ISO 15099.

DIN EN 673, Table 1, states the material characteristics for the temperature range from -10°C to 20°C . In principle, material characteristics can be obtained from linear interpolation within this range, and from linear extrapolation as described in DIN EN 13363-2, Annex D, for temperatures in excess of 20°C . Taking into consideration temperature-dependent material characteristics is possible, in principle, by means of iterative calculation of the temperatures and the heat transfer terms.

The effect on the results, however, is relatively small, so that for the purposes of VDI 6007 Part 2 the characteristics are calculated for the reference temperature of 20°C as per Table A15 for the sake of simplification.

Iterative calculation is thus avoided.

8.6.3 Wärmeübergangskoeffizient h_c

Nicht durchlüftete Zwischenräume

Der konvektive Wärmetransport wird bei nicht durchlüfteten Zwischenräumen durch die Wärmeübergangskoeffizienten h_c nach Gleichung (40) charakterisiert.

$$h_c = 2 \frac{\lambda}{s} Nu \quad (40)$$

Die Nusseltzahl Nu ist eine Funktion der Grashof (Gr) bzw. Rayleighzahl (Ra) und der Prandtlzahl (Pr). Die entsprechenden Korrelationen müssen dabei, anders als in DIN EN 673 einen weiten Bereich an Spaltweiten bzw. Rayleighzahlen (Zwischenraum von Verglasungen, doppelschalige Fassaden) abdecken.

Die Nusseltzahl im nicht durchlüfteten Zwischenraum ist nach Gleichung (41) zu berechnen: Diese Gleichung gilt für einen vertikalen Spalt, was in dieser Richtlinie als Standardvorgabe zutrifft.

$$Nu = (1 + 0,0001 \cdot Ra)^{1/3} \quad (41)$$

Die Rayleighzahl errechnet sich zu:

$$Ra = \left(\frac{g}{\nu^2} \cdot Pr \right) \cdot s^3 \cdot (|T_{j+1} - T_j| / T_j) \quad (42)$$

Dabei ist $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ die Erdbeschleunigung.

Um keine zu hohe Genauigkeit vorzutäuschen und eine Iteration zu vermeiden, werden die Temperaturdifferenzen für die Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten analog DIN EN 673 mit $|T_{j+1} - T_j| = 10 \text{ K}$ fest vorgegeben (siehe Tabelle A1).

Durchlüftete Zwischenräume

Bei Mischkonvektion aufgrund Durchlüftung der Zwischenräume ist der Wärmeübergangskoeffizient h_c nach Gleichung (40) durch den Term $a \cdot w$ nach ISO 15099 und DIN EN 13363-2 erweitert zu:

$$h_c = 2 \cdot \frac{\lambda}{s} \cdot Nu + a \cdot w \quad (43)$$

Dabei ist $a = 4 \frac{\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{m/s}}$ der Geschwindigkeitskoeffizient.

Für die Nusselt-Zahl gilt weiterhin die Beziehung für den nicht durchlüfteten Zwischenraum.

Die Geschwindigkeit w ist entweder bei mechanischer Lüftung vorgegeben – siehe Abschnitt 8.6.4 – oder ist nach Abschnitt 8.6.5.5, Gleichung (53) zu berechnen.

8.6.3 Heat transfer coefficient h_c

Non-ventilated interstices

In the case of non-ventilated interstices, convective heat transfer is characterised by the heat transfer coefficients h_c as per Equation (40).

$$h_c = 2 \frac{\lambda}{s} Nu \quad (40)$$

The Nusselt number Nu is a function of the Grashof (Gr) or Rayleigh number (Ra) and the Prandtl number (Pr). Unlike with DIN EN 673, the pertinent correlations must cover a wide range of interstice widths or Rayleigh numbers (interstice of glazing, double-skin facades).

Calculate the Nusselt number for the non-ventilated interstice using Equation (41): This equation applies to a vertical interstice, which is the default in the context of this guideline.

$$Nu = (1 + 0,0001 \cdot Ra)^{1/3} \quad (41)$$

The Rayleigh number is calculated as:

$$Ra = \left(\frac{g}{\nu^2} \cdot Pr \right) \cdot s^3 \cdot (|T_{j+1} - T_j| / T_j) \quad (42)$$

Where $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ is the gravitational acceleration.

In order not to feign excessive precision, and to avoid iteration, the temperature differences for the determination of the heat transfer coefficients are fixed at $|T_{j+1} - T_j| = 10 \text{ K}$ (see Table A1) in analogy to DIN EN 673.

Ventilated interstices

In the case of mixed convection due to ventilation of the interstices, the heat transfer coefficient h_c as per Equation (40) is expanded by the term $a \cdot w$ as per ISO 15099 and DIN EN 13363-2 to give:

$$h_c = 2 \cdot \frac{\lambda}{s} \cdot Nu + a \cdot w \quad (43)$$

Where $a = 4 \frac{\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{m/s}}$ is the velocity coefficient.

As for the Nusselt number, the relation for the non-ventilated interstice continues to apply.

The velocity w is either specified in the case of mechanical ventilation – see Section 8.6.4 – or shall be calculated as per Section 8.6.5.5, Equation (53).

8.6.4 Mechanische Lüftung

Bei mechanischer Lüftung eines Zwischenraums ist der Luftdurchsatz \dot{V} und damit auch die Strömungsgeschwindigkeit w vorgegeben, sodass die konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten h_c nach Gleichung (43) sowie der fiktive Wärmeübergangskoeffizient zur Berücksichtigung der Durchlüftung h_v nach Gleichung (26) direkt bestimmt werden können.

8.6.5 Natürliche Durchlüftung

Bei natürlicher Durchlüftung sind Luftdurchsatz und Strömungsgeschwindigkeit zunächst unbekannt und müssen erst in Abhängigkeit von Geometrie und Strömungswiderständen sowie dem verfügbaren treibenden Gefälle bestimmt werden. Die natürliche Durchlüftung wird weitestgehend gemäß ISO 15099 modelliert.

8.6.5.1 Treibendes Gefälle

Als treibendes Gefälle für die natürliche Lüftung kommen im Wesentlichen infrage:

- thermische Auftriebskräfte,
- Winddruckdifferenzen und
- Windpulsationen.

Analog zur ISO 15099 werden aber nur die thermischen Auftriebskräfte berücksichtigt

Des Weiteren wird auf eine Durchlüftung entweder mit Außenluft oder mit Raumluft eingeschränkt, sodass von folgendem treibendem Gefälle ausgegangen werden kann:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H_{\text{wirk}} \cdot |\cos(\gamma_F)| \cdot \left(\left| \bar{T} - T_e \right| / T_e \right)$$

bei Durchlüftung mit Außenluft

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H_{\text{wirk}} \cdot |\cos(\gamma_F)| \cdot \left(\left| \bar{T} - T_i \right| / T_i \right)$$

bei Durchlüftung mit Raumluft

(44)

mit der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Die Stoffwerte sind bei Bezugstemperatur (20 °C bzw. 293,15 K) einzusetzen.

Standardwert für die Neigung der Fläche:

$$\cos(\gamma_F) = 1$$

In guter Näherung können Standardwerte für die Temperaturdifferenzen angesetzt werden. Der Standardwert der treibenden Temperaturdifferenz von 10 K (siehe Tabelle A1) ist ein durchschnittlicher Wert.

8.6.5.2 Widerstandsbeiwerte

Die Widerstandsbeiwerte bzw. Druckverlustfaktoren

8.6.4 Mechanical ventilation

In the case of mechanical ventilation of an interstice, the air throughput, \dot{V} , and thus the flow velocity, w , are specified so that the convective heat transfer coefficients, h_c , and the fictitious heat transfer coefficient taking into account ventilation, h_v , can be determined directly using Equation (43) and Equation (26), respectively.

8.6.5 Natural-draught ventilation

Air throughput and flow velocity are initially unknown in the case of natural-draught ventilation and must be determined depending on the geometry, flow resistances and the available driving gradient. Natural-draught ventilation is largely modelled as in ISO 15099.

8.6.5.1 Driving gradient

The gradient driving natural-draught ventilation is made up essentially by

- thermal updraughts,
- wind pressure differentials and
- wind pulsations.

However, as in ISO 15099, only thermal updraughts are taken into consideration

As a further limitation, ventilation is considered for either outdoor air or room air, which allows to assume the following driving gradient:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H_{\text{wirk}} \cdot |\cos(\gamma_F)| \cdot \left(\left| \bar{T} - T_e \right| / T_e \right)$$

for ventilation with outdoor air

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H_{\text{wirk}} \cdot |\cos(\gamma_F)| \cdot \left(\left| \bar{T} - T_i \right| / T_i \right)$$

for ventilation with room air

(44)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ being the gravitational acceleration.

Use the material characteristics for the reference temperature (20 °C or 293,15 K).

Standard value for the inclination of the surface:

$$\cos(\gamma_F) = 1$$

Standard values for temperature differences can be assumed to a good approximation. The standard value of 10 K for the driving temperature difference (see Table A1) is an average.

8.6.5.2 Resistance coefficients

The resistance coefficients or pressure loss factors

- ζ_{bo} (Strömungswiderstand unten) und
- ζ_{tp} (Strömungswiderstand oben)

lassen sich wie folgt abschätzen:

$$\zeta_{bo} = \left(1,7 \cdot \frac{A_s}{A_{eq,bo}} - 0,84 \right)^2 \quad (45)$$

$$\zeta_{tp} = \left(1,7 \cdot \frac{A_s}{A_{eq,tp}} - 0,59 \right)^2 \quad (46)$$

Mit den Grenzwerten:

$$\frac{A_s}{A_{eq,bo}} = \frac{1}{0,75}$$

$$\frac{A_s}{A_{eq,tp}} = \frac{1}{1,25}$$

Dabei sind die äquivalenten Ein- und Ausströmöffnungen A_{eq} :

$$\begin{aligned} A_{eq,tp} &= A_{tp} \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{lt} + A_{rt}}{2 \cdot s_{Spalt} \cdot \text{Höhe} / A_s} \right) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{ho}}{\text{Höhe} / 2 \cdot \text{Breite} / A_s} \right) \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} A_{eq,bo} &= A_{bo} \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{lt} + A_{rt}}{2 \cdot s_{Spalt} \cdot \text{Höhe} / A_s} \right) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{ho}}{\text{Höhe} / 2 \cdot \text{Breite} / A_s} \right) \end{aligned} \quad (48)$$

$$A_{eq,tp} > A_s \Rightarrow A_{eq,tp} = A_s$$

$$A_{eq,bo} > A_s \Rightarrow A_{eq,bo} = A_s$$

Weiterhin gelten folgende Begrenzungen für die Gültigkeit der Flächen:

- Grenzfläche: $A_s = B \cdot s$
- Begrenzungen:
 - $A_{bo} \leq A_s$, sonst $A_{bo} = A_s$
 - $A_{tp} \leq s \cdot H$, sonst $A_{tp} = A_s$
 - $A_{rt} \leq s \cdot H$, sonst $A_{rt} = s \cdot H$
 - $A_{lt} \leq s \cdot H$, sonst $A_{lt} = s \cdot H$
 - $A_{ho} \leq B \cdot H$, sonst $A_{ho} = B \cdot H$
 - $A_{eq,tp} > A_s \Rightarrow A_{eq,tp} = A_s$
 - $A_{eq,bo} > A_s \Rightarrow A_{eq,bo} = A_s$

Die Bedeutung der jeweiligen Öffnungsflächen wird im Bild 8 erläutert. Mit diesen Ansätzen wird insbesondere auch unterschiedlichen Ein- und Ausströmöffnungen und der resultierenden Verschiebung der neutralen Zone Rechnung getragen.

- ζ_{bo} (flow resistance bottom) and
- ζ_{tp} (flow resistance top)

can be estimated as follows:

$$\zeta_{bo} = \left(1,7 \cdot \frac{A_s}{A_{eq,bo}} - 0,84 \right)^2 \quad (45)$$

$$\zeta_{tp} = \left(1,7 \cdot \frac{A_s}{A_{eq,tp}} - 0,59 \right)^2 \quad (46)$$

the limits being:

$$\frac{A_s}{A_{eq,bo}} = \frac{1}{0,75}$$

$$\frac{A_s}{A_{eq,tp}} = \frac{1}{1,25}$$

Where the equivalent entry and exit areas A_{eq} are:

$$\begin{aligned} A_{eq,tp} &= A_{tp} \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{lt} + A_{rt}}{2 \cdot s_{Spalt} \cdot \text{Höhe} / A_s} \right) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{ho}}{\text{Höhe} / 2 \cdot \text{Breite} / A_s} \right) \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} A_{eq,bo} &= A_{bo} \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{lt} + A_{rt}}{2 \cdot s_{Spalt} \cdot \text{Höhe} / A_s} \right) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A_{ho}}{\text{Höhe} / 2 \cdot \text{Breite} / A_s} \right) \end{aligned} \quad (48)$$

$$A_{eq,tp} > A_s \Rightarrow A_{eq,tp} = A_s$$

$$A_{eq,bo} > A_s \Rightarrow A_{eq,bo} = A_s$$

Furthermore, the following limitations apply to the validity of the areas:

- interface: $A_s = B \cdot s$
- boundaries:
 - $A_{bo} \leq A_s$, otherwise $A_{bo} = A_s$
 - $A_{tp} \leq s \cdot H$, otherwise $A_{tp} = A_s$
 - $A_{rt} \leq s \cdot H$, otherwise $A_{rt} = s \cdot H$
 - $A_{lt} \leq s \cdot H$, otherwise $A_{lt} = s \cdot H$
 - $A_{ho} \leq B \cdot H$, otherwise $A_{ho} = B \cdot H$
 - $A_{eq,tp} > A_s \Rightarrow A_{eq,tp} = A_s$
 - $A_{eq,bo} > A_s \Rightarrow A_{eq,bo} = A_s$

The meanings of the aperture areas are shown in Figure 8. These assumptions take into account, in particular, different entry and exit areas and the resulting shift of the neutral zone.

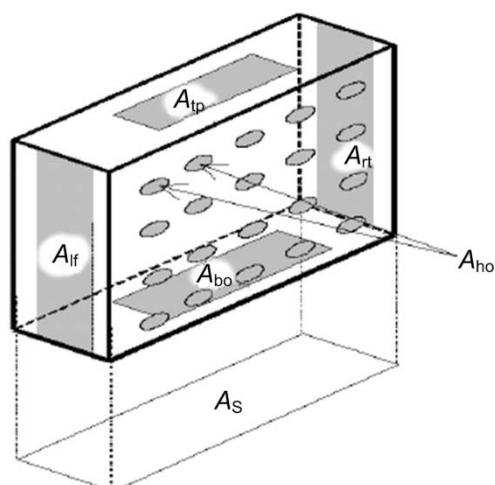


Bild 8. Ein- und Ausströmflächen bei natürlicher Durchlüftung

Besonderheiten zur Fläche A_{ho}

Die Fläche A_{ho} stellt die Fläche der Durchlässe (Löcher) im Sonnenschutz dar. Typisches Beispiel sind die Zwischenräume bei einem Sonnenschutz aus Jalousien.

Bezüglich der Wirkung dieser Durchlässe auf die Durchlüftung sind zwei Fälle zu unterscheiden und entsprechende Vorgaben zu A_{ho} zu machen:

- bei außen liegendem (Außenluft) oder innen liegendem (Raum) Sonnenschutz:
 - Screen: A_{ho} meist 0
 - Jalousie: $A_{ho} = 0,9 \times \text{Breite} \times \text{Höhe}$ (Standardwert)
- bei zwischen den Scheiben liegendem Sonnenschutz:
 - Screen und Jalousie: $A_{ho} = 0$ (unabhängig von der Größe der Durchlässe)

8.6.5.3 Aerodynamisch wirksame Flächen

Die Ein- und Ausströmflächen können auch durch aerodynamische wirksame Flächen ausgedrückt werden:

$$A_{Aero,bo} = \frac{A_s}{\sqrt{\zeta_{bo}}} \quad (49)$$

$$A_{Aero,tp} = \frac{A_s}{\sqrt{\zeta_{tp}}} \quad (50)$$

Die Bedeutung der jeweiligen Öffnungsflächen wird aus Bild 8 ersichtlich. Mit diesen Ansätzen wird insbesondere auch unterschiedlichen Ein- und Austrittsöffnungen und der resultierenden Verschiebung der neutralen Zone Rechnung getragen.

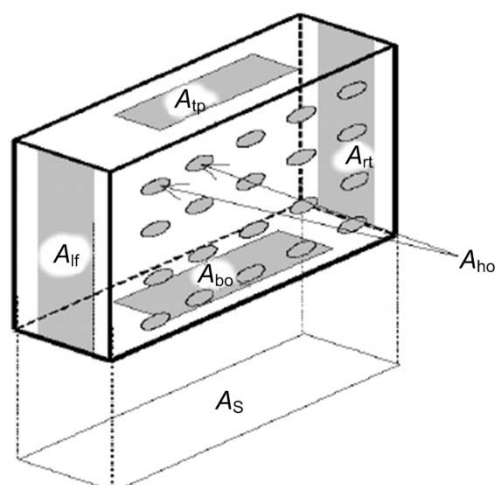


Figure 8. Entry and exit areas in the case of natural-draught ventilation

Particular aspects of the area A_{ho}

The area A_{ho} is the area of the apertures (holes) in the sunshading. The interstices of a sunshading consisting of blinds are a typical example.

Two cases must be distinguished with regard to the impact of these apertures on ventilation, and the proper assumptions must be made for A_{ho} :

- for external (outdoor air) or internal (room air) sunshading:
 - screen: A_{ho} mostly 0
 - blind: $A_{ho} = 0,9 \times \text{width} \times \text{height}$ (standard value)
- for sunshading between the panes:
 - screen and blind: $A_{ho} = 0$ (irrespective of the size of the apertures)

8.6.5.3 Aerodynamically effective areas

The entry and exit areas can also be expressed as aerodynamically effective areas:

$$A_{Aero,bo} = \frac{A_s}{\sqrt{\zeta_{bo}}} \quad (49)$$

$$A_{Aero,tp} = \frac{A_s}{\sqrt{\zeta_{tp}}} \quad (50)$$

The meaning of the respective aperture areas becomes apparent from Figure 8. These assumptions take into account, in particular, different entry and exit areas and the resulting shift of the neutral zone.

Für die gesamte aerodynamisch wirksame Querschnittsfläche folgt:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Aero}} &= \frac{A_s}{\sqrt{\sum \zeta}} \\
 &= \frac{A_s}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{bo}} + \zeta_{\text{tp}}}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_s^2} + \frac{\zeta_{\text{bo}}}{A_s^2} + \frac{\zeta_{\text{tp}}}{A_s^2}}} \quad (51) \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_s^2} + \frac{1}{A_{\text{Aero,bo}}^2} + \frac{1}{A_{\text{Aero,tp}}^2}}}
 \end{aligned}$$

8.6.5.4 Wirksame Höhe H_{wirk}

Für die wirksame Höhe H_{wirk} wird Gleichung (52) Näherungsgleichung angesetzt.

8.6.5.5 Geschwindigkeit w

Die bei natürlicher Lüftung resultierenden Geschwindigkeit w im Zwischenraum lässt sich aus dem treibenden Druckgefälle Δp nach Gleichung (44), der aerodynamisch wirksamen Querschnittsfläche A_{Aero} nach Gleichung (51) und der wirksamen Höhe H_{wirk} nach Gleichung (52) ermitteln zu Gleichung (53).

