ICS 91.120.10

VDI-RICHTLINIEN

März 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

Vorbemerkung ... 2
Einleitung ... 2
1 Anwendungsbereich ... 3
2 Normative Verweise ... 5
3 Begriffe ... 6
4 Formelzeichen, Indices und Abkürzungen ... 6
5 Energetische Kenngrößen ... 9
5.1 Gesamtenergiedurchlassgrad g ... 10
5.2 Wärmedurchgangskoeffizient U ... 10
5.3 Inward Flowing Fractions ... 11
6 Berechnungsverfahren ... 12
6.1 Grundlagen ... 12
6.2 Geschlossene Lösung ... 12
6.3 Gliederung ... 13
7 Strahlungsphysikalische Berechnungen ... 13
7.1 Solarspektrum ... 14
7.2 Zwei-Bereichs-Modell ... 15
7.3 Strahlungsphysikalische Kenngrößen der Schichten ... 16
7.4 Umrechnung strahlungsphysikalischer Kenngrößen ... 17
7.5 Strahlungsreflexion, -absorption und -transmission ... 17
7.6 Kennwerte für Lamellensysteme ... 19
8 Thermische Berechnungen ... 23
8.1 Konvektiver Wärmeübergang ... 24
8.2 Thermische Strahlung ... 24
8.3 Durchlüftung ... 25
8.4 Wärmedurchlasskoeffizienten Λ und Λ_v ... 26
8.5 Gleichungssystem zur Ermittlung des sekundären Wärmeabgabegrads q_i ... 26
8.6 Kenngrößen für Zwischenräume ... 29
8.7 Kenngrößen für feste Schichten ... 35
8.8 Einfallswinkel der Solarstrahlung (informativ) ... 37
8.9 Zusätzlicher Wärmeeintrag bei Fensterlüftung und gleichzeitig geschlossenem außen liegendem Sonnenschutz (informativ) ... 38

Contents Page

Preliminary note ... 2
Introduction ... 2
1 Scope ... 3
2 Normative references ... 5
3 Terms and definitions ... 6
4 Symbols, subscripts and abbreviations ... 6
5 Energetic characteristics ... 9
5.1 Total energy transmittance g ... 10
5.2 Thermal transmittance U ... 10
5.3 Inward flowing fractions ... 11
6 Calculation procedure ... 12
6.1 Fundamentals ... 12
6.2 Analytical solution ... 12
6.3 Structure ... 13
7 Radiation calculations ... 13
7.1 Solar spectrum ... 14
7.2 Two-range model ... 15
7.3 Radiation characteristics of the layers ... 16
7.4 Conversion of radiation characteristics ... 17
7.5 Radiation reflection, absorption and transmission ... 17
7.6 Characteristics for lamellae systems ... 19
8 Thermal calculations ... 23
8.1 Convective heat transfer ... 24
8.2 Thermal radiation ... 24
8.3 Ventilation ... 25
8.4 Thermal conductances Λ and Λ_v ... 26
8.5 Set of equations for determining the secondary heat transfer factor q_i ... 26
8.6 Characteristics for interstices ... 29
8.7 Characteristics of solid layers ... 35
8.8 Angle of incidence of solar radiation (for information only) ... 37
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 Raumlufttechnik
VDI-Handbuch Wärme-/Heiztechnik

Frühere Ausgabe: 08.09 Entwurf, deutsch
Former edition: 08/09 Draft, in German only

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

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

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

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

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

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

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

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.

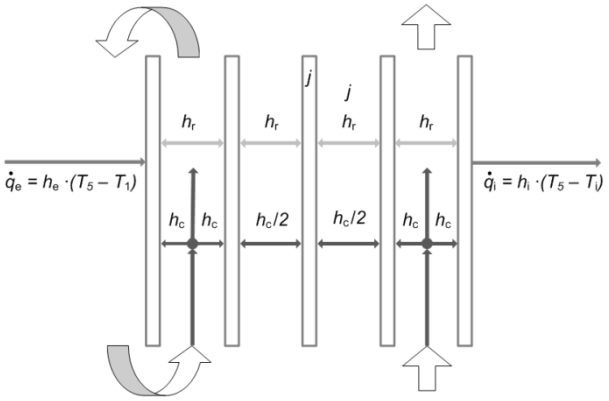

Bild 1. Prinzipdarstellung der Wärmeströme zwischen den einzelnen Schichten des Systems „Verglasung/Sonnenschutz“

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.

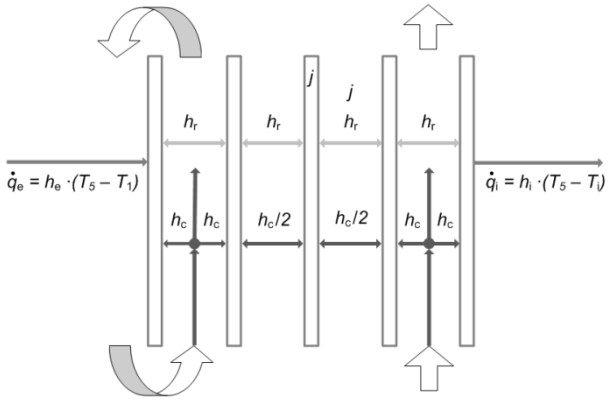

Figure 1. Schematic illustrating the heat fluxes between the individual layers of the “glazing/sunshading” system

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

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

- 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.