

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Berechnung des instationären thermischen  
Verhaltens von Räumen und Gebäuden  
Raummodell

Calculation of transient thermal response  
of rooms and buildings  
Modelling of rooms

VDI 6007

Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.



Inhalt	Seite
Vorbemerkung . . . . .	2
Einleitung. . . . .	2
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2 Begriffe . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>3 Indizes . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>4 Verwendung meteorologischer Daten. . . . .</b>	<b>5</b>
4.1 Wetterdaten nach DIN 4710 und VDI 4710 . . . . .	5
4.2 Testreferenzjahr . . . . .	5
4.3 Wetterdaten für Auslegungstage . . . . .	6
<b>5 Gebäude und Räume . . . . .</b>	<b>7</b>
5.1 Beschreibung . . . . .	7
5.2 Nutzung . . . . .	7
5.3 Aufteilung. . . . .	7
<b>6 Modellbildung. . . . .</b>	<b>7</b>
6.1 Anforderungen an das Rechenverfahren . . . . .	7
6.2 Randbedingungen . . . . .	8
6.3 Thermisches Verhalten der Bauteile . . . . .	11
6.4 Thermisches Verhalten des Raums . . . . .	14
6.5 Berechnungsablauf (Ablaufplan) . . . . .	30
6.6 Validierung . . . . .	31
6.7 Testbeispiele. . . . .	31
6.8 Hinweis für die Programmierung . . . . .	36
<b>Anhang A Testbeispiele und Diagramme . . . . .</b>	<b>38</b>
A1 Testbeispiele. . . . .	38
A2 Diagramme . . . . .	64
<b>Anhang B Ablaufplan . . . . .</b>	<b>79</b>
Schrifttum. . . . .	96

Contents	Page
Preliminary note . . . . .	2
Introduction . . . . .	2
<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2 Terms and definitions . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>3 Subscripts . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>4 Use of meteorological data . . . . .</b>	<b>5</b>
4.1 Meteorological data as per DIN 4710 and VDI 4710 . . . . .	5
4.2 Test reference year . . . . .	5
4.3 Meteorological data for design days . . . . .	6
<b>5 Buildings and rooms. . . . .</b>	<b>7</b>
5.1 Description . . . . .	7
5.2 Use . . . . .	7
5.3 Zoning . . . . .	7
<b>6 Modelling . . . . .</b>	<b>7</b>
6.1 Requirements to be met by the calculation method . . . . .	7
6.2 Boundary conditions . . . . .	8
6.3 Thermal response of building components . . . . .	11
6.4 Thermal response of the room . . . . .	14
6.5 Calculation procedure (flow chart) . . . . .	30
6.6 Validation . . . . .	31
6.7 Test examples. . . . .	31
6.8 Programming note . . . . .	36
<b>Annex A Test examples and diagrams . . . . .</b>	<b>38</b>
A1 Test examples. . . . .	38
A2 Diagrams . . . . .	64
<b>Annex B Diagrams . . . . .</b>	<b>87</b>
Bibliography . . . . .	96

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)  
Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

VDI-Handbuch Wärme/Heiztechnik  
VDI-Handbuch Elektrotechnik und Gebäudeautomation  
VDI-Handbuch Raumluftechnik

**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 Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/6007](http://www.vdi.de/6007).

**Einleitung**

Seit den 1960er-Jahren wurden eine Reihe von Regelwerken für die Berechnung der Heizlast (des Wärmebedarfs), der Kühllast, des Jahresenergiebedarfs und der Raumtemperaturen erarbeitet. Dabei hatte die Erstellung einfacher Rechenverfahren Vorrang gegenüber einer möglichst genauen Erfassung der zum Teil komplexen instationären Vorgänge. Die Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung war nicht soweit fortgeschritten, dass man ihren Einsatz für Standardberechnungen wie Heiz- und Kühllast unter dem Grundsatz wirtschaftlicher Vernunft hätte fordern können.

Die Berechnung der Heizlast wurde deshalb mit einem stationären Verfahren durchgeführt. Bei der Kühllast wurde nach dem ersten Ansatz mit Speicherfaktoren (1972) Ende der 1980er-Jahre ein Verfahren mit Gewichtungsfaktoren und Typräumen erarbeitet. Dabei wurde für die Innenwände ein adiabates Wandverhalten angenommen. Abweichende Nachbarraumtemperaturen wurden stationär berücksichtigt. Bei Außenbauteilen waren nur vordefinierte Bauteilschichten in Bezug zu nehmen. Dies hatte zur Folge, dass eine Bewertung des Speicherverhaltens unterschiedlicher Wandaufbauten nur abgeschätzt und nicht berechnet werden konnte.

Heute existieren nun innerhalb der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) die unterschiedlichsten Rechenverfahren mit ebenso unterschiedlicher Genauigkeit für dieselben thermischen Vorgänge. Der Unterschied zwischen Heiz- und Kühllast ist physikalisch nur eine Frage des Vorzeichens bei der Defini-

**Preliminary note**

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard 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 standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

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

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/6007](http://www.vdi.de/6007).

**Introduction**

Since the 1960s, numerous rules for calculating the heating load (heat demand), the cooling load, the yearly energy demand and the room temperatures have been developed. At that time, the development of simple calculation techniques took priority over the most precise possible recording of the sometimes complicated transient processes. The evolution of information technology had not yet progressed far enough for stipulating its use in standard calculation techniques like those for heating and cooling load to be economically reasonable.

This was the reason why the calculation of heating load was performed using a steady-state method. Following a first approach using storage factors (1972) for calculating the cooling load, the end of the 1980s saw the development of a method using weighting factors and idealised room types. This method assumed an adiabatic response of the interior walls. Different temperatures in adjacent rooms were accounted for in a steady-state calculation. Only predefined layers of exterior building components were to be taken into consideration. It is a consequence of these limitations that an evaluation of the storage behaviour of varying wall structures could only be estimated rather than calculated.

Today, a wide variety of different calculation techniques with as widely varying accuracies exist within the building services branch for calculating the same thermal processes. The difference between heating and cooling load is, physically, just a matter of the sign chosen when defining the supply or removal of

tion von Wärmezu- oder -abfuhr. Beide Werte lassen sich mit den gleichen Algorithmen berechnen.

Es ist aufgrund des heutigen Stands der Datenverarbeitung wirtschaftlich nicht mehr vertretbar, Lastberechnungen manuell vorzunehmen und auf die erzielbaren Erkenntnisse aus dem instationären Verhalten zu verzichten. Der Aufwand für die Dateneingabe bei der Anwendung eines Programms ist bereits geringer als der für manuelle Durchführung des einfachsten Handrechnenverfahrens. Für den volkswirtschaftlichen Nutzen ist es unerlässlich, ein einheitliches Verfahren zu wählen und damit die Vielfalt der Programme und Abweichungen der Ergebnisse zu minimieren, abgesehen vom unnötigen Programmierungs- und Schulungsaufwand. Dabei soll keine Einschränkung der Entwicklung stattfinden. Wie in der Richtlinie VDI 6020 gezeigt, sind z.B. im Bereich der Simulationsberechnungen unterschiedliche Lösungen möglich und zulässig, sofern sie zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Für Standardberechnungen, wie Heiz- und Kühllast, Energiebedarf nach Richtlinie VDI 2067 Blatt 10, ist es jedoch sinnvoll, ein standardisiertes Verfahren einzusetzen, um den Aufwand zu minimieren.

Die Besonderheiten der jeweiligen Aufgabenstellung und die dabei zu berücksichtigenden Parameter (Wetterdaten, äußere und innere Wärmequellen oder -senken etc.) und Genauigkeitsanforderungen werden in den jeweiligen Richtlinien/Normen wie VDI 2078, VDI 2067 und DIN EN 12831 geregelt.

Diese Richtlinie soll das grundsätzliche Verfahren (Modellbildung und Algorithmen) einheitlich fest-schreiben. Sie soll auch dazu dienen, Räume und Gebäude ohne RLT-Anlagentechnik bauphysikalisch auf instationäres thermisches Verhalten zu untersuchen und zu bewerten.

## Anmerkungen zur Neuauflage

In der vorliegenden Neuauflage wurden Druckfehler korrigiert. Am Berechnungsverfahren erfolgten keine Änderungen, jedoch kamen zum besseren Verständnis Erläuterungen, Anmerkungen und Ergänzungen hinzu.

## 1 Anwendungsbereich

Das in dieser Richtlinie beschriebene Verfahren dient als Grundlage für Berechnungen des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden. Das Verfahren ermöglicht die Berechnung von Lasten und Raumtemperaturen unter korrekter Berücksichtigung der thermischen Eigenschaften der Bauteile sowie deren instationäres Verhalten (adiabat/

heat; both quantities can be calculated using the same algorithms.

Given the current state of the art in information technology, it is no longer economically reasonable to manually calculate loads and not to make use of the information that can be obtained from the transient response. The effort required to enter the data for using a software program is already less than that required to carry out even the simplest manual calculation method. In order to obtain economic benefits, it is mandatory that a harmonised method be chosen, thus limiting the variety of programs and deviations of the results to a minimum, not to mention the unnecessary effort for programming and training. Development, however, is not to be curbed. As shown in the standard VDI 6020, different techniques for the calculation of, e.g., simulations are possible and permissible, provided their results are comparable. For standard calculations of, e.g., heating and cooling load or energy demand in accordance with the standard VDI 2067 Part 10, however, it is reasonable to use a standardized method in order to minimise the effort taken.

The specific aspects of the task at hand and the parameters to be taken into consideration (meteorological data, external and internal heat sources and sinks, etc.) and required accuracies are specified in the pertinent standards such as VDI 2078, VDI 2067 and DIN EN 12831.

This standard is intended to specify the basic technique (modelling and algorithms) in a harmonised way. It also serves to investigate and evaluate the building physics of the transient thermal response of rooms and building without HVAC installations.

## Notes on the new edition

In this edition of the standard, misprints have been corrected. No changes have been made to the calculation procedure. However, explanations, notes and details have been added for better understanding.

## 1 Scope

The technique described in this standard serves as a basis to the calculation of the transient thermal response of rooms and buildings. The technique allows to calculate loads and room temperatures on the basis of the correct consideration of the thermal properties of the building components and their transient behaviour (adiabatic/non-adiabatic). The method therefore

nicht adiabat). Damit dient das Verfahren auch der thermisch-bauphysikalischen Bewertung von Räumen und Gebäuden.

Die Richtlinie beschränkt sich auf die Beschreibung des Rechenkerns und behandelt darüber hinaus gehende Algorithmen nur insoweit sie an anderer Stelle nicht oder unvollständig beschrieben und für vergleichbare Ergebnisse erforderlich sind.

Die konkreten Randbedingungen für eine bestimmte Aufgabe, z.B. Berechnung der Kühllast (VDI 2078), werden in der jeweiligen Richtlinie festgelegt.

## 2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe:

### **2-K-Modell** (2-Kapazitäten-Modell)

Modell, das die thermischen Einflüsse von  $n$  Kapazitäten für einen Raum so zusammenfasst, dass die Berechnung auf zwei Kapazitäten zurückgeführt werden kann.

**Anmerkung:** Es handelt sich deshalb um ein vereinfachtes  $n$ -Kapazitäten-Modell.

### **Außenwand**

Bauteil mit auf Innen- und Außenseite unterschiedlichen Randbedingungen (Wandverhalten: nicht adiabat).

**Anmerkung:** In diesem Sinne ist z.B. eine Kellerdecke in der Regel eine Außenwand.

### **Fläche Außenbauteil**

Produkt der Bruttomaße eines Außenbauteils, wobei die Breite sich aus dem Maß von Wandmitte zu Wandmitte (Rastermaß) ergibt und die Höhe von OKF (Oberkante Fußboden) zu OKF ermittelt wird.

### **Fläche Innenbauteil**

Produkt der lichten Maße eines Innenbauteils.

### **Innenwand**

Bauteil mit gleichen Randbedingungen auf beiden Seiten des Bauteils (Wandverhalten: adiabat).

## 3 Indizes

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Indizes verwendet:

AW zusammengefasste Außenbauteile und nicht adiabate Innenbauteile

BT bezogen auf ein Einzelbauteil

also serves for the thermal/building-physical assessment of rooms and buildings.

This standard is limited to the description of the calculation core; further algorithms are only addressed where they are required for comparable results and their description in other publications is either missing or incomplete.

The specific boundary conditions of a particular task such as the calculation of the cooling load (VDI 2078) are specified in the pertinent standard.

## 2 Terms and definitions

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

### **2-c model** (2-capacitor model)

Model, which subsumes the thermal influences of  $n$  capacitors for a room in such a way that the calculation can be reduced to two capacitors.

**Note:** The model is, therefore, a simplified  $n$ -capacitor model.

### **Exterior wall**

Building component with boundary conditions differing between inside and outside (wall response: non-adiabatic).

**Note:** Given this definition, the ceiling of a cellar, for instance, will usually be an exterior wall.

### **Surface area of exterior building component**

Product of the gross dimensions of an exterior building component, in which the width is measured as the distance from wall centreline to wall centreline (grid size) and the height is measured from floor upper edge to floor upper edge.

### **Surface area of interior building component**

Product of the clear dimensions of an interior building component.

### **Interior wall**

Building component with boundary conditions identical on both sides (wall response: adiabatic).

## 3 Subscripts

The following subscripts are used throughout this standard:

AW all exterior building components and non-adiabatic interior building components combined

BT referring to an individual building component

*IW* zusammengefasste adiabate Innenbauteile

*RA* bezogen auf den Raum  
(zusammengefasste Bauteile für den Raum)

*IW* all adiabatic interior building components combined

*RA* referring to the room  
(all building components of the room combined)

#### 4 Verwendung meteorologischer Daten

Die Berechnung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage ist u.a. von den meteorologischen Randbedingungen abhängig. Je nach Berechnungsmethode und Auslegungsfall stehen die nachfolgenden verschiedenen Klimadatensammlungen zur Verfügung:

- Wetterdaten nach DIN 4710 und VDI 4710
- Testreferenzjahre (TRY = Test Reference Year)
- Wetterdaten für Auslegungstage

Für die Gebäudesimulation stehen die Daten der deutschen TRY [10; 15 bis 17] zur Verfügung. Die TRY-Daten können auch für die Simulation anderer Systeme verwendet werden, z.B. Luftaufbereitung in RLT-Anlagen und Solarenergienutzung mittels Solar Kollektoren.

Bei der Verwendung meteorologischer Daten für eine Ganzjahressimulation ist es erforderlich, dass die Wetterdaten mindestens als Stundenwerte vorliegen.

##### 4.1 Wetterdaten nach DIN 4710 und VDI 4710

In der Norm DIN 4710 werden Klimadaten, die auf langjährigen Messwerten von verschiedenen Stationen beruhen, die für Klimazonen der BRD als repräsentativ gelten, dargestellt. Dabei sind die Klimadaten in drei Tagesarten unterteilt (klarer Tag, bedeckter Tag, gemischt bewölkter Tag). aufgrund dieser Einteilung und der Mittelwertbildung ist keine Korrelation zwischen den Stundenwerten der Temperatur und den Strahlungsdaten möglich. Das heißt: Diese Klimadaten können nur für die Dimensionierung bzw. für die Berechnung der maximalen Kühllast im nahezu eingeschwungenen Zustand verwendet werden. Für die thermisch-energetischen Gebäudesimulationsrechnungen (TEG) sind sie nicht ausreichend.

Entsprechendes gilt auch für die in der Richtlinie VDI 4710 Blatt 1, Blatt 3 und Blatt 4 angegebenen Klimadaten, die nach der Systematik der DIN 4710 zusammengestellt sind.

##### 4.2 Testreferenzjahr

Für die Beschreibung des Wetterablaufes eines Jahres sind TRY im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie von verschiedenen Fachinstituten unter Mitwirkung des Deutschen Wet-

#### 4 Use of meteorological data

The calculation of heating, ventilating and air-conditioning installations depends, among other things, on the meteorological boundary conditions. Depending on the calculation technique and the application for which installations are to be designed, the following compilations of meteorological data are available:

- meteorological data as per DIN 4710 and VDI 4710
- test reference years (TRY)
- meteorological data for design days

The data of the German TRY [10; 15 through 17] are available for building simulations. The TRY data can also be used for simulating other systems, e.g. for air-conditioning in HVAC installations and the exploitation of solar energy by using solar collectors.

When meteorological data are to be used for whole-year simulations, hourly values shall at least be available.

##### 4.1 Meteorological data as per DIN 4710 and VDI 4710

The standard DIN 4710 presents meteorological data based on long-term measurements of a number of stations considered as representative of the climate zones in the Federal Republic of Germany. The meteorological data are classified in terms of three types of days (clear day, overcast day, partly overcast day). This classification and the averaging process do not allow a correlation to be established between the hourly values of temperature and the radiation data. This means that these meteorological data can only be used for dimensioning and for calculating the maximum cooling load in an almost steady state. They are not sufficient for thermal/energetic building simulations (TEBS).

The same also applies to the meteorological data given in the standard VDI 4710 Part 1, Part 3 and Part 4, which have been compiled using the systematic approach of DIN 4710.

##### 4.2 Test reference year

Under a mandate issued by the Federal Ministry of Research and Technology, various specialist institutions in cooperation with the Deutscher Wetterdienst (Germany's National Meteorological Service) have

terdienstes entwickelt worden [10; 15]. Seit November 2004 stehen vom Deutschen Wetterdienst neue TRY zur Verfügung, die auch die neuen Bundesländer berücksichtigen [16]. Weitere TRY sind mit dem Programm Meteonorm [17] verfügbar.

Ein TRY beschreibt den Wetterverlauf in Schritten über ein volles Jahr. Es hat den charakteristischen Wetterverlauf der TRY-Region, für die es gilt, und entspricht in seinen Mittelwerten über längere Zeiträume, z.B. Monat, Jahreszeit, Heizperiode, Sommerperiode und Jahr, den Klimamittelwerten der Region. Zufälligkeiten eines bestimmten Jahres werden bei diesen Wettermodellen nicht berücksichtigt.

Ein TRY muss für die Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden nach dieser Richtlinie mindestens folgende meteorologische Parameter enthalten:

- Außenlufttemperatur
- direkte Sonnenstrahlung bezogen auf eine horizontale Fläche oder auf eine Normalfläche
- diffuse Himmelsstrahlung bezogen auf eine horizontale Fläche
- Bedeckungsgrad
- Bestrahlungsstärke der atmosphärischen Wärmestrahlung bezogen auf eine horizontale Fläche
- Ausstrahlung der Wärmestrahlung der Erdoberfläche

**Anmerkung 1** zur zeitlichen Zuordnung der Klimadaten im TRY: Die zeitliche Zuordnung im TRY gilt für **MEZ** und muss bei Sommerzeit um eine Stunde verschoben werden!

Die Daten eines Termins (z.B. 12:00 Uhr) sind dabei als Mittelwerte der vergangenen Stunde (also zwischen 11:00 Uhr und 12:00 Uhr) zu interpretieren.

Für die Umrechnung der direkten und der diffusen Sonneneinstrahlung auf beliebig orientierte und geneigte Flächen gilt daher der Zeitpunkt eine halbe Stunde vor dem Termin (also 11:30 Uhr für dieses Beispiel). Dabei ist der Breiten- und Längengrad der Repräsentanzstation für die Strahlungsdaten des jeweiligen TRY anzusetzen und nicht der Breiten- und Längengrad des Orts, für den die Simulation durchgeführt werden soll.

**Anmerkung 2:** Die in der Richtlinie VDI 2078 aufgelisteten solaren Einstrahlwerte beziehen sich auf „wahre Ortszeit (WOZ)“ und müssen daher auf **MEZ** unter Berücksichtigung des Breiten- und Längengrads des Orts, der Sonnendeklination und der Zeitgleichung – z.B. nach [18] – umgerechnet werden.

### 4.3 Wetterdaten für Auslegungstage

Klimatologische Daten für extreme Verhältnisse, die für die Anlagenauslegung benötigt werden, liefern DIN EN 12831 (Winterfall) und VDI 2078 (Sommerfall).