Diese Strömungsgeschwindigkeit w wird in Gleichung (43) zur Bestimmung des konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten benötigt.

$$H_{\text{wirk}} = H_{\text{SoSch}} \cdot \left(\frac{A_{\text{tp}} \cdot 0,5 + (A_{\text{lt}} + A_{\text{rt}}) / 2 \cdot 0,25 + A_{\text{ho}} / 2 \cdot 0,25}{A_{\text{tp}} + (A_{\text{lt}} + A_{\text{rt}}) / 2 + A_{\text{ho}} / 2} + \frac{A_{\text{bo}} \cdot 0,5 + (A_{\text{lt}} + A_{\text{rt}}) / 2 \cdot 0,25 + A_{\text{ho}} / 2 \cdot 0,25}{(A_{\text{bo}} + (A_{\text{lt}} + A_{\text{rt}}) / 2 + A_{\text{ho}} / 2)} \right) \quad (52)$$

$$w = \left(\frac{A_{\text{Aero}}}{A_s} \right) \left\{ \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho} + \left(\frac{A_{\text{Aero}}}{A_s} \frac{12 \cdot \mu \cdot H_{\text{wirk}}}{\rho \cdot s^2} \right)^2} - \left(\frac{A_{\text{Aero}}}{A_s} \frac{12 \cdot \mu \cdot H_{\text{wirk}}}{\rho \cdot s^2} \right) \right\} \quad (53)$$

8.6.5.6 Volumenstrom \dot{V}

Der für Gleichung (26) benötigte Volumenstrom \dot{V} errechnet sich aus Gleichung (53) zu:

$$\dot{V} = A_s \cdot w \quad (54)$$

8.7 Kenngrößen für feste Schichten

Die festen Schichten werden charakterisiert durch

- Strahlungstransmissionsgrade und Strahlungsreflexionsgrade und
- Emissionsvermögen, gegebenenfalls auch Transmissionsgrad für langwellige Wärmestrahlung.

Üblicherweise wird die Speicherung und der Wärmewiderstand in den festen Schichten vernachlässigt, sodass keine diesbezüglichen Angaben erforderlich sein.

It follows for the overall aerodynamically effective cross-sectional area:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Aero}} &= \frac{A_s}{\sqrt{\sum \zeta}} \\
 &= \frac{A_s}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{bo}} + \zeta_{\text{tp}}}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_s^2} + \frac{\zeta_{\text{bo}}}{A_s^2} + \frac{\zeta_{\text{tp}}}{A_s^2}}} \quad (51) \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_s^2} + \frac{1}{A_{\text{Aero,bo}}^2} + \frac{1}{A_{\text{Aero,tp}}^2}}}
 \end{aligned}$$

8.6.5.4 Effective height H_{wirk}

Equation (52) is assumed to approximate the effective height H_{wirk} .

8.6.5.5 Velocity w

The velocity w in the interstice, resulting from natural-draught ventilation, can be calculated using the driving pressure gradient Δp as per Equation (44), the aerodynamically effective cross-sectional area A_{Aero} as per Equation (51) and the effective height H_{wirk} as per Equation (52) in Equation (53).

This flow velocity w is required in Equation (43) to determine the convective heat transfer coefficient.

8.6.5.6 Volume flow \dot{V}

The volume flow required for Equation (26), \dot{V} , is calculated using Equation (53) as:

$$\dot{V} = A_s \cdot w \quad (54)$$

8.7 Characteristics of solid layers

Solid layers are characterised by

- radiation transmittances, radiation reflectances and
- emissivity, also, if required, transmittance for long-wavelength radiant heat.

Thermal storage and the thermal resistance of the solid layers are commonly neglected, which means that no information on these parameters is required.

8.7.1 Transmissions- und Reflexionsgrade

Es wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen

- Transmissionsgrade und
- Reflexionsgrade

für die festen Schichten (Gläser, Sonnenschutz, Lamellen) mittelfristig von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden. Bei vorhandenen Spektraldaten können diese Werte nach Gleichung (10) gewonnen werden. Ein Verfahren zur näherungsweise Gewinnung der Daten wird ebenfalls angegeben, siehe Gleichung (11) und Gleichung (12).

8.7.2 Thermischer Transmissionsgrad für langwellige Wärmestrahlung

Der thermische Transmissionsgrad fester Schichten für langwellige Wärmestrahlung ist vielfach nicht bekannt, bei Gläsern ist er in der Regel null. Bei Screengeweben mit größeren Lochanteilen sowie bei Lamellen wird grundsätzlich auch eine thermische Wärmetransmission stattfinden; eine systematische Messung, Erfassung und Katalogisierung wie bei den anderen erläuterten Kenngrößen ist bisher jedoch nicht bekannt.

Bei der Berechnung transparenter Fassadensysteme nach VDI 6007 Blatt 2 wird der thermische Transmissionsgrad generell vernachlässigt ($\tau_t \approx 0$). Dies wird auch für die betrachteten Lamellensysteme zugrunde gelegt. In Situationen mit thermisch stark durchlässigen Folien usw. sind gegebenenfalls genauere Berechnungen erforderlich.

8.7.3 Emissionsvermögen

Nach DIN EN 673 beträgt das korrigierte Emissionsvermögen unbeschichteter Natron-Kalk-Glasoberflächen $\varepsilon = 0,837$ und gemäß DIN EN 673, 6.1, Anmerkung, kann dieser Wert mit hinreichenden Vertrauensgrenzen auch für unbeschichtetes Borsilicatglas und Glaskeramik eingesetzt werden.

Für beschichtete Glasoberflächen liegen meist entsprechende Herstellerangaben vor. Optimierte Wärmeschutzverglasungen erreichen heute zum Teil ein sehr niedriges Emissionsvermögen mit Werten um $\varepsilon = 0,03$.

Bei anderen Oberflächen wird zunächst unterschieden in

- „normale“ Oberflächen mit $\varepsilon = 0,9$ und
- „metallisch blanke“ Oberflächen mit Emissionsvermögen in der Größenordnung $\varepsilon \approx 0,1$.

Genaue Nachfragen beim Hersteller sind z.B. bei aluminiumfarbenen Anstrichen (z.B. Lamellen), oxidierten metallischen Oberflächen sowie metallischen Oberflächen mit schützendem Klarlack angebracht.

8.7.1 Transmittances and reflectances

It is assumed that the required

- transmittances and
- reflectances

for the solid layers (glazing, sunshading, lamellae) will be provided by the manufacturers in the medium term. Where spectral data are available, these values can be obtained using Equation (10). A method for approximating these data is also given, see Equation (11) and Equation (12).

8.7.2 Thermal transmittance for long-wavelength radiant heat

The thermal transmittance of solid layers for long-wavelength radiant heat is frequently unknown; as a rule, it is zero for glass. For screen fabrics with a significant proportion of open area (holes), and for lamellae, there will always be thermal heat transmission; a systematic measurement, recording and cataloguing, as is the case with the other characteristics, is not known, however.

When calculating transparent facade systems in accordance with VDI 6007 Part 2, the thermal transmittance is generally neglected ($\tau_t \approx 0$). This is also adopted as a basis for the lamellae systems considered. In the case of films, etc., which feature high thermal transmission, more detailed calculations may be required.

8.7.3 Emissivity

The corrected emissivity of uncoated soda-lime glass surfaces is $\varepsilon = 0,837$ as per DIN EN 673, and in accordance with DIN EN 673, 6.1, Note, this value can be assumed for uncoated borosilicate glass and devitrified glass with sufficient confidence limits.

Manufacturers' data are available in most cases for coated glass surfaces. Current optimised thermal insulation glazing may reach very low emissivities around $\varepsilon = 0,03$.

For other surfaces, an initial distinction is made between

- “conventional” surfaces, where $\varepsilon = 0,9$ and
- “metallic bright” surfaces, where emissivities lie in the order of magnitude of $\varepsilon \approx 0,1$.

Specific information should be requested from the manufacturer, e.g. in the cases of aluminium-coloured finishes (e.g. lamellae), oxidised metal surfaces and metal surfaces with protective varnish.

Das Emissionsvermögen bei Lamellensystemen kann mit der oben getroffenen Annahme zur thermischen Strahlungstransmission aus den Emissionsverhältnissen der Oberflächen abgeleitet werden, siehe Gleichung (55) und Gleichung (56).

Für die Winkelfaktoren $\Phi_{i,j}$ sind die Werte nach Anhang A, Tabelle A4 (Winkelfaktoren $\Phi_{i,j}$ für Lamellen (Anstellwinkel der Lamellen von 45° und Überdeckung der Lamellen von 10%) anzusetzen.

$$\varepsilon_s = 1 - \frac{\Phi_{32}\Phi_{23} \cdot (1 - \varepsilon) + (\Phi_{42}\Phi_{23} + \Phi_{32}\Phi_{24})\Phi_{34} \cdot (1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon') + \Phi_{42}\Phi_{24} \cdot (1 - \varepsilon')}{1 - \Phi_{34}\Phi_{34} \cdot (1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon')} \quad (55)$$

$$\varepsilon'_s = 1 - \frac{\Phi_{31}\Phi_{13} \cdot (1 - \varepsilon) + (\Phi_{41}\Phi_{13} + \Phi_{31}\Phi_{14})\Phi_{34} \cdot (1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon') + \Phi_{41}\Phi_{14} \cdot (1 - \varepsilon')}{1 - \Phi_{34}\Phi_{34} \cdot (1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon')} \quad (56)$$

8.8 Einfallswinkel der Solarstrahlung (informativ)

Der Algorithmus nach VDI 6007 Blatt 2 erlaubt grundsätzlich auch die Berechnung energetischen Kenngrößen für schräge Einfallswinkel der Solarstrahlung, sofern geeignete Daten für die festen Schichten vorliegen.

Standardmäßig wird der Wärmeeintrag in den Raum P_{Raum} durch eine transparente Fläche nach VDI 6007 Blatt 3 grundsätzlich für jeden der vier Einstrahlungskomponenten auf eine beliebig geneigte und beliebig orientierte Fläche ermittelt:

- direkte Einstrahlung $P_{\text{dir},F}$
- diffuse Einstrahlung (Anteil wolkenloser klarer Himmel) $P_{\text{diff},\text{klar}}$
- diffuse Einstrahlung (Anteil gleichmäßig bedeckter Himmel) $P_{\text{diff},\text{bed},F}$
- Bodenreflexionsstrahlung (Umgebung) $P_{\text{Umg},F}$

Für die Fensterkombination bei geöffnetem beweglichen Sonnenschutz gilt:

$$P_{\text{Raum}} = P_F \cdot g \cdot \text{kor}_g \text{ in W/m}^2 \quad (57)$$

Für die Fensterkombination mit geschlossenem beweglichen Sonnenschutz gilt:

$$P_{\text{Raum}} = P_F \cdot g_{\text{tot}} \cdot \text{kor}_g \text{ in W/m}^2 \quad (58)$$

Dabei ist

P_F Einstrahlung auf eine beliebig geneigte und beliebig orientierte Fläche, unterschieden nach den vier Einstrahlungskomponenten $P_{\text{dir},F}$, $P_{\text{diff},\text{klar}}$, $P_{\text{diff},\text{bed},F}$, $P_{\text{Umg},F}$

g Gesamtenergiedurchlassgrad für die Fensterkombination bei geöffnetem beweglichen Sonnenschutz

Anmerkung: Der g -Wert ist ermittelt für quasi-parallele senkrechte Einstrahlung.

The emissivities of lamellae systems can be derived from the emission conditions of the surfaces using the above assumption regarding thermal radiation transmission, see Equation (55) und Equation (56).

For the angle factors $\Phi_{i,j}$, use the values given in Annex A, Table A4, Angle factors $\Phi_{i,j}$ for lamellae (45° tilt angle of lamellae, 10% overlap of lamellae).

8.8 Angle of incidence of solar radiation (for information only)

The algorithm of VDI 6007 Part 2 will, in principle, also lend itself to the calculation of energetic characteristics for non-normal solar radiation where suitable data are available for the solid layers.

By default, the thermal input into a room, P_{Raum} , through a transparent area as per VDI 6007 Part 3 is always determined for each of the four components of radiation incident on an arbitrary inclined and oriented surface:

- direct radiation $P_{\text{dir},F}$
- diffuse radiation (fraction of cloudless clear sky) $P_{\text{diff},\text{klar}}$
- diffuse radiation (fraction of homogeneously overcast sky) $P_{\text{diff},\text{bed},F}$
- ground reflection (environment) $P_{\text{Umg},F}$

The following applies to window combinations with the movable sunshading open:

$$P_{\text{Raum}} = P_F \cdot g \cdot \text{kor}_g \text{ in W/m}^2 \quad (57)$$

The following applies to window combinations with the movable sunshading closed:

$$P_{\text{Raum}} = P_F \cdot g_{\text{tot}} \cdot \text{kor}_g \text{ in W/m}^2 \quad (58)$$

where

P_F radiation incident on an arbitrarily inclined and arbitrarily oriented surface, distinguished into the four components of radiation $P_{\text{dir},F}$, $P_{\text{diff},\text{klar}}$, $P_{\text{diff},\text{bed},F}$, $P_{\text{Umg},F}$

g total energy transmittance for window combinations with the movable sunshading open

Note: The g -value has been determined for quasi-parallel normal incidence.

g_{tot} Gesamtenergiedurchlassgrad für die Fensterkombination bei geschlossenem beweglichen Sonnenschutz

Anmerkung: Der Wert von g_{tot} ist ebenso ermittelt für quasi-parallele (senkrechte) Einstrahlung.

kor_g Korrektur des g -Werts bzw. des Werts von g_{tot} für nicht senkrechten und nicht parallelen Strahlungseinfall auf die transparente Fläche, unterschieden nach den vier Einstrahlungskomponenten $P_{\text{dir},F}$, $P_{\text{diff,klar}}$, $P_{\text{diff,bed},F}$, $P_{\text{Umg},F}$ sowie unterschieden nach Zustand des Sonnenschutzes:

- geöffneter beweglicher Sonnenschutz
 - geschlossener beweglicher Sonnenschutz
- bei außen liegendem oder bei innen liegendem (bzw. zwischen liegendem) Sonnenschutz.

Die Ermittlung des Korrekturwerts kor_g für den Gesamtenergiedurchlassgrad g und des Korrekturwerts für die Lichtdurchlässigkeit kor_{τ_e} bei nicht senkrechten und nicht parallelen Strahlungseinfall wird in VDI 6007 Blatt 3 beschrieben.

8.9 Zusätzlicher Wärmeeintrag bei Fensterlüftung und gleichzeitig geschlossenem außen liegendem Sonnenschutz (informativ)

Am geschlossenen außen liegenden Sonnenschutz wird ein Teil der Sonneneinstrahlung absorbiert und die Wärme wird mit der den Sonnenschutz umströmenden Luft abtransportiert.

Wird der dahinterliegende Raum durch eine Fensterlüftung belüftet, so wird ein Teil dieser am außen liegenden Sonnenschutz absorbierten Wärme durch die Fensterlüftung in den Raum transportiert. Dieser zusätzliche Wärmeeintrag mit der Fensterlüftung bei geschlossenem außen liegendem Sonnenschutz wird mittels VDI 6007 Blatt 3 durch einen Δg_v -Wert berücksichtigt.

9 Rahmen und Profile bei komplexen Fassaden

Die Berücksichtigung von Rahmen, Profilen und Randverbund ist bei komplexen Fassadensystemen nicht mehr in gleicher Weise wie bei üblichen Verglasungen möglich. So können z.B. Rahmen und Randverbund in Zusammenhang mit Verglasungen innerhalb des Fassadensystems oder Profile in einzelnen Glasscheiben auftreten, z.B. bei doppelschaligen Fassaden und Abluftfassaden.

Will man diesen Zusammenhängen Rechnung tragen, so können Rahmen und Profile nicht nachgeschaltet zur Ermittlung der sekundären Wärme-

g_{tot} total energy transmittance for window combinations with the movable sunshading closed

Note: The value of g_{tot} has also been determined for quasi-parallel normal incidence.

kor_g correction of g -value, of or the value of g_{tot} , for non-normal and non-parallel incidence of radiation on the transparent surface, distinguished according to the four components of radiation $P_{\text{dir},F}$, $P_{\text{diff,klar}}$, $P_{\text{diff,bed},F}$, $P_{\text{Umg},F}$ and according to different conditions of the sunshading:

- movable sunshading open
- movable sunshading closed

with external or internal (or inter-pane) sunshading.

The determination of the correction, kor_g , for the total energy transmittance g and of the correction for the light transmittance, kor_{τ_e} , with non-normal and non-parallel incidence of radiation is described in VDI 6007 Part 3.

8.9 Additional thermal input through window ventilation with the external sunshading closed (for information only)

A closed external sunshading absorbs part of the solar radiation; the heat thus produced is transported away by the air passing the sunshading.

If the room protected by the sunshading is ventilated through windows, part of the heat absorbed by the external sunshading will be brought into the room via the windows. This additional thermal input through window ventilation with the external sunshading closed is taken into account using VDI 6007 Part 3 with a value Δg_v .

9 Frames and profiles of complex facades

Frames, profiles and edge bonds in complex façade systems cannot be considered in the same manner as with conventional glazing. For instance, frames and edge bonds may be combined with glazing within the facade system, or profiles in individual glass panes may occur, e.g. in double-skin facades and extract-air facades.

If such conditions are to be accounted for, frames and profiles cannot be calculated after the determination of the secondary heat transfer factors and

abgabegrade und Wärmedurchgangskoeffizienten berechnet werden. Um den Einfluss von Rahmen und Profilen innerhalb des quasi eindimensionalen Berechnungsverfahrens zu berücksichtigen, werden Rahmen und Profile grundsätzlich je Schicht berücksichtigt. Der Randverbund kann hingegen nicht als Oberflächeneigenschaft modelliert werden und ist je Zwischenraum zu berücksichtigen.

Mit den Algorithmen der VDI 6007 Blatt 2 werden diese Einflüsse nicht berücksichtigt. Hierzu sind erforderlichenfalls detailliertere Berechnungsverfahren anzusetzen.

10 Schnittstelle mit VDI 2078, VDI 6007 Blatt 1 und Blatt 3

Im Folgenden wird die Schnittstelle zwischen den Richtlinien VDI 6007 Blatt 2 und VDI 2078, VDI 6007 Blatt 1 und Blatt 3 beschrieben.

Kennwerte für die Verglasung (ohne Einbezug des beweglichen Sonnenschutzes)

Für VDI 6007 Blatt 1 und Blatt 3 und VDI 2078 werden die folgenden Kenngrößen benötigt:

g Gesamtenergiedurchlassgrad / total energy transmittance

$a_{\text{kon}} = \frac{q_{i,c} + q_{i,y}}{g}$ Konvektivanteil des Gesamtenergiedurchlassgrads /
convective fraction of total energy transmittance

U Wärmedurchgangskoeffizient (informativ) /
thermal transmittance (for information only)

$T_L = \tau_v$ Lichttransmissionsgrad / light transmittance

Kombination von Verglasung und Sonnenschutz

Für die Kombination von Verglasung mit Sonnenschutz sind die Kennwerte getrennt für die direkte und die diffuse Solarstrahlung zu berechnen und auszuweisen, da sie getrennt in den Richtlinien VDI 2078, VDI 6007 Blatt 1 und Blatt 3 benötigt werden.

11 Validierung

Die im Anhang A5 enthaltenen Tabellen dienen als Testbeispiele der Validierung eines Programms mit einem Rechenkern nach dieser Richtlinie.

Bei korrekter Programmierung sollten die Ergebnisse übereinstimmen. Zur Kontrolle kann die Formatierung in den MS Excel®-Tabellen für die Anzeige von mehr Nachkommastellen verändert werden.

thermal transmittances. For the effect of frames and profiles to be taken into account by the quasi one-dimensional calculation method, frames and profiles are always considered per layer. The edge bond, on the other hand, cannot be modelled in terms of a surface characteristic and must thus be taken into account per interstice.

In the algorithms of VDI 6007 Part 2 these effects are not taken into consideration. More detailed calculation procedures must be developed to this end.

10 Interface to VDI 2078, VDI 6007 Part 1 and Part 3

The interface between the guidelines VDI 6007 Part 2 and VDI 2078, VDI 6007 Part 1 and Part 3 is described below.

Characteristics for glazing (not taking into account movable sunshading)

The following characteristics are required for VDI 6007 Part 1 and Part 3 and VDI 2078:

(59)

Combination of glazing and sunshading

For the combination of glazing and sunshading, the characteristics shall be calculated and stated separately for direct and diffuse solar radiation, because the guidelines VDI 2078, VDI 6007 Part 1 and Part 3 require them separated.

11 Validation

The tables in Annex A5 serve as test examples for the validation of programmes using a calculation core in accordance with this guideline.

With proper programming, the results should be consistent. For verification, the formatting in the MS Excel® spreadsheets can be adapted to show more decimal places.

$g_{\text{tot,dir}}$	Gesamtenergiedurchlassgrad für direkte Einstrahlung total energy transmittance for direct radiation	
$g_{\text{tot,diff}}$	Gesamtenergiedurchlassgrad für diffuse Einstrahlung total energy transmittance for diffuse radiation	
$a_{\text{tot,kon}}$	Konvektivanteil des Gesamtenergiedurchlassgrads convective fraction of total energy transmittance	$a_{\text{tot,kon}} = \frac{(q_{i,c} + q_{i,v})_{\text{tot}}}{g_{\text{tot}}}$
U	Wärmedurchgangskoeffizient (informativ) thermal transmittance (for information only)	(60)
$T_{\text{L,tot,dir}}$	Lichttransmissionsgrad für direkte Einstrahlung light transmittance for direct radiation	$T_{\text{L,tot,dir}} = \tau_{\text{V,dir}}$
$T_{\text{L,tot,diff}}$	Lichttransmissionsgrad für diffuse Einstrahlung light transmittance for diffuse radiation	$T_{\text{L,tot,diff}} = \tau_{\text{V,diff}}$

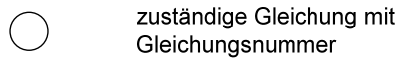
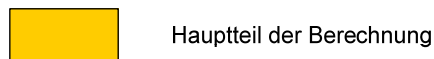
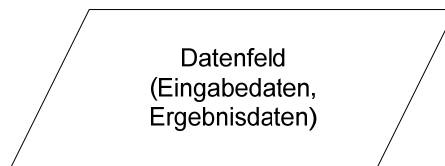
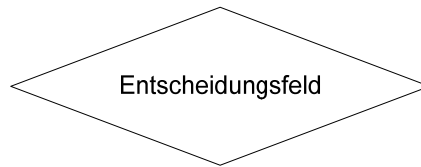
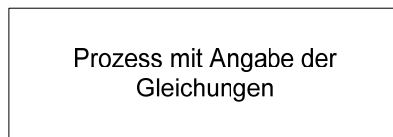
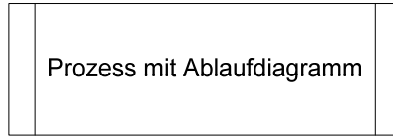
Anhang

A1 Ablaufpläne

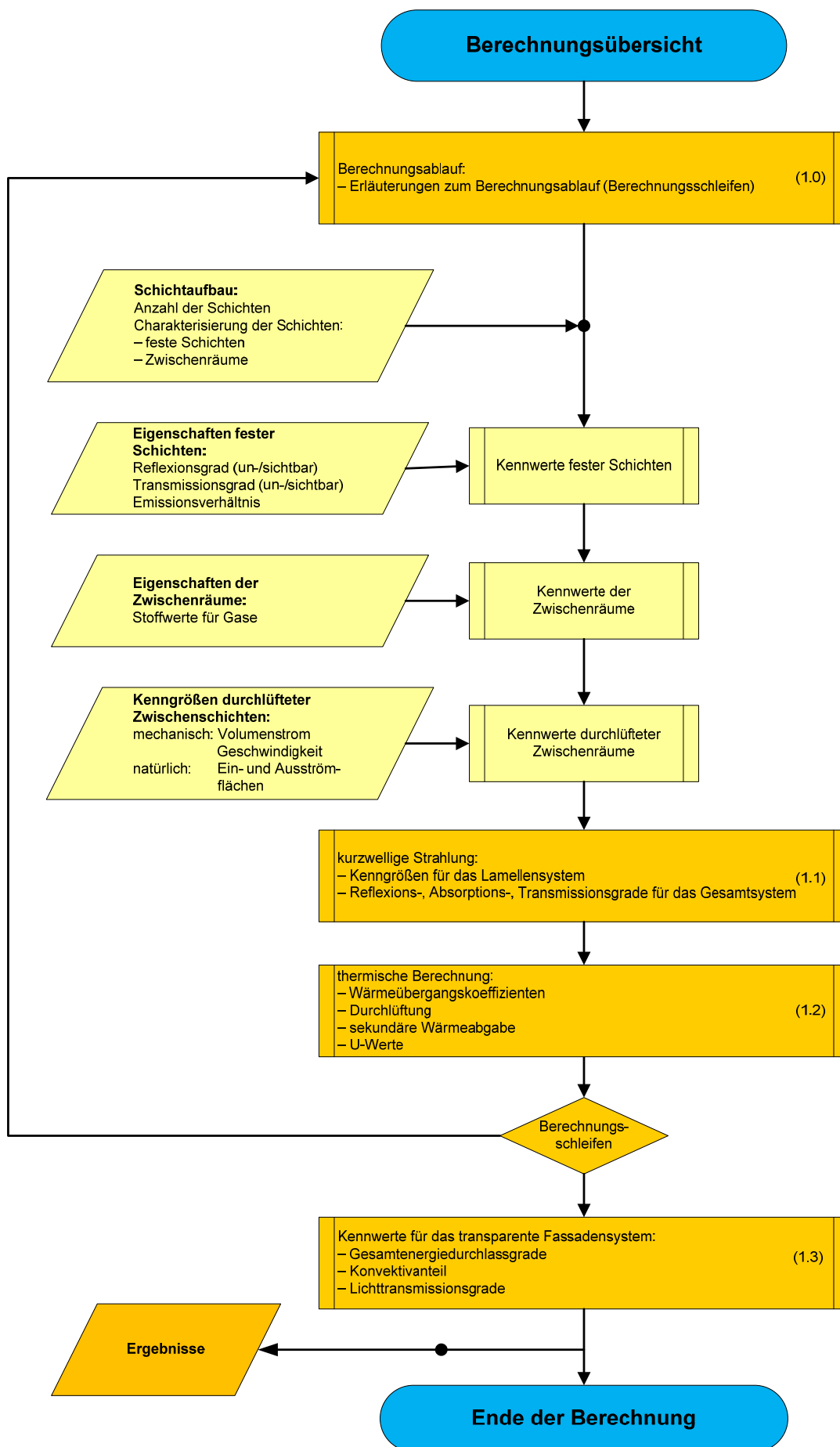
Im Folgenden sind die Ablaufpläne zu den Berechnungsteilen der VDI 6007 Blatt 2 zusammengestellt.

A1.1 Legende

Die verwendeten Symbole sind in der folgenden Legende zusammengestellt.



A1.2 Übersicht



A1.3 Erläuterung Berechnungsablauf**Erläuterung Berechnungsablauf
(1.0)****Die Berechnung ist in 3 Schleifen durchzuführen:****Schleife 1:** Verglasung **ohne** beweglichen Sonnenschutz.

Ergebnis:

 g : Gesamtenergiedurchlassgrad $a_{\text{kon}} = \frac{q_{i,c} + q_{i,v}}{g}$: Konvektivanteil des Gesamtenergiedurchlassgrads U : Wärmedurchgangskoeffizient (nur informativ) $T_L = \tau_v$: Lichttransmissionsgrad**Schleife 2:** Verglasung **mit** beweglichem Sonnenschutz für direkte Einstrahlung

Ergebnis:

 $g_{\text{tot,dir}}$: Gesamtenergiedurchlassgrad für direkte Einstrahlung $T_{L,\text{tot,dir}} = \tau_{v,\text{dir}}$: Lichttransmissionsgrad für direkte Einstrahlung**Schleife 3:** Verglasung **mit** beweglichem Sonnenschutz für diffuse Einstrahlung

Ergebnis:

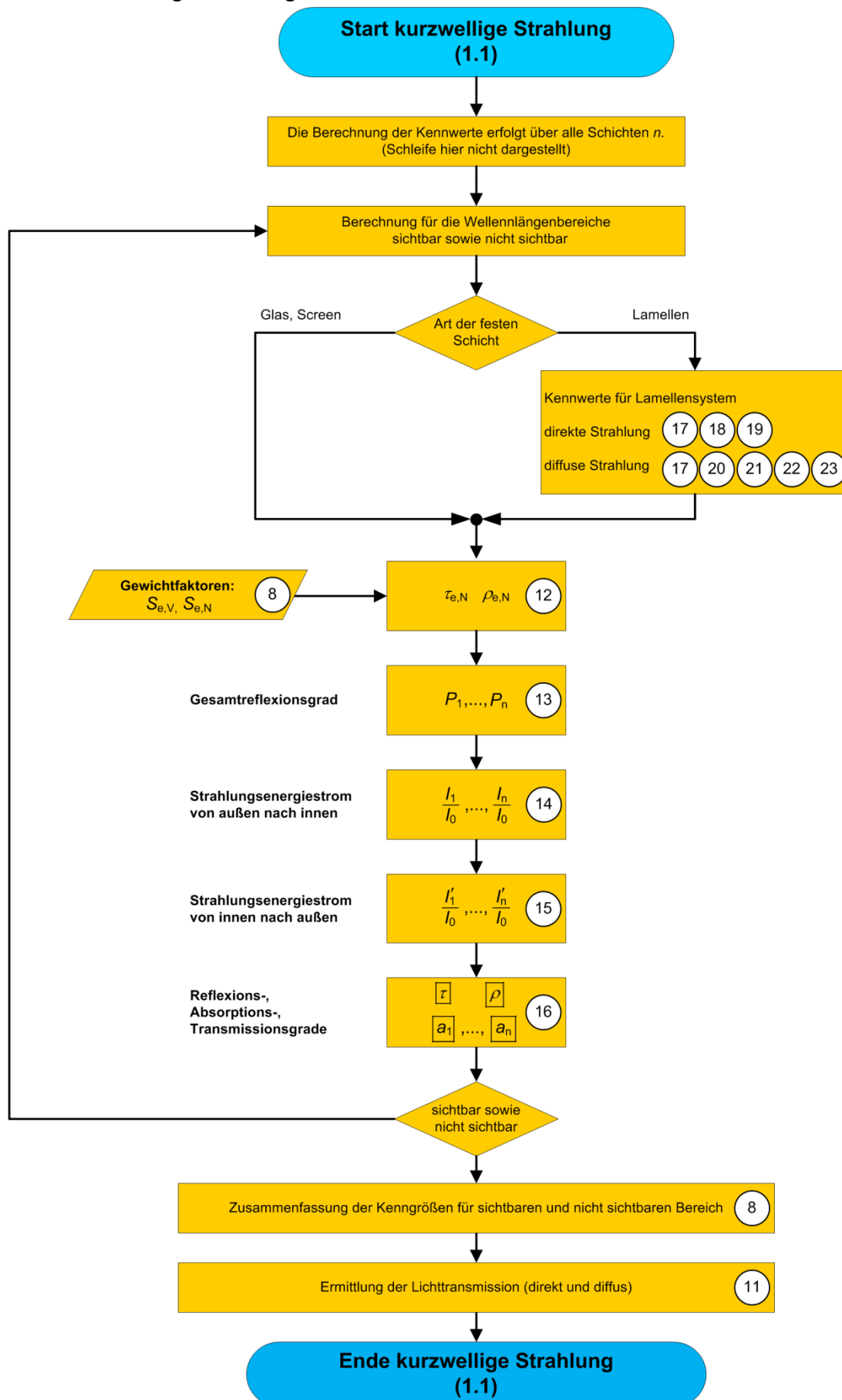
 $g_{\text{tot,diff}}$: Gesamtenergiedurchlassgrad für diffuse Einstrahlung $T_{L,\text{tot,diff}} = \tau_{v,\text{diff}}$: Lichttransmissionsgrad für diffuse Einstrahlung

Schleife 3 ist nur erforderlich, wenn der Sonnenschutz aus Lamellen besteht.

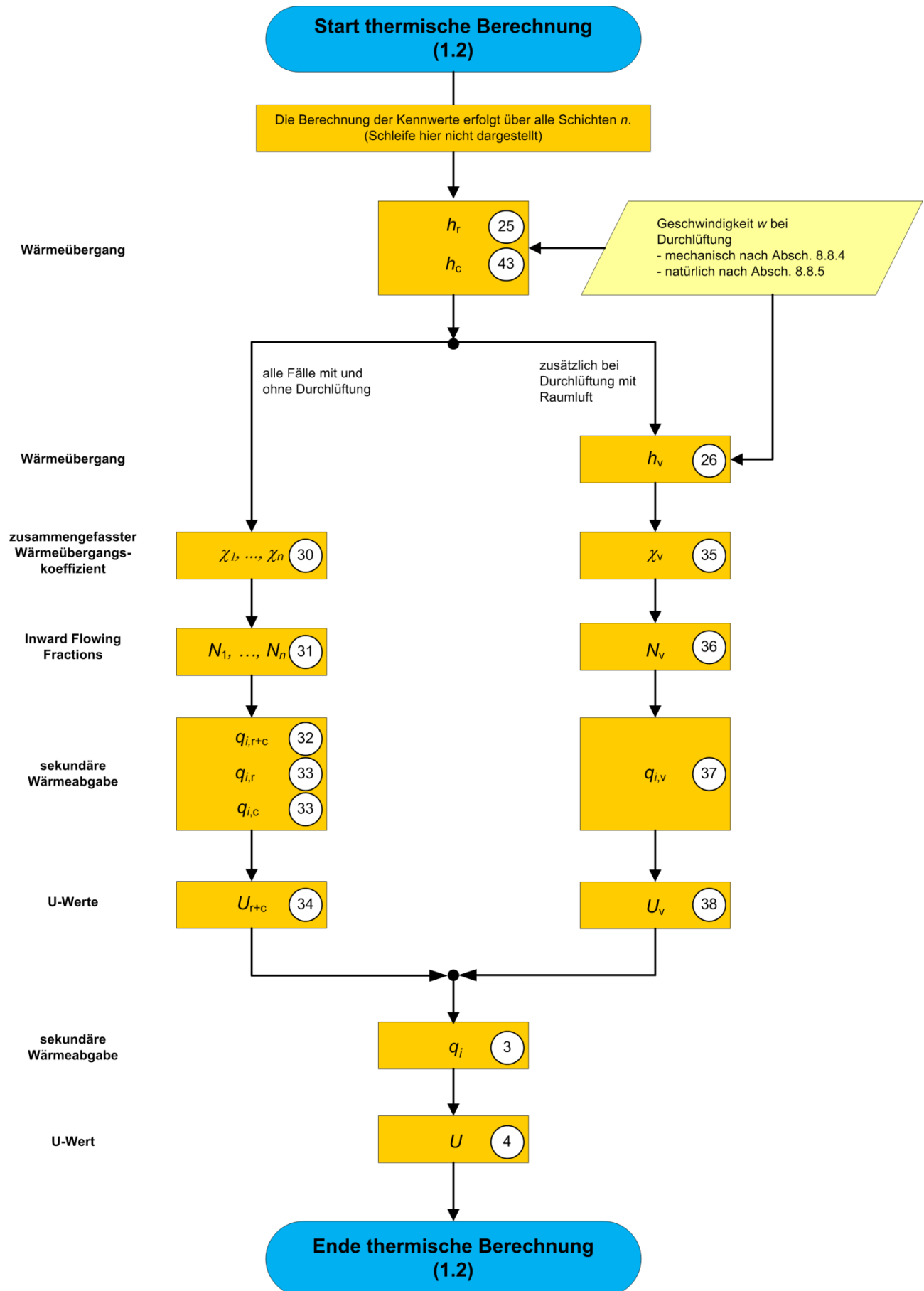
Anschließend zu ermitteln:

 $a_{\text{tot,kon}} = \frac{(q_{i,c} + q_{i,v})_{\text{tot}}}{g_{\text{tot}}}$: Konvektivanteil des Gesamtenergiedurchlassgrads U : Wärmedurchgangskoeffizient (nur informativ)

A1.4 Kurzwellige Strahlung



A1.5 Thermische Berechnung



A1.6 Kennwerte für das transparente Fassadensystem**Kennwerte für das transparente Fassadensystem (1.3)****Kennwerte für die Verglasung (ohne Einbezug des beweglichen Sonnenschutzes)** g : Gesamtenergiedurchlassgrad $a_{\text{kon}} = \frac{q_{\text{i,c}} + q_{\text{i,v}}}{g}$: Konvektivanteil des Gesamtenergiedurchlassgrads U : Wärmedurchgangskoeffizient (informativ) $T_{\text{L}} = \tau_{\text{v}}$: Lichttransmissionsgrad**Kennwerte für die Kombination von Verglasung und Sonnenschutz**

Für die Kombination von Verglasung mit Sonnenschutz sind die Kennwerte getrennt für die direkte und die diffuse Solarstrahlung zu berechnen und auszuweisen.

 $g_{\text{tot,dir}}$: Gesamtenergiedurchlassgrad für direkte Einstrahlung $g_{\text{tot,diff}}$: Gesamtenergiedurchlassgrad für diffuse Einstrahlung g_{tot} : Gesamtenergiedurchlassgrad (informativ) $a_{\text{tot,kon}} = \frac{(q_{\text{i,c}} + q_{\text{i,v}})_{\text{tot}}}{g_{\text{tot}}}$: Konvektivanteil des Gesamtenergiedurchlassgrads U : Wärmedurchgangskoeffizient (informativ) $T_{\text{L,tot,dir}} = \tau_{\text{V,dir}}$: Lichttransmissionsgrad für direkte Einstrahlung $T_{\text{L,tot,diff}} = \tau_{\text{V,diff}}$: Lichttransmissionsgrad für diffuse Einstrahlung

A2 Randbedingungen

Die energetischen Kenngrößen der VDI 6007 Blatt 2 sollen sowohl für

- Kühllastberechnungen nach VDI 2078 als auch für
- Jahresberechnungen nach VDI 2067

verwendet werden.

Für Jahresberechnungen nach VDI 2067 könnte grundsätzlich an eine stündliche Berechnung der Kenngrößen gedacht werden, was aber im Zusammenhang mit den Unwägbarkeiten bei der Steuerung des Sonnenschutzes – und z.B. der Stellung der Lamellen – keinen realen Genauigkeitszugewinn bringt. Für Kühllast- und Raumtemperaturberechnungen nach VDI 2078 gelten die (konstanten) Randbedingungen nach Tabelle A1, die auch für Jahresberechnungen nach VDI 2067 empfohlen werden.

A2.1 Standard- und Anhaltswerte nach VDI 6007 Blatt 2

Für die meisten Berechnungen der Kühllast bzw. der zu erwartenden Raumtemperaturen können die Standard- bzw. Anhaltswerte verwendet werden. Anpassung an die etwas abweichenden Verglasungskennwerte können entsprechend Gleichung (A5) bis Gleichung (A11) vorgenommen werden.

Anstelle der Standard- bzw. Anhaltswerte der VDI 6007 Blatt 2 können auch detailliert berechnete Werte nach dieser Richtlinie verwendet werden. Dies ist meist bei zweischaligen Fassadensystemen erforderlich.

Weitergehende Randbedingungen, z.B. zu Außen- und Raumtemperaturen, solare Strahlungsintensität usw., sind für die Berechnung nicht erforderlich.

Eine Temperaturberechnung in VDI 6007 Blatt 2 entfällt (fest vorgegebene Temperaturen). Grundsätzlich wäre auch eine Temperaturberechnung in den Schichten und Zwischenschichten möglich und damit dann die Kennwerte g , g_{tot} usw. für die Verglasung und den Sonnenschutz bestimmbar. Dies würde aber eine iterative Berechnungsweise erfordern.

Tabelle A1. Randbedingungen für die Standard- und Anhaltswerte

Größe	Wert
Bezugstemperatur für Raumlufttemperatur und die Außenlufttemperatur	25 °C
Bezugstemperatur für Stoffwerte (Luft, Gasfüllungen)	20 °C
Bezugstemperatur für Wärmeübergangskoeffizienten aufgrund Wärmestrahlung	20 °C
Bezugstemperaturdifferenz für konvektive Wärmeübergangskoeffizienten	10 K
Bezugstemperaturdifferenz für Volumenströme bei natürlicher Durchlüftung	10 K
Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient außen	8 W/(m ² K)
Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient innen	3 W/(m ² K)
Einstrahlungswinkel der Solarstrahlung auf die Verglasung bzw. einen Screen als Sonnenschutz (Einstrahlung parallel zur Flächennormale)	0°
Anstellwinkel der Lamellen	45°
Einstrahlungswinkel der Solarstrahlung auf die Lamellen als Sonnenschutz (Einstrahlung parallel zur Flächennormale der Lamellen)	0°

A3 Kennwerte für Zwischenräume

Die zwischen den festen Schichten liegenden Zwischenräume sind entweder mit Luft oder mit Gas gefüllt. Wärmeleitung und Konvektion im Zwischenraum lassen sich in Abhängigkeit

- der Stoffwerte des Gases bzw. der Luft,
- der Geometrie des Zwischenraums,
- der Neigung der Fassade und
- der Temperaturdifferenzen zwischen Gas und Oberflächen

bestimmen. Diese Einflussgrößen werden nachfolgend im Detail betrachtet.