Die Berechnung der maximalen Kühllast erfolgt nach Richtlinie VDI 2078 mittels der Cooling Design Period CDP mit abschließendem Cooling Design Day CDD.

Eine Empfehlung zur Berechnung der maximalen Heizlast wird in der Richtlinie VDI 6020 mittels einer

developed TRY serving to characterise the weather in the course of a year [10; 15]. New TRYs giving consideration to the new Länder are available from the Deutscher Wetterdienst since November 2004 [16]. Further TRYs are supplied by the Meteonorm software [17].

A TRY describes the weather in the course of a year in one-hour steps. It is characterised by the weather history typical of the TRY region for which it is valid, and its long-term averages for periods such as month, season, heating season, non-heating season and year correspond to the average meteorological data of the region. Accidental fluctuations of one particular year are not taken into consideration in these weather models.

For the calculation of the transient thermal response of rooms and buildings in accordance with this standard, a TRY shall at least contain the following meteorological parameters:

- outdoor-air temperature
- direct solar radiation referred to a horizontal surface or a normal surface
- diffuse sky radiation referred to a horizontal surface
- cloud amount
- irradiance of atmospheric heat radiation referred to a horizontal surface
- emission of radiant heat by the earth's surface

**Note 1** concerning the time allocation of meteorological data in the TRY: The time allocation of data in the TRY is valid for **CET** and must be shifted by one hour for daylight-saving time.

The data for one time (such as 12:00 noon) are to be interpreted as the average values over the past hour (i.e. between 11:00 a.m. and 12:00 noon).

Therefore, for converting direct and diffuse solar radiation to surfaces with an arbitrary orientation and inclination, the reference time is half an hour before the time in question (i.e. 11:30 a.m. in the example above). In doing so, use the longitude and latitude of the representative station from which the radiation data of the TRY are obtained, rather than the actual longitude and latitude of the place for which the simulation is to be calculated.

**Note 2:** The solar radiation values given in VDI 2078 refer to **true local time** (abbreviated WOZ for wahre Ortszeit in German) and must, therefore, be converted to **CET** taking into consideration the longitude and latitude of the place, the declination of the sun and the equation of time, for instance as described in [18].

### 4.3 Meteorological data for design days

Climatological data for extreme weather conditions, which are required for designing installations, are given in EN 12831 (winter case) and VDI 2078 (summer case).

The maximum cooling load is calculated in accordance with the standard VDI 2078 using the Cooling Design Period (CDP) with the last day of the period being a Cooling Design Day (CDD).

As for the calculation of the maximum heating load, the standard VDI 6020 recommends using a Heating

Heating Design Period HDP mit abschließendem Heating Design Day HDD beschrieben.

Die Datensätze des Deutschen Wetterdienstes für extreme Witterungsverhältnisse [16] sowie andere TRY eignen sich **nicht** für die Dimensionierung der Anlagenleistung der TGA.

## 5 Gebäude und Räume

### 5.1 Beschreibung

Die Beschreibung von Gebäude und Räumen erfolgt nach Richtlinie VDI 2078, Abschnitt „Gebäude“ bzw. den Festlegungen der VDI 6020.

### 5.2 Nutzung

Hinsichtlich der Nutzung wird auf Richtlinie VDI 2078, Abschnitt „Gebäude“ bzw. den Festlegungen der VDI 6020 verwiesen.

Für eine Tageslichtsimulation zur Bestimmung des Wärmeeintrags durch künstliche Beleuchtung ist die Berechnung nach Richtlinie VDI 6007 Blatt 3, Abschnitt „Ermittlung der Grenzwerte der Einstrahlung für das Ein- und Ausschalten der Beleuchtung“ und VDI 2078 vorzunehmen.

### 5.3 Aufteilung

Eine Aufteilung innerhalb des Raums muss dann erfolgen, wenn der Raum groß ist, die einzelnen Raumbereiche sehr unterschiedliche Lasten aufweisen und ein thermischer Ausgleich nicht stattfindet. In solchen Fällen wird auch eine Anlagentechnik erforderlich, die mittels einer regelungstechnischen Zonierung diese unterschiedlichen Lasten kompensieren kann.

Bei hohen Räumen (z.B. Atrien, Hallen) kann eine vertikale Aufteilung erforderlich werden.

Eine Zonierung innerhalb eines Gebäudes zur Zusammenfassung von Räumen gleicher Bauart, mit gleichen inneren und äußeren Wärmequellen oder -senken ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

## 6 Modellbildung

### 6.1 Anforderungen an das Rechenverfahren

Die Anforderungen an das Rechenverfahren ergeben sich aus der Aufgabe, folgende Größen für den Raum zu berechnen:

- Berechnung der Heiz- oder Kühllast, aufgeteilt in:
  - konvektiven Anteil
  - strahlenden Anteil
  - Flächenheizung oder -kühlung

Design Period (HDP) with the last day of the period being a Heating Design Day (HDD).

The data records of Deutscher Wetterdienst for extreme meteorological conditions [16] and other TRY are **not** suitable for dimensioning the performance of building services installations.

## 5 Buildings and rooms

### 5.1 Description

Buildings and rooms are described in accordance with the standard VDI 2078, Section “Buildings”, and the specifications of VDI 6020.

### 5.2 Use

Regarding the use, reference is made to the standard VDI 2078, Section “Buildings”, and the specifications of VDI 6020.

For a daylight simulation for determining the heat input afforded by artificial lighting, perform the calculation in accordance with the standard VDI 6007 Part 3, Section “Calculating the limits of insolation for switching the lighting on and off”, and in accordance with VDI 2078.

### 5.3 Zoning

The room shall be subdivided into zones if it is large, the different parts of the room are subject to significantly differing loads and thermal equilibrium is not established. In such cases, it is also necessary that the equipment is capable of compensating these different loads by means of an appropriate zoning control.

A vertical subdivision can be necessary in high-ceilinged rooms (such as atria and halls).

Zoning within a building, serving to group rooms of identical construction or with identical internal and external heat sources or sinks, is not the subject of this standard.

## 6 Modelling

### 6.1 Requirements to be met by the calculation method

The requirements to be met by the calculation method result from the task, which is to calculate the following quantities for the room:

- calculation of the heating or cooling load, subdivided into
  - convective fraction
  - radiant fraction
  - heated or chilled surfaces

- Berechnung der Temperaturen
  - Raumlufttemperatur
  - mittlere Bauteiloberflächentemperatur

Die Berechnungen der vorstehend genannten Größen erfolgt unter Berücksichtigung der äußeren und inneren Wärmequellen und -senken im Raum. Dabei ist zwischen konvektiven und strahlenden Anteilen zu unterscheiden. Die Wärmeeinwirkungen auf die Außenbauteile ergeben sich aus dem Wärmeaustausch an den opaken Bauteilen infolge Außenlufttemperatur sowie lang- und kurzwelligem Strahlungsaustauschs mit der Umgebung und der Atmosphäre sowie dem Wärmeaustausch an den transparenten Bauteilen infolge Außenlufttemperatur und langwelligem Strahlungsaustauschs mit der Umgebung und der Atmosphäre. Die über die transparenten Bauteile in den Raum gelangenden solaren Wärmeinträge sind dabei ebenfalls in konvektive und strahlende Anteile zu unterteilen. Für Bauteile zu anders temperierten Nachbarräumen gelten die gleichen Bedingungen wie bei Außenbauteilen.

Damit ergeben sich die folgenden an das Rechenverfahren zu stellenden Anforderungen:

Berechnung der oben aufgelisteten Aufgaben bei

- hinreichend genauer Abbildung des thermischen Verhaltens der Bauteile unter Berücksichtigung des konkreten Wandaufbaus,
- hinreichend genauer Abbildung des Wärmeaustauschs zwischen den Bauteilen des Raums über Strahlung und Konvektion,
- hinreichend genauer Abbildung des Wärmeaustauschs der Außenbauteile mit der Umgebung und
- korrekter Wärmebilanz des Raums unter Berücksichtigung aller strahlenden und konvektiven Wärmequellen und -senken.

## 6.2 Randbedingungen

Das Verfahren berücksichtigt Wärmeströme aus gebäudeinneren und äußeren Wärmequellen und -senken (Aktionsgrößen).

Eine Raumreaktion aufgrund äußerer Wärmequellen und -senken entsteht im Einzelnen:

- an opaken Außenbauteilen und transparenten Außenbauteilen durch Wärmeleitung infolge
  - der Temperatur der Außenluft,
  - der kurzwelligen, absorbierten Einstrahlung auf das Bauteil,
  - des langwelligen Strahlungsaustauschs des Bauteils mit der Umgebung und der Atmosphäre

- calculation of temperatures
  - room air temperature
  - mean building-component surface temperature

The calculations of the quantities listed above are performed taking into consideration the external and internal heat sources and sinks affecting the room. A distinction is to be made between convective and radiant fractions. The heat effects on exterior building components result from the heat exchange at opaque building components due to the outdoor-air temperatures as well as long-wave and short-wave radiation exchange with the environment and the atmosphere and from the heat exchange at transparent building components due to the outdoor-air temperatures as well as long-wave radiation exchange with the environment and the atmosphere. Solar heat input through transparent building components into the room must also be split up into convective and radiant fractions. For building components adjoining to rooms where the temperature is different, apply the same conditions as for exterior building components.

The requirements to be met by the calculation method are, therefore:

Calculations of quantities as listed above shall meet the following conditions:

- The thermal response of the building components shall be emulated with sufficient precision, taking into account the actual wall structure.
- The radiant-convective heat exchange between the building components forming the room shall be emulated with sufficient precision.
- The heat exchange between exterior building components and the environment shall be emulated with sufficient precision.
- A correct heat balance for the room shall be established, taking into account all radiant and convective heat sources and sinks.

## 6.2 Boundary conditions

The method accounts for heat fluxes due to heat sources and sinks inside and outside the building (active quantities).

A reaction of the room due to external heat sources and sinks is encountered, in detail,

- at opaque exterior building components and at transparent exterior building components, owing to thermal conduction as a result of
  - the outdoor-air temperature,
  - absorption of short-wave radiation impinging on the building component,
  - long-wave radiation exchange between the building component on the one hand and the

- durch die durch transparente Bauteile in den Raum gelangende kurzwellige Strahlung
- durch einen Luftaustausch mit der Außenluft (Fugenlüftung, Fensterlüftung u. Ä.)

Eine Raumreaktion aufgrund innerer Wärmequellen und -senken entsteht im Einzelnen durch:

- Personen, Beleuchtung, Maschinen und Geräte, Stofftransport und sonstiger Wärmequellen und -senken
- eine von der Raumlufttemperatur abweichenden Lufttemperatur in einem Nebenraum
- kurzwellige Einstrahlung und langwelligem Strahlungsaustausch an der Rückseite der Innenbauteile
- einen Luftaustausch mit Nebenräumen
- einen Luftaustausch über raumluftechnische Anlagen

Auf einen Raum wirkende Wärmequellen oder -senken führen im Allgemeinen nicht sofort zu einer Raumreaktion, da lediglich die konvektiven Wärmeströme unmittelbar wirksam werden. Wärmeströme infolge Strahlung führen zum Teil erst nach Zwischenspeicherung zu einer Raumreaktion.

Aus diesem Grund ist bei der Wirkung von Wärmequellen oder -senken stets zwischen Konvektion und Strahlung zu unterscheiden.

Baustoffe besitzen in Abhängigkeit der Materialeigenschaften ein Wärmespeichervermögen, das heißt, sie vermögen die absorbierte Strahlungsenergie zu speichern (Primärspeicherung). Ein Sekundärspeichervorgang tritt dann auf, wenn die Raumlufttemperatur variabel ist. Variable Raumtemperaturen führen zu Speicher- und Entladevorgängen. Die Raumreaktionen sind daher stets gegenüber den Aktionsgrößen gedämpft und zeitverschoben.

Grundsätzlich gilt, dass alle Wärmequellen, die im Raum als Aktionsgrößen wirken, mit positivem Vorzeichen und alle Wärmesenken mit negativem Vorzeichen versehen werden. In diesem Sinne gilt für die Reaktionsgröße Wärmestrom  $\dot{Q}_{HK}$  (Wärmelast) die Definition:

- $\dot{Q}_{HK} > 0$  bedeutet Heizlast
- $\dot{Q}_{HK} < 0$  bedeutet Kühllast

Der im Raum zur Einhaltung der geforderten Raumtemperaturen notwendige Wärmestrom kann konvektiv oder strahlend oder in Kombination beider aufgebracht werden.

Die Wärmelast wird als sensible (trockene) Wärmelast verstanden. Die Berechnung einer latenten

environment and the atmosphere on the other hand

- as a consequence of short-wave radiation entering the room through transparent building components
- due to air exchange with the outdoor air (ventilation through joints and windows, etc.)

A reaction of the room due to internal heat sources and sinks is caused, in detail, by

- persons, lighting, machines and equipment, material transport and other heat sources and sinks
- a difference in air temperature between the room in question and an adjacent room
- short-wave radiation absorption and long-wave radiation exchange at the rear side of interior building components
- air exchange with adjacent rooms
- air exchange via ventilating and air-conditioning installations

Heat sources and sinks do not generally cause an immediate room reaction, as only the convective heat fluxes become effective immediately. Radiant heat fluxes will, partly, cause a room reaction after having undergone intermediate storage.

This is why a distinction between convection and radiation has to be made when considering the effects of heat sources and sinks.

Depending on the material properties, building materials have a capacity to store heat, which means that they are capable of storing the energy absorbed in the form of radiation (primary storage). Secondary storage is encountered if the room air temperature is variable. Variable room temperatures entail storage and discharging processes. As a matter of consequence, the room reactions are always damped and delayed with respect to the active quantities.

By convention, all heat sources affecting the room in terms of active quantities are given positive signs, whereas all heat sinks are given negative signs. The reactive quantity, i.e., the heat flux  $\dot{Q}_{HK}$  (heat load) is, therefore, defined as follows:

- $\dot{Q}_{HK} > 0$  is a heating load
- $\dot{Q}_{HK} < 0$  is a cooling load

The heat flux required in the room in order to maintain the required room temperatures may, then, be afforded by convection or radiation or a combination of both.

The heat load is understood as sensible (dry) heat load. The calculation of an evaporative (humid) heat

(feuchten) Wärmelast, sie entspricht der Enthalpie des dem Raum zu- oder von ihm abgeführten Feuchtigkeitsstroms, ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

Es wird vorausgesetzt:

- Für den zu berechnenden Raum (Bilanzbereich) gilt eine homogene Raumlufthtemperatur. Das schließt eine über die Raumhöhe unveränderliche Raumlufthtemperatur ein.
- Die für den Bilanzbereich angegebenen Wärmequellen oder -senken im Bilanzbereich werden wirksam.

Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, sind die Bilanzgrenzen so zu legen, dass die Voraussetzungen für Teilbereiche (Zonen) erfüllt werden (siehe Abschnitt 5.3).

Die Berechnung der Wärmelast erfolgt im Stundenschritt. Beginn und Ende des Wirkens der Aktionsgrößen aus gebäudeinneren und äußeren Wärmequellen und -senken, sowie Temperaturen sind deshalb in Stundenschritten (als Mittelwerte) zu formulieren. Der Tagesrhythmus der Aktionsgrößen ist eine Voraussetzung des Berechnungsverfahrens.

Jedem Bauteil sind die Werte der Wärmeübergangskoeffizienten für Konvektion und Strahlung entsprechend der dort herrschenden Wärmeübergangsverhältnisse individuell zuzuordnen. Innerhalb des für das Berechnungsverfahren gültigen Temperaturbereichs werden die Wärmeübergangskoeffizienten als konstant angenommen.

Der Aufbau speicherfähiger Bauteile ist schichtweise anzugeben. Die Stoffwerte der Schichten (Wärmeleitfähigkeit, Dichte und spezifische Wärmekapazität) gelten als konstant. Hingegen dürfen sie für Bauteile ohne Speicherung zeitvariabel sein. Auf diese Weise können veränderliche Wärmedurchgangskoeffizienten – z.B. für Abluftfenster – berücksichtigt werden. Auch bei üblichen Fenstern tritt dieser Effekt auf, wenn ein temporärer Wärmeschutz eingesetzt wird (z.B. geschlossene Rollläden). Der Luftwechsel ist ebenfalls eine zeitvariable Größe.

Die Strahlung von im Raum befindlichen Wärmequellen (Beleuchtung, Maschinen, Personen usw.) wird gleichmäßig und flächenproportional auf alle Bauteile aufgeteilt. Das gilt auch für die durch transparente Bauteile (Fenster u.Ä.) in den Raum eintretende Strahlung, wobei jedoch das Fenster selbst und parallel dazu angeordnete Bauteile (also auch das Bauteil, in dem sich das Fenster befindet) nicht beaufschlagt werden. Der langwellige Strahlungsaustausch zwischen den Wandoberflächen im Raum wird hinreichend genau mittels linearem Ansatz und flächengewichtet berechnet.

load, corresponding to the enthalpy of the humidity flux supplied to or removed from the room, is not the subject of this standard.

The following assumptions are made:

- The air temperature in the room to be calculated (balanced area) is homogeneous; this includes an invariance of the air temperature over the height of the room.
- The heat sources and sinks specified for the balanced area become effective in the balanced area.

Where these conditions are not met, specify balancing boundaries in such a way as to fulfil the conditions in sub-areas (zones; see Section 5.3).

The heat load is calculated in one-hour steps. Beginning and end of the effect of active quantities from heat sources and sinks inside and outside the building and temperatures are, therefore, to be given in terms of hourly values (one-hour averages). The daily rhythm of the active quantities is one of the prerequisites to the calculation method.

Heat transfer coefficients for convection and radiation shall be allocated to each building component individually, depending on the respective heat-transfer conditions. Heat transfer coefficients are assumed to be constant within the temperature range valid for the calculation method.

Identify the layers of any building components capable of storing heat. The material constants of the layers (thermal conductivity, density and specific heat capacity) are assumed to be constant. For building components not capable of storing heat, they may, however, be variable over time. This allows to take into account variable thermal transmittances as, e.g., for exhaust-air windows. The effect is also encountered in conventional windows when a temporary heat protection (such as closed roller shutters) is used. The air change rate is also a time-variable quantity.

Radiation originating from heat sources in the room (lighting, machinery, persons, etc.) is distributed uniformly to all building components in proportion to their surface areas. The same applies to radiation entering the room through transparent building components (such as windows and the like) with the exception of the window proper and any parallel building components (including the one which the window is built in), which are assumed not to be affected. The long-wave radiation exchange between the wall surfaces in the room is calculated with sufficient precision using a linear approach and surface-area weighting.

### 6.3 Thermisches Verhalten der Bauteile

Wie in der Richtlinie VDI 6020 Blatt 1 unter „Elektrische Ersatzmodell“ beschrieben, ist es möglich, für jedes Bauteil ein Ersatzmodell mithilfe der Matrizenrechnung – ohne die sonst üblichen Lösungsmethoden (Fourier- oder Laplace-Transformation) – zu berechnen. Zur vollständigen Darstellung des Rechenkerns werden die Gleichungen an dieser Stelle nochmals wiedergegeben. Dieses Ersatzmodell nach Bild 1 wird für eine mehrschichtige Wand wie folgt berechnet.

Für eine homogene Wandschicht  $v$  beliebiger Dicke  $s$  ergibt sich bei eindimensionalem Wärmefluss im periodischen Fall das Verhalten der Wandschicht in Matrixschreibweise zu:

$$\begin{pmatrix} \underline{g}(x=0) \\ \underline{q}(x=0) \end{pmatrix}_v = A_v \cdot \begin{pmatrix} \underline{g}(x) \\ \underline{q}(x) \end{pmatrix}_v \quad (1)$$

wobei  $x$  die Koordinate in Richtung Wandnormalen ist.