A3.1 Stoffwerte, Bezugstemperatur

Tabelle A2. Stoffwerte für Gase nach DIN EN 673 bei 20 °C

Gas	Temperatur \bar{T} in °C (K)	Dichte ρ in kg/m ³	Dynamische Viskosität μ in kg/(m·s)	Wärmeleit- fähigkeit λ in W/(m·K)	Spez. Wärme- kapazität c_p in J/(kg·K)
Luft	20 (293,15)	1,189	$1,811 \times 10^{-5}$	0,02576	1008
Argon	20 (293,15)	1,640	$2,228 \times 10^{-5}$	0,01734	519
Krypton	20 (293,15)	3,430	$2,470 \times 10^{-5}$	0,00926	245
Xenon	20 (293,15)	5,495	$2,299 \times 10^{-5}$	0,00546	161
SF ₆	20 (293,15)	6,118	$1,497 \times 10^{-5}$	0,01354	614

A3.2 Stoffwerte für Gasgemische

Stoffwerte für praktisch auftretende Gasgemische können nach DIN EN 673 mit ausreichender Näherung im Verhältnis der Volumenanteile F_l gewichtet gemittelt werden, das heißt:

$$\rho_{\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot \rho_l \quad (\text{A1})$$

$$k_{\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot k_l \quad (\text{A3})$$

$$\mu_{\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot \mu_l \quad (\text{A2})$$

$$c_{p,\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot c_{p,l} \quad (\text{A4})$$

Mit diesen Ansätzen folgt bei 90% Gasfüllung und 10% Luft Tabelle A3.

Tabelle A3. Stoffwerte für Gasgemische bei 20 °C

Gas	Temperatur \bar{T} in °C (K)	Dichte ρ in kg/m ³	Dynamische Viskosität μ in kg/(m·s)	Wärmeleit- fähigkeit λ in W/(m·K)	Spez. Wärme- kapazität c_p in J/(kg·K)
Luft	20 (293,15)	1,189	$1,811 \times 10^{-5}$	0,02576	1008
Argon 90 %	20 (293,15)	1,595	$2,186 \times 10^{-5}$	0,01818	568
Krypton 90 %	20 (293,15)	3,206	$2,404 \times 10^{-5}$	0,01091	321
Xenon 90 %	20 (293,15)	5,064	$2,250 \times 10^{-5}$	0,00749	246

A4 Kennwerte für feste Schichten

A4.1 Lamellensysteme und Winkelfaktoren für Lamellen

Für einen Anstellwinkel der Lamellen von 45° und einer Überdeckung der Lamellen von 10% sind die Winkelfaktoren $\Phi_{i,j}$ nach Tabelle A4 anzusetzen.

Tabelle A4. Winkelfaktoren $\Phi_{i,j}$ für Lamellen (Anstellwinkel der Lamellen von 45° und Überdeckung der Lamellen von 10%)

$\Phi_{34} = 0,27$	$\Phi_{62} = 0,09$	$\Phi_{63} = 0,32$	$\Phi_{13} = 0,07$
$\Phi_{51} = 0,07$	$\Phi_{32} = 0,65$	$\Phi_{54} = 0,23$	$\Phi_{14} = 0,59$
$\Phi_{61} = 0,59$	$\Phi_{42} = 0,08$	$\Phi_{52} = 0,71$	
$\Phi_{31} = 0,08$	$\Phi_{21} = 0,34$	$\Phi_{24} = 0,07$	
$\Phi_{41} = 0,65$	$\Phi_{23} = 0,59$	$\Phi_{12} = 0,34$	

A5 Solare Kennwerte für Fensterkombinationen

A5.1 Tabellen mit Standard- und Anhaltswerten für Fensterkombinationen

Diese Tabellen sind als MS-Excel®-Dateien auf dem der Richtlinie beigelegten Datenträger enthalten.

Tabelle A5. Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Einfach-Verglasung

Verwendet wird folgende Verglasung:

- (1) Einfachglas Float
(2) 2-fach Isolierverglasung
(3) 2-fach Wärmeschutzverglasung
(4) 2-fach Sonnenschutzverglasung
(5) 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt
(6) 3-fach Wärmeschutzverglasung

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:

- (1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)
(2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)
(3) Screen (hell)
(4) Screen (dunkel)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Einfachverglasung

		Gesamtenergie- durchlassgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie- durchlassgrad diff. Strahlung	Licht- Transmission dir. Strahlung	Licht- Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
1	Einfachverglasung							
1.1.1	Sonnenschutzsystem (1) außen	0,21	0,14	0,43	0,09	0,37	0,10	
1.1.2	Sonnenschutzsystem (2) außen	0,19	0,12	0,41	0,03	0,32	0,17	
1.1.3a	Sonnenschutzsystem (3) außen durchlüftet	0,23	0,23	0,23	0,18	0,18	0,09	
1.1.3b	Sonnenschutzsystem (3) außen nicht durchlüftet	0,25	0,25	0,25	0,18	0,18	0,12	
1.1.4a	Sonnenschutzsystem (4) außen durchlüftet	0,17	0,17	0,17	0,09	0,09	0,19	
1.1.4b	Sonnenschutzsystem (4) außen nicht durchlüftet	0,21	0,21	0,21	0,09	0,09	0,22	
1.3.1	Sonnenschutzsystem (1) innen	0,53	0,45	0,74	0,09	0,37	0,43	
1.3.2	Sonnenschutzsystem (2) innen	0,66	0,59	0,88	0,03	0,32	0,50	
1.3.3a	Sonnenschutzsystem (3) innen durchlüftet	0,50	0,50	0,50	0,18	0,18	0,40	
1.3.3b	Sonnenschutzsystem (3) innen nicht durchlüftet	0,46	0,46	0,46	0,18	0,18	0,28	
1.3.4a	Sonnenschutzsystem (4) innen durchlüftet	0,61	0,61	0,61	0,09	0,09	0,52	
1.3.4b	Sonnenschutzsystem (4) innen nicht durchlüftet	0,55	0,55	0,55	0,09	0,09	0,38	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information !

Tabelle A6. Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Zweifach-Isolierverglasung

Verwendet wird folgende Verglasung:

- (1) Einfachglas Float
(2) 2-fach Isolierverglasung
(3) 2-fach Wärmeschutzverglasung
(4) 2-fach Sonnenschutzverglasung
(5) 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt
(6) 3-fach Wärmeschutzverglasung

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:

- (1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)
(2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)
(3) Screen (hell)
(4) Screen (dunkel)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Isolierverglasung

		Gesamtenergie- durchlassgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie- durchlassgrad diff. Strahlung	Licht- Transmission dir. Strahlung	Licht- Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
2	2-fach Isolierverglasung							
2.1.1	Sonnenschutzsystem (1) außen	0,18	0,11	0,37	0,07	0,33	0,08	
2.1.2	Sonnenschutzsystem (2) außen	0,14	0,08	0,33	0,03	0,28	0,14	
2.1.3a	Sonnenschutzsystem (3) außen durchlüftet	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,08	
2.1.3b	Sonnenschutzsystem (3) außen nicht durchlüftet	0,22	0,22	0,22	0,15	0,15	0,11	
2.1.4a	Sonnenschutzsystem (4) außen durchlüftet	0,13	0,13	0,13	0,07	0,07	0,16	
2.1.4b	Sonnenschutzsystem (4) außen nicht durchlüftet	0,16	0,16	0,16	0,07	0,07	0,20	
2.2.1	Sonnenschutzsystem (1) zwischen den Scheiben	0,34	0,28	0,53	0,08	0,32	0,23	
2.2.3	Sonnenschutzsystem (3) zwischen den Scheiben	0,34	0,34	0,34	0,15	0,15	0,21	
2.2.4	Sonnenschutzsystem (4) zwischen den Scheiben	0,37	0,37	0,37	0,07	0,07	0,30	
2.3.1	Sonnenschutzsystem (1) innen	0,53	0,47	0,72	0,08	0,32	0,48	
2.3.2	Sonnenschutzsystem (2) innen	0,66	0,59	0,85	0,03	0,28	0,54	
2.3.3a	Sonnenschutzsystem (3) innen durchlüftet	0,50	0,50	0,50	0,15	0,15	0,45	
2.3.3b	Sonnenschutzsystem (3) innen nicht durchlüftet	0,47	0,47	0,47	0,15	0,15	0,32	
2.3.4a	Sonnenschutzsystem (4) innen durchlüftet	0,61	0,61	0,61	0,07	0,07	0,56	
2.3.4b	Sonnenschutzsystem (4) innen nicht durchlüftet	0,56	0,56	0,56	0,07	0,07	0,41	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information !

Tabelle A7. Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Zweifach-Wärmeschutzverglasung

Verwendet wird folgende Verglasung:
(1) Einfachglas Float
(2) 2-fach Isolierverglasung
(3) 2-fach Wärmeschutzverglasung
(4) 2-fach Sonnenschutzverglasung
(5) 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt
(6) 3-fach Wärmeschutzverglasung

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:
(1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)
(2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)
(3) Screen (hell)
(4) Screen (dunkel)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Wärmeschutzverglasung

		Gesamtenergie-durchlassgrad	Gesamtenergie-durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie-durchlassgrad diff. Strahlung	Licht-Transmission dir. Strahlung	Licht-Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
3	2-fach Wärmeschutzverglasung							
3.1.1	Sonnenschutzsystem (1) außen	0,13	0,08	0,27	0,07	0,32	0,08	
3.1.2	Sonnenschutzsystem (2) außen	0,09	0,05	0,23	0,03	0,27	0,12	
3.1.3a	Sonnenschutzsystem (3) außen durchlüftet	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,10	
3.1.3b	Sonnenschutzsystem (3) außen nicht durchlüftet	0,17	0,17	0,17	0,15	0,15	0,12	
3.1.4a	Sonnenschutzsystem (4) außen durchlüftet	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,15	
3.1.4b	Sonnenschutzsystem (4) außen nicht durchlüftet	0,11	0,11	0,11	0,07	0,07	0,19	
3.2.1	Sonnenschutzsystem (1) zwischen den Scheiben	0,22	0,18	0,36	0,07	0,32	0,21	
3.2.3	Sonnenschutzsystem (3) zwischen den Scheiben	0,24	0,24	0,24	0,15	0,15	0,20	
3.2.4	Sonnenschutzsystem (4) zwischen den Scheiben	0,23	0,23	0,23	0,07	0,07	0,29	
3.3.1	Sonnenschutzsystem (1) innen	0,51	0,46	0,64	0,07	0,32	0,56	
3.3.2	Sonnenschutzsystem (2) innen	0,59	0,54	0,72	0,03	0,27	0,59	
3.3.3a	Sonnenschutzsystem (3) innen durchlüftet	0,48	0,48	0,48	0,15	0,15	0,53	
3.3.3b	Sonnenschutzsystem (3) innen nicht durchlüftet	0,45	0,45	0,45	0,15	0,15	0,38	
3.3.4a	Sonnenschutzsystem (4) innen durchlüftet	0,55	0,55	0,55	0,07	0,07	0,61	
3.3.4b	Sonnenschutzsystem (4) innen nicht durchlüftet	0,52	0,52	0,52	0,07	0,07	0,44	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information !

Tabelle A8. Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Zweifach-Sonnenschutzverglasung

Verwendet wird folgende Verglasung:
(1) Einfachglas Float
(2) 2-fach Isolierverglasung
(3) 2-fach Wärmeschutzverglasung
(4) 2-fach Sonnenschutzverglasung
(5) 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt
(6) 3-fach Wärmeschutzverglasung

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:
(1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)
(2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)
(3) Screen (hell)
(4) Screen (dunkel)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Sonnenschutzverglasung

		Gesamtenergie-durchlassgrad	Gesamtenergie-durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie-durchlassgrad diff. Strahlung	Licht-Transmission dir. Strahlung	Licht-Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
4	2-fach Sonnenschutzverglasung							
4.1.1a	Sonnenschutzsystem (1)	0,09	0,06	0,18	0,07	0,29	0,10	
4.1.2a	Sonnenschutzsystem (2)	0,07	0,04	0,16	0,02	0,25	0,15	
4.1.3a	Sonnenschutzsystem (3) außen durchlüftet	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,11	
4.1.3b	Sonnenschutzsystem (3) außen nicht durchlüftet	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,15	
4.1.4a	Sonnenschutzsystem (4) außen durchlüftet	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,18	
4.1.4b	Sonnenschutzsystem (4) außen nicht durchlüftet	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,23	
4.2.1	Sonnenschutzsystem (1) zwischen den Scheiben	0,23	0,20	0,32	0,07	0,29	0,27	
4.2.3	Sonnenschutzsystem (3) zwischen den Scheiben	0,23	0,23	0,23	0,14	0,14	0,26	
4.2.4	Sonnenschutzsystem (4) zwischen den Scheiben	0,27	0,27	0,27	0,07	0,07	0,33	
4.3.1a	Sonnenschutzsystem (1)	0,30	0,27	0,38	0,07	0,29	0,53	
4.3.2a	Sonnenschutzsystem (2)	0,36	0,33	0,45	0,02	0,25	0,57	
4.3.3a	Sonnenschutzsystem (3) innen durchlüftet	0,28	0,28	0,28	0,14	0,14	0,50	
4.3.3b	Sonnenschutzsystem (3) innen nicht durchlüftet	0,27	0,27	0,27	0,14	0,14	0,36	
4.3.4a	Sonnenschutzsystem (4) innen durchlüftet	0,33	0,33	0,33	0,07	0,07	0,59	
4.3.4b	Sonnenschutzsystem (4) innen nicht durchlüftet	0,32	0,32	0,32	0,07	0,07	0,43	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information !

Tabelle A9. Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Zweifach-Sonnenschutzverglasung, verspiegelt

Verwendet wird folgende Verglasung:

- (1) Einfachglas Float
- (2) 2-fach Isolierverglasung
- (3) 2-fach Wärmeschutzverglasung
- (4) 2-fach Sonnenschutzverglasung
- (5) 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt
- (6) 3-fach Wärmeschutzverglasung

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:

- (1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)
- (2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)
- (3) Screen (hell)
- (4) Screen (dunkel)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt

		Gesamtenergie- durchlassgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie- durchlassgrad diff. Strahlung	Licht- Transmission dir. Strahlung	Licht- Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
5	2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt							
5.1.1	Sonnenschutzsystem (1) außen	0,08	0,05	0,15	0,05	0,20	0,11	
5.1.2	Sonnenschutzsystem (2) außen	0,06	0,04	0,13	0,02	0,16	0,17	
5.1.3a	Sonnenschutzsystem (3) außen durchlüftet	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	
5.1.3b	Sonnenschutzsystem (3) außen nicht durchlüftet	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,15	
5.1.4a	Sonnenschutzsystem (4) außen durchlüftet	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,19	
5.1.4b	Sonnenschutzsystem (4) außen nicht durchlüftet	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,24	
5.2.1	Sonnenschutzsystem (1) zwischen den Scheiben	0,20	0,18	0,27	0,05	0,20	0,27	
5.2.3	Sonnenschutzsystem (3) zwischen den Scheiben	0,19	0,19	0,19	0,10	0,10	0,25	
5.2.4	Sonnenschutzsystem (4) zwischen den Scheiben	0,21	0,21	0,21	0,04	0,04	0,33	
5.3.1	Sonnenschutzsystem (1) innen	0,25	0,23	0,32	0,05	0,20	0,53	
5.3.2	Sonnenschutzsystem (2) innen	0,29	0,27	0,36	0,02	0,16	0,57	
5.3.3a	Sonnenschutzsystem (3) innen durchlüftet	0,24	0,24	0,24	0,10	0,10	0,50	
5.3.3b	Sonnenschutzsystem (3) innen nicht durchlüftet	0,23	0,23	0,23	0,10	0,10	0,36	
5.3.4a	Sonnenschutzsystem (4) innen durchlüftet	0,27	0,27	0,27	0,05	0,05	0,59	
5.3.4b	Sonnenschutzsystem (4) innen nicht durchlüftet	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,43	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information !

Tabelle A10. Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung

Verwendet wird folgende Verglasung:

- (1) Einfachglas Float
- (2) 2-fach Isolierverglasung
- (3) 2-fach Wärmeschutzverglasung
- (4) 2-fach Sonnenschutzverglasung
- (5) 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt
- (6) 3-fach Wärmeschutzverglasung

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:

- (1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)
- (2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)
- (3) Screen (hell)
- (4) Screen (dunkel)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 3-fach Wärmeschutzverglasung

		Gesamtenergie- durchlassgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie- durchlassgrad diff. Strahlung	Licht- Transmission dir. Strahlung	Licht- Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
6	3-fach Wärmeschutzverglasung							
6.1.1	Sonnenschutzsystem (1) außen	0,09	0,06	0,19	0,06	0,27	0,09	
6.1.2	Sonnenschutzsystem (2) außen	0,06	0,03	0,16	0,02	0,23	0,10	
6.1.3a	Sonnenschutzsystem (3) außen durchlüftet	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	
6.1.3b	Sonnenschutzsystem (3) außen nicht durchlüftet	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	
6.1.4a	Sonnenschutzsystem (4) außen durchlüftet	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,15	
6.1.4b	Sonnenschutzsystem (4) außen nicht durchlüftet	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,19	
6.2.1	Sonnenschutzsystem (1) zwischen den Scheiben	0,23	0,20	0,33	0,06	0,27	0,26	
6.2.3	Sonnenschutzsystem (3) zwischen den Scheiben	0,24	0,24	0,24	0,13	0,13	0,25	
6.2.4	Sonnenschutzsystem (4) zwischen den Scheiben	0,26	0,26	0,26	0,06	0,06	0,33	
6.3.1	Sonnenschutzsystem (1) innen	0,40	0,37	0,49	0,06	0,26	0,58	
6.3.2	Sonnenschutzsystem (2) innen	0,45	0,42	0,55	0,02	0,23	0,60	
6.3.3a	Sonnenschutzsystem (3) innen durchlüftet	0,38	0,38	0,38	0,12	0,12	0,56	
6.3.3b	Sonnenschutzsystem (3) innen nicht durchlüftet	0,37	0,37	0,37	0,12	0,12	0,40	
6.3.4a	Sonnenschutzsystem (4) innen durchlüftet	0,43	0,43	0,43	0,06	0,06	0,62	
6.3.4b	Sonnenschutzsystem (4) innen nicht durchlüftet	0,41	0,41	0,41	0,06	0,06	0,45	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information !

Tabelle A11. Anhaltswerte für zweischalige Fassaden, außen ESG, innen Zweifach-Wärmeschutzverglasung

Verwendet wird folgende Verglasung für die zweischalige Fassade:

(7) außen ESG, innen 2-fach Wärmeschutzverglasung

7.1) belüftet

7.2) unbelüftet

(8) außen ESG, innen 2-fach Sonnenschutzverglasung

(8.1) belüftet

(8.2) unbelüftet

(9) außen ESG, innen 3-fach Wärmeschutzverglasung

(9.1) belüftet

(9.2) unbelüftet

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:

(1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)

(2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)

(3) Screen (hell)

(4) Screen (dunkel)

g	T_L	a_{kon}
0,56	0,62	0,07
0,57	0,62	0,08

τ_e	ρ_e
0,45	0,28
0,45	0,28

0,36	0,57	0,07
0,40	0,57	0,10

0,29	0,28
0,29	0,28

0,42	0,51	0,09
0,44	0,51	0,11

0,32	0,29
0,32	0,29

T_L

0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
----------	----------

0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Anhaltswerte für zweischalige Fassaden, außen ESG, innen 2-fach Wärmeschutzverglasung

		Gesamtenergie- durchlassgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie- durchlassgrad diff. Strahlung	Licht- Transmission dir. Strahlung	Licht- Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
7.1	Zweischalige Fassade (durchlüftet)							
7.1	außen ESG, innen 2-fach Wärmeschutzverglasung							
7.1.1.	Sonnenschutzsystem (1) im Luftzwischenraum	0,12	0,08	0,24	0,06	0,28	0,09	
7.1.2	Sonnenschutzsystem (2) im Luftzwischenraum	0,09	0,05	0,20	0,02	0,23	0,13	
7.1.3	Sonnenschutzsystem (3) im Luftzwischenraum	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,11	
7.1.4	Sonnenschutzsystem (4) im Luftzwischenraum	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,17	
7.2	Zweischalige Fassade (nicht durchlüftet) bzw. Verbundfensterkonstruktion							
7.2	außen ESG, innen 2-fach Wärmeschutzverglasung							
7.2.1	Sonnenschutzsystem (1) im Luftzwischenraum	0,20	0,16	0,32	0,06	0,28	0,21	
7.2.2	Sonnenschutzsystem (2) im Luftzwischenraum	0,20	0,16	0,32	0,02	0,23	0,28	
7.2.3	Sonnenschutzsystem (3) im Luftzwischenraum	0,22	0,22	0,22	0,13	0,13	0,20	
7.2.4	Sonnenschutzsystem (4) im Luftzwischenraum	0,20	0,20	0,20	0,06	0,06	0,29	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information!

Tabelle A12. Anhaltswerte für zweischalige Fassaden, außen ESG, innen Zweifach-Sonnenschutzverglasung

Verwendet wird folgende Verglasung für die zweischalige Fassade:

(7) außen ESG, innen 2-fach Wärmeschutzverglasung

7.1) belüftet

7.2) unbelüftet

(8) außen ESG, innen 2-fach Sonnenschutzverglasung

(8.1) belüftet

(8.2) unbelüftet

(9) außen ESG, innen 3-fach Wärmeschutzverglasung

(9.1) belüftet

(9.2) unbelüftet

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:

(1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)

(2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)

(3) Screen (hell)

(4) Screen (dunkel)

g	T_L	a_{kon}
0,56	0,62	0,07
0,57	0,62	0,08

τ_e	ρ_e
0,45	0,28
0,45	0,28

0,36	0,57	0,07
0,40	0,57	0,10

0,29	0,28
0,29	0,28

0,42	0,51	0,09
0,44	0,51	0,11

0,32	0,29
0,32	0,29

T_L

0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
----------	----------

0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Anhaltswerte für zweischalige Fassaden, außen ESG, innen 2-fach Sonnenschutzverglasung

		Gesamtenergie- durchlassgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie- durchlassgrad diff. Strahlung	Licht- Transmission dir. Strahlung	Licht- Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
8.1	Zweischalige Fassade (durchlüftet)							
8.1	außen ESG, innen 2-fach Sonnenschutzverglasung							
8.1.1.	Sonnenschutzsystem (1) im Luftzwischenraum	0,08	0,05	0,16	0,06	0,25	0,11	
8.1.2	Sonnenschutzsystem (2) im Luftzwischenraum	0,06	0,04	0,14	0,02	0,22	0,17	
8.1.3	Sonnenschutzsystem (3) im Luftzwischenraum	0,09	0,09	0,09	0,12	0,12	0,12	
8.1.4	Sonnenschutzsystem (4) im Luftzwischenraum	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,19	
8.2	Zweischalige Fassade (nicht durchlüftet) bzw. Verbundfensterkonstruktion							
8.2	außen ESG, innen 2-fach Sonnenschutzverglasung							
8.2.1	Sonnenschutzsystem (1) im Luftzwischenraum	0,17	0,14	0,24	0,06	0,25	0,25	
8.2.2	Sonnenschutzsystem (2) im Luftzwischenraum	0,18	0,16	0,26	0,02	0,22	0,31	
8.2.3	Sonnenschutzsystem (3) im Luftzwischenraum	0,18	0,18	0,18	0,12	0,12	0,25	
8.2.4	Sonnenschutzsystem (4) im Luftzwischenraum	0,18	0,18	0,18	0,06	0,06	0,32	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information!

Tabelle A13. Anhaltswerte für zweischalige Fassaden, außen ESG, innen Dreifach-Wärmeschutzverglasung

Verwendet wird folgende Verglasung für die zweischalige Fassade:

(7) außen ESG, innen 2-fach Wärmeschutzverglasung

(7.1) belüftet

(7.2) unbelüftet

(8) außen ESG, innen 2-fach Sonnenschutzverglasung

(8.1) belüftet

(8.2) unbelüftet

(9) außen ESG, innen 3-fach Wärmeschutzverglasung

(9.1) belüftet

(9.2) unbelüftet

Verwendet werden folgende Sonnenschutzsysteme:

(1) Lamellenraffstore (45°, cut-off)

(2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut-off)

(3) Screen (hell)

(4) Screen (dunkel)

g	T_L	a_{kon}
0,56	0,62	0,07
0,57	0,62	0,08

0,36	0,57	0,07
0,40	0,57	0,10

0,42	0,51	0,09
0,44	0,51	0,11

τ_e	ρ_e
0,45	0,28
0,45	0,28

0,29	0,28
0,29	0,28

0,32	0,29
0,32	0,29

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Anhaltswerte für zweischalige Fassaden, außen ESG, innen 3-fach Wärmeschutzverglasung

		Gesamtenergie- durchlassgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad dir. Strahlung	Gesamtenergie- durchlassgrad diff. Strahlung	Licht- Transmission dir. Strahlung	Licht- Transmission diff. Strahlung	konvektiver Anteil	Skizze
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
9.1	Zweischalige Fassade (durchlüftet)							
9.1	außen ESG, innen 3-fach Wärmeschutzverglasung							
9.1.1	Sonnenschutzsystem (1) im Luftzwischenraum	0,08	0,05	0,17	0,05	0,23	0,09	
9.1.2	Sonnenschutzsystem (2) im Luftzwischenraum	0,06	0,03	0,14	0,02	0,19	0,12	
9.1.3	Sonnenschutzsystem (3) im Luftzwischenraum	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	
9.1.4	Sonnenschutzsystem (4) im Luftzwischenraum	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,16	
9.2	Zweischalige Fassade (nicht durchlüftet) bzw. Verbundfensterkonstruktion							
9.2	außen ESG, innen 3-fach Wärmeschutzverglasung							
9.2.1	Sonnenschutzsystem (1) im Luftzwischenraum	0,13	0,11	0,22	0,05	0,23	0,20	
9.2.2	Sonnenschutzsystem (2) im Luftzwischenraum	0,13	0,10	0,21	0,02	0,19	0,26	
9.2.3	Sonnenschutzsystem (3) im Luftzwischenraum	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,20	
9.2.4	Sonnenschutzsystem (4) im Luftzwischenraum	0,13	0,13	0,13	0,05	0,05	0,28	

Anm.: Gelbe Felder nur zur Information!

A5.2 Anpassung der Kennwerte für die Fensterkombination (Verglasung und Sonnenschutz), wenn die Kennwerte der Verglasung von den „Standardwerten“ abweichen

Voraussetzung

Es können nur Anpassungen an die Kennwerte der Verglasung innerhalb der jeweils geltenden Tabelle für die betrachtete Verglasungsart (z.B. Zweifach-Wärmeschutzverglasung oder Zweifach-Sonnenschutzverglasung, verspiegelt) vorgenommen werden.

Die Werte

- G ,
- T_L ,
- τ_e und
- ρ

der Verglasung dürfen nicht mehr als $\pm 0,10$ vom Standardwert abweichen.

Für die Fensterkombination gilt dann:

$$g_{tot} = g_{tot,Tab} \cdot \frac{g}{g_{Tab}} \quad (A5)$$

$$g_{tot,dir} = g_{tot,dir,Tab} \cdot \frac{g}{g_{Tab}} \quad (A6)$$

$$g_{tot,diff} = g_{tot,diff,Tab} \cdot \frac{g}{g_{Tab}} \quad (A7)$$

$$T_{L,tot,dir} = T_{L,tot,dir,Tab} \cdot \frac{T_L}{T_{L,Tab}} \quad (A8)$$

$$T_{L,tot,diff} = T_{L,tot,diff,Tab} \cdot \frac{T_L}{T_{L,Tab}} \quad (A9)$$

$$a_{konv} = a_{konv,Tab} \quad (A10)$$

$$a_{konv,tot} = a_{konv,tot,Tab} \quad (A11)$$

Anmerkung: Der Index „Tab“ bezeichnet den Tabellen-Standardwert.

Wenn die Kennwerte stärker von den Standardwerten abweichen, als für die vorgenannten Anpassungsformeln zulässig ist, ist eine Berechnung nach VDI 6007 Blatt 2 erforderlich, falls die Werte für die Fensterkombination nicht anderweitig (z.B. Herstellerangaben für die Fensterkombination) verfügbar sind.

Eine Anpassung bei anderen Kennwerten des Sonnenschutzes ist sehr problematisch, da eingehen:

- Art des Sonnenschutzes
- Lage des Sonnenschutzes
- Durchlüftung
- τ_e und ρ_e des Sonnenschutzes

Eine Interpolation erscheint sehr problematisch.

Es wird daher folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

Wenn bei gleicher Art des Sonnenschutzes die Kennwerte τ_e und ρ_e des Sonnenschutzes um nicht mehr als $\pm 0,10$ vom Standardwert abweichen, werden die Standardwerte verwendet. Bei größeren Abweichungen ist eine Berechnung nach VDI 6007 Blatt 2 erforderlich, falls die Werte für die Fensterkombination nicht anderweitig (z. B. Herstellerangaben für die Fensterkombination) verfügbar sind.

A5.3 Randbedingung zur Berechnung der Tabellen

A5.3.1 Fassadensysteme

Für folgende Verglasungen, mit und ohne Sonnenschutz, durchlüftet und nicht durchlüftet, werden die Parameter (Gesamtenergiedurchlassgrad, Lichttransmission, U -Wert, Konvektivanteil) ermittelt.

Einschalige Fassade

- Verglasung mit außen liegendem Sonnenschutz
- Verglasung mit innen liegendem Sonnenschutz
- Verglasung mit integriertem Sonnenschutz

Doppelschalige Fassade

- ESG + Zweifach-Wärmeschutzverglasung
- ESG + Zweifach-Sonnenschutzverglasung
- ESG + Dreifach-Wärmeschutzverglasung

A5.3.2 Nummerierung der Fassadensysteme

Der Aufbau der einzelnen Systeme wird mit der Nummerierung beschrieben.

- Die erste Ziffer steht für die Verglasungsart (z. B.: 4.1.2.a)
 - (1) Einfach-Verglasung
 - (2) Zweifach-Isolierverglasung
 - (3) Zweifach-Wärmeschutzverglasung
 - (4) Zweifach-neutrale-Sonnenschutzverglasung

- (5) Zweifach-silberne-Sonnenschutzverglasung
- (6) Dreifach-Wärmeschutzverglasung
- Die zweite Ziffer gibt die Lage des Sonnenschutzes an (z. B.: 4.1.2.a)
 - (1) außen durchlüftet
 - (2) zwischen den Schichten durchlüftet
 - (3) innen durchlüftet
- Die dritte Ziffer gibt die Art des Sonnenschutzes an (z. B.: 4.1.2.a)
 - (1) Lamellenraffstore (45°, cut off)
 - (2) Lamellenraffstore verschmutzt (45°, cut off)
 - (3) Screen hell
 - (4) Screen dunkel
- Der Buchstabe an letzter Stelle gibt den Zustand der Durchlüftung an (z. B.: 4.1.2.a)
 - a durchlüftet
 - b nicht durchlüftet

A5.3.3 Kennwerte der Schichten

Kennwerte der Gläser und Sonnenschutzsysteme

Die eingesetzten Verglasungen setzen sich aus den in Tabelle A14 aufgelisteten Einzelgläsern zusammen.

Für die Sonnenschutzsysteme werden die Kennwerte in den nachfolgenden Tabellen verwendet. Man unterscheidet dabei zwischen Screen und Lamellensonnenschutz. Bei dem Lamellensonnenschutz werden die Kennwerte für das gesamte Lamellensystem (Tabelle A16 und Tabelle A17) aus den Kennwerten der Einzellamellen (Tabelle A15) berechnet.

Tabelle A14. Kennwerte der einzelnen Gläser

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'
Klarglas	85	85	8	8	85	85	8	8	0,837	0,837
Wärmeschutzglas, Position 3 oder 5	60	80	25	6	60	80	20	6	0,050	0,837
Wärmeschutzglas, Position 2	60	80	20	6	60	80	25	6	0,837	0,050
Sonnenschutzglas, neutral, Position 2	40	70	25	6	40	70	40	6	0,837	0,050
Sonnenschutzglas, spiegelnd, Position 2	30	45	45	40	30	45	55	35	0,837	0,050

Tabelle A15. Kennwerte für Lamellenoberflächen (Einzellamelle)

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'
Lamelle, metallisch grau	0	0	60	60	0	0	60	60	0,700	0,700
Lamelle, verschmutzt	0	0	30	30	0	0	30	30	0,900	0,900
Lamelle, hell/dunkel (optional)	0	0	75	75	0	0	20	20	0,600	0,800

Tabelle A16. Kennwerte Lamelle, metallisch grau

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'	%
Lamelle, metallisch grau (direkt)	8,5	8,5	8,5	44,2	44,2	37,1	37,1	25,3	25,3	0,881	0,881
Lamelle metallisch grau (diffus)	37,1	37,1	37,1	25,3	25,3	37,1	37,1	25,3	25,3	0,881	0,881
Lamelle metallisch grau (global)	15,9	15,9	15,9	39,5	39,5	37,1	37,1	25,3	25,3	0,881	0,881

Tabelle A17. Kennwerte Lamelle, verschmutzt

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'	%
Lamelle, verschmutzt (direkt)	2,9	2,9	2,9	21,5	21,5	31,2	31,2	11,9	11,9	0,961	0,961
Lamelle verschmutzt (diffus)	31,2	31,2	31,2	11,9	11,9	31,2	31,2	11,9	11,9	0,961	0,961
Lamelle verschmutzt (global)	9,9	9,9	9,9	19,1	19,1	31,2	31,2	11,9	11,9	0,961	0,961

Tabelle A18. Kennwerte Screen

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'
Screen, mittel licht-durchlässig, pastell	20	20	40	40	20	20	40	40	0,800	0,800
Screen, wenig licht-durchlässig	10	10	20	20	10	10	20	20	0,900	0,900
Screen, hell/dunkel (optional)	20	15	50	55	20	15	45	50	0,900	0,900

A5.3.4 Kennwerte der Verglasungen

Aufbau der Verglasungen

Die eingesetzten Verglasungen setzen sich aus den oben aufgeführten Einzelgläsern zusammen. Es gilt für die Verglasungen die Vorgabe, dass für die Außenscheibe der Wärmeschutzverglasung, die Innenscheibe der Sonnenschutzverglasung sowie für die mittlere Scheibe der Dreifach-Wärmeschutzverglasung unbeschichtete Gläser zu verwenden sind. Die Außenscheibe der zweischaligen Fassade ist eine Einzelscheibe.

Die Abmessungen der Verglasung (ohne Rahmen gerechnet) betragen:

- Breite B : 2,00 m
- Höhe H : 2,00 m

Beschichtungspositionen

Für die Einfach-Verglasung und die Zweifach-Isolierverglasung werden Scheiben ohne Beschichtung verwendet. Wärmeschutzverglasungen und Sonnenschutzverglasungen sind dagegen beschichtet. Aus diesem Grund ist es notwendig für die Berechnung die Position der Beschichtung anzugeben. Es gelten folgende Festlegungen:

- Zweifach-Isolierverglasung (ohne Beschichtung)
- Zweifach-Wärmeschutzverglasung (Low-e-Beschichtung auf Position 3)
- Zweifach-neutrale-Sonnenschutzverglasung (Sonnenschutzbeschichtung auf Position 2)
- Zweifach-silberne-Sonnenschutzverglasung (Sonnenschutzbeschichtung auf Position 2)
- Dreifach-Wärmeschutzverglasung (Low-e-Beschichtung auf Position 2 und Position 5)

Es wird darauf hingewiesen, dass hinsichtlich Wärmeschutzglas bei seiner Anwendung in Zweifach- und Dreifach-Verglasungen andere Beschichtungspositionen gelten (siehe oben).

Die Position der Beschichtung ist nach Bild A1 festgelegt.

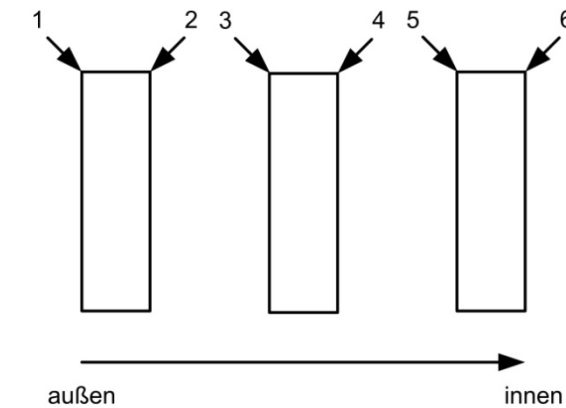


Bild A1. Beschichtungsposition

A5.3.5 Kennwerte der Zwischenschichten

Die Kennwerte der Zwischenschichten beinhalten Angaben zu dem Gas der Zwischenschicht sowie geometrische Angaben für Durchlüftungsöffnungen. Durchlüftete Zwischenräume sind generell mit Luft gefüllt. Den Zwischenräumen der Gesamtverglasungen werden Gasfüllungen nach Tabelle A19 zugewiesen.

Bei der Zweifach-Wärmeschutz- und Zweifach-Sonnenschutzverglasung wird ein Gasgemisch verwendet, welches sich aus 90% Argon und 10% Luft zusammensetzt. Für den Fall der Dreifach-Wärmeschutzverglasung wird das Gasgemisch bestehend aus 90% Krypton und 10% Luft eingesetzt.

Für den integrierten Sonnenschutz der Zweifach-Verglasung beträgt der Scheibenzwischenraum 32 mm. Entsprechendes gilt bei der Dreifach-Verglasung für den Scheibenzwischenraum mit zwischen liegenden Sonnenschutz.

Tabelle A19. Scheibenabstand und Gasfüllungen für Verglasungen

Verglasung	Scheibenzwischenraum	Gasfüllung
Zweifach-Isolierverglasung	16 mm	Luft
Zweifach-Wärmeschutzverglasung	16 mm	90 % Argon/10 % Luft
Zweifach-neutrale-Sonnenschutzverglasung	16 mm	90 % Argon/10 % Luft
Zweifach-silberne-Sonnenschutzverglasung	16 mm	90 % Argon/10 % Luft
Dreifach-Wärmeschutzverglasung	2 × 12 mm	90 % Krypton/10 % Luft

Tabelle A20. Kennwerte für Gase

Gas	Temperatur \bar{T} in °C (K)	Dichte ρ in kg/m ³	Dynamische Viskosität μ in kg/(m·s)	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)	Spez. Wärmekapazität c_p in J/(kg·K)
Luft	20 (293,15)	1,189	1,811×10 ⁻⁵	0,02576	1008
Argon	20 (293,15)	1,640	2,228×10 ⁻⁵	0,01734	519
Krypton	20 (293,15)	3,430	2,470×10 ⁻⁵	0,00926	245
Xenon	20 (293,15)	5,495	2,299×10 ⁻⁵	0,00546	161

Tabelle A21. Kennwerte Argon/Luft-Gasgemisch

Dichte ρ in kg/m ³	Dynamische Viskosität μ in kg/(m·s)	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)	Spez. Wärmekapazität c_p in J/(kg·K)
1,595	2,186×10 ⁻⁵	0,01818	568

Tabelle A22. Kennwerte Krypton/Luft-Gasgemisch

Dichte ρ in kg/m ³	Dynamische Viskosität μ in kg/(m·s)	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)	Spez. Wärmekapazität c_p in J/(kg·K)
3,206	2,404×10 ⁻⁵	0,01091	321

Geometrische Abmessungen der Durchlüftungsöffnungen

Es ist zwischen ein- und doppelschaliger Fassade zu unterscheiden.