Die Kettenmatrix  $A_v$  für **eine** Wandschicht lässt sich schreiben zu:

$$A_v = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}_v = \begin{pmatrix} \operatorname{Re}_{a_{11}} & \operatorname{Im}_{a_{11}} & \operatorname{Re}_{a_{12}} & \operatorname{Im}_{a_{12}} \\ -\operatorname{Im}_{a_{11}} & \operatorname{Re}_{a_{11}} & -\operatorname{Im}_{a_{12}} & \operatorname{Re}_{a_{12}} \\ \operatorname{Re}_{a_{21}} & \operatorname{Im}_{a_{21}} & \operatorname{Re}_{a_{22}} & \operatorname{Im}_{a_{22}} \\ -\operatorname{Im}_{a_{21}} & \operatorname{Re}_{a_{21}} & -\operatorname{Im}_{a_{22}} & \operatorname{Re}_{a_{22}} \end{pmatrix}_v \quad (2)$$

Die Elemente der Kettenmatrix für eine Wandschicht  $v$  erhält man wie folgt:

$$\operatorname{Re} a_{11} = \operatorname{Re} a_{22} = \cosh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \quad (3)$$

$$\operatorname{Im} a_{11} = \operatorname{Im} a_{22} = \sinh \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2} \omega_{BT} RC} \quad (4)$$

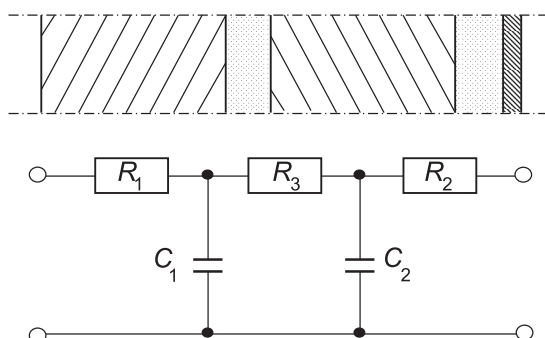


Bild 1. Thermisch-dynamisches Modell für eine Wand

### 6.3 Thermal response of building components

As described in the standard VDI 6020 Part 1, under the heading “Electric equivalent model”, an equivalent model can be calculated for each component by doing matrix calculus, without using common approaches (Fourier or Laplace transforms). The equations are reiterated here in order to give a complete representation of the calculation core. The equivalent model for a multi-layer wall, as shown in Figure 1, is calculated as follows:

For a homogeneous wall layer,  $v$ , with an arbitrary thickness,  $s$ , the response of the wall to a one-dimensional heat flux, in the periodic case, is, expressed in matrix format:

$$\begin{pmatrix} \underline{g}(x=0) \\ \underline{q}(x=0) \end{pmatrix}_v = A_v \cdot \begin{pmatrix} \underline{g}(x) \\ \underline{q}(x) \end{pmatrix}_v \quad (1)$$

where  $x$  is the coordinate perpendicular to the wall.

The chain matrix,  $A_v$ , for **one** wall layer can be written as:

The elements of the chain matrix for one wall layer,  $v$ , are obtained as follows:

Figure 1. Dynamic thermal model for a wall

$$\operatorname{Re} \underline{a}_{12} = R \cdot \sqrt{\frac{1}{2\omega_{\text{BT}}RC}} \cdot \left( \cosh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} + \sinh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \right) \quad (5)$$

$$\operatorname{Im} \underline{a}_{12} = R \cdot \sqrt{\frac{1}{2\omega_{\text{BT}}RC}} \cdot \left( \cosh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} - \sinh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \right) \quad (6)$$

$$\operatorname{Re} \underline{a}_{21} = \frac{-1}{R} \cdot \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \left( \cosh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} - \sinh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \right) \quad (7)$$

$$\operatorname{Im} \underline{a}_{21} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \left( \cosh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} + \sinh \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \cdot \cos \sqrt{\frac{1}{2}\omega_{\text{BT}}RC} \right) \quad (8)$$

Dabei ist

$R$  Wärmewiderstand der Wandschicht je Flächeneinheit in  $\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$   $R = \frac{s}{\lambda}$

$C$  Wärmekapazität der Wandschicht je Flächeneinheit in  $\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{K}}$   $C = c \cdot \rho \cdot s$

$s$  Dicke der Wandschicht in m

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit der Wandschicht in  $\frac{\text{W} \cdot \text{m}}{\text{K}}$

$c \cdot \rho$  Wärmespeicherfähigkeit der Wandschicht in  $\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$

$\omega$  Kreisfrequenz in 1/s

$$\omega = \frac{2\pi}{86400 \cdot T} \quad (9)$$

where

$R$  thermal resistance per unit area of the wall layer, in  $\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$   $R = \frac{s}{\lambda}$

$C$  heat capacity per unit area of the wall layer, in  $\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{K}}$   $C = c \cdot \rho \cdot s$

$s$  thickness of the wall layer, in m

$\lambda$  thermal conductivity of the wall layer, in  $\frac{\text{W} \cdot \text{m}}{\text{K}}$

$c \cdot \rho$  thermal storage capacity of the wall layer, in  $\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$

$\omega$  angular frequency, in 1/s

$$\omega = \frac{2\pi}{86400 \cdot T} \quad (9)$$

### Gleichung (1) bis Gleichung (18)

Für die Herleitung des Ersatzmodells für ein Bauteil BT nach Bild 1 und damit der Kennwerte für ein Bauteil BT hat sich die Verwendung von  $\omega_{\text{BT}}$  mit einer Periodendauer  $T_{\text{BT}}$  von sieben Tagen ( $T_{\text{BT}} = 7$ ) als vorteilhaft herausgestellt (siehe auch DIN EN ISO 13786).

Ausnahme davon bilden Bauteile mit auf der Raumseite wärmetechnisch abgedeckten Wärmespeichermassen (z.B. abgehängte Decken). Für solche Bauteile hat sich eine Periodendauer  $T_{\text{BT}}$  von zwei Tagen ( $T_{\text{BT}} = 2$ ) als optimal erwiesen.

Als Kriterium gilt für die Kennwerte  $R_1$  und  $C_1$  nach Gleichung (12) und Gleichung (14) für ein Bauteil BT:

Wenn

$$R_{1;\text{rel}} > 0,99 \text{ und } C_{1;\text{rel}} < 0,95 \quad (10a)$$

oder wenn

$$R_{1;\text{rel}} < 0,95 \text{ und } C_{1;\text{rel}} < 0,95 \text{ und } \operatorname{abs}(R_{1;\text{rel}} - C_{1;\text{rel}}) > 0,30 \quad (10b)$$

dann gilt für dieses Bauteil:

$$T_{\text{BT}} = 2 \quad (10c)$$

### Equation (1) through Equation (18)

Assuming  $\omega_{\text{BT}}$  with a period  $T_{\text{BT}}$  of seven days ( $T_{\text{BT}} = 7$ ) has proven useful (see also DIN EN ISO 13786) in deriving the equivalent model for a building component BT as shown in Figure 1, and thus the characteristics for one building component BT.

The only exception are building components where thermal storage masses are thermally covered on the room side (such as suspended ceilings). Here, a period  $T_{\text{BT}}$  of two days ( $T_{\text{BT}} = 2$ ) has proven optimal.

For a building component BT, the following criterion holds for the characteristics  $R_1$  and  $C_1$  as per Equation (12) and Equation (14):

If

$$R_{1;\text{rel}} > 0,99 \text{ and } C_{1;\text{rel}} < 0,95 \quad (10a)$$

or when

$$R_{1;\text{rel}} < 0,95 \text{ and } C_{1;\text{rel}} < 0,95 \text{ and } \operatorname{abs}(R_{1;\text{rel}} - C_{1;\text{rel}}) > 0,30 \quad (10b)$$

then the following applies to this building component:

$$T_{\text{BT}} = 2 \quad (10c)$$

sonst gilt für dieses Bauteil:

$$T_{BT} = 7 \quad (10d)$$

$$\text{mit } R_{1;\text{rel}} = \frac{R_1(T_{BT} = 2)}{R_1(T_{BT} = 7)}$$

$$C_{1;\text{rel}} = \frac{C_1(T_{BT} = 2)}{C_1(T_{BT} = 7)}$$

Die Entscheidung für  $\omega_{BT}$  nach Gleichung (10a) bis Gleichung (10d) ist für jedes Bauteil getrennt durchzuführen.

### Gleichung (19) bis Gleichung (31)

Für die Zusammenfassung der Einzelbauteile zu Kennwerten für den Raum RA hat sich die Verwendung von  $\omega_{RA}$  mit einer Periodendauer  $T_{RA}$  von fünf Tagen als zweckmäßig herausgestellt.

$$T_{RA} = 5 \quad (10e)$$

Die Kettenmatrix  $A_{1,n}$  der Gesamtwand errechnet sich durch Matrizenmultiplikation der Matrizen  $A_v$  der einzelnen Wandschichten ( $v = 1, \dots, n$ ) zu:

$$A_{1,n} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_{n-1} \cdot A_n \quad (11)$$

Die Multiplikation der Matrizen beginnt mit den dem Raum zugewandten Schichten; die Zählrichtung der Indices weist vom Raum aus nach außen.

Die Reihenfolge der einzelnen Wandschichten darf nicht vertauscht werden, da die Matrix  $A_{1,n}$  im Allgemeinen nicht richtungssymmetrisch ist.

Mithilfe der Elemente der Kettenmatrix  $A_{1,n}$  für die Gesamtwand nach Gleichung (11) lassen sich die Widerstände und Kapazitäten des Ersatzmodells bestimmen zu:

$$R_1 = \frac{1}{A} \cdot \frac{(\operatorname{Re} a_{22} - 1) \cdot \operatorname{Re} a_{12} + \operatorname{Im} a_{22} \cdot \operatorname{Im} a_{12}}{(\operatorname{Re} a_{22} - 1)^2 + \operatorname{Im} a_{22}^2} \quad (12)$$

$$R_2 = \frac{1}{A} \cdot \frac{(\operatorname{Re} a_{11} - 1) \cdot \operatorname{Re} a_{12} + \operatorname{Im} a_{11} \cdot \operatorname{Im} a_{12}}{(\operatorname{Re} a_{11} - 1)^2 + \operatorname{Im} a_{11}^2} \quad (13)$$

$$C_1 = A \cdot \frac{(\operatorname{Re} a_{22} - 1)^2 + \operatorname{Im} a_{22}^2}{\omega \cdot [\operatorname{Re} a_{12} \cdot \operatorname{Im} a_{22} - (\operatorname{Re} a_{22} - 1) \cdot \operatorname{Im} a_{12}]} \quad (14)$$

$$C_2 = A \cdot \frac{(\operatorname{Re} a_{11} - 1)^2 + \operatorname{Im} a_{11}^2}{\omega \cdot [\operatorname{Re} a_{12} \cdot \operatorname{Im} a_{11} - (\operatorname{Re} a_{11} - 1) \cdot \operatorname{Im} a_{12}]} \quad (15)$$

Dabei ist

$A$  Fläche der Wand in  $\text{m}^2$

Der Widerstand  $R_3$  errechnet sich als Differenz zwischen dem Gesamtwärmedurchgangswiderstand einer Wand und der Summe der Ersatzmodellwiderstände  $R_1$  und  $R_2$ :

otherwise:

$$T_{BT} = 7 \quad (10d)$$

$$\text{with } R_{1;\text{rel}} = \frac{R_1(T_{BT} = 2)}{R_1(T_{BT} = 7)}$$

$$C_{1;\text{rel}} = \frac{C_1(T_{BT} = 2)}{C_1(T_{BT} = 7)}$$

The decision on  $\omega_{BT}$  as per Equation (10a) through Equation (10d) must be taken individually for each building component.

### Equation (19) through Equation (31)

Assuming  $\omega_{RA}$  with a period  $T_{RA}$  of five days has proven reasonable in combining the individual building components to obtain the characteristics for the room RA.

$$T_{RA} = 5 \quad (10e)$$

The chain matrix,  $A_{1,n}$ , of the complete wall is calculated by matrix multiplication of the matrices  $A_v$  of the individual wall layers ( $v = 1, \dots, n$ ) to give:

$$A_{1,n} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_{n-1} \cdot A_n \quad (11)$$

Matrix multiplication starts with the layers facing towards the room; the counting direction of the indices is from the room outwards.

The sequence of the wall layers must not be changed as matrix  $A_{1,n}$  is not usually direction-invariant.

Using the elements of the chain matrix  $A_{1,n}$  for the complete wall as per Equation (11), the resistances and capacities of the equivalent model can be determined as:

where

$A$  surface area of the wall, in  $\text{m}^2$

The resistance  $R_3$  is calculated as the difference between the total thermal resistance of a wall and the sum of the resistances of the equivalent model,  $R_1$  and  $R_2$ :

$$R_3 = \left( \frac{1}{A} \cdot \sum_{v=1}^n \frac{s_v}{\lambda_v} \right) - R_1 - R_2 \quad (16)$$

Wenn in angrenzenden Räumen die gleichen Temperaturverhältnisse herrschen, kann man von einer symmetrischen Wärmebelastung der Bauteile ausgehen. Das Ersatzmodell nach Bild 1 kann dann auf ein Modell aus den Gliedern  $R_1$  und  $C_1$  reduziert werden.

Bei einseitiger thermischer Belastung lässt sich das Ersatzmodell für den allgemeinen Fall der thermischen Belastung nach Bild 2 vereinfachen.

Die korrigierte Wärmespeicherkapazität  $C_{1;\text{kor}}^*$  ermittelt sich dabei zu:

$$C_{1;\text{kor}}^* = A \cdot \frac{1}{\omega_{\text{BT}} \cdot R_1 \cdot A} \cdot \frac{R_w \cdot A - \text{Re } a_{12} \cdot \text{Re } a_{22} - \text{Im } a_{12} \cdot \text{Im } a_{22}}{\text{Re } a_{22} \cdot \text{Im } a_{12} - \text{Re } a_{12} \cdot \text{Im } a_{22}} \quad (17)$$

Dabei ist

$$R_w = R_1 + R_2 + R_3 \quad (\text{siehe Gleichung (16)})$$

Bei Außenbauteilen und Innenwänden bei asymmetrischer Belastung muss außer der Wärmespeicherfunktion des Bauteils auch der Wärmefluss **durch** das Bauteil berücksichtigt werden.

Ein Außenfenster ist ein Sonderfall des Ersatzmodells nach Bild 2. Hierbei ist die Wärmespeicherkapazität  $C_{1;\text{kor}}^*$  praktisch zu null zu setzen. Der Widerstand  $R_1$  ist nach Gleichung (25) zu ermitteln. Hinweise zur Parallelschaltung von Fenstern und Wänden werden im Anschluss an die Darstellung der Zusammenfassung von Wänden gegeben (siehe Abschnitt 6.4).

Die Wärmeübergangswiderstände  $R_{\alpha;\text{kon}}$  für Konvektion zwischen der Wandoberfläche und der Raumluft sowie  $R_{\alpha;\text{str}}$  für Strahlung zwischen den Wandoberflächen ermitteln sich zu:

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{A} \quad (18)$$

Die Zulässigkeit eines linearen Ansatzes für den Strahlungsaustausch im Raum hat *Boeke* [8] bereits 1976 nachgewiesen.

#### 6.4 Thermisches Verhalten des Raums

Beim 2-K-Modell werden alle Außenbauteile, wie Außenfenster, Außenwände und Dächer, sowie alle

$$R_3 = \left( \frac{1}{A} \cdot \sum_{v=1}^n \frac{s_v}{\lambda_v} \right) - R_1 - R_2 \quad (16)$$

Where temperatures are identical in adjacent rooms, a symmetrical thermal load on the building components can be assumed. The equivalent model as shown in Figure 1 may then be reduced to a model consisting of the elements  $R_1$  and  $C_1$ .

Where the thermal load occurs on one side only, the equivalent model for the general case of a thermal load can be simplified as shown in Figure 2.

The corrected heat storage capacity,  $C_{1;\text{kor}}^*$ , is determined as follows, then:

where

$$R_w = R_1 + R_2 + R_3 \quad (\text{see Equation (16)})$$

In the case of exterior building components and interior walls under asymmetrical load, the heat flux **through** the building component must be taken into account in addition to its heat storage capacity.

An exterior window is a special case of the equivalent model as per Figure 2; its heat storage capacity,  $C_{1;\text{kor}}^*$ , is to be assumed to be practically zero. The resistance,  $R_1$ , can be determined in accordance with Equation (25). Notes on the parallel connection of windows and walls can be found in the appendix to the description of the combining of walls (see Section 6.4).

The thermal resistance,  $R_{\alpha;\text{kon}}$ , for convection between the wall surface and the air in the room, and  $R_{\alpha;\text{str}}$  for radiation between the wall surfaces result as:

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{A} \quad (18)$$

As early as 1976, *Boeke* [8] showed that using a linear approach to model the radiation exchange in a room is permissible.

#### 6.4 Thermal response of the room

When using the 2-c model, all exterior building components such as exterior windows, exterior walls and

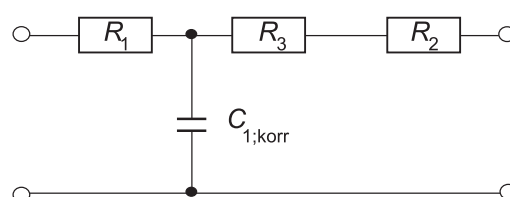


Bild 2. Vereinfachtes Modell für das wärmetechnische Verhalten von Bauteilen bei asymmetrischer Belastung

Figure 2. Simplified model for the thermal response of building components in the case of asymmetrical thermal load

Innenbauteile zu anders temperierten Nachbarräumen (Keller, Dachräume etc.) zu einem asymmetrisch beaufschlagten Bauteil zusammengefasst. Entsprechend werden alle Innenbauteile mit symmetrischer Beaufschlagung auf den beiden Oberflächen zu einem symmetrisch beaufschlagten Bauteil mit adiabatem Wandverhalten zusammengefasst.

Der Einfachheit halber werden in den Gleichungen die Indizes *AW* für das zusammengefasste asymmetrisch beaufschlagte Bauteil und *IW* für das zusammengefasste symmetrisch beaufschlagte Bauteil verwendet.

Die unterschiedlichen Außenlasten wie Außenlufttemperatur, kurz- und langwelliger Strahlungsaustausch lassen sich mit der äquivalenten Außentemperatur nach dem in Gleichung (32) gemachten Ansatz zusammenfassen.

**Anmerkung:** Die äquivalente Außentemperatur ist nicht zu verwechseln mit der äquivalenten Temperaturdifferenz zur Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung nach Richtlinie VDI 2078.

Nach dem gleichen Prinzip lässt sich auch eine äquivalente Außentemperatur für anders temperierte Nachbarräume berechnen.

Durch die Beschränkung auf zwei Bauteilarten wird es möglich, mit zwei Kapazitäten und den entsprechenden Widerständen einen Raum mit einem 2-K-Modell zu beschreiben. Eine wichtige Voraussetzung dabei ist der Ansatz, dass alle Flächen des Raums entsprechend ihrer Größe am Strahlungsaustausch beteiligt sind (siehe VDI 2078 und VDI 6020). Die Zulässigkeit des Verzichts auf die Berechnung von Raumwinkeln für den Strahlungsaustausch der Flächen ist auch von *Seem* [9] nachgewiesen worden. Ferner ist von Bedeutung, dass die Strahlungsübergangskoeffizienten von Außen- und Innenbauteilen beim 2-K-Modell getrennt behandelt werden. Die Berechnung der mittleren Temperatur der den Raum umschließenden Wandoberflächen, die der Bestimmung der operativen Temperatur dient, wird hierdurch nicht beeinträchtigt. Wichtig ist dabei, dass alle Parameter, die eine Veränderung der Oberflächentemperaturen zur Folge haben, einbezogen werden. Die Berechnung einer Temperaturverteilung im Raum kann bei einem Verfahren mit eindimensionaler Wärmeleitung nicht zum Erfolg führen, abgesehen von vielen nicht genau erfassbaren, zum Teil auch zeitlich veränderlichen Parametern, z.B. Möblierung.

Die Zusammenfassung der gleichartig beaufschlagten Bauteile kann sowohl mittels getrennter Parallelschaltung [2] der Kapazitäten und Widerstände, als auch durch die Parallelschaltung der komplexen Widerstände [3] erfolgen. Bei der getrennten Parallelschaltung der Kapazitäten und Widerstände werden

roofs, and all interior building components between rooms with differing temperatures (cellars, attics, etc.) are combined into one building component with asymmetrical load. Accordingly, all interior building components where the load on the two surfaces is symmetrical are combined into one symmetrically loaded building component with adiabatic wall response.