Für die einschalige Fassade gelten für den innen bzw. außen liegenden Sonnenschutz die Daten der Tabelle A23. Die Öffnungsflächen sind gemäß Bild 8 bezeichnet.

Für den Lamellenstore ist entsprechend VDI 6007 Blatt 2 ein Öffnungswinkel von 45° angesetzt. Die Fläche des Lamellenstores ist daher als nicht geschlossen zu betrachten. Es wird die in Tabelle A23 angegebene Öffnungsfläche A_{ho} ($= 0,9 \times \text{Höhe} \times \text{Breite}$) angenommen. Für Lamellenstore und Screen gilt eine „freie“ Spaltbreite s zwischen

Verglasung und Sonnenschutz von 5 cm. Der Lamellenstore ist so angeordnet, dass diese Spaltbreite gewährleistet ist.

Da bei der Jalousie die Vorderfläche nahezu vollständig geöffnet ist, wird nicht zwischen durchlüftet und nicht durchlüftet unterschieden. Die nach VDI 6007 Blatt 2 berechnete Durchströmung unterscheidet sich quasi nicht.

Für die Tabelle der VDI 2078 (in Vorbereitung), Anhang A, wird bei der Anordnung des Sonnenschutzes zwischen den Scheiben keine Durchlüftung vorgesehen.

Für die zweischalige Fassade gelten für den im Luftzwischenraum liegenden Sonnenschutz die Daten der Tabelle A24.

Tabelle A23. Geometrische Abmessungen für innen und außen liegenden Sonnenschutz (einschalige Fassade)

		Screen		Lamelle
		nicht durchlüftet	durchlüftet	durchlüftet
S	in m	0,05	0,05	0,05
A_{bo}	in m^2	0,04	0,10	0,10
A_{tp}	in m^2	0,00	0,05	0,05
$A_{lf} + A_{rt}$	in m^2	0,04	0,20	0,20
A_{ho}	in m^2	0,00	0,00	3,60

Tabelle A24. Geometrische Größen der Zwischenschichten (zweischalige Fassade)

Abstand zwischen den Schichten	s in m	0,1	Schicht (Sonnenschutz)	0,1
Breite	B in m	2,0		2,0
Höhe	H in m	2,0		2,0
Untere Öffnung	A_{bo} in m^2	0,2		0,2
Obere Öffnung	A_{tp} in m^2	0,2		0,2
Zusammengesetzte Seitenfläche	$A_{SF} = A_{lf} + A_{rt} + A_{ho}$ in m^2	0,0		0,2

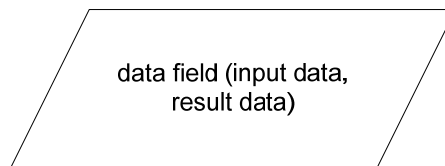
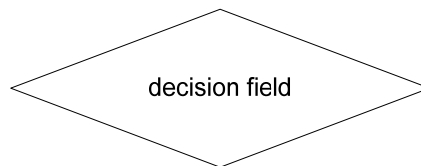
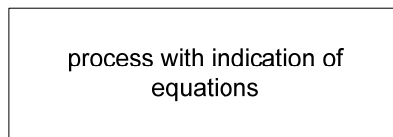
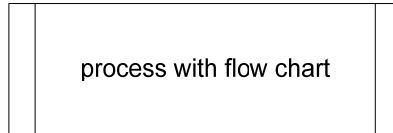
Die Durchlüftung der zweischaligen Fassade erfolgt mit Außenluft.

Annex**A1 Flow charts**

Below follows a compilation of flow charts illustrating the parts of the calculation as per VDI 6007 Part 2.

A1.1 Key

The symbols used have been compiled in the following key.



initial calculations

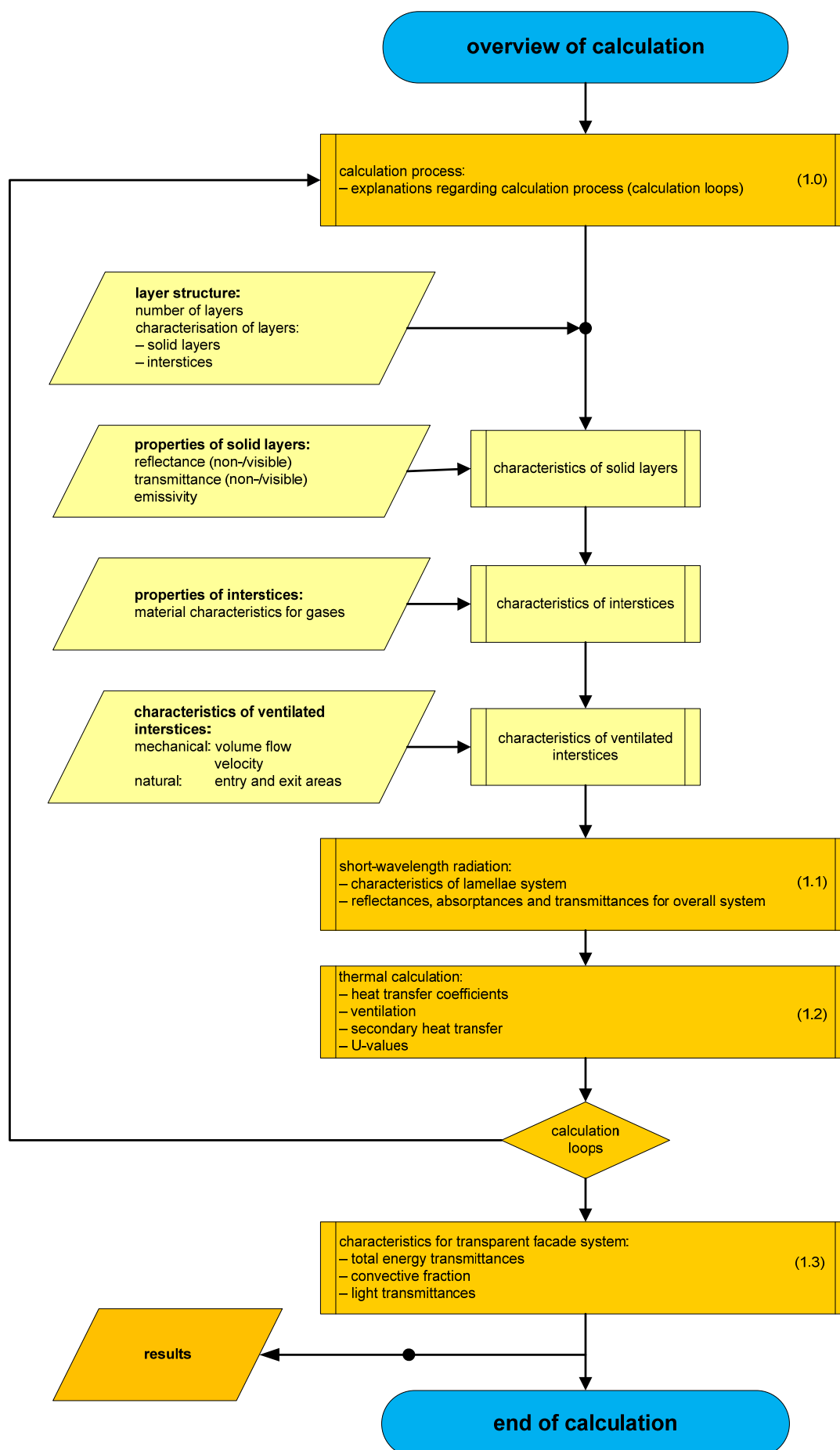


body of calculation



pertinent equation with
equation number

A1.2 Overview



A1.3 Explanation of calculation process**Explanation of calculation process
(1.0)****The calculation shall be carried out in three loops:****Loop 1: Glazing without movable sunshading**

Result:

 g : total energy transmittance $a_{\text{kon}} = \frac{q_{i,c} + q_{i,v}}{g}$: convective fraction of total energy transmittance U : thermal transmittance (for information only) $T_L = \tau_v$: light transmittance**Loop 2: Glazing without movable sunshading for direct radiation**

Result:

 $g_{\text{tot,dir}}$: total energy transmittance for direct radiation $T_{L,\text{tot,dir}} = \tau_{v,\text{dir}}$: light transmittance for direct radiation**Loop 3: Glazing with movable sunshading for diffuse radiation**

Result:

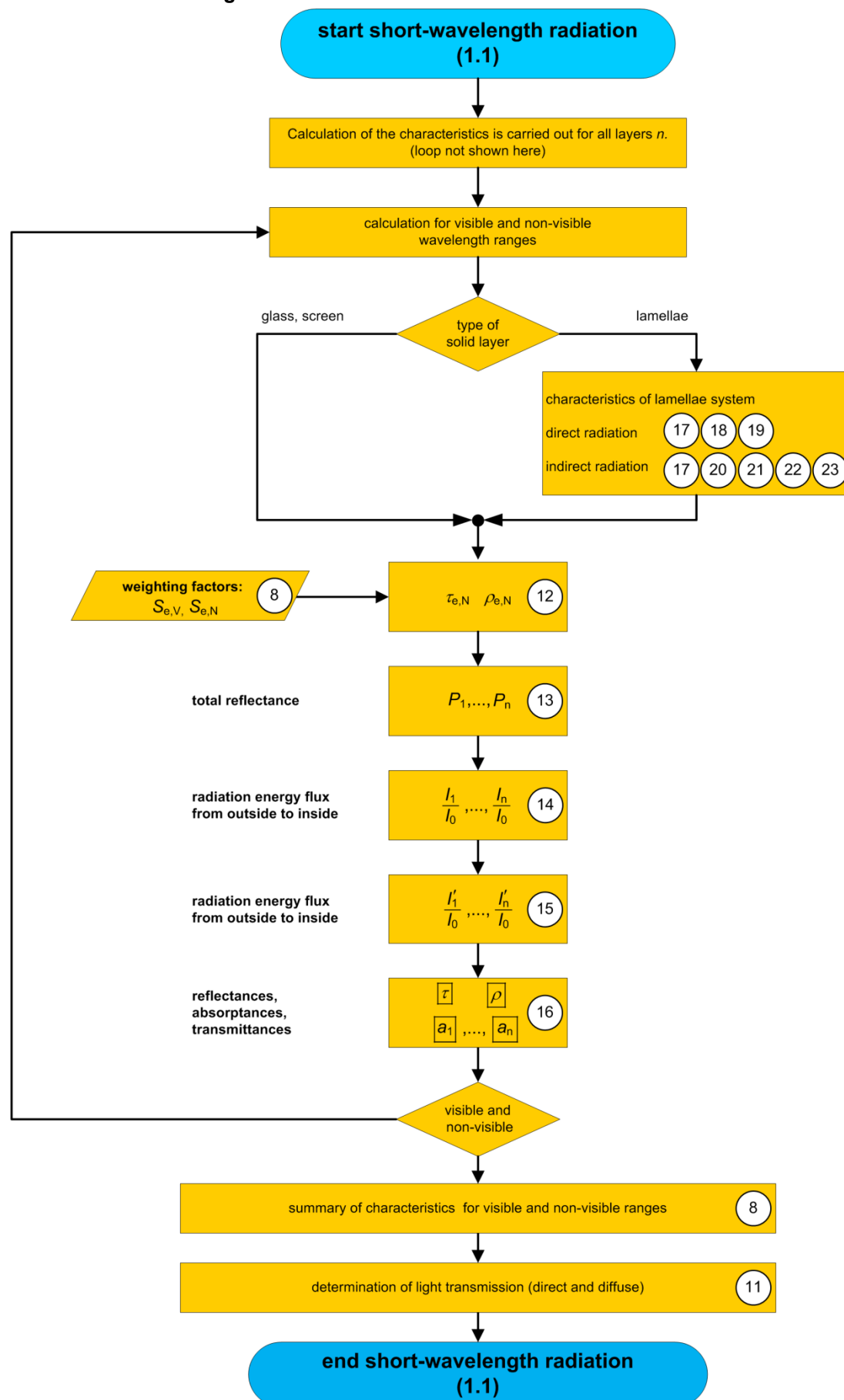
 $g_{\text{tot,diff}}$: total energy transmittance for diffuse radiation $T_{L,\text{tot,diff}} = \tau_{v,\text{diff}}$: light transmittance for diffuse radiation

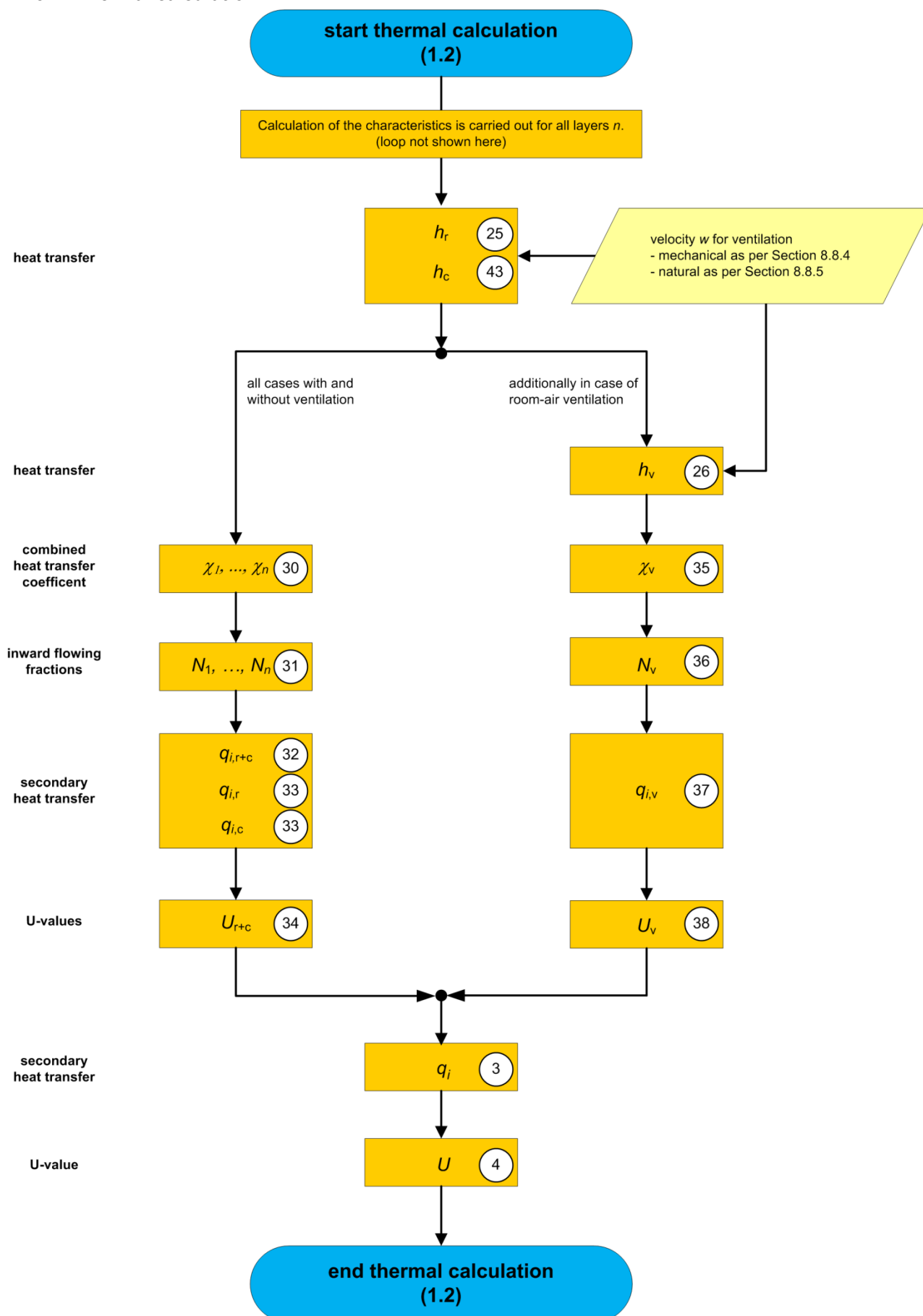
Loop 3 will only be required if the sunshading consists of lamellae.

Afterwards determine:

 $a_{\text{tot,kon}} = \frac{(q_{i,c} + q_{i,v})_{\text{tot}}}{g_{\text{tot}}}$: convective fraction of the total energy transmittance U : thermal transmittance (for information only)

A1.4 Short-wavelength radiation



A1.5 Thermal calculation

A1.6 Characteristics for the transparent facade system**Characteristics for the transparent facade system (1.3)****Characteristics for the glazing (not taking into account the movable sunshading)**

g : total energy transmittance

$a_{\text{kon}} = \frac{q_{i,c} + q_{i,v}}{g}$: convective fraction of total energy transmittance

U : thermal transmittance (for information only)

$T_L = \tau_v$: light transmittance

Characteristics for the combination of glazing and sunshading

For the combination of glazing and sunshading, characteristics shall be calculated and stated separately for direct and diffuse solar radiation.

$g_{\text{tot,dir}}$: total energy transmittance for direct radiation

$g_{\text{tot,diff}}$: total energy transmittance for diffuse radiation

g_{tot} : total energy transmittance (for information only)

$a_{\text{tot,kon}} = \frac{(q_{i,c} + q_{i,v})_{\text{tot}}}{g_{\text{tot}}}$: convective fraction of total energy transmittance

U : thermal transmittance (for information only)

$T_{L,\text{tot,dir}} = \tau_{v,\text{dir}}$: light transmittance for direct radiation

$T_{L,\text{tot,diff}} = \tau_{v,\text{diff}}$: light transmittance for diffuse radiation

A2 Boundary conditions

The energetic characteristics as per VDI 6007 Part 2 are to be used for

- cooling-load calculations as per VDI 2078 and for
- annual calculations as per VDI 2067.

For annual calculations as per VDI 2067, it is basically conceivable to calculate the characteristics on an hourly basis; however, no actual gain in terms of accuracy will be obtained due to the uncertainties in the control of the sunshading and, e.g., the position of the lamellae. For cooling-load and room-temperature calculations as per VDI 2078, the (constant) boundary conditions specified in Table A1 apply, which are also recommended for annual calculations as per VDI 2067.

A2.1 Standard and indicative values as per VDI 6007 Part 2

Standard and indicative values can be used for most calculations of the cooling load or of the room temperatures to be expected. Adaptations to slightly deviating characteristics of the glazing can be made in accordance with Equation (A5) through Equation (A11).

Detailed values calculated as per this guideline can be used in place of standard and indicative values as per VDI 6007 Part 2. This is required in most cases of double-skin facade systems.

Further boundary conditions, e.g. regarding outdoor and room temperatures, solar radiation intensity, etc., are not required for the calculation.

A temperature calculation is not carried out in VDI 6007 Part 2 (fixed, specified temperatures). Calculating the temperatures in the layers and interstices is basically possible, allowing to determine the characteristics g , g_{tot} , etc., of the glazing and the sunshading. However, this would require iterative calculations.

Table A1. Boundary conditions for the standard and indicative values

Quantity	Value
Reference temperature for room air temperature and outdoor air temperature	25 °C
Reference temperature for material characteristics (air, gas fillings)	20 °C
Reference temperature for heat transfer coefficients due to radiant heat	20 °C
Reference temperature difference for convective heat transfer coefficients	10 K
Reference temperature difference for volume flows with natural-draught ventilation	10 K
Convective external heat transfer coefficient	8 W/(m ² K)
Convective internal heat transfer coefficient	3 W/(m ² K)
Angle of incidence of solar radiation on the glazing or a screen acting as sunshading (incidence parallel to surface normal)	0°
Angle of lamellae	45°
Angle of incidence of solar radiation on the lamellae acting as sunshading (incidence parallel to surface normal of lamellae)	0°

A3 Characteristics of interstices

The interstices between the solid layers are filled with either air or gas. Thermal conduction and convection in the interstice can be determined depending on

- the material characteristics of the gas or air,
- the geometry of the interstice,
- the inclination of the facade, and
- the temperature differences between gas and surfaces.

These quantities of influence are considered in detail below.

A3.1 Material characteristics, reference temperature

Table A2. Material characteristics for gases as per DIN EN 673, at 20 °C

Gas	Temperature \bar{T} in °C (K)	Density ρ in kg/m ³	Dynamic viscosity μ in kg/(m·s)	Thermal conductivity λ in W/(m·K)	Specific heat c_p in J/(kg·K)
Air	20 (293,15)	1,189	$1,811 \times 10^{-5}$	0,02576	1008
Argon	20 (293,15)	1,640	$2,228 \times 10^{-5}$	0,01734	519
Krypton	20 (293,15)	3,430	$2,470 \times 10^{-5}$	0,00926	245
Xenon	20 (293,15)	5,495	$2,299 \times 10^{-5}$	0,00546	161
SF ₆	20 (293,15)	6,118	$1,497 \times 10^{-5}$	0,01354	614

A3.2 Material characteristics for gas mixtures

Material characteristics for gas mixtures occurring in practice can be averaged to sufficient approximation, by weighting the volume fractions F_l , in accordance with DIN EN 673:

$$\rho_{\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot \rho_l \quad (\text{A1})$$

$$k_{\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot k_l \quad (\text{A3})$$

$$\mu_{\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot \mu_l \quad (\text{A2})$$

$$c_{p,\text{mix}} = \sum_{l=1}^m F_l \cdot c_{p,l} \quad (\text{A4})$$

This yields Table A3 for 90% gas filling and 10% air.

Table A3. Material characteristics for gas mixtures, at 20 °C

Gas	Temperature \bar{T} in °C (K)	Density ρ in kg/m ³	Dynamic viscosity μ in kg/(m·s)	Thermal conductivity λ in W/(m·K)	Specific heat c_p in J/(kg·K)
Air	20 (293,15)	1,189	$1,811 \times 10^{-5}$	0,02576	1008
Argon 90 %	20 (293,15)	1,595	$2,186 \times 10^{-5}$	0,01818	568
Krypton 90 %	20 (293,15)	3,206	$2,404 \times 10^{-5}$	0,01091	321
Xenon 90 %	20 (293,15)	5,064	$2,250 \times 10^{-5}$	0,00749	246

A4 Characteristics for solid layers**A4.1 Lamellae systems and angle factors for lamellae**

For a tilt angle of the lamellae of 45° and 10% lamellae overlap, use angle factors $\Phi_{i,j}$ as per Table A4.

Table A4. Angle factors $\Phi_{i,j}$ for lamellae (45° tilt angle of lamellae and 10% lamellae overlap)

$\Phi_{34} = 0,27$	$\Phi_{62} = 0,09$	$\Phi_{63} = 0,32$	$\Phi_{13} = 0,07$
$\Phi_{51} = 0,07$	$\Phi_{32} = 0,65$	$\Phi_{54} = 0,23$	$\Phi_{14} = 0,59$
$\Phi_{61} = 0,59$	$\Phi_{42} = 0,08$	$\Phi_{52} = 0,71$	
$\Phi_{31} = 0,08$	$\Phi_{21} = 0,34$	$\Phi_{24} = 0,07$	
$\Phi_{41} = 0,65$	$\Phi_{23} = 0,59$	$\Phi_{12} = 0,34$	

A5 Solar characteristics for window combinations**A5.1 Tables listing standard and indicative values for window combinations**

These tables are contained as MS-Excel[®] files on the data medium supplied with the guideline.

Table A5. Standard values for sunshading systems with single glazing

The following type of glass is used:

(1) single float glass

(2) double glazing

(3) double thermal insulation glazing

(4) double solar control glazing

(5) double solar control glazing, reflective

(6) triple thermal insulation glazing

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

The following sunshading systems are used:

(1) venetian blind (45°, cut-off)

(2) venetian blind soiled (45°, cut-off)

(3) screen (light-coloured)

(4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standard values for sunshading systems with single glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct rad.	Total energy transmittance, diffuse rad.	Light transmittance, direct rad.	Light transmittance, diffuse rad.	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
1	Single glazing							
1.1.1	Sunshading system (1), external	0,21	0,14	0,43	0,09	0,37	0,10	
1.1.2	Sunshading system (2), external	0,19	0,12	0,41	0,03	0,32	0,17	
1.1.3a	Sunshading system (3), external, ventilated	0,23	0,23	0,23	0,18	0,18	0,09	
1.1.3b	Sunshading system (3), external, non-ventilated	0,25	0,25	0,25	0,18	0,18	0,12	
1.1.4a	Sunshading system (4), external, ventilated	0,17	0,17	0,17	0,09	0,09	0,19	
1.1.4b	Sunshading system (4), external, non-ventilated	0,21	0,21	0,21	0,09	0,09	0,22	
1.3.1	Sunshading system (1), internal	0,53	0,45	0,74	0,09	0,37	0,43	
1.3.2	Sunshading system (2), internal	0,66	0,59	0,88	0,03	0,32	0,50	
1.3.3a	Sunshading system (3), internal, ventilated	0,50	0,50	0,50	0,18	0,18	0,40	
1.3.3b	Sunshading system (3), internal, non-ventilated	0,46	0,46	0,46	0,18	0,18	0,28	
1.3.4a	Sunshading system (4), internal, ventilated	0,61	0,61	0,61	0,09	0,09	0,52	
1.3.4b	Sunshading system (4), internal, non-ventilated	0,55	0,55	0,55	0,09	0,09	0,38	

Note: Yellow cells for information only!

Table A6. Standard values for sunshading systems with double glazing

The following type of glass is used:

(1) single float glass

(2) double glazing

(3) double thermal insulation glazing

(4) double solar control glazing

(5) double solar control glazing, reflective

(6) triple thermal insulation glazing

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

The following sunshading systems are used:

(1) venetian blind (45°, cut-off)

(2) venetian blind soiled (45°, cut-off)

(3) screen (light-coloured)

(4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standard values for sunshading systems with double glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct rad.	Total energy transmittance, diffuse rad.	Light transmittance, direct rad.	Light transmittance, diffuse rad.	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
2	Double glazing							
2.1.1	Sunshading system (1), external	0,18	0,11	0,37	0,07	0,33	0,08	
2.1.2	Sunshading system (2), external	0,14	0,08	0,33	0,03	0,28	0,14	
2.1.3a	Sunshading system (3), external, ventilated	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,08	
2.1.3b	Sunshading system (3), external, non-ventilated	0,22	0,22	0,22	0,15	0,15	0,11	
2.1.4a	Sunshading system (4), external, ventilated	0,13	0,13	0,13	0,07	0,07	0,16	
2.1.4b	Sunshading system (4), external, non-ventilated	0,16	0,16	0,16	0,07	0,07	0,20	
2.2.1	Sunshading system (1), inter-pane	0,34	0,28	0,53	0,08	0,32	0,23	
2.2.3	Sunshading system (3), inter-pane	0,34	0,34	0,34	0,15	0,15	0,21	
2.2.4	Sunshading system (4), inter-pane	0,37	0,37	0,37	0,07	0,07	0,30	
2.3.1	Sunshading system (1), internal	0,53	0,47	0,72	0,08	0,32	0,48	
2.3.2	Sunshading system (2), internal	0,66	0,59	0,85	0,03	0,28	0,54	
2.3.3a	Sunshading system (3), internal, ventilated	0,50	0,50	0,50	0,15	0,15	0,45	
2.3.3b	Sunshading system (3), internal, non-ventilated	0,47	0,47	0,47	0,15	0,15	0,32	
2.3.4a	Sunshading system (4), internal, ventilated	0,61	0,61	0,61	0,07	0,07	0,56	
2.3.4b	Sunshading system (4), internal, non-ventilated	0,56	0,56	0,56	0,07	0,07	0,41	

Note: Yellow cells for information only!

Table A7. Standard values for sunshading systems with double thermal insulation glazing

The following type of glass is used:

- (1) single float glass
 (2) double glazing
(3) double thermal insulation glazing
 (4) double solar control glazing
 (5) double solar control glazing, reflective
 (6) triple thermal insulation glazing

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

The following sunshading systems are used:

- (1) venetian blind (45°, cut-off)
(2) venetian blind soiled (45°, cut-off)
(3) screen (light-coloured)
(4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standard values for sunshading systems with double thermal insulation glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct. rad.	Total energy transmittance, diffuse rad.	Light transmittance, direct. rad.	Light transmittance, diffuse rad.	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
3	Double thermal insulation glazing							
3.1.1	Sunshading system (1), external	0,13	0,08	0,27	0,07	0,32	0,08	
3.1.2	Sunshading system (2), external	0,09	0,05	0,23	0,03	0,27	0,12	
3.1.3a	Sunshading system (3), external, ventilated	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,10	
3.1.3b	Sunshading system (3), external, non-ventilated	0,17	0,17	0,17	0,15	0,15	0,12	
3.1.4a	Sunshading system (4), external, ventilated	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,15	
3.1.4b	Sunshading system (4), external, non-ventilated	0,11	0,11	0,11	0,07	0,07	0,19	
3.2.1	Sunshading system (1), inter-pane	0,22	0,18	0,36	0,07	0,32	0,21	
3.2.3	Sunshading system (3), inter-pane	0,24	0,24	0,24	0,15	0,15	0,20	
3.2.4	Sunshading system (4), inter-pane	0,23	0,23	0,23	0,07	0,07	0,29	
3.3.1	Sunshading system (1), internal	0,51	0,46	0,64	0,07	0,32	0,56	
3.3.2	Sunshading system (2), internal	0,59	0,54	0,72	0,03	0,27	0,59	
3.3.3a	Sunshading system (3), internal, ventilated	0,48	0,48	0,48	0,15	0,15	0,53	
3.3.3b	Sunshading system (3), internal, non-ventilated	0,45	0,45	0,45	0,15	0,15	0,38	
3.3.4a	Sunshading system (4), internal, ventilated	0,55	0,55	0,55	0,07	0,07	0,61	
3.3.4b	Sunshading system (4), internal, non-ventilated	0,52	0,52	0,52	0,07	0,07	0,44	

Note: Yellow cells for information only!

Table A8. Standard values for sunshading systems with double solar control glazing

The following type of glass is used:

- (1) single float glass
 (2) double glazing
 (3) double thermal insulation glazing
(4) double solar control glazing
 (5) double solar control glazing, reflective
 (6) triple thermal insulation glazing

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

The following sunshading systems are used:

- (1) venetian blind (45°, cut-off)
(2) venetian blind soiled (45°, cut-off)
(3) screen (light-coloured)
(4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standard values for sunshading systems with double solar control glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct. rad.	Total energy transmittance, dif. Strahlung	Light transmittance, direct. rad.	Light transmittance, dif. Strahlung	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
4	Double solar control glazing							
4.1.1a	Sunshading system (1)	0,09	0,06	0,18	0,07	0,29	0,10	
4.1.2a	Sunshading system (2)	0,07	0,04	0,16	0,02	0,25	0,15	
4.1.3a	Sunshading system (3), external, ventilated	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,11	
4.1.3b	Sunshading system (3), external, non-ventilated	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,15	
4.1.4a	Sunshading system (4), external, ventilated	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,18	
4.1.4b	Sunshading system (4), external, non-ventilated	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,23	
4.2.1	Sunshading system (1), inter-pane	0,23	0,20	0,32	0,07	0,29	0,27	
4.2.3	Sunshading system (3), inter-pane	0,23	0,23	0,23	0,14	0,14	0,26	
4.2.4	Sunshading system (4), inter-pane	0,27	0,27	0,27	0,07	0,07	0,33	
4.3.1a	Sunshading system (1)	0,30	0,27	0,38	0,07	0,29	0,53	
4.3.2a	Sunshading system (2)	0,36	0,33	0,45	0,02	0,25	0,57	
4.3.3a	Sunshading system (3), internal, ventilated	0,28	0,28	0,28	0,14	0,14	0,50	
4.3.3b	Sunshading system (3), internal, non-ventilated	0,27	0,27	0,27	0,14	0,14	0,36	
4.3.4a	Sunshading system (4), internal, ventilated	0,33	0,33	0,33	0,07	0,07	0,59	
4.3.4b	Sunshading system (4), internal, non-ventilated	0,32	0,32	0,32	0,07	0,07	0,43	

Note: Yellow cells for information only!

Table A9. Standard values for sunshading systems with double solar control glazing, reflective

The following type of glass is used:

- (1) single float glass
- (2) double glazing
- (3) double thermal insulation glazing
- (4) double solar control glazing
- (5) **double solar control glazing, reflective**
- (6) triple thermal insulation glazing

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

The following sunshading systems are used:

- (1) venetian blind (45°, cut-off)
- (2) venetian blind soiled (45°, cut-off)
- (3) screen (light-coloured)
- (4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standard values for sunshading systems with double solar control glazing, reflective

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct. rad.	Total energy transmittance, dif. Strahlung	Light transmittance, direct. rad.	Light transmittance, dif. Strahlung	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
5	Double solar control glazing, reflective							
5.1.1	Sunshading system (1), external	0,08	0,05	0,15	0,05	0,20	0,11	
5.1.2	Sunshading system (2), external	0,06	0,04	0,13	0,02	0,16	0,17	
5.1.3a	Sunshading system (3), external, ventilated	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	
5.1.3b	Sunshading system (3), external, non-ventilated	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,15	
5.1.4a	Sunshading system (4), external, ventilated	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,19	
5.1.4b	Sunshading system (4), external, non-ventilated	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,24	
5.2.1	Sunshading system (1), inter-pane	0,20	0,18	0,27	0,05	0,20	0,27	
5.2.3	Sunshading system (3), inter-pane	0,19	0,19	0,19	0,10	0,10	0,25	
5.2.4	Sunshading system (4), inter-pane	0,21	0,21	0,21	0,04	0,04	0,33	
5.3.1	Sunshading system (1), internal	0,25	0,23	0,32	0,05	0,20	0,53	
5.3.2	Sunshading system (2), internal	0,29	0,27	0,36	0,02	0,16	0,57	
5.3.3a	Sunshading system (3), internal, ventilated	0,24	0,24	0,24	0,10	0,10	0,50	
5.3.3b	Sunshading system (3), internal, non-ventilated	0,23	0,23	0,23	0,10	0,10	0,36	
5.3.4a	Sunshading system (4), internal, ventilated	0,27	0,27	0,27	0,05	0,05	0,59	
5.3.4b	Sunshading system (4), internal, non-ventilated	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,43	

Note: Yellow cells for information only!

Table A10. Standard values for sunshading systems with triple thermal insulation glazing

The following type of glass is used:

- (1) single float glass
- (2) double glazing
- (3) double thermal insulation glazing
- (4) double solar control glazing
- (5) double solar control glazing, reflective
- (6) **triple thermal insulation glazing**

g	T_L	a_{kon}
0,90	0,85	0,02
0,78	0,73	0,03
0,64	0,72	0,07
0,40	0,66	0,05
0,31	0,42	0,05
0,48	0,59	0,09

τ_e	ρ_e
0,85	0,08
0,73	0,14
0,52	0,27
0,34	0,27
0,26	0,46
0,37	0,28

The following sunshading systems are used:

- (1) venetian blind (45°, cut-off)
- (2) venetian blind soiled (45°, cut-off)
- (3) screen (light-coloured)
- (4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Standard values for sunshading systems with triple thermal insulation glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct. rad.	Total energy transmittance, diffuse rad.	Light transmittance, direct. rad.	Light transmittance, diffuse rad.	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
6	Triple thermal insulation glazing							
6.1.1	Sunshading system (1), external	0,09	0,06	0,19	0,06	0,27	0,09	
6.1.2	Sunshading system (2), external	0,06	0,03	0,16	0,02	0,23	0,10	
6.1.3a	Sunshading system (3), external, ventilated	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	
6.1.3b	Sunshading system (3), external, non-ventilated	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	
6.1.4a	Sunshading system (4), external, ventilated	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,15	
6.1.4b	Sunshading system (4), external, non-ventilated	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,19	
6.2.1	Sunshading system (1), inter-pane	0,23	0,20	0,33	0,06	0,27	0,26	
6.2.3	Sunshading system (3), inter-pane	0,24	0,24	0,24	0,13	0,13	0,25	
6.2.4	Sunshading system (4), inter-pane	0,26	0,26	0,26	0,06	0,06	0,33	
6.3.1	Sunshading system (1), internal	0,40	0,37	0,49	0,06	0,26	0,58	
6.3.2	Sunshading system (2), internal	0,45	0,42	0,55	0,02	0,23	0,60	
6.3.3a	Sunshading system (3), internal, ventilated	0,38	0,38	0,38	0,12	0,12	0,56	
6.3.3b	Sunshading system (3), internal, non-ventilated	0,37	0,37	0,37	0,12	0,12	0,40	
6.3.4a	Sunshading system (4), internal, ventilated	0,43	0,43	0,43	0,06	0,06	0,62	
6.3.4b	Sunshading system (4), internal, non-ventilated	0,41	0,41	0,41	0,06	0,06	0,45	

Note: Yellow cells for information only!

Table A11. Indicative values for double-skin facades, external safety glazing, internal double thermal insulation glazing

The following type of glass is used for the doubleskin-facade:

- (7) external safety glazing, internal double thermal insulation glazing
(7.1) ventilated
(7.2) non-ventilated

g	T_L	a_{kon}
0,56	0,62	0,07
0,57	0,62	0,08

τ_e	ρ_e
0,45	0,28
0,45	0,28

- (8) external safety glazing, internal double solar control glazing
(8.1) ventilated
(8.2) non-ventilated

0,36	0,57	0,07
0,40	0,57	0,10

0,29	0,28
0,29	0,28

- (9) external safety glazing, internal triple thermal insulation glazing
(9.1) ventilated
(9.2) non-ventilated

0,42	0,51	0,09
0,44	0,51	0,11

0,32	0,29
0,32	0,29

The following sunshading systems are used:

- (1) venetian blind (45°, cut-off)
(2) venetian blind soiled (45°, cut-off)
(3) screen (light-coloured)
(4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Indicative values for double-skin facades, external safety glazing, internal double thermal insulation glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct. rad.	Total energy transmittance, diffuse rad.	Light transmittance, direct. rad.	Light transmittance, diffuse rad.	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
7.1	Double-skin facade (ventilated)							
7.1	External safety glazing, internal double thermal insulation glazing							
7.1.1.	Sunshading system (1), in air gap	0,12	0,08	0,24	0,06	0,28	0,09	
7.1.2	Sunshading system (2), in air gap	0,09	0,05	0,20	0,02	0,23	0,13	
7.1.3	Sunshading system (3), in air gap	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,11	
7.1.4	Sunshading system (4), in air gap	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,17	
7.2	Double-skin facade (non-ventilated) or composite window structure							
7.2	External safety glazing, internal double thermal insulation glazing							
7.2.1	Sunshading system (1), in air gap	0,20	0,16	0,32	0,06	0,28	0,21	
7.2.2	Sunshading system (2), in air gap	0,20	0,16	0,32	0,02	0,23	0,28	
7.2.3	Sunshading system (3), in air gap	0,22	0,22	0,22	0,13	0,13	0,20	
7.2.4	Sunshading system (4), in air gap	0,20	0,20	0,20	0,06	0,06	0,29	

Note: Yellow cells for information only!

Table A12. Indicative values for double-skin facades, external safety glazing, internal double solar control glazing

The following type of glass is used for the double-skin facade:

- (7) external safety glazing, internal double thermal insulation glazing
(7.1) ventilated
(7.2) non-ventilated

g	T_L	a_{kon}
0,56	0,62	0,07
0,57	0,62	0,08

τ_e	ρ_e
0,45	0,28
0,45	0,28

- (8) external safety glazing, internal double solar control glazing
(8.1) ventilated
(8.2) non-ventilated

0,36	0,57	0,07
0,40	0,57	0,10

0,29	0,28
0,29	0,28

- (9) external safety glazing, internal triple thermal insulation glazing
(9.1) ventilated
(9.2) non-ventilated

0,42	0,51	0,09
0,44	0,51	0,11

0,32	0,29
0,32	0,29

The following sunshading systems are used:

- (1) venetian blind (45°, cut-off)
(2) venetian blind soiled (45°, cut-off)
(3) screen (light-coloured)
(4) screen (dark)

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Indicative values for double-skin facades, external safety glazing, internal double solar control glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct. rad.	Total energy transmittance, diffuse rad.	Light transmittance, direct. rad.	Light transmittance, diffuse rad.	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
8.1	Double-skin facade (ventilated)							
8.1	External safety glazing, internal double solar control glazing							
8.1.1.	Sunshading system (1), in air gap	0,08	0,05	0,16	0,06	0,25	0,11	
8.1.2	Sunshading system (2), in air gap	0,06	0,04	0,14	0,02	0,22	0,17	
8.1.3	Sunshading system (3), in air gap	0,09	0,09	0,09	0,12	0,12	0,12	
8.1.4	Sunshading system (4), in air gap	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,19	
8.2	Double-skin facade (non-ventilated) or composite window structure							
8.2	External safety glazing, internal double solar control glazing							
8.2.1	Sunshading system (1), in air gap	0,17	0,14	0,24	0,06	0,25	0,25	
8.2.2	Sunshading system (2), in air gap	0,18	0,16	0,26	0,02	0,22	0,31	
8.2.3	Sunshading system (3), in air gap	0,18	0,18	0,18	0,12	0,12	0,25	
8.2.4	Sunshading system (4), in air gap	0,18	0,18	0,18	0,06	0,06	0,32	

Note: Yellow cells for information only!

Table A13. Indicative values for double-skin facades, external safety glazing, internal triple thermal insulation glazing

The following type of glass is used for the double-skin facade:

(7) external safety glazing, internal double thermal insulation glazing

(7.1) ventilated

(7.2) non-ventilated

(8) external safety glazing, internal double solar control glazing

(8.1) ventilated

(8.2) non-ventilated

(9) external safety glazing, internal triple thermal insulation glazing

(9.1) ventilated

(9.2) non-ventilated

The following sunshading systems are used:

(1) venetian blind (45°, cut-off)

(2) venetian blind soiled (45°, cut-off)

(3) screen (light-coloured)

(4) screen (dark)

g	T_L	a_{kon}
0,56	0,62	0,07
0,57	0,62	0,08

0,36	0,57	0,07
0,40	0,57	0,10

0,42	0,51	0,09
0,44	0,51	0,11

τ_e	ρ_e
0,45	0,28
0,45	0,28

0,29	0,28
0,29	0,28

0,32	0,29
0,32	0,29

T_L
0,00
0,00
0,20
0,10

τ_e	ρ_e
0,00	0,60
0,00	0,30
0,20	0,40
0,10	0,20

Indicative values for double-skin facades, external safety glazing, internal triple thermal insulation glazing

		Total energy transmittance	Total energy transmittance, direct. rad.	Total energy transmittance, diffuse rad.	Light transmittance, direct. rad.	Light transmittance, diffuse rad.	Convective fraction	Sketch
		g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$	
9.1	Double-skin facade (ventilated)							
9.1	External safety glazing, internal triple thermal insulation glazing							
9.1.1	Sunshading system (1), in air gap	0,08	0,05	0,17	0,05	0,23	0,09	
9.1.2	Sunshading system (2), in air gap	0,06	0,03	0,14	0,02	0,19	0,12	
9.1.3	Sunshading system (3), in air gap	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	
9.1.4	Sunshading system (4), in air gap	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,16	
9.2	Double-skin facade (non-ventilated) or composite window structure							
9.2	External safety glazing, internal triple thermal insulation glazing							
9.2.1	Sunshading system (1), in air gap	0,13	0,11	0,22	0,05	0,23	0,20	
9.2.2	Sunshading system (2), in air gap	0,13	0,10	0,21	0,02	0,19	0,26	
9.2.3	Sunshading system (3), in air gap	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,20	
9.2.4	Sunshading system (4), in air gap	0,13	0,13	0,13	0,05	0,05	0,28	

Note: Yellow cells for information only!

A5.2 Adaptation of the characteristics for the window combination (glazing and sunshading) in case of glazing characteristics deviating from the “standard values”

Requirement

Adaptations to the glazing characteristics can only be made in the context of the pertinent table for the glazing type in question (e.g. double thermal insulation glazing or double solar control glazing, reflective).

The values

- G ,
- T_L ,
- τ_e and
- ρ

of the glazing must not deviate from the standard value by more than $\pm 0,10$.

The following then holds for the window combination:

$$g_{tot} = g_{tot,Tab} \cdot \frac{g}{g_{Tab}} \quad (A5)$$

$$g_{tot,dir} = g_{tot,dir,Tab} \cdot \frac{g}{g_{Tab}} \quad (A6)$$

$$g_{tot,diff} = g_{tot,diff,Tab} \cdot \frac{g}{g_{Tab}} \quad (A7)$$

$$T_{L,tot,dir} = T_{L,tot,dir,Tab} \cdot \frac{T_L}{T_{L,Tab}} \quad (A8)$$

$$T_{L,tot,diff} = T_{L,tot,diff,Tab} \cdot \frac{T_L}{T_{L,Tab}} \quad (A9)$$

$$a_{konv} = a_{konv,Tab} \quad (A10)$$

$$a_{konv,tot} = a_{konv,tot,Tab} \quad (A11)$$

Note: Subscript “Tab” denotes the tabulated standard value.

If the characteristics deviate from the standard values more than is permissible for the above adaptation formulae, a calculation according to VDI 6007 Part 2 will have to be made provided that the values for the window combination are not otherwise (e.g. manufacturer’s data for the window combination) available.

An adaptation is very problematic with other characteristics of the sunshading, given that the following parameters have an impact:

- type of sunshading
- position of sunshading
- ventilation
- τ_e and ρ_e of the sunshading

Interpolating, too, seems very problematic.

The following procedure is therefore suggested:

If, for the same type of sunshading, the characteristics τ_e and ρ_e of the sunshading do not deviate from the standard value by more than $\pm 0,10$, then the standard values will be used. Larger deviations call for a calculation in accordance with VDI 6007 Part 2 if the values for the window combination are not otherwise (e.g. manufacturer's data for the window combination) available.

A5.3 Boundary condition for calculating the tables

A5.3.1 Facade systems

The parameters (total energy transmittance, light transmittance, U -value, convective fraction) are determined for the following glazings, with and without sunshading, ventilated and non-ventilated.

Single-skin facade

- glazing with external sunshading
- glazing with internal sunshading
- glazing with integrated sunshading

Double-skin facade

- safety glazing + double thermal insulation glazing
- safety glazing + double solar control glazing
- safety glazing + triple thermal insulation glazing

A5.3.2 Numbering of facade systems

The structure of the individual systems is described in terms of the numbering.

- The first numeral stands for the type of glazing (e.g.: 4.1.2.a)
 - (1) single glazing
 - (2) double glazing

- (3) double thermal insulation glazing
- (4) double neutral solar control glazing
- (5) double reflective solar control glazing
- (6) triple thermal insulation glazing
- The second numeral indicates the position of the sunshading (e.g.: 4.1.2.a)
 - (1) external, ventilated
 - (2) between the layers, ventilated
 - (3) internal, ventilated
- The third numeral indicates the type of sunshading (e.g.: 4.1.2.a)
 - (1) Venetian blind (45°, cut-off)
 - (2) Venetian blind, soiled (45°, cut-off)
 - (3) Screen, light-coloured
 - (4) Screen dark
- The letter in the final place indicates the ventilation condition (e.g.: 4.1.2.a)
 - a ventilated
 - b non-ventilated

A5.3.3 Characteristics of the layers

Characteristics of glasses and sunshading systems

The glazings used consist of the individual glasses listed in Table A14.

For the sunshading systems, the characteristics from the following tables are used. A distinction is made between screen and lamellar sunshading. In the case of lamellar sunshading, the characteristics for the entire lamellae system (Table A16 and Table A17) are calculated from the characteristics of the individual lamellae (Table A15).

Table A14. Characteristics of the individual glasses

	τ_e	$\tau_{e,v}$	ρ_e	$\rho_{e,v}$	τ'_e	$\tau'_{e,v}$	ρ'_e	$\rho'_{e,v}$	ε	ε'
Clear glass	85	85	8	8	85	85	8	8	0,837	0,837
Thermal insulation glass, position 3 or 5	60	80	25	6	60	80	20	6	0,050	0,837
Thermal insulation glass, position 2	60	80	20	6	60	80	25	6	0,837	0,050
Solar control glass, neutral, position 2	40	70	25	6	40	70	40	6	0,837	0,050
Solar control glass, reflective, position 2	30	45	45	40	30	45	55	35	0,837	0,050

Table A15. Characteristics for lamellae surfaces (individual lamella)

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'
Lamella, metallic grey	0	0	60	60	0	0	60	60	0,700	0,700
Lamella, soiled	0	0	30	30	0	0	30	30	0,900	0,900
Lamella, light/dark (optional)	0	0	75	75	0	0	20	20	0,600	0,800

Table A16. Characteristics for lamella, metallic grey

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'	%
Lamella, metallic grey (direct)	8,5	8,5	8,5	44,2	44,2	37,1	37,1	25,3	25,3	0,881	0,881
Lamella, metallic grey (diffuse)	37,1	37,1	37,1	25,3	25,3	37,1	37,1	25,3	25,3	0,881	0,881
Lamella, metallic grey (global)	15,9	15,9	15,9	39,5	39,5	37,1	37,1	25,3	25,3	0,881	0,881

Table A17. Characteristics for lamella, soiled

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'	%
Lamella, soiled (direct)	2,9	2,9	2,9	21,5	21,5	31,2	31,2	11,9	11,9	0,961	0,961
Lamella, soiled (diffuse)	31,2	31,2	31,2	11,9	11,9	31,2	31,2	11,9	11,9	0,961	0,961
Lamella, soiled (global)	9,9	9,9	9,9	19,1	19,1	31,2	31,2	11,9	11,9	0,961	0,961

Table A18. Characteristics for screen

	τ_e	$\tau_{e,V}$	ρ_e	$\rho_{e,V}$	τ'_e	$\tau'_{e,V}$	ρ'_e	$\rho'_{e,V}$	ε	ε'
Screen, medium light transmission, pastel	20	20	40	40	20	20	40	40	0,800	0,800
Screen, low light transmission	10	10	20	20	10	10	20	20	0,900	0,900
Screen, light/dark (optional)	20	15	50	55	20	15	45	50	0,900	0,900

A5.3.4 Characteristics of the glazings

Structure of the glazings

The glazings used consist of the individual glasses listed above. The glazings are subject to the requirement that uncoated glasses shall be used for the external pane of thermal insulation glazing, for the internal pane of solar control glazing and for the middle pane of triple thermal insulation glazing. The external pane of the double-skin facade is a single pane of glass.

The dimensions of the glazing (excluding frame) are:

- width B : 2,00 m
- height H : 2,00 m

Coating positions

Uncoated panes are used for single glazing and double glazings. In contrast, thermal insulation glazings and solar control glazings are coated. It is, therefore, required to state the position of the coating for the purpose of the calculation. The following specifications apply:

- double glazing (no coating)
- double thermal insulation glazing (low-e coating in position 3)
- double neutral solar control glazing (solar control coating in position 2)
- double reflective solar control glazing (solar control coating in position 2)

- triple thermal insulation glazing (low-e coating in position 2 and position 5)

Note that different coating positions apply for thermal insulation glass depending on its use in double and in triple glazings (see above).

The coating positions are specified in Figure A1.

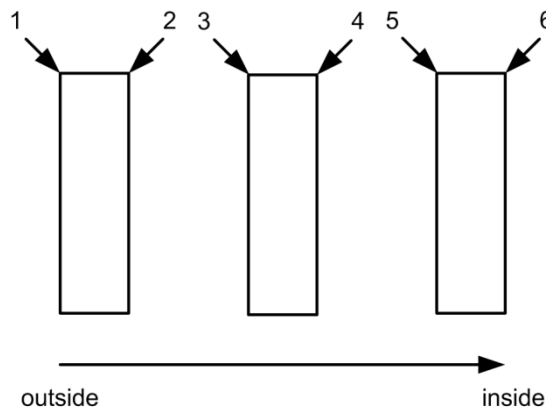


Figure A1. Coating position

A5.3.5 Characteristics of the interlayers

The characteristics of the interlayers include information on the gas filling of the interlayer and geometric dimensions of ventilation apertures. Ventilated interstices are generally filled with air. Gas fillings as per Table A19 are allocated to the interstices of the overall glazing systems.

In the case of double thermal insulation and double solar control glazings, a gas mixture is used which consists of 90% argon and 10% air. The gas mixture used in triple thermal insulation glazings consists of 90% krypton and 10% air.

For double glazings with integrated sunshading, the pane spacing is 32 mm. The same holds in triple glazings for the inter-pane space with integrated sunshading.

Table A19. Pane spacing and gas fillings for glazings

Glazing	Pane spacing	Gas filling
Double glazing	16 mm	air
Double thermal insulation glazing	16 mm	90 % argon/10 % air
Double neutral solar control glazing	16 mm	90 % argon/10 % air
Double reflective solar control glazing	16 mm	90 % argon/10 % air
Triple thermal insulation glazing	2 × 12 mm	90 % krypton/10 % air

Table A20. Characteristics of gases

Gas	Temperature \bar{T} in °C (K)	Density ρ in kg/m ³	Dynamic viscosity μ in kg/(m·s)	Thermal conductivity λ in W/(m·K)	Specific heat c_p in J/(kg·K)
Air	20 (293,15)	1,189	$1,811 \times 10^{-5}$	0,02576	1008
Argon	20 (293,15)	1,640	$2,228 \times 10^{-5}$	0,01734	519
Krypton	20 (293,15)	3,430	$2,470 \times 10^{-5}$	0,00926	245
Xenon	20 (293,15)	5,495	$2,299 \times 10^{-5}$	0,00546	161

Table A21. Characteristics of argon/air mixture

Density ρ in kg/m ³	Dynamic viscosity μ in kg/(m·s)	Thermal conductivity λ in W/(m·K)	Specific heat c_p in J/(kg·K)
1,595	$2,186 \times 10^{-5}$	0,01818	568

Table A22. Characteristics of krypton/air mixture

Density ρ in kg/m ³	Dynamic viscosity μ in kg/(m·s)	Thermal conductivity λ in W/(m·K)	Specific heat c_p in J/(kg·K)
3,206	$2,404 \times 10^{-5}$	0,01091	321

Geometric dimensions of the ventilation apertures

A distinction is to be made between single- and double-skin facades.

For the single-skin facade, the data of Table A23 are applicable to internal and external sunshadings. The aperture areas are denoted as per Figure 8.

For the Venetian blind, VDI 6007 Part 2 specifies a tilt angle of 45° . The area of the Venetian blind can, therefore, not be regarded as continuous. The aperture area A_{ho} ($= 0,9 \times \text{height} \times \text{width}$) given in Table A23 is assumed. For both Venetian blind and screen, the “free” gap width s between glaz-

ing and sunshading shall be 5 cm. The Venetian blind is so arranged as to ensure this gap width.

Given that the front face of the blind is almost entirely open, no distinction is made between ventilated and non-ventilated. The ventilation calculated as per VDI 6007 Part 2 is practically the same in both cases.

For the table of VDI 2078 (to be published), Annex A, no ventilation is assumed for the case of inter-pane sunshading.

For the double-skin facade, the data given in Table A24 shall apply if the sunshading is provided in the air gap.

Table A23. Geometric dimensions for internal and external sunshadings, single-skin facade

		Screen		Blind
		non-ventilated	ventilated	non-ventilated
S	in m	0,05	0,05	0,05
A_{bo}	in m^2	0,04	0,10	0,10
A_{tp}	in m^2	0,00	0,05	0,05
$A_{lf} + A_{rt}$	in m^2	0,04	0,20	0,20
A_{ho}	in m^2	0,00	0,00	3,60

Table A24. Geometric quantities of the interlayers (double-skin facade)

Distance between the layers	s in m	0,1	layer (sunshading)	0,1
Width	B in m	2,0		2,0
Height	H in m	2,0		2,0
Bottom aperture	A_{bo} in m^2	0,2		0,2
Top aperture	A_{tp} in m^2	0,2		0,2
Combined side face	$A_{SF} = A_{lf} + A_{rt} + A_{ho}$ in m^2	0,0		0,2

The double-skin facade is ventilated with outdoor air.

Hier ist ein Datenträger eingeklebt. /
A data carrier should be attached here!

Schrifttum / Bibliography**Technische Regeln / Technical rules**

DIN EN 410:2011-04 Glas im Bauwesen; Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen; Deutsche Fassung EN 410:2011 (Glass in building; Determination of luminous and solar characteristics of glazing; German version EN 410:2011). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 673:2011-04 Glas im Bauwesen; Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert); Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 673:2011 (Glass in building; Determination of thermal transmittance (U value); Calculation method; German version EN 673:2011). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 13363-2:2005-06 Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen; Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades; Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 13363-2:2005 (Solar protection devices combined with glazing; Calculation of total solar energy transmittance and light transmittance; Part 2: Detailed calculation method; German version EN 13363-2:2005). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN ISO 7345:1996-01 Wärmeschutz; Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:1987); Deutsche Fassung EN ISO 7345:1995 (Thermal insulation; Physical quantities and definitions (ISO 7345:1987); German version EN ISO 7345:1995). Berlin: Beuth Verlag

ISO 9050:2003-08 Glass in building; Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors (Glas im Bauwesen; Bestimmung von Lichttransmissionsgrad, direktem Sonnenlichttransmissionsgrad, Gesamttransmissionsgrad der Sonnenenergie und Ultravioletttransmissionsgrad sowie der entsprechenden Verglasungsfaktoren). Genf: ISO

ISO 15099:2003-11 Thermal performance of windows, doors and shading devices; Detailed calculations. Genf: ISO

VDI 1000:2010-06 VDI-Richtlinienarbeit; Grundsätze und Anleitungen (VDI Guideline Work; Principles and procedures). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen (Economic efficiency of building installations). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2078:2012-03 (Entwurf / Draft) Berechnung der Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden (VDI-Kühllastregeln) (Calculation of cooling load and room temperatures of rooms and buildings (VDI Cooling Load Code of Practice)). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2078:1996-07 Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln) (Cooling load calculation of air-conditioned rooms (VDI cooling load regulations)). Berlin: Beuth Verlag

VDI 6007 Blatt 1:2012-03 Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden; Raummodell (Calculation of transient thermal response of rooms and buildings; Modelling of rooms). Berlin: Beuth Verlag

VDI 6007 Blatt 3:2010-03 (Entwurf / Draft) Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden; Modell der solaren Einstrahlung (Calculation of transient thermal response of rooms and buildings; Modelling of solar radiation). Berlin: Beuth Verlag

Literatur / Literature

- [1] *van Dijk, D.*: Thermal and Solar Modelling and Characterisation. The Role of IEA SHC Task 27, http://www.iea-shc.org/task27/publications/a1_Thermal_and_Solar_Modelling_13.pdf (geprüft 2009-06-04)
- [2] Lawrence Berkeley National Laboratory (2002): Optics 5 sowie IGDB 14 (International Glazing Database), <http://windows.lbl.gov/materials/optics5/> (geprüft 2009-06-04)
- [3] *van Dijk, D.; Kenny, P.; Goulding, J.*: WIS Reference Manual. <http://www.windat.org> (geprüft 2009-06-04)
- [4] *Edwards, D.K.*: Solar Absorption by Each Element in an Absorber-Coverglass Array. Technical Note, Solar Energy 19 (1977), pp. 401–402
- [5] *Klems, J.H.; Warner, J.L.; Kelley, G.O.*: A New Method for Predicting the Solar Heat Gain of Complex Fenestration Systems. LBL-36995 UC-1600/TA-335 ASHRAE Solar Heat Gain Project 548-RP. Final Report, Building Technologies Program, Lawrence Berkeley Laboratory, 1995, Berkeley, CA 94720
- [6] *Wright, J.L.*: Calculating Center-Glass Performance Indices of Windows. ASHRAE Transactions 0891-8295, 104 (1998) 1, pp. 1230–1241
- [7] *van Dijk, D.; Oversloot, H.*: WIS, The European Tool to Calculate Thermal and Solar Properties of Windows and Window Components; Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11–14, 2003
- [8] *Stoll, J.*: Fenstermodell, Teil 1 Kurzwellige Strahlung. HLH 56 (2005) 5, S. 32–39
- [9] *Stoll, J.*: Fenstermodell, Teil 2 Thermische Austauschvorgänge. HLH 56 (2005) 7, S. 59–66
- [10] *Chantrasrisalai, C.; Fisher, D.E.*: Comparative Analysis of One-Dimensional Slat-Type Blind Models. SimBuild 2004, IBPSA-USA National Conference Boulder, CO, August 4–8, 2004