For the sake of simplicity, the subscript *AW* shall be used in the equations to denote the asymmetrically loaded overall building component, and *IW* shall denote the symmetrically loaded overall building component.

The varying external loads such as outdoor-air temperature and short- and long-wave radiation exchange can be subsumed under the equivalent outdoor temperature using the approach of Equation (32).

**Note:** The equivalent outdoor temperature must not be confused with the equivalent temperature difference taking into account the solar radiation in the standard VDI 2078.

The same principle allows to calculate an equivalent outdoor temperature for adjacent rooms with differing temperatures.

The limitation to two types of building components allows the characterization of a room, in the 2-c model, in terms of two capacities and the associated resistances. The assumption that all surfaces of the room contribute to the radiation exchange in proportion to their respective surface area (see VDI 2078 and VDI 6020) is an important prerequisite to this approach. *Seem* [9] could show that solid angles need not be calculated for the radiation exchange of the surfaces to be described. It is also important that radiant heat transfer coefficients are treated separately for interior and exterior building components in the 2-c model. The calculation of the average temperature of the wall surfaces enveloping the room, which serves to determine the operative temperature, will not be affected by this. In performing this calculation, it is important that all those parameters which effect a change in the surface temperatures are taken into account. Using a technique based on one-dimensional thermal conduction for the calculation of a temperature distribution in the room cannot be successful, not to mention a multitude of parameters which cannot be taken into account precisely, or which may even change in time, such as furniture.

Combining identically loaded building components is possible using either separate parallel connections [2] of the capacities and resistances or parallel connections of the complex resistances [3]. When separate parallel connections of capacities and resistances are used, the simulation of rooms with significantly

Räume mit stark unterschiedlichen Speichermassen und/oder thermischer Abdeckung der Speichermassen für die einzelnen Bauteile nicht so gut abgebildet wie bei der Parallelschaltung der komplexen Widerstände, aufgrund von einer großen Zahl von Vergleichsrechnungen mit dem detaillierten Beuken-Modell, wird die Parallelschaltung über die komplexen Widerstände  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$  gewählt. Für die Zusammenfassung der einzelnen Innenwände gilt:

$$\underline{Z}_{1;IW_\mu} = R_{1;IW_\mu} + 1/(j\omega_{RA} C_{1;IW_\mu}) \quad (19)$$

Der Wärmedurchgangswiderstand  $R_{1;IW_\mu}$  ist somit der Realteil von  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$

$$R_{1;IW_\mu} = \text{Re}(\underline{Z}_{1;IW_\mu}) \quad (20)$$

und die Wärmespeicherkapazität  $C_{1;IW_\mu}$  ermittelt sich aus dem Imaginärteil von  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$

$$C_{1;IW_\mu} = 1/(\omega_{RA} \cdot \text{Im}\underline{Z}_{1;IW_\mu}) \quad (21)$$

Die Parallelschaltung der komplexen Wärmedurchgangswiderstände  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$  für alle Innenflächen  $IW_\mu$  erfolgt somit nach:

$$\underline{Z}_{1;IW} = 1/\left(\sum_{\mu=1}^m \frac{1}{\underline{Z}_{1;IW_\mu}}\right) \quad (22)$$

Bei Parallelschaltung der komplexen Wärmedurchgangswiderstände  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$  von zwei Innenwänden errechnet sich der gemeinsame Wärmedurchgangswiderstand  $R_{1;IW}$  (Realteil) zu:

$$R_{1;IW} = \frac{R_{1;IW_1} \cdot C_{1;IW_1}^2 + R_{1;IW_2} \cdot C_{1;IW_2}^2 + \omega_{RA}^2 \cdot R_{1;IW_1} \cdot R_{1;IW_2} \cdot (R_{1;IW_1} + R_{1;IW_2}) \cdot C_{1;IW_1} \cdot C_{1;IW_2}}{(C_{1;IW_1} + C_{1;IW_2})^2 + \omega_{RA}^2 \cdot (R_{1;IW_1} + R_{1;IW_2})^2 \cdot C_{1;IW_1} \cdot C_{1;IW_2}} \quad (23)$$

und die gemeinsame Wärmekapazität  $C_{1;IW}$  (Imaginärteil) zu:

$$C_{1;IW} = \frac{(C_{1;IW_1} + C_{1;IW_2})^2 + \omega_{RA}^2 \cdot (R_{1;IW_1} + R_{1;IW_2})^2 \cdot C_{1;IW_1} \cdot C_{1;IW_2}}{C_{1;IW_1} + C_{1;IW_2} + \omega_{RA}^2 \cdot (R_{1;IW_1}^2 \cdot C_{1;IW_1} + R_{1;IW_2}^2 \cdot C_{1;IW_2}) \cdot C_{1;IW_1} \cdot C_{1;IW_2}} \quad (24)$$

Bei Parallelschaltung von mehr als zwei Innenwänden sind Gleichung (23) und Gleichung (24) entsprechend mehrfach auszuführen.

Für die Zusammenfassung der Einzelbauteile zu Kennwerten für den Raum RA hat sich die Verwendung von  $\omega_{RA}$  **mit einer Periodendauer  $T_{RA}$  von fünf Tagen** als zweckmäßig herausgestellt. ( $T_{RA} = 5$ ) – siehe Gleichung (10e).

Für die Parallelschaltung der **Außenflächen** gelten dieselben Erläuterungen wie für die Innenwände. Auch hierfür ist die Parallelschaltung der Außenwände mittels der komplexen Widerstände  $\underline{Z}_{1;AW_\nu}$  vorgegeben.

differing storage masses and/or thermal covering of the storage masses of the individual building components is not as good as in the case of the parallel connection of the complex resistances. The parallel connection of the complex resistances  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$  is selected on the basis of a large number of comparative calculations using the detailed Beuken model. The following applies to the combining of interior walls:

$$\underline{Z}_{1;IW_\mu} = R_{1;IW_\mu} + 1/(j\omega_{RA} C_{1;IW_\mu}) \quad (19)$$

The thermal resistance,  $R_{1;IW_\mu}$ , is, therefore, the real part of  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$ :

$$R_{1;IW_\mu} = \text{Re}(\underline{Z}_{1;IW_\mu}) \quad (20)$$

and the heat storage capacity,  $C_{1;IW_\mu}$ , is determined from the imaginary part of  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$

$$C_{1;IW_\mu} = 1/(\omega_{RA} \cdot \text{Im}\underline{Z}_{1;IW_\mu}) \quad (21)$$

The parallel connection of the complex thermal resistances,  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$ , for all interior surfaces  $IW_\mu$  is described by the following equation, then:

$$\underline{Z}_{1;IW} = 1/\left(\sum_{\mu=1}^m \frac{1}{\underline{Z}_{1;IW_\mu}}\right) \quad (22)$$

In the case of the parallel connection of the complex thermal resistances,  $\underline{Z}_{1;IW_\mu}$ , of two interior walls, the combined thermal resistance,  $R_{1;IW}$  (real part), is calculated as:

and the combined heat capacity,  $C_{1;IW}$  (imaginary part), is:

Accordingly, in the case of the parallel connection of more than two interior walls, Equation (23) and Equation (24) must be calculated several times.

Assuming  $\omega_{RA}$  with a **period  $T_{RA}$  of five days** has proven reasonable in combining the individual building components to obtain the characteristics for the room RA. ( $T_{RA} = 5$ ) – see Equation (10e).

For the parallel connection of the **exterior surfaces**, the same explanations apply as for the interior walls. Again, the parallel connection of the exterior walls using the complex resistances,  $\underline{Z}_{1;AW_\nu}$ , is stipulated.

Die Parallelschaltung mit den Wärmedurchgangswiderständen für die Fenster  $R_{1;AF_v}$  hat danach zu erfolgen, da das Ergebnis von der Reihenfolge der Berechnung beeinflusst wird. Hierbei werden die Wärmedurchgangswiderstände für die Fenster  $R_{1;AF_v}$  mit den Wärmedurchgangswiderständen für die Wände  $R_{1;AW_v}$  parallelgeschaltet, die Wärmekapazität der Wände  $C_{1;AW_v}$  bleibt jedoch unverändert.

Der Wert  $R_{1;AF_v}$  für Außenfenster ist nicht direkt bei der Herleitung der Ersatzmodelle für Wände festgelegt. In Analogie zu der Ermittlung von  $R_{1;AW}$  [1] ist

$$R_{1;AF_v} = R_{AF_v} / 6 \quad (25)$$

einzusetzen, wobei der Wärmedurchgangswiderstand des Außenfensters wie folgt zu ermitteln ist:

$$R_{AF_v} = \left( \frac{1}{U_{AF_v}} - \frac{1}{\alpha_{l_v}} - \frac{1}{\alpha_{A_v}} \right) \cdot \frac{1}{A_{AF_v}} \quad (26)$$

Für Innenfenster  $IF_v$  gilt Entsprechendes.

Der Gesamtwärmedurchgangswiderstand  $R_{ges;AW}$  für die zusammengefassten Außenbauteile  $AW$  (Außenwand, Dach, Außenfenster usw. sowie nicht adiabate Innenbauteile) lässt sich vereinfacht errechnen zu:

$$R_{ges;AW} = 1 / \left( \sum_{v=1}^n U_{AW_v} \cdot A_{AW_v} + \sum_{v=1}^n U_{AF_v} \cdot A_{AF_v} \right) \quad (27)$$

Somit ergibt sich für  $R_{Rest;AW}$  (siehe Bild 3):

$$R_{Rest;AW} = R_{ges;AW} - R_{1;AW} - 1 / \left( \frac{1}{R_{\alpha;kon;AW}} + \frac{1}{R_{\alpha;str;AW/IW}} \right) \quad (28)$$

Wenn  $R_{ges;AW} < R_{\alpha;ges;AW;A}$ , dann gilt:

$$R_{Rest;AW} = R_{\alpha;ges;AW;A} \quad (28a)$$

The parallel connection using the thermal resistances for the windows,  $R_{1;AF_v}$ , shall be established thereafter, the result depending on the sequence in which the calculation steps are performed. The thermal resistances for the windows  $R_{1;AF_v}$  are connected here in parallel with the thermal resistances for the walls  $R_{1;AW_v}$ , but the specific heat capacity of the windows  $C_{1;AW_v}$  remains unchanged.

The value  $R_{1;AF_v}$  for exterior windows is not specified immediately during the derivation of the equivalent models for walls. In analogy to the determination of  $R_{1;AW}$  [1], let

$$R_{1;AF_v} = R_{AF_v} / 6 \quad (25)$$

where the thermal resistance of the exterior window must be determined as follows:

$$R_{AF_v} = \left( \frac{1}{U_{AF_v}} - \frac{1}{\alpha_{l_v}} - \frac{1}{\alpha_{A_v}} \right) \cdot \frac{1}{A_{AF_v}} \quad (26)$$

$IF_v$  applies correspondingly for interior windows.

The total thermal resistance,  $R_{ges;AW}$ , for the combined exterior building components  $AW$  (exterior wall, roof, exterior windows etc. and non-adiabatic interior building components) can be calculated in simplified form:

Thus,  $R_{Rest;AW}$  results as (see Figure 3):

$$R_{Rest;AW} = R_{ges;AW} - R_{1;AW} - 1 / \left( \frac{1}{R_{\alpha;kon;AW}} + \frac{1}{R_{\alpha;str;AW/IW}} \right) \quad (28)$$

If  $R_{ges;AW} < R_{\alpha;ges;AW;A}$ , then:

$$R_{Rest;AW} = R_{\alpha;ges;AW;A} \quad (28a)$$

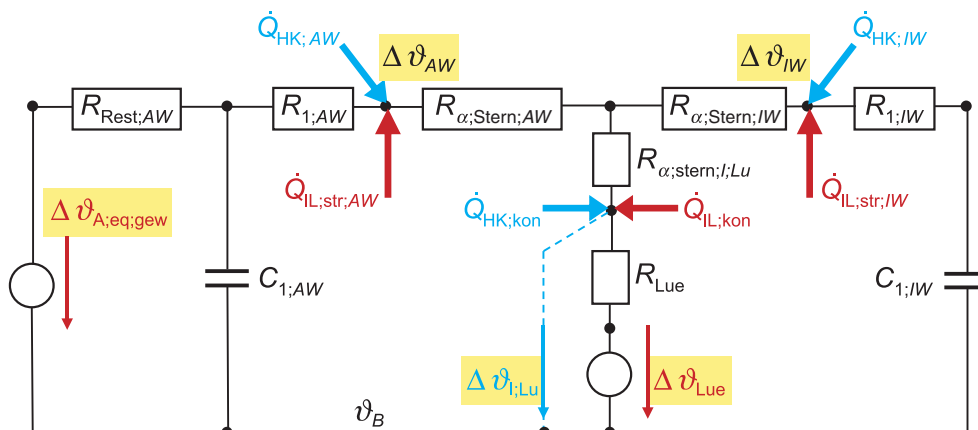


Bild 3. Vollständiges Ersatzschaltbild für das 2-K-Modell

Figure 3. Complete equivalent circuit diagram for the 2-c model

$R_{\alpha;\text{ges};AW;A}$  bezeichnet den Gesamtwärmeübergangswiderstand an den Außenseiten der zusammengefassten Außenbauteile  $AW$ .

$R_{\alpha;\text{ges};AW;A}$  denotes the total thermal resistance at the outsides of the combined exterior building components  $AW$ .

$$R_{1;AW} = R_{\alpha;\text{ges};AW} - R_{\text{Rest};AW} - 1 / \left( \frac{1}{R_{\alpha;\text{kon};AW}} + \frac{1}{R_{\alpha;\text{str};AW/IW}} \right) \quad (28b)$$

Wenn  $R_{1;AW} < 10^{-10}$ , dann gilt:

$$R_{1;AW} = 10^{-10} \quad (28c)$$

If  $R_{1;AW} < 10^{-10}$ , then:

$$R_{1;AW} = 10^{-10} \quad (28c)$$

Weiterhin muss der zusammengefasste Wärmeübergangswiderstand für **Strahlung zwischen den Außen- und Innenflächen**  $R_{\alpha;\text{str};AW/IW}$  ermittelt werden, wobei vereinfacht gilt:

Furthermore, the combined thermal resistance for **radiation between exterior and interior surfaces**,  $R_{\alpha;\text{str};AW/IW}$ , must be determined; the following simplification applies:

$$R_{\alpha;\text{str};AW/IW} = 1 / \left( \sum_{v=1}^n \frac{1}{R_{\alpha;\text{str};AW_v}} + \sum_{v=1}^n \frac{1}{R_{\alpha;\text{str};AF_v}} \right) \quad (29)$$

Dabei ist

$$\alpha_{\text{str}} = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (30)$$

where

$$\alpha_{\text{str}} = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (30)$$

**Anmerkung:** Wegen  $\alpha_{\text{kon}} = \alpha_{\text{ges}} - \alpha_{\text{str}}$  muss  $\alpha_{\text{ges}} > 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  sein.

**Note:** Because  $\alpha_{\text{kon}} = \alpha_{\text{ges}} - \alpha_{\text{str}}$ , the condition  $\alpha_{\text{ges}} > 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  must be met.

Wenn die Fläche für die zusammengefasste  $IW$  kleiner ist als die Fläche für die zusammengefasste  $AW$  (inklusive Fläche zu Nebenräumen mit anderer Temperatur und/oder anderen Strahlungsverhältnissen) wird Gleichung (29) angepasst zu Gleichung (31):

If the surface area of the combined  $IW$  is less than the surface area of the combined  $AW$  (including surfaces shared by adjacent rooms with differing temperatures and/or differing radiation conditions), Equation (29) is adapted to give Equation (31):

$$R_{\alpha;\text{str};AW/IW} = 1 / \left( \sum_{v=1}^n \frac{1}{R_{\alpha;\text{str};IW_v}} + \sum_{v=1}^n \frac{1}{R_{\alpha;\text{str};IF_v}} \right) \quad (31)$$

### Wärmeaustausch der Außenbauteile mit der Umgebung

Die dritte Aufgabe – hinreichend genaue Abbildung des Wärmeaustauschs der Außenbauteile mit der Umgebung – kann in Anlehnung an bekannte Verfahren [11; 12] wie folgt gelöst werden und ist unabhängig von dem gewählten Modell.

Für die äquivalente Außentemperatur jeder „Außenfläche“ gilt:

$$\vartheta_{A;\text{eq}} = \vartheta_{A;\text{Lu}} + \Delta \vartheta_{A;\text{eq};\text{lw}} + \Delta \vartheta_{A;\text{eq};\text{kw}} \quad (32)$$

mit

where

$$\Delta \vartheta_{A;\text{eq};\text{lw}} = ((\vartheta_{\text{Erd}} - \vartheta_{A;\text{Lu}}) \cdot (1 - \varphi) + (\vartheta_{\text{Atm}} - \vartheta_{A;\text{Lu}}) \cdot \varphi) \cdot \left( \frac{\varepsilon_F \cdot \alpha_{\text{str}}}{\alpha_A \cdot 0,93} \right) \quad (33)$$

und

and

$$\vartheta_{\text{Atm}} = ((E_{\text{Atm}} / (0,93 \cdot 5,67))^{0,25}) \cdot 100 - 273,15 \quad (34)$$

$$\vartheta_{\text{Erd}} = ((-E_{\text{Erd}} / (0,93 \cdot 5,67))^{0,25}) \cdot 100 - 273,15 \quad (35)$$

$$\varphi = (1 + \cos(\gamma_F)) / 2 \quad (36a)$$

$$\varphi = (1 + \cos(\gamma_F + \gamma_H)) / 2 \quad (36b)$$

Wenn  $\gamma_F - \gamma_H < 0^\circ$ , dann  $\varphi = (1 + \cos(2\gamma_H))/2$ .

**Anmerkung 1:** Gilt für nach oben geneigte Flächen.

Wenn  $\gamma_F + \gamma_H < 0^\circ$ , dann  $\varphi = 1$ .

**Anmerkung 2:** Gilt für nach oben geneigte Flächen.

Wenn  $\gamma_F + \gamma_H > 180^\circ$ , dann  $\varphi = 0$ .

**Anmerkung 3:** Gilt für nach unten geneigte Flächen.

Dabei ist

$\gamma_F$  Neigung der Außenfläche gegen die Horizontale

$\gamma_F = 0^\circ$  horizontal zum Himmel gerichtet

$\gamma_F = 90^\circ$  senkrecht

$\gamma_F = 180^\circ$  horizontal nach unten gerichtet

$\gamma_H$  Horizontüberhöhung

$\alpha_{\text{str}} = 5,0$  für  $E_A + E_E = 0$  und für

$(\mathcal{G}_{\text{Atm}} - \mathcal{G}_{\text{Erd}}) = 0$

$$\text{sonst } \alpha_{\text{str}} = \frac{(E_A + E_E)}{(\mathcal{G}_{\text{Atm}} - \mathcal{G}_{\text{Erd}})} \quad (37)$$

0,93 Emissionsgrad des Erdbodens [16]

Dabei ist

$\alpha_{\text{str}}$  Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$\mathcal{G}_{\text{A;Lu}}$  Temperatur der Außenluft in  $^\circ\text{C}$

$\Delta \mathcal{G}_{\text{A;eq;lw}}$  Differenz der äquivalenten Außentemperatur infolge langwelligem Strahlungsaustauschs in  $^\circ\text{C}$

$\Delta \mathcal{G}_{\text{A;eq;kw}}$  Differenz der äquivalenten Außentemperatur infolge kurzwelligem Strahlungsaustauschs in  $^\circ\text{C}$

$\gamma_F$  Neigung der Außenfläche gegen die Horizontale

$\varepsilon_F$  Emissionskoeffizient (langwellig) der Außenfläche

$a_F$  Absorptionskoeffizient (kurzwellig) der Außenfläche

$\alpha_A$  äußerer Wärmeübergangskoeffizient in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$E_{\text{Erd}}$  Ausstrahlung der Umgebung in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$E_{\text{Atm}}$  atmosphärische Gegenstrahlung in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Die Erhöhung der äquivalenten Außentemperatur infolge kurzwelliger Strahlung:

$$\Delta \mathcal{G}_{\text{A;eq;kw}} = (I_{\text{dir}} + I_{\text{diff}}) \cdot \frac{a_F}{\alpha_A} \quad (38)$$

Dabei ist

$$\alpha_A = \alpha_{\text{kon;A}} + \alpha_{\text{str;A}}$$

Die Berechnung von  $\mathcal{G}_{\text{A;eq}}$  erfolgt getrennt für jede Außenfläche mit unterschiedlicher Orientierung, für transparente Flächen und für Trennwände zu anders

If  $\gamma_F - \gamma_H < 0^\circ$ , then  $\varphi = (1 + \cos(2\gamma_H))/2$ .

**Note 1:** This holds true for surfaces tilted upwards.

If  $\gamma_F + \gamma_H < 0^\circ$ , then  $\varphi = 1$ .

**Note 2:** This holds true for surfaces tilted upwards.

If  $\gamma_F + \gamma_H > 180^\circ$ , then  $\varphi = 0$ .

**Note 3:** This holds true for surfaces tilted downwards.

where

$\gamma_F$  inclination of the exterior surface with respect to the horizontal

$\gamma_F = 0^\circ$  horizontal, facing the sky

$\gamma_F = 90^\circ$  vertical

$\gamma_F = 180^\circ$  horizontal, facing downwards

$\gamma_H$  horizon elevation

$\alpha_{\text{str}} = 5,0$  for  $E_A + E_E = 0$  and for

$(\mathcal{G}_{\text{Atm}} - \mathcal{G}_{\text{Erd}}) = 0$

$$\text{otherwise } \alpha_{\text{str}} = \frac{(E_A + E_E)}{(\mathcal{G}_{\text{Atm}} - \mathcal{G}_{\text{Erd}})} \quad (37)$$

0,93 ground emissivity [16]

where

$\alpha_{\text{str}}$  radiant heat transfer coefficient, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$\mathcal{G}_{\text{A;Lu}}$  outdoor-air temperature, in  $^\circ\text{C}$

$\Delta \mathcal{G}_{\text{A;eq;lw}}$  difference in equivalent outdoor temperature owing to long-wave radiation exchange, in  $^\circ\text{C}$

$\Delta \mathcal{G}_{\text{A;eq;kw}}$  difference in equivalent outdoor temperature owing to short-wave radiation exchange, in  $^\circ\text{C}$

$\gamma_F$  inclination of the exterior surface with respect to the horizontal

$\varepsilon_F$  emission coefficient (short-wave) of the exterior surface

$a_F$  absorption coefficient (short-wave) of the exterior surface

$\alpha_A$  exterior heat transfer coefficient, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$E_{\text{Erd}}$  radiation from the environment, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$E_{\text{Atm}}$  atmospheric radiation, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

The increase of the equivalent outdoor-air temperature owing to short-wave radiation:

$$\Delta \mathcal{G}_{\text{A;eq;kw}} = (I_{\text{dir}} + I_{\text{diff}}) \cdot \frac{a_F}{\alpha_A} \quad (38)$$

where

$$\alpha_A = \alpha_{\text{kon;A}} + \alpha_{\text{str;A}}$$

The calculation of  $\mathcal{G}_{\text{A;eq}}$  is carried out separately for each exterior surface having a different orientation, for transparent surfaces and for walls separating adja-

temperierten Nachbarräumen. Dabei ist für die opaken Flächen die äquivalente Außentemperatur nach Gleichung (32) zu berechnen.

Für die einzelnen transparenten Flächen gilt:

$$\vartheta_{A;eq;AF} = \vartheta_{A;Lu} + \Delta \vartheta_{A;eq;lw} \quad (39)$$

Die Berechnung der äquivalenten Temperatur für den anders temperierten Nachbarraum  $\vartheta_{NR;eq}$  kann in Anlehnung an Gleichung (32) wie folgt vereinfacht werden:

Setzt man  $\vartheta_{A;Lu} = \vartheta_{NR;Lu}$ ,  $\alpha_A = \alpha_{kon;A;NR}$  und  $\dot{Q}_{str;A;NR}$  = Summe der strahlenden Wärmequellen/-senken auf der Nachbarraumseite der Wand, so wird

$$\vartheta_{NR;eq} = \vartheta_{NR;Lu} + \dot{Q}_{str;A;NR} \cdot \frac{1}{\alpha_{kon;A;NR} \cdot A_{A;NR}} \quad (40)$$

Danach ist für die zusammengefasste Außenwand des 2-K-Modells eine über alle „Außenflächen“  $A_v$  und deren Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_v$  gewichtete äquivalente Außentemperatur zu bestimmen.

$$\vartheta_{A;eq;gew} = \sum_{v=1}^n \vartheta_{A;eq;AW_v} \cdot B_{AW_v} + \sum_{v=1}^m \vartheta_{A;eq;AF_v} \cdot B_{AF_v} + \sum_{v=1}^k \vartheta_{A;eq;NR_v} \cdot B_{NR_v} \quad (41)$$

Für den Bewertungsfaktor des  $v$ -ten Bauteils gilt:

$$B_v = \frac{U_v \cdot A_v}{\sum_{v=1}^p U_v \cdot A_v} \quad (42)$$

### Diskrete analytische Lösung des 2-K-Modells

Das vollständige Ersatzschaltbild des 2-K-Modells mit allen erforderlichen Kennwerten, Aktions- und Reaktionsgrößen ist in Bild 3 enthalten.

Die **Aktionsgrößen** (unabhängige Variablen), die im Zeitgang vorzugeben sind, lauten

- $\dot{Q}_{IL;kon}$  konvektive Wärmequellen/-senken im Raum und
- $\dot{Q}_{IL;str}$  strahlende Wärmequellen/-senken im Raum.

Die strahlenden Wärmequellen/-senken im Raum sind auf Innenwand  $IW$  und Außenwand  $AW$  aufzuteilen. Diese Aufteilung ist unterschiedlich für

- $\dot{Q}_{IL;str;I}$  im Raum befindliche strahlende Wärmequellen/-senken (Beleuchtung u. Ä.) und
- $\dot{Q}_{IL;str;A}$  von außen stammende und im Raum wirksam werdende strahlende Wärmequellen/-senken (Sonneneinstrahlung).

**Anmerkung:** Das 2-K-Modell gilt grundsätzlich auch für Räume, die ausschließlich über adiabate oder ausschließlich über nicht adiabate Bauteile verfügen.

cent rooms with differing temperatures. In this calculation, the equivalent outdoor temperature for opaque surfaces is to be calculated in accordance with Equation (32).

The following holds true for the individual transparent surfaces:

$$\vartheta_{A;eq;AF} = \vartheta_{A;Lu} + \Delta \vartheta_{A;eq;lw} \quad (39)$$

The calculation of the equivalent temperature for the adjacent room with a different temperature,  $\vartheta_{NR;eq}$ , may be simplified as follows, in analogy to Equation (32):

Let  $\vartheta_{A;Lu} = \vartheta_{NR;Lu}$ ,  $\alpha_A = \alpha_{kon;A;NR}$ , and  $\dot{Q}_{str;A;NR}$  = sum of the radiant heat sources/sinks on the side of the wall in the adjacent room, then

An equivalent outdoor temperature weighted over all “exterior” surfaces,  $A_v$ , and their thermal transmittances,  $U_v$ , can then be determined for the combined exterior wall of the 2-c model.

The weighting factor of the  $v$ -th building component is:

$$B_v = \frac{U_v \cdot A_v}{\sum_{v=1}^p U_v \cdot A_v} \quad (42)$$

### Discrete analytical solution of the 2-c model

The complete equivalent circuit diagram of the 2-c model, including all required characteristic values, active and reactive quantities is shown in Figure 3.

The **active** quantities (independent variables) which have to be specified for the time curves, are

- $\dot{Q}_{IL;kon}$  convective heat sources/sinks in the room and
- $\dot{Q}_{IL;str}$  radiant heat sources/sinks in the room.

The radiant heat sources/sinks in the room shall be distinguished into those allocated to the interior wall,  $IW$ , and those allocated to the exterior wall,  $AW$ . This allocation will differ for

- $\dot{Q}_{IL;str;I}$  radiant heat sources/sinks located in the room (such as lighting, etc.) and
- $\dot{Q}_{IL;str;A}$  radiant heat sources/sinks located outside the room and becoming effective inside the room (solar radiation).

**Note:** The 2-K model applies in principle also to rooms that have only adiabatic or only non-adiabatic building components.

Die Berechnung der in den Raum gelangenden Sonnenstrahlung aus den Wetterdaten des TRY erfolgt nach den in Richtlinie VDI 6007 Blatt 3 angegebenen Algorithmen.

Die im Raum befindlichen strahlenden Wärmequellen/-senken  $\dot{Q}_{IL;str;I}$  teilen sich auf Innenwand  $IW$  und Außenwand  $AW$  auf:

$$\dot{Q}_{IL;str;I;IW} = \dot{Q}_{IL;str;I} \cdot \frac{A_{Raum} - A_{AW}}{A_{Raum}} \quad (43)$$

$$\dot{Q}_{IL;str;I;AW} = \dot{Q}_{IL;str;I} \cdot \frac{A_{AW}}{A_{Raum}} \quad (44)$$

Die von außen stammenden und im Raum wirksam werdenden strahlenden Wärmequellen/-senken  $\dot{Q}_{IL;str;A}$  sind getrennt für jedes Außenbauteil mit transparenten Flächen  $v$  zu betrachten und dann über alle Außenbauteile mit transparenten Flächen zu summieren. Die Aufteilung auf Innenwand  $IW$  und Außenwand  $AW$  ergibt sich dann zu:

$$\dot{Q}_{IL;str;A;IW} = \sum_{v=1}^n \dot{Q}_{IL;str;A;v} \cdot \frac{A_{Raum} - A_{AW}}{A_{Raum} - A_v} \quad (45)$$

$$\dot{Q}_{IL;str;A;AW} = \sum_{v=1}^n \dot{Q}_{IL;str;A;v} \cdot \frac{A_{AW} - A_v}{A_{Raum} - A_v} \quad (46)$$

Dabei ist unter der Fläche  $A_v$  die gesamte Fläche aus opaken und transparenten Bauteilen für eine Himmelsrichtung und eine Neigung zu verstehen.

Somit ergeben sich die gesamten strahlenden Wärmequellen/-senken im Raum, die auf Innenwand  $IW$  und Außenwand  $AW$  wirken, zu:

$$\dot{Q}_{IL;str;IW} = \dot{Q}_{IL;str;I;IW} + \dot{Q}_{IL;str;A;IW} \quad (47)$$

$$\dot{Q}_{IL;str;AW} = \dot{Q}_{IL;str;I;AW} + \dot{Q}_{IL;str;A;AW} \quad (48)$$

Die **Reaktionsgrößen** (abhängige Variablen), die sich im Zeitgang errechnen, sind:

$\vartheta_{IW}$  Oberflächentemperatur der Innenwand  
 $\vartheta_{AW}$  Oberflächentemperatur der Innenseite der Außenwand

Alternativ **Aktions- oder Reaktionsgrößen** können sein:

$\vartheta_{I;Lu}$  Innenlufttemperatur (Raumlufttemperatur)  
 $\dot{Q}_{HK;ges}$  Heiz- und Kühllast (gesamt)

- Heizlast:  $> 0$
- Kühllast:  $< 0$

Wärmequellen und -senken sind bei konventionellen Systemen nicht an ein Bauteil gebunden. Deshalb ist die Aufteilung in konvektiven und strahlenden Anteil

The calculation, from the meteorological data of the TRY, of the solar radiation entering the room is performed using the algorithms given in the standard VDI 6007 Part 3.

The radiant heat sources/sinks located in the room,  $\dot{Q}_{IL;str;I}$ , are allocated to the interior wall,  $IW$ , and the exterior wall,  $AW$ :

$$\dot{Q}_{IL;str;I;IW} = \dot{Q}_{IL;str;I} \cdot \frac{A_{Raum} - A_{AW}}{A_{Raum}} \quad (43)$$

$$\dot{Q}_{IL;str;I;AW} = \dot{Q}_{IL;str;I} \cdot \frac{A_{AW}}{A_{Raum}} \quad (44)$$

The radiant heat sources/sinks located outside the room and becoming effective inside the room,  $\dot{Q}_{IL;str;A}$ , shall be considered separately for each exterior building component having transparent surfaces,  $v$ , and shall then be totalled for all exterior building components having transparent surfaces. The allocation to the interior wall,  $IW$ , and exterior wall,  $AW$ , then results as:

where the area  $A_v$  denotes the entire surface area of all opaque and transparent building components facing the same direction and having the same inclination.

The total of all radiant heat sources/sinks in the room, being effective for the interior wall,  $IW$ , and the exterior wall,  $AW$ , then results as:

$$\dot{Q}_{IL;str;IW} = \dot{Q}_{IL;str;I;IW} + \dot{Q}_{IL;str;A;IW} \quad (47)$$

$$\dot{Q}_{IL;str;AW} = \dot{Q}_{IL;str;I;AW} + \dot{Q}_{IL;str;A;AW} \quad (48)$$

The **reactive quantities** (dependent variables) whose time curves are to be calculated are:

$\vartheta_{IW}$  surface temperature of interior wall  
 $\vartheta_{AW}$  surface temperature of interior side of exterior wall

The following may be either **active or reactive quantities**:

$\vartheta_{I;Lu}$  indoor air temperature (room air temperature)  
 $\dot{Q}_{HK;ges}$  heating and cooling load (total)

- heating load:  $> 0$
- cooling load:  $< 0$

In conventional systems, heat sources and sinks are not connected to a building component. Therefore, the separation into convective and radiant fractions of

einer Wärmequelle oder -senke vorzugeben. Bei an Bauteile gebundenen Systemen (z. B. bei Flächenheizung oder -Kühlung) erfolgt diese Aufteilung aufgrund der Wärmeübergangsverhältnisse zwischen Bauteilfläche und Raum. Bild 4 zeigt die anlagentechnische Aufteilung der Heiz- bzw. Kühllast (der verfügbaren Anlagenheiz- und Kühlleistung).

Die Heiz- und Kühllast wird aufgeteilt in:

$$\dot{Q}_{HK;kon} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot Anteil_{\dot{Q}_{HK;kon}} \quad (49)$$

$$\dot{Q}_{HK;IW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot Anteil_{\dot{Q}_{HK;IW}} \quad (50)$$

$$\dot{Q}_{HK;AW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot Anteil_{\dot{Q}_{HK;AW}} \quad (51)$$

Um die drei Anteile  $Anteil_{\dot{Q}_{HK;kon}}$ ,  $Anteil_{\dot{Q}_{HK;IW}}$  und  $Anteil_{\dot{Q}_{HK;AW}}$  ermitteln zu können, ist für jede Stunde die Aufteilung der gesamten Anlagen-Heizlast bzw. Anlagen-Kühllast (gesamt)  $\dot{Q}_{HK;ges}$  auf die Art der Wärmeabgabe der Anlage im Raum vorzugeben:

- $Anteil_{\dot{Q}_{HK;kon}}$  konvektiver Anteil an der gesamten Heiz- bzw. Kühllast
- $Anteil_{\dot{Q}_{HK;str}}$  strahlender Anteil an der gesamten Heiz- bzw. Kühllast
- $Anteil_{\dot{Q}_{FHK;IW}}$  Anteil einer eventuell vorhandenen Flächenheizung bzw. -kühlung ( $\dot{Q}_{FHK;IW}$ ) von einem oder mehreren Innenbauteilen  $IW$  an der gesamten Heiz- bzw. Kühllast
- $\dot{Q}_{FHK;IW}$  wird wie eine Strahlungsquelle auf die zusammengefasste Innenwand  $IW$  berücksichtigt

Heat source or sink should be specified. In systems connected to building components (e.g. in the case of panel heating or cooling), this separation is based on the heat transfer relationship between the building component's surface and the room. Figure 4 shows the separation of the system's heating or cooling load (of the available heating and cooling power).

The heating and cooling load is divided into

$$\dot{Q}_{HK;kon} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot Anteil_{\dot{Q}_{HK;kon}} \quad (49)$$

$$\dot{Q}_{HK;IW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot Anteil_{\dot{Q}_{HK;IW}} \quad (50)$$

$$\dot{Q}_{HK;AW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot Anteil_{\dot{Q}_{HK;AW}} \quad (51)$$

For the three contributions  $Anteil_{\dot{Q}_{HK;kon}}$ ,  $Anteil_{\dot{Q}_{HK;IW}}$  and  $Anteil_{\dot{Q}_{HK;AW}}$  to be determined, the apportioning of the total heating or cooling loads to be provided by an installation (total),  $\dot{Q}_{HK;ges}$ , to the manner of heat release by that installation into the room shall be specified for each hour:

- $Anteil_{\dot{Q}_{HK;kon}}$  convective contribution to total heating or cooling load
- $Anteil_{\dot{Q}_{HK;str}}$  radiant contribution to total heating or cooling load
- $Anteil_{\dot{Q}_{FHK;IW}}$  contribution from any heated or chilled surfaces ( $\dot{Q}_{FHK;IW}$ ) of one or several interior building components  $IW$  to the total heating or cooling load
- $\dot{Q}_{FHK;IW}$  is considered as a source of radiation incident on the overall interior wall  $IW$

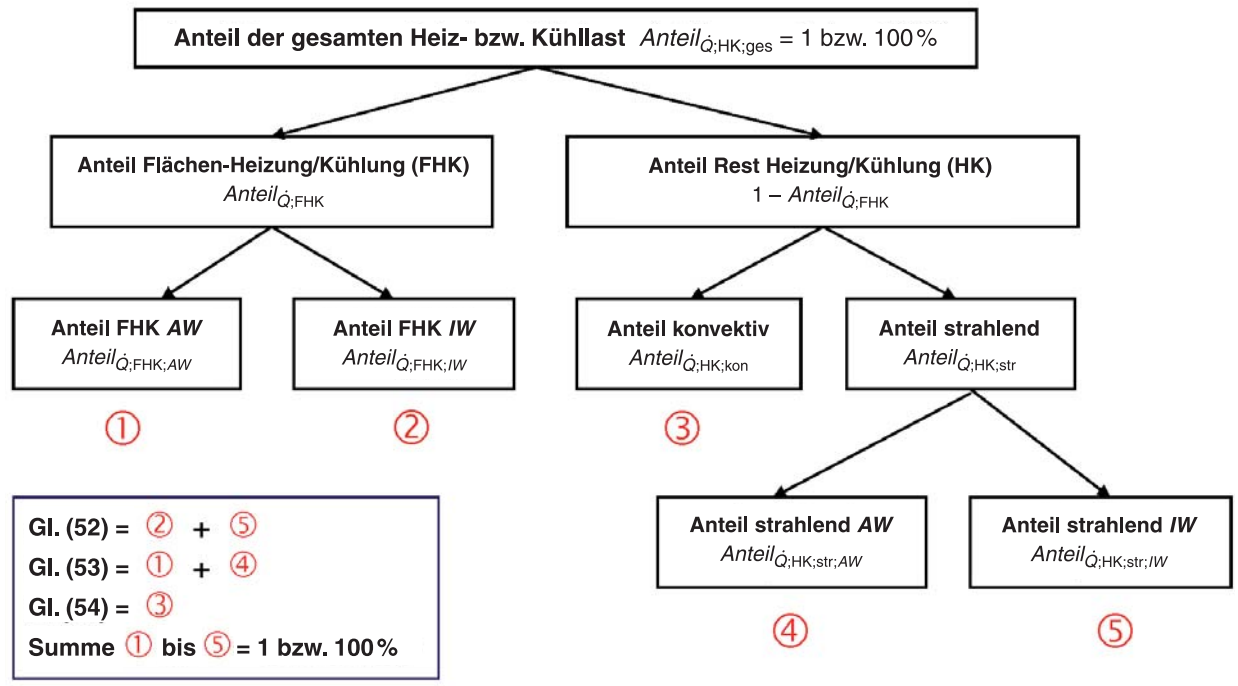


Bild 4. Anlagentechnische Aufteilung der Heiz- bzw. Kühllast

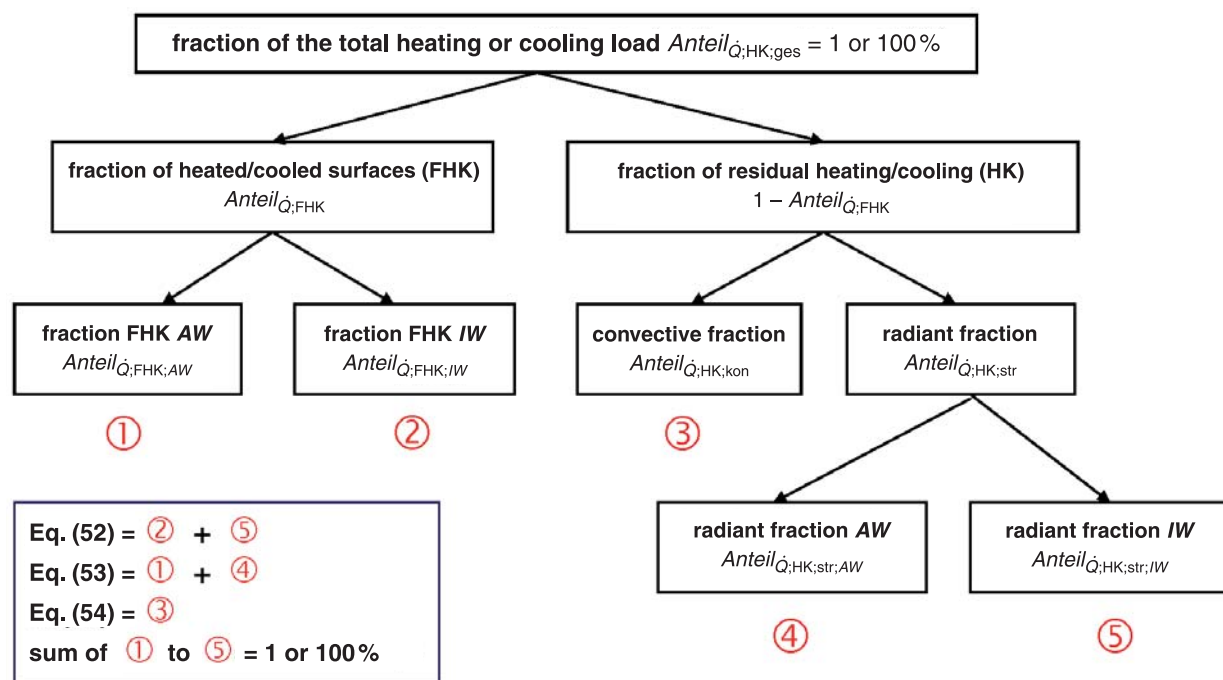


Figure 4. Separation of the system's the heating or cooling load

$\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{AW}}$  Anteil einer eventuell vorhandenen Flächenheizung bzw. -kühlung ( $\dot{Q}_{\text{FHK};\text{AW}}$ ) von einem oder mehreren Außenbauteilen AW an der gesamten Heiz- bzw. Kühllast

$\dot{Q}_{\text{FHK};\text{AW}}$  wird wie eine Strahlungsquelle auf die zusammengefasste Außenwand AW berücksichtigt

Die Aufteilung von  $\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK}}$  auf  $\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{IW}}$  und  $\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{AW}}$  ist entsprechend der jeweiligen Anlagentechnik vorzunehmen.

**Anmerkung:** Ein Innenbauteil (adiabat) sollte im Zusammenhang mit Flächenheizung bzw. -kühlung weiterhin als Innenwand IW behandelt werden.

Die Anpassung der Alpha-Werte (Konvektion) für die Flächen mit **Flächenheizung bzw. -kühlung** ist entsprechend zu beachten.

Die Summe dieser drei Anteile muss immer gleich eins sein.

Daraus werden die zur Berechnung erforderlichen drei Anteile in Gleichung (49) bis Gleichung (51) ermittelt zu:

$\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{AW}}$  contribution from any heated or chilled surfaces ( $\dot{Q}_{\text{FHK};\text{AW}}$ ) of one or several exterior building components AW to the total heating or cooling load

$\dot{Q}_{\text{FHK};\text{AW}}$  is considered as a source of radiation incident on the overall exterior wall AW

The distribution of  $\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK}}$  between  $\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{IW}}$  and  $\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{AW}}$  must be made taking into account the installation in question.

**Note:** An interior (adiabatic) building component should still be treated as an interior wall IW in the context of heated or chilled surfaces.

The adaptation of the alpha values (convection) for **heated or chilled surfaces** must be observed accordingly.

The sum of these three fractions must always equal unity.

The three fractions required in Equation (49) through Equation (51) are determined from this:

$$\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{IW}} = \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{str}} \cdot \frac{A_{\text{Raum}} - A_{\text{AW}}}{A_{\text{Raum}}} + \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{IW}} \quad (52)$$

$$\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{AW}} = \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{str}} \cdot \frac{A_{\text{AW}}}{A_{\text{Raum}}} + \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{FHK};\text{AW}} \quad (53)$$

$$\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{kon}} + \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{IW}} + \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{AW}} = 1$$

bzw.

or

$$\text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{kon}} = 1 - \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{IW}} - \text{Anteil}_{\dot{Q};\text{HK};\text{AW}} \quad (54)$$

Die thermische Wärmeabgabe (Heiz- und Kühllasten)  $\dot{Q}_{HK;ges}$  des Heizsystems und des Kühlsystems im Raum hat in der Regel eine unterschiedliche Aufteilung auf konvektiven und strahlenden Anteil. Außerdem ist in der Regel nicht gleichzeitig ein Flächenheiz- und Kühlsystem vorhanden, zumindest sind dann die Anteile unterschiedlich.

Beispielhaft seien genannt:

- Radiatorheizung (ca. 50% konvektiv und 50% strahlend) kombiniert mit Kühlung über mechanische Zuluft (100% konvektiv)
- Radiatorheizung (ca. 50% konvektiv und 50% strahlend) kombiniert mit Deckenkühlung (100% Anteil über Flächenkühlung)
- Fußbodenheizung (70%) und Heizkonvektoren unter den Fenstern (30% konvektiv), keine Kühlung
- Induktionsanlage oder Fancoil: Heizung 100% konvektiv, Kühlung 100% konvektiv

Man muss daher in der Regel trennen nach Heizen und Kühlen:

$$\begin{array}{ll} \text{Anteil } \dot{Q}_{H;kon} & \text{Anteil } \dot{Q}_{K;kon} \\ \text{Anteil } \dot{Q}_{H;str} & \text{Anteil } \dot{Q}_{K;str} \\ \text{Anteil } \dot{Q}_{FH} & \text{Anteil } \dot{Q}_{FK} \end{array}$$

Des Weiteren ist zu beachten, dass sich z.B. durch Begrenzung der Anlagenleistung eine Verschiebung der Anteile von Stunde zu Stunde ergeben kann. Die Berechnung eines Stundenwerts muss erforderlichenfalls ein zweites Mal mit angepassten Anteils-werten durchgeführt werden.

Die Aktionsgrößen sind als Stundenmittelwerte vorzugeben bzw. vorhanden. Die Reaktionsgrößen sollen dann ebenfalls als Stundenmittelwerte (Treppenfunktion) ermittelt werden.

Kürzere Zeitschritte sind möglich, jedoch nicht erforderlich. Bei Überlegungen zu dem geeigneten Zeitschritt sollte berücksichtigt werden, dass z.B. die meteorologischen Daten (Aktionsgrößen) in der Regel nur als Stundenmittelwerte, siehe z.B. in [10], vorliegen.

Die Betrachtung der Momentanwerte am Ende eines Zeitschritts liefert keine korrekte Abbildung der Last- und Temperaturverhältnisse im betrachteten Zeitraum. Auch weicht der Momentanwert zur Mitte des betrachteten Zeitschritts insbesondere bei kurzen Zeitkonstanten vom Mittelwert über den Zeitschritt ab.

Bei der analytischen Lösung der Maschen- und Knotengleichungen für das Ersatzschaltbild ist es hinderlich, dass bezüglich der Wärmeübergänge durch Konvektion und Strahlung eine sogenannte Dreieckschaltung vorliegt [4; 5].

The thermal heat release (heating and cooling loads),  $\dot{Q}_{HK;ges}$ , of the heating system and the cooling system in the room is, as a rule, apportioned varyingly to convective and radiant fractions. Also, heated and chilled surfaces do not usually co-exist, and where they do, the fractions differ.

The following are examples:

- radiator heating (approx. 50% convective and 50% radiant), combined with cooling by means of mechanical air supply (100% convective)
- radiator heating (approx. 50% convective and 50% radiant), combined with cooling by chilled ceiling (100% from chilled surface)
- floor heating (70%) and heating convectors below the windows (30% convective), no cooling
- induction air supply or fan-coil unit: 100% convective heating, 100% convective cooling

Therefore, heating and cooling must usually be treated separately:

$$\begin{array}{ll} \text{Anteil } \dot{Q}_{H;kon} & \text{Anteil } \dot{Q}_{K;kon} \\ \text{Anteil } \dot{Q}_{H;str} & \text{Anteil } \dot{Q}_{K;str} \\ \text{Anteil } \dot{Q}_{FH} & \text{Anteil } \dot{Q}_{FK} \end{array}$$

Furthermore, take into consideration that the fractions may vary from one hour to the next, owing to, e.g., limitations of the performance of the installation. If required, the hourly value shall be recalculated using adapted values of the fractions.

Active quantities shall be specified, or are available, as one-hour averages. The reactive quantities, then, shall also be determined as one-hour averages (step function).

Shorter time intervals are possible, but not required. When considering an appropriate time interval, take into account that, for instance, the meteorological data (active quantities) will, as a rule, only be available as one-hour averages, see, e.g., in [10].

Analysing the instantaneous values at the end of a time interval will not yield correct mapping of the load and temperature conditions over the time interval under consideration. Also, the instantaneous value at the centre of the time interval under consideration will deviate from the time average over the interval, particularly in the case of short time constants.

Finding an analytical solution of the loop and node equations for the equivalent circuit diagram is complicated by the fact that convective and radiant heat transmission are described in terms of a so-called delta connection [4; 5].

Mit dem in der elektrischen Schaltungstechnik üblichen Verfahren zur Transformation einer Dreieckschaltung in eine gleichwertige Sternschaltung lässt sich dieses Problem aber umgehen. Die formelmäßige Umrechnung erfolgt nach folgenden Gleichungen:

$$R_{\alpha;\text{Stern};\text{IL}} = \frac{R_{\alpha;\text{kon};\text{IW}} \cdot R_{\alpha;\text{kon};\text{AW}}}{R_{\alpha;\text{kon};\text{IW}} + R_{\alpha;\text{kon};\text{AW}} + R_{\alpha;\text{str};\text{AW}/\text{IW}}} \quad (55)$$

$$R_{\alpha;\text{Stern};\text{AW}} = \frac{R_{\alpha;\text{str};\text{AW}/\text{IW}} \cdot R_{\alpha;\text{kon};\text{AW}}}{R_{\alpha;\text{kon};\text{IW}} + R_{\alpha;\text{kon};\text{AW}} + R_{\alpha;\text{str};\text{AW}/\text{IW}}} \quad (56)$$

$$R_{\alpha;\text{Stern};\text{IW}} = \frac{R_{\alpha;\text{str};\text{AW}/\text{IW}} \cdot R_{\alpha;\text{kon};\text{IW}}}{R_{\alpha;\text{kon};\text{IW}} + R_{\alpha;\text{kon};\text{AW}} + R_{\alpha;\text{str};\text{AW}/\text{IW}}} \quad (57)$$

Für die Berechnung des Zeitgangs der Reaktionsgrößen ist es zweckmäßig, einen geeigneten Anfangszustand des thermischen Systems „Raum“ zu wählen.

Dies ist durch Einführen der Bezugstemperatur  $\vartheta_B$  möglich, mit der ein geeigneter Anfangswert, z.B. 22 °C, gewählt werden kann. Es gilt dann:

$$\Delta \vartheta_{\text{I};\text{Lu}} = \vartheta_{\text{I};\text{Lu}} - \vartheta_B \quad (58)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{A};\text{eq};\text{gew}} = \vartheta_{\text{A};\text{eq};\text{gew}} - \vartheta_B \quad (59)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{Lue}} = \vartheta_{\text{Lue}} - \vartheta_B \quad (60)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{IW}} = \vartheta_{\text{IW}} - \vartheta_B \quad (61)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{AW}} = \vartheta_{\text{AW}} - \vartheta_B \quad (62)$$

Am Beispiel der auf die Innenwand *IW* wirkenden strahlenden Wärmequelle/-senke soll prinzipiell die Vorgehensweise bei der analytischen Berechnung aufgezeigt werden.

Wie bereits in [1] sowie in [3], Gleichung (39) bis Gleichung (50) detailliert beschrieben, eignet sich zur Herleitung des Zusammenhanges zwischen  $\vartheta(t)$  und  $\dot{Q}(t)$  mit den Parametern  $R$  und  $C$  der Übergang von der mathematischen Darstellung als Zeitfunktion in die Laplace-Darstellung.

Die zeitlichen Änderungen der Aktions- und Reaktionsgrößen werden durch Treppenfunktionen (Serie von Sprungfunktionen) nachgebildet (siehe Bild 5). Als geeignetes Zeitintervall wird hier 1 h gewählt, da sich hiermit noch alle wesentlichen Zeitabläufe mit ausreichender Genauigkeit beschreiben lassen und andererseits kein unnötig großer Rechenaufwand notwendig ist (beliebige Zeitintervalle sind möglich).

Der Vorteil des Lösungswegs über die Laplace-Transformation liegt daran, dass das Integral in ein Polynom überführt und auch der Mittelwert der Reaktionsgröße für ein Zeitintervall direkt ermittelt werden kann. Nach Rücktransformation in die Zeitdarstellung erhält man dann als Antwort auf die

This problem may be circumnavigated using the technique, commonly used in electrical circuit calculations, of transforming a delta connection into an equivalent star connection. In terms of equations, the conversion is carried out as follows:

It is convenient to choose a suitable initial condition of the thermal system “room” for calculating the time curves of the reactive quantities.

This can be done by introducing the reference temperature,  $\vartheta_B$ , which allows to specify a suitable initial value, such as 22 °C. The following holds true, then:

$$\Delta \vartheta_{\text{I};\text{Lu}} = \vartheta_{\text{I};\text{Lu}} - \vartheta_B \quad (58)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{A};\text{eq};\text{gew}} = \vartheta_{\text{A};\text{eq};\text{gew}} - \vartheta_B \quad (59)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{Lue}} = \vartheta_{\text{Lue}} - \vartheta_B \quad (60)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{IW}} = \vartheta_{\text{IW}} - \vartheta_B \quad (61)$$

$$\Delta \vartheta_{\text{AW}} = \vartheta_{\text{AW}} - \vartheta_B \quad (62)$$

The basic procedure of analytical calculation will be explained below using as an example a radiant heat source/sink acting on the interior wall *IW*.

As described in detail in [1] and in [3], Equation (39) through Equation (50), the derivation of the relation between  $\vartheta(t)$  and  $\dot{Q}(t)$  using the parameters  $R$  and  $C$  can be achieved using the Laplace transform of the mathematical analysis of a time function.

The changes in time of the active and reactive quantities are modelled as step functions (series of Heaviside functions; see Figure 5). The time interval is set to 1 h, as this still allows all important time curves to be presented with sufficient accuracy without requiring an unnecessarily high calculation effort (arbitrary time intervals are possible).

It is an advantage of the Laplace transform approach that the integral is transformed into a polynomial and the average of the reactive quantity over a time interval can also be calculated directly. Transforming back to the temporal representation, one then obtains the response to the active quantity  $\dot{Q}_{\text{IL};\text{str};\text{IW}}$  for the one-

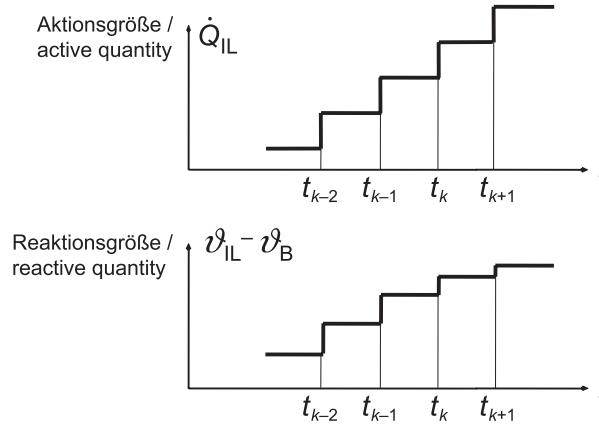


Bild 5. Prinzipielle Darstellung des Zeitgangs von zeitvariablen Aktions- und Reaktionsgrößen

Figure 5. Schematic illustration of the time curve of active and reactive quantities varying over time

Aktionsgröße  $\dot{Q}_{IL;str;IW}$  für den Stundenmittelwert der Reaktionsgröße  $\dot{Q}_{IW}[1]$ :

hour average of the reactive quantity  $\dot{Q}_{IW}[1]$ :

$$\dot{Q}_{IW}[1] = -\dot{Q}_{IL;str;IW} \cdot KO_{IW}[1;1] - VO_{IW;Anfang}[1] \quad (63)$$

Dabei ist

$KO_{IW}[1;1]$  Konstante für das Speicherverhalten, die sich aus den Kennwerten  $R$  und  $C$  der Ersatzschaltung ergibt (siehe Tabelle 1)

$VO_{IW;Anfang}[1]$  Vorgeschichte (Ladezustand der Kapazität  $C$ ) zum Anfang des betrachteten Zeitintervalls, siehe Gleichung (108) bis Gleichung (114)

where

$KO_{IW}[1;1]$  constant describing storage behaviour, resulting from the characteristic values  $R$  and  $C$  of the equivalent circuit (see Table 1)

$VO_{IW;Anfang}[1]$  initial condition (charge of capacity  $C$ ) at the beginning of the time interval under consideration, see Equation (108) through Equation (114)

Tabelle 1. Konstanten für das Speicherverhalten der Innenwand  $IW$ 

$KO_{IW}[1;1] = 1 - \frac{R_{\alpha;Stern;IW} \cdot C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})$	(64)
$KO_{IW}[1;2] = E_{IW}$	(65)
$KO_{IW}[1;3] = \frac{R_{\alpha;Stern;IW} \cdot C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})^2$	(66)
$KO_{IW}[2;1] = \frac{C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})$	(67)
$KO_{IW}[2;2] = E_{IW}$	(68)
$KO_{IW}[2;3] = \frac{C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})^2$	(69)

Für die Berücksichtigung des Speicherverhaltens der anderen Aktionsgrößen lauten die Gleichungen:

$$\dot{Q}_{IW}[2] = \Delta \vartheta_{I;Lu} \cdot KO_{IW}[2;1] - VO_{IW;Anfang}[2] \quad (70)$$

Analog gilt für die Außenwand:

Table 1. Constants describing the storage behaviour of the interior wall  $IW$ 

$KO_{IW}[1;1] = 1 - \frac{R_{\alpha;Stern;IW} \cdot C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})$	(64)
$KO_{IW}[1;2] = E_{IW}$	(65)
$KO_{IW}[1;3] = \frac{R_{\alpha;Stern;IW} \cdot C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})^2$	(66)
$KO_{IW}[2;1] = \frac{C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})$	(67)
$KO_{IW}[2;2] = E_{IW}$	(68)
$KO_{IW}[2;3] = \frac{C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})^2$	(69)

The equations describing the storage behaviour of the other active quantities are:

In analogy, for the exterior wall:

$$\dot{Q}_{AW}[1] = -\dot{Q}_{IL;str;AW} \cdot KO_{AW}[1;1] - VO_{AW;Anfang}[1] \quad (71)$$

$$\dot{Q}_{AW}[2] = \Delta \vartheta_{I;Lu} \cdot KO_{AW}[2;1] - VO_{AW;Anfang}[2] \quad (72)$$

$$\dot{Q}_{AW}[3] = \Delta \vartheta_{A;eq;gew} \cdot KO_{AW}[3;1] - VO_{AW;Anfang}[3] \quad (73)$$

Der stationäre Wärmefluss zur äquivalenten Außenlufttemperatur und zur Zulufttemperatur ermittelt sich nach:

$$\dot{Q}_{AW}[4] = \frac{\Delta \vartheta_{I;Lu} - \Delta \vartheta_{A;eq;gew}}{R_{Stern;AW}} \quad (74)$$

$$\dot{Q}_{Lue} = \frac{\vartheta_{I;Lu} - \vartheta_{Lue}}{R_{Lue}} \quad (75)$$

Dabei ist

$\vartheta_{A;eq;gew}$  gewichtete äquivalente Außentemperatur nach Gleichung (41)

$\vartheta_{Lue}$  Zulufttemperatur für Infiltration, Fensterlüftung und Raumluftechnik (gewichtet nach den Volumenströmen)

$R_{Lue}$  Wärmewiderstand für die Berücksichtigung der Zuluft (Infiltration, Fensterlüftung und Raumluftechnik)

$$R_{Lue} = 1 / (c_L \cdot \rho_L \cdot \dot{V}_L)$$

Die Konstanten  $KO$  für die Innenwand  $IW$  sind in Tabelle 1 und für die Außenwand  $AW$  in Tabelle 2 zusammengestellt.

In den Konstanten  $KO$  ist als Abkürzung die Variable  $E$  enthalten:

$$E = \exp\left(-\frac{\Delta t_x}{R \cdot C}\right) \quad (76)$$

Dabei ist

$$Z = \frac{\Delta t_x}{R \cdot C} \quad (77)$$

$$\Delta t_x = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \quad (78)$$

wobei  $R$  in  $\frac{\text{K}}{\text{W}}$  und  $C$  in  $\frac{\text{kJ}}{\text{K}}$  einzusetzen ist.

Somit gilt für  $Z$ :

$$Z = \frac{3,6}{R \cdot C} \quad (79)$$

Für die Berechnung von  $E$  ist folgende Grenzbedingung beachten:

Wenn  $Z > 170$ , dann  $E = 0$ .

Für die Innenwand  $IW$  gilt:

$$Z_{IW} = \frac{3,6}{(R_{\alpha;Stern;IW} + R_{1;IW}) \cdot C_{1;IW}} \quad (80)$$

$$E_{IW} = \exp(-Z_{IW}) \quad (81)$$

The steady-state heat flux towards the equivalent outdoor air temperature and the supply-air temperature is determined from:

$$\dot{Q}_{AW}[4] = \frac{\Delta \vartheta_{I;Lu} - \Delta \vartheta_{A;eq;gew}}{R_{Stern;AW}} \quad (74)$$

$$\dot{Q}_{Lue} = \frac{\vartheta_{I;Lu} - \vartheta_{Lue}}{R_{Lue}} \quad (75)$$

where

$\vartheta_{A;eq;gew}$  weighted equivalent outdoor temperature as per Equation (41)

$\vartheta_{Lue}$  supply air temperature for infiltration, natural ventilation through windows and air-conditioning and ventilating installations (weighted by volume flows)

$R_{Lue}$  thermal resistance taking into account supply air (infiltration, natural ventilation through windows and air-conditioning and ventilating installations)

$$R_{Lue} = 1 / (c_L \cdot \rho_L \cdot \dot{V}_L)$$

The constants  $KO$  are listed in Table 1 for the interior wall  $IW$  and in Table 2 for the exterior wall  $AW$ .

The variable  $E$  used in the constants  $KO$  is an abbreviation:

$$E = \exp\left(-\frac{\Delta t_x}{R \cdot C}\right) \quad (76)$$

where

$$Z = \frac{\Delta t_x}{R \cdot C} \quad (77)$$

$$\Delta t_x = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \quad (78)$$

where  $R$  must be inserted in  $\frac{\text{K}}{\text{W}}$  and  $C$  in  $\frac{\text{kJ}}{\text{K}}$ .

The following holds true for  $Z$ , then:

$$Z = \frac{3,6}{R \cdot C} \quad (79)$$

The following boundary condition should be observed when calculating  $E$ :

If  $Z > 170$ , then  $E = 0$ .

For the interior wall  $IW$ :

$$Z_{IW} = \frac{3,6}{(R_{\alpha;Stern;IW} + R_{1;IW}) \cdot C_{1;IW}} \quad (80)$$

$$E_{IW} = \exp(-Z_{IW}) \quad (81)$$

Tabelle 2. Konstanten für das Speicherverhalten der Außenwand AW /  
Table 2. Constants describing the storage behaviour of the exterior wall AW

$KO_{AW}[1;1] = 1 - \frac{R_{\alpha;Stern;AW}}{R_{Stern;AW}} \cdot \left[ 1 + \frac{R_{Rest;AW}}{(R_{\alpha;Stern;AW} + R_{1;AW}) \cdot Z_{1;AW}} \cdot (1 - E_{1;AW}) \right]$	(82)
$KO_{AW}[1;2] = E_{1;AW}$	(83)
$KO_{AW}[1;3] = \frac{R_{\alpha;Stern;AW}}{R_{Stern;AW}} \cdot \frac{R_{Rest;AW}}{(R_{\alpha;Stern;AW} + R_{1;AW}) \cdot Z_{1;AW}} \cdot (1 - E_{1;AW})^2$	(84)
$KO_{AW}[2;1] = \frac{1}{R_{Stern;AW}} \cdot \frac{R_{Rest;AW}}{(R_{\alpha;Stern;AW} + R_{1;AW}) \cdot Z_{1;AW}} \cdot (1 - E_{1;AW})$	(85)
$KO_{AW}[2;2] = E_{1;AW}$	(86)
$KO_{AW}[2;3] = \frac{1}{R_{Stern;AW}} \cdot \frac{R_{Rest;AW}}{(R_{\alpha;Stern;AW} + R_{1;AW}) \cdot Z_{1;AW}} \cdot (1 - E_{1;AW})^2$	(87)
$KO_{AW}[3;1] = \frac{1}{R_{Stern;AW} \cdot Z_{A;AW}} \cdot (1 - E_{A;AW})$	(88)
$KO_{AW}[3;2] = E_{A;AW}$	(89)
$KO_{AW}[3;3] = \frac{1}{R_{Stern;AW} \cdot Z_{A;AW}} \cdot (1 - E_{A;AW})^2$	(90)

Für die Außenwand AW gilt:

For the exterior wall AW:

$$Z_{A;AW} = \frac{R_{Stern;AW}}{R_{Rest;AW}} \cdot \frac{3,6}{(R_{Stern;AW} - R_{Rest;AW}) \cdot C_{1;AW}} \quad (91)$$

$$E_{A;AW} = \exp(-Z_{A;AW}) \quad (92)$$

$$Z_{A;AW} = \frac{R_{Stern;AW}}{R_{Rest;AW}} \cdot \frac{3,6}{(R_{Stern;AW} - R_{Rest;AW}) \cdot C_{1;AW}} \quad (93)$$

$$E_{A;AW} = \exp(-Z_{A;AW}) \quad (94)$$

mit

where

$$R_{Stern;AW} = R_{\alpha;Stern;AW} + R_{1;AW} + R_{Rest;AW} \quad (95)$$

Ist die Heiz- bzw. Kühllast  $\dot{Q}_{HK;ges}$  die Reaktionsgröße und die Raumlufttemperatur  $\vartheta_{1;Lu}$  Aktionsgröße, lässt sich  $\dot{Q}_{HK;ges}$  nach folgender Gleichung ermitteln:

If the heating or cooling load,  $\dot{Q}_{HK;ges}$ , is the reactive quantity and the room air temperature,  $\vartheta_{1;Lu}$ , is the active quantity,  $\dot{Q}_{HK;ges}$  can be determined using the following equation:

$$\dot{Q}_{HK;ges} = \frac{\dot{Q}_{IW}[1] + \dot{Q}_{IW}[2] + \dot{Q}_{AW}[1] + \dot{Q}_{AW}[2] + \dot{Q}_{AW}[3] + \dot{Q}_{AW}[4] + (\dot{Q}_{Lue} - \dot{Q}_{IL;kon}) \cdot F_1}{F_2} \quad (96)$$

mit

where

$$F_1 = 1 + R_{\alpha;Stern;IL} \cdot \left( \frac{1}{R_{Stern;AW}} + KO_{AW}[2;1] + KO_{IW}[2;1] \right) \quad (97)$$

$$F_2 = Anteil_{\dot{Q};HK;kon} \cdot F_1 + Anteil_{\dot{Q};HK;AW} \cdot KO_{AW}[1;1] + Anteil_{\dot{Q};HK;IW} \cdot KO_{IW}[1;1] \quad (98)$$

**Anmerkung:** Wenn der Zähler der Gleichung (96) einen positiven Wert ergibt, erhält man als Ergebnis für  $\dot{Q}_{HK;ges}$  eine Heizlast. Für diesen Fall ist der Faktor  $F_2$  in Gleichung (98) mit den konvektiven und strahlenden Anteilen für das Heizsystem zu berechnen. Ansonsten ist mit den konvektiven und strahlenden Anteilen für das Kühlsystem zu rechnen.

**Note:** If the numerator of Equation (96) has a positive value, the result for  $\dot{Q}_{HK;ges}$  is a heating load. In this case, the factor  $F_2$  in Equation (98) shall be calculated using the convective and radiant contributions for the heating system. Otherwise, perform the calculations using the convective and radiant contributions for the cooling system.

Wird dagegen im betrachteten Zeitintervall als Reaktionsgröße die Raumlufthtemperatur  $\vartheta_{I;Lu}$  gesucht, dann gilt:

If, on the other hand, the room air temperature,  $\vartheta_{I;Lu}$ , is sought as the reactive quantity in the time interval under consideration:

$$\Delta \vartheta_{I;Lu} = \frac{\dot{Q}_{HK;ges} \cdot F_2 + \frac{\Delta \vartheta_{A;eq;gew}}{R_{Stern;AW}} - F_{\dot{Q}} + \left( \frac{\Delta \vartheta_{Lue}}{R_{Lue}} + \dot{Q}_{IL;kon} \right) \cdot F_1 + F_{VO}}{F_{KO} + \frac{1}{R_{Stern;AW}} + \frac{1}{R_{Lue}} \cdot F_1} \quad (99)$$

mit

where

$$F_{KO} = KO_{AW}[2;1] + KO_{IW}[2;1] \quad (100)$$

$$F_{VO} = VO_{AW;Anfang}[2] + VO_{IW;Anfang}[2] \quad (101)$$

$$F_{\dot{Q}} = \dot{Q}_{IW}[1] + \dot{Q}_{AW}[1] + \dot{Q}_{AW}[3] \quad (102)$$

Die operative (empfundene) Temperatur ist als Mittelwert zwischen der Raumlufthtemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen definiert. Sie ermittelt sich zu:

The operative (perceived) temperature is defined as the average of room air temperature and the mean temperature of the surfaces enclosing the room. It is determined as follows:

$$\Delta \vartheta_{I;op} = \frac{1}{2} \cdot \left[ \Delta \vartheta_{I;Lu} + \frac{\Delta \vartheta_{IW} \cdot (A_{Raum} - A_{AW}) + \Delta \vartheta_{AW} \cdot A_{AW}}{A_{Raum}} \right] + \vartheta_B \quad (103)$$

mit

where

$$\Delta \vartheta_{IW} = \Delta \vartheta_{I;Lu} - \dot{Q}_{Stern;I;Lu} \cdot R_{\alpha;Stern;IL} - \dot{Q}_{IW;ges} \cdot R_{\alpha;Stern;IW} \quad (104)$$

$$\Delta \vartheta_{AW} = \Delta \vartheta_{I;Lu} - \dot{Q}_{Stern;I;Lu} \cdot R_{\alpha;Stern;IL} - (\dot{Q}_{Stern;I;Lu} - \dot{Q}_{IW;ges}) \cdot R_{\alpha;Stern;AW} \quad (105)$$

$$\dot{Q}_{Stern;I;Lu} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot Anteil_{\dot{Q};HK;kon} - \dot{Q}_{Lue} + \dot{Q}_{IL;kon} \quad (106)$$

$$\dot{Q}_{IW;ges} = \dot{Q}_{IW}[1] - \dot{Q}_{HK;IW} \cdot KO_{IW}[1;1] + \dot{Q}_{IW}[2] - \dot{Q}_{Stern;I;Lu} \cdot R_{\alpha;Stern;IL} \cdot KO_{IW}[2;1] \quad (107)$$

Abschließend ist nur noch die Vorgeschichte  $VO$  zum Ende des Betrachtungszeitintervalls zu ermitteln, die gleich ist der Vorgeschichte zu Beginn des nächsten Zeitintervalls:

Finally, determine the condition  $VO$  at the end of the time interval under consideration, which is identical to the initial condition at the beginning of the subsequent time interval:

$$VO_{Anfang}(t) = VO_{Ende}(t-1) \quad (108)$$

$$VO_{Anfang}(t) = VO_{Ende}(t-1) \quad (108)$$

$$VO_{Anfang}(t+1) = VO_{Ende}(t) \quad (109)$$

$$VO_{Anfang}(t+1) = VO_{Ende}(t) \quad (109)$$

Für die Innenwand  $IW$  gilt:

For the interior wall,  $IW$ :

$$VO_{IW;Ende}[1] = VO_{IW;Anfang}[1] \cdot KO_{IW}[1;2] + KO_{IW}[1;3] \cdot (\dot{Q}_{HK;IW} + \dot{Q}_{IL;str;IW}) \quad (110)$$

$$VO_{IW;Ende}[2] = VO_{IW;Anfang}[2] \cdot KO_{IW}[2;2] + KO_{IW}[2;3] \cdot (\Delta \vartheta_{I;Lu} - \dot{Q}_{Stern;I;Lu} \cdot R_{\alpha;Stern;IL}) \quad (111)$$

Für die Außenwand  $AW$  gilt:

For the exterior wall:

$$VO_{AW;Ende}[1] = VO_{AW;Anfang}[1] \cdot KO_{AW}[1;2] + KO_{AW}[1;3] \cdot (\dot{Q}_{HK;AW} + \dot{Q}_{IL;str;AW}) \quad (112)$$

$$VO_{AW;Ende}[2] = VO_{AW;Anfang}[2] \cdot KO_{AW}[2;2] + KO_{AW}[2;3] \cdot (\Delta \vartheta_{I;Lu} - \dot{Q}_{Stern;I;Lu} \cdot R_{\alpha;Stern;IL}) \quad (113)$$

$$VO_{AW;Ende}[3] = VO_{AW;Anfang}[3] \cdot KO_{AW}[3;2] + KO_{AW}[3;3] \cdot (\Delta \vartheta_{A;eq;gew}) \quad (114)$$

Zu Beginn der Berechnung (erstes Zeitintervall) werden zweckmäßigerweise die Vorgeschichten  $VO_{Anfang}$  zu null gesetzt.

At the starting point of the calculation (first time interval), the initial conditions  $VO_{Anfang}$  are set to zero as a matter of convenience.

**Berücksichtigung veränderlicher Wärmedurchgangskoeffizienten bei transparenten Bauteilen**

Bei Abluftfenstern ändert sich der Wärmedurchgangskoeffizient in Abhängigkeit der Betriebsweise (mit/ohne Abluft). Auch bei üblichen Fenstern tritt dieser Effekt auf, wenn ein temporärer Wärmeschutz eingesetzt wird z.B. durch das Schließen von Rollläden. Zur Berücksichtigung des Einflusses von  $\Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v}$  kann das Fenster als masseloser Wärmeübertrager angesehen werden und eine Korrektur der Wärmeströme vorgenommen werden. Der von der Temperaturdifferenz  $\vartheta_{I;Lu} - \vartheta_{A;Lu}$  und der von den Strahlungsverhältnissen auf der äußeren Oberflächen des Fensters  $\dot{Q}_{str;A;AF_v}$  abhängige Anteil wird mit  $\Delta \dot{Q}_1 = f(\Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v}, \Delta \vartheta_{I;Lu - A;eq_v})$  und der von den Strahlungsverhältnissen auf der inneren Oberflächen des Fensters  $\dot{Q}_{str;I;AF_v}$  abhängige Anteil wird mit  $\Delta \dot{Q}_2 = f(\Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v}, \dot{Q}_{str;I;AF_v})$  berücksichtigt.

Gleichung (96) und Gleichung (99) sind hierzu zu ergänzen:

**Consideration of variable thermal transmittances for transparent building components**

The thermal transmittance of exhaust-air windows changes depending on the mode of operation (with/without exhaust air). The effect is also effective in ordinary windows where a temporary heat protection is used, as is the case, e.g., with roller shutters. The influence of  $\Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v}$  can be considered by treating the window as a massless heat-transmitting building component, and correcting the heat fluxes. The contribution depending on the temperature difference,  $\vartheta_{I;Lu} - \vartheta_{A;Lu}$ , and the one depending on the radiation conditions on the exterior surfaces of the window,  $\dot{Q}_{str;A;AF_v}$ , are taken into account as  $\Delta \dot{Q}_1 = f(\Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v}, \Delta \vartheta_{I;Lu - A;eq_v})$ , the contribution depending on the radiation conditions on the interior surfaces of the window,  $\dot{Q}_{str;I;AF_v}$ , as  $\Delta \dot{Q}_2 = f(\Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v}, \dot{Q}_{str;I;AF_v})$ .

To this end, supplement Equation (96) and Equation (99):

$$\dot{Q}_{HK;ges} = \frac{\dot{Q}_{IW}[1] + \dot{Q}_{IW}[2] + \dot{Q}_{AW}[1] + \dot{Q}_{AW}[2] + \dot{Q}_{AW}[3] + \dot{Q}_{AW}[4]}{F_2} + \frac{(\dot{Q}_{Lue} - \dot{Q}_{IL;kon}) \cdot F_1 + \dot{Q}_{kor, \Delta U_{AF}}}{F_2} \quad (115)$$

$$\vartheta_{I;Lu} = \frac{\dot{Q}_{HK;ges} \cdot F_2 + \frac{\Delta \vartheta_{A;eq;gew}}{R_{Stern;AW}} - \dot{Q}_{kor\_Zähler; \Delta U_{AF}} - F_{\dot{Q}} + \left( \frac{\Delta \vartheta_{Lue}}{R_{Lue}} + \dot{Q}_{IL;kon} \right) \cdot F_1 + F_{VO}}{F_{KO} + \frac{1}{R_{Stern;AW}} + \frac{1}{R_{Lue}} \cdot F_1 + \dot{Q}_{kor\_Nenner; \Delta U_{AF}}} \quad (116)$$

mit

where

$$\dot{Q}_{kor, \Delta U_{AF}} = \dot{Q}_{kor\_Zähler; \Delta U_{AF}} + \dot{Q}_{kor\_Nenner; \Delta U_{AF}} \cdot \Delta \vartheta_{I;Lu} \quad (117)$$

$$\dot{Q}_{kor\_Zähler; \Delta U_{AF}} = \sum_{v=1}^n \Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v} \cdot \left( \frac{\dot{Q}_{IL;str;AF_v}}{\alpha_{I;AF_v} \cdot A_{AF_v}} - \Delta \vartheta_{A;eq;AF_v} \right) \quad (118)$$

$$\dot{Q}_{kor\_Nenner; \Delta U_{AF}} = \sum_{v=1}^n \Delta U_{AF_v} \cdot A_{AF_v} \quad (119)$$

$$\Delta U_{AF_v} = U_{AF_v}(t_x) - U_{AF_v}(Basis) \quad (120)$$

Dabei ist

$U_{AF_v}(t_x)$  Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters  $AF_v$  zur Stunde  $t_x$   
 $U_{AF_v}(Basis)$  Basiswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters  $AF_v$

where

$U_{AF_v}(t_x)$  thermal transmittance of the window  $AF_v$  for the hour  $t_x$   
 $U_{AF_v}(Basis)$  basic value of the thermal transmittance of the window  $AF_v$

**6.5 Berechnungsablauf (Ablaufplan)**

Der in Anhang B1 dargestellte Ablaufplan für die Berechnung stellt nur eine mögliche Variante des Berechnungsablaufs dar. Der Berechnungsablauf ist da-

**6.5 Calculation procedure (flow chart)**

The calculation flow chart given in Annex B1 illustrates but one possible variant of the calculation procedure. In this chart, the calculation procedure is ar-

rin in einem logischen Zusammenhang dargestellt. Aus diesem Grund wurde auch auf die Angabe von Gleichungsnummern im Ablaufplan verzichtet. Die Angabe von Gleichungsnummern setzt eine vollständige Übereinstimmung von Ablaufplan und Programm voraus.

## 6.6 Validierung

Eine Validierung von Programmen, die den beschriebenen Rechenkern verwenden, kann mittels der in Abschnitt 6.7 beschriebenen Testbeispiele erfolgen. Die Testbeispiele 1 bis 7 sind der Richtlinie VDI 6020 entnommen und bieten damit auch einen Vergleich zu den wichtigsten Simulationsprogrammen.

Die zusätzlichen Testbeispiele 8 bis 12 sind so gewählt, dass weitere wichtige Funktionen des Verfahrens enthalten sind. Alle Testbeispiele sind so gewählt, dass bei Erstellung eines Programms die wichtigen Algorithmen des Verfahrens getestet werden können. Dabei müssen die Berechnungsergebnisse folgende Bedingungen einhalten:

- „Raumlufttemperatur“ und „operative (empfundene) Temperatur“ im Bereich der Ergebnisse von Programm 1 und Programm 2 für die Testbeispiele  $\pm 0,1$  °C
- „Heiz- und Kühllasten“ im Bereich der Ergebnisse von Programm 1 und Programm 2 für die Testbeispiele  $\pm 1$  W

Die Testbeispiele stellen deshalb keine praktischen Anwendungsfälle dar. Die Validierung der Algorithmen für den beschriebenen Rechenkern (2-K-Modell) ist in VDI 2078 enthalten.

## 6.7 Testbeispiele

Die Testbeispiele 1 bis 7 sind der Richtlinie VDI 6020 entnommen und untersuchen Raumreaktionen auf innere Belastungen und Sollwertänderungen. Die Testbeispiele 8 bis 12 enthalten die wichtigen Funktionen des erweiterten 2-K-Modells z.B. Flächenheizung bzw. -kühlung, nicht adiabate Innenbauteile, Luftwechsel, mehrere Außenbauteile.

Variablen, die in den Eingabedaten nicht genannt werden, aber im Algorithmus enthalten sind, müssen mit null vorbelegt werden. In den Tabellen im Anhang sind diese Daten der Übersichtlichkeit halber nicht enthalten.

Der für die Beispiele zugrunde gelegte Raum ist im Bild 6 schematisch dargestellt.

Die Validierung erfolgte durch Nachrechnen mit mehreren, unabhängig voneinander, in verschiedenen Programmiersprachen erstellten Programmen. Die Ergebnisse werden für die Testbeispiele 1 bis 7 mit den Angaben in VDI 6020 für das  $n$ -Kapazitäten-

ranged in a logical order. It is for this reason that no equation numbers are given in the chart. Indicating equation numbers requires a complete agreement between the chart and the software.

## 6.6 Validation

Software programs using the calculation core described in this standard can be validated using the test examples given in Section 6.7. Test examples 1 through 7 have been copied from the standard VDI 6020 and will, therefore, also allow a comparison with the most important simulation programs.

The additional test examples 8 through 12 are chosen so as to involve further important functionalities of the method. All test examples were chosen to allow testing the vital algorithms while a software is developed. The calculation results, here, must comply with the following conditions:

- “room air temperature” and “operative (perceived) temperature” within the range of results of program 1 and program 2 for the test examples  $\pm 0,1$  °C
- “heating and cooling loads” within the range of results of program 1 and program 2 for the test examples  $\pm 1$  W

The test examples are, therefore, not practical applications. The validation of the algorithms for the calculation core described (2-c model) is included in VDI 2078.

## 6.7 Test examples

Test examples 1 through 7 have been copied from the standard VDI 6020 and investigate the response of the room to internal loads and changes in setpoints. Test examples 8 through 12 include the important functionalities of the extended 2-c model, such as heated or chilled surfaces, non-adiabatic interior building components, air change, several exterior building components.

Variables not listed as input data but used in the algorithm shall be pre-set to zero. These data have been omitted in the tables of the Annex for the sake of brevity.

The room used for the examples is shown in the schematic in Figure 6.

Validation was carried out by verifying the calculation using several programs having been programmed independently of each other in different programming languages. The results for test examples 1 through 7 are compared to the information given in VDI 6020

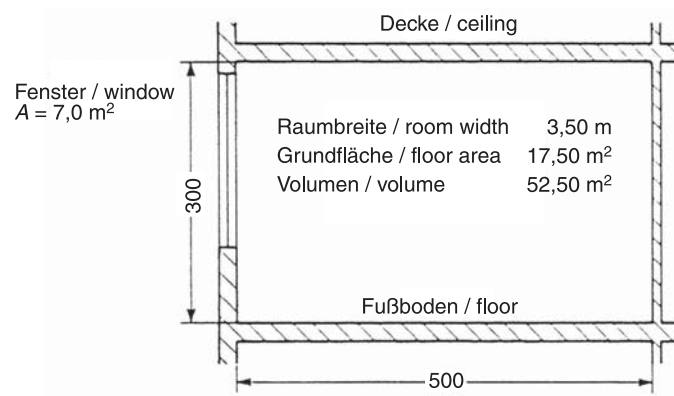


Bild 6. Skizze zur Veranschaulichung des für die Testbeispiele verwendeten Raums

**Anmerkung:** Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse sind im Gegensatz zu den in dieser Richtlinie geltenden Maßdefinitionen (Abschnitt 3) die Abmessungen der Testbeispiele der VDI 6020 beibehalten worden.

Figure 6. Schematic illustrating the room used for the test examples

**Note:** For comparability of the results, the dimensions were retained in accordance with the definitions of test examples of VDI 6020 (which deviate from the specifications in Section 3 of this standard).

Modell verglichen. Das  $n$ -K-Modell ist in VDI 6020 Basis der Validierung von Rechenverfahren zur thermischen Gebäudesimulation.

#### Allgemeine Hinweise zu den zwölf Testbeispielen

Alle Innenbauteile (FB1, FB2, DE1, DE2, IT1, IT2, IW1, IW2) der zwölf Bauteile sind adiabate Bauteile. Einzige Ausnahme bildet der Fußboden FB1 im Testbeispiel 10 (Fußboden an Keller grenzend).

Die Angaben (Eingabewerte) für den Wärmeeintrag in den Raum durch Sonneneinstrahlung über die Fenster (Verglasung) berücksichtigen bereits die Abminderung durch die Verglasung (betrifft Testbeispiele 5, 8, 9, 10 und 12). Es sind daher bereits der  $g$ -Wert der Verglasung und die  $kor_g$ -Werte für den Schrägeinfall der Einstrahlung auf die Verglasung berücksichtigt.

Die Wirkung des außen liegenden, geschlossenen Sonnenschutzes wird durch die Faktoren  $g_{tot,dir}/g$  und  $g_{tot,diff}/g$  gegeben; eine Veränderung der  $kor_g$ -Werte durch den Sonnenschutz bleibt unberücksichtigt.

Der Konvektivanteil  $a_{kon}$  des Wärmeeintrags durch Sonneneinstrahlung über die Fenster hat ohne und mit Sonnenschutz einen Wert von 0,09. Der Rahmenanteil an der Fensterfläche beträgt 0 %.

Die Berechnung des thermischen Raumverhaltens mit vorgegebenen äußeren und inneren Wärmequellen und -senken erfolgt über einen Zeitraum von 60 Tagen. Dabei sind diese Wärmequellen und -senken im Zeitgang über den Tag in allen 60 Tagen gleich.

Zum Startzeitpunkt der Berechnung (und ausreichend lange Zeit davor) sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

for the  $n$ -capacitor model. The  $n$ -c model is used in VDI 6020 as the basis for the validation of calculation techniques for thermal building simulation.

#### General notes on the twelve test examples

All interior building components (FB1, FB2, DE1, DE2, IT1, IT2, IW1, IW2) of the twelve building components are adiabatic components, the only exception being the floor FB1 in test example 10 (floor adjoining cellar).

Data (input data) for the solar heat input into the room through the windows (glazing) already take into account the absorption by the glazing (this holds for test examples 5, 8, 9, 10 and 12). This means that the  $g$  value of the glazing and the  $kor_g$  values for oblique incidence on the glazing are already accounted for.

The effect of exterior closed shading is taken into account in terms of the factors  $g_{tot,dir}/g$  and  $g_{tot,diff}/g$ ; any change in the  $kor_g$  values due to the shading is neglected.

The convective contribution  $a_{kon}$  of the solar heat input through the windows has a value of 0,09 with and without shading. The percentage of window area blocked by frame is 0 %.

The calculation of the thermal response of the room with given external and internal heat sources and sinks is carried out for a 60-day period, said heat sources and sinks having the same time curves on all 60 days.

The following boundary conditions shall be met at the starting point of the calculation (and for a sufficient time before starting):

- Außentemperatur 22 °C
- Temperatur im Nebenraum zu FB1 (Keller) 15 °C (nur im Testbeispiel 10)
- äußere und innere Wärmequellen 0 W
- Raumtemperatur stationär (Berechnungsergebnis als Folge der vorgenannten Randbedingungen)

### Testbeispiel 1

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf eine konvektive innere Wärmequelle für den Typraum S:

Keine sonstigen äußeren und inneren Wärmequellen/-senken, das heißt:

- Außentemperatur konstant 22 °C
- keine kurzwellige Einstrahlung auf die Außenwand
- keine kurzwellige Einstrahlung durch das Außenfenster
- kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung
- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A1.1 bis Diagramm A1.3

### Testbeispiel 2

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf eine strahlende innere Wärmequelle für den Typraum S:

Keine sonstigen äußeren und inneren Wärmequellen/-senken, das heißt:

- Außentemperatur konstant 22 °C
- keine kurzwellige Einstrahlung auf die Außenwand
- keine kurzwellige Einstrahlung durch das Außenfenster
- kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung
- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A2.1 bis Diagramm A2.3

### Testbeispiel 3

Berechnung der Reaktion Raum-lufttemperatur auf eine konvektive innere Wärmequelle für den Typraum L:

Keine sonstigen äußeren und inneren Wärmequellen/-senken, das heißt:

- Außentemperatur konstant 22 °C
- keine kurzwellige Einstrahlung auf die Außenwand
- keine kurzwellige Einstrahlung durch das Außenfenster
- kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung
- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A3.1 bis Diagramm A3.3

- outdoor temperature 22 °C
- temperature in the room adjacent to FB1 (cellar) 15 °C (only for test example 10)
- external and internal heat sources 0 W
- stationary room temperature (calculation result based on the aforementioned boundary conditions)

### Test example 1

Calculation of the response of the room air temperature to a convective internal heat source for a room of type S:

No further external and internal heat sources/sinks, i.e.:

- outdoor temperature constant at 22 °C
- no short-wave radiation incident on exterior wall
- no short-wave radiation through exterior window
- no long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment
- results in graphical representation, Diagram A1.1 through Diagram A1.3

### Test example 2

Calculation of the response of the room air temperature to a radiant internal heat source for a room of type S:

No further external and internal heat sources/sinks, i.e.:

- outdoor temperature constant at 22 °C
- no short-wave radiation incident on exterior wall
- no short-wave radiation through exterior window
- no long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment
- results in graphical representation, Diagram A2.1 through Diagram A2.3

### Test example 3

Calculation of the response of the room air temperature to a convective internal heat source for a room of type L:

No further external and internal heat sources/sinks, i.e.:

- outdoor temperature constant at 22 °C
- no short-wave radiation incident on exterior wall
- no short-wave radiation through exterior window
- no long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment
- results in graphical representation, Diagram A3.1 through Diagram A3.3

**Testbeispiel 4**

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf eine strahlende innere Wärmequelle für den Typraum L:

Keine sonstigen äußeren und inneren Wärmequellen/-senken, das heißt:

- Außentemperatur konstant 22 °C
- keine kurzwellige Einstrahlung auf die Außenwand
- keine kurzwellige Einstrahlung durch das Außenfenster
- kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung
- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A4.1 bis Diagramm A4.3

**Testbeispiel 5**

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf gemischte innere und äußere Wärmequellen/-senken für den Typraum S:

- Außentemperatur im Tagesgang vorgegeben
- kurzwellige Einstrahlung durch das Außenfenster
- Grenzwert der globalen Sonnenstrahlung, bei dem der Sonnenschutz geschlossen wird:  $> 100 \text{ W/m}^2$
- weitere Randbedingungen:
  - keine kurzwellige Einstrahlung auf die Außenwand
  - kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung
- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A5.1 bis Diagramm A5.3

**Anmerkung:** Die Außentemperaturen für dieses Testbeispiel sind in VDI 6020 aus Ablesungen zu bestimmten Uhrzeiten ermittelt und sind deshalb in Tabelle A5.3 auf Stundenmittelwerte umgerechnet.

**Testbeispiel 6**

Lastberechnung bei Einhaltung der Sollwerte der Raumtemperatur und Vorgabe eines Sollwertsprungs für den Typraum S:

Aufbauend auf Testbeispiel 2 (strahlende innere Wärmequelle):

Keine sonstigen äußeren und inneren Wärmequellen/-senken, das heißt:

- Außentemperatur konstant 22 °C
- keine kurzwellige Einstrahlung auf die Außenwand
- keine kurzwellige Einstrahlung durch das Außenfenster
- kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung
- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A6.1 bis Diagramm A6.3

**Test example 4**

Calculation of the response of the room air temperature to a radiant internal heat source for a room of type L:

No further external and internal heat sources/sinks, i.e.:

- outdoor temperature constant at 22 °C
- no short-wave radiation incident on exterior wall
- no short-wave radiation through exterior window
- no long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment
- results in graphical representation, Diagram A4.1 through Diagram A4.3

**Test example 5**

Calculation of the response of the room air temperature to various internal and external heat sources/sinks for a room of type S:

- outdoor temperature over the day specified
- short-wave radiation through exterior window
- limit of global solar radiation for shading to be closed:  $> 100 \text{ W/m}^2$
- further boundary conditions:
  - no short-wave radiation incident on exterior wall
  - no long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment
- results in graphical representation, Diagram A5.1 through Diagram A5.3

**Note:** The outdoor temperatures for this test example, were determined in VDI 6020 as readouts at specified times and have therefore been converted to one-hour averages in Table A5.3.

**Test example 6**

Load calculation assuming compliance with the set-points of the room temperature and specification of a sudden setpoint change for a room of type S:

Based on test example 2 (radiant internal heat source):

No further external and internal heat sources/sinks, i.e.:

- outdoor temperature constant at 22 °C
- no short-wave radiation incident on exterior wall
- no short-wave radiation through exterior window
- no long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment
- results in graphical representation, Diagram A6.1 through Diagram A6.3

**Testbeispiel 7**

Lastberechnung bei Einhaltung der Sollwerte und der Raumtemperatur und Vorgabe eines Sollwertsprungs für den Typraum S:

Wie Testbeispiel 6, jedoch mit begrenzter Ausleistungsleistung für Heizen und Kühlen

- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A7.1 bis Diagramm A7.6

**Testbeispiel 8**

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf gemischte innere und äußere Wärmequellen/-senken für den Typraum S:

Aufbauend auf Testbeispiel 5

Modifikation des Testbeispiels 5:

- zweite Außenfassade nach West (Außenwand und Außenfenster)
- entsprechend verkleinerte Fläche der Innenwand
- kurzwellige Einstrahlung auf die beiden Außenwände

$$a_{AW1;kw} = 0,70$$

- weitere Randbedingungen:
  - Außentemperatur im Tagesgang vorgegeben
  - kurzwellige Einstrahlung durch die beiden Außenfenster
  - Grenzwert der globalen Sonnenstrahlung, bei dem der Sonnenschutz geschlossen wird:  $>100 \text{ W/m}^2$
  - kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung
- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A8.1 bis Diagramm A8.3

**Testbeispiel 9**

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf gemischte innere und äußere Wärmequellen/-senken für den Typraum S:

Wie Testbeispiel 8, jedoch wird zusätzlich ein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Außenwand, Fenster und Umgebung berücksichtigt (für beide Außenflächen).

$$\varepsilon_{AW1;lw} = 0,90$$

$$\varepsilon_{AF1;lw} = 0,90$$

Zu beachten ist, dass bei vorgezogenem äußerem Sonnenschutz kein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Fensterfläche und Umgebung stattfindet (siehe VDI 6007 Blatt 3).

- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A9.1 bis Diagramm A9.3

**Test example 7**

Load calculation assuming compliance with the set-points and the room temperature and specification of a sudden setpoint change for a room of type S:

As in test example 6, but with limited design power output for heating and cooling

- results in graphical representation, Diagram A7.1 through Diagram A7.6

**Test example 8**

Calculation of the response of the room air temperature to various internal and external heat sources/sinks for a room of type S:

Based on test example 5

Modification of test example 5:

- additional exterior façade facing west (exterior wall and exterior window)
- interior wall surface area reduced accordingly
- short-wave radiation incident on both exterior walls

$$a_{AW1;kw} = 0,70$$

- further boundary conditions:
  - outdoor temperature over the day specified
  - short-wave radiation through both exterior windows
  - limit of global solar radiation for shading to be closed:  $>100 \text{ W/m}^2$
  - no long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment
- results in graphical representation, Diagram A8.1 through Diagram A8.3

**Test example 9**

Calculation of the response of the room air temperature to various internal and external heat sources/sinks for a room of type S:

As in test example 8, but taking into account additional long-wave radiation exchange between exterior wall, window and environment (for both exterior surfaces).

$$\varepsilon_{AW1;lw} = 0,90$$

$$\varepsilon_{AF1;lw} = 0,90$$

Mind that no long-wave radiation exchange between window area and environment will take place in the case of protruding exterior shading (see VDI 6007 Part 3).

- results in graphical representation, Diagram A9.1 through Diagram A9.3

**Testbeispiel 10**

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf gemischte innere und äußere Wärmequellen/-senken für den Typraum S:

Wie Testbeispiel 5, jedoch ist der Fußboden FB1 eine nicht adiabate Innenfläche (Nebenraum ist ein Keller mit vorgegebener Temperatur)

- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A10.1 bis Diagramm A10.3

**Testbeispiel 11**

Lastberechnung bei Einhaltung der Sollwerte und der Raumtemperatur und Vorgabe eines Sollwertsprungs für den Typraum S:

Wie Testbeispiel 7 mit begrenzter Auslegungsleistung für Heizen und Kühlen, jedoch erfolgt die Kühl-lastabfuhr nicht konvektiv, sondern durch eine aufgetupzte Kühldecke.

Zu beachten ist, dass sich dadurch der Wärmeübergangskoeffizient der Decke DE1 ändert.

- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A11.1 bis Diagramm A11.6

**Testbeispiel 12**

Berechnung der Reaktion Raumlufthtemperatur auf gemischte innere und äußere Wärmequellen/-senken für den Typraum S:

Wie Testbeispiel 5, jedoch wird sowohl tagsüber als auch nachts der Raum mit Außenluft (mit Außenlufttemperatur) mit vorgegebenem Volumenstromzeitgang gelüftet.

Kein zusätzlicher Wärmeeintrag mit der Fensterlüftung bei geschlossenem außen liegendem Sonnenschutz, das heißt entsprechend VDI 6007 Blatt 3:

Für  $c \cdot \rho$  der Luft ist ein Wert von  $1,1953 \text{ Jkg/m}^3$  anzusetzen.

- Ergebnisse in grafischer Form, Diagramm A12.1 bis Diagramm A12.3

**6.8 Hinweis für die Programmierung**

Die Division durch 0 ist zu vermeiden; das hat im weitesten Sinne zu geschehen. Wenn beispielsweise kein adiabates Bauteil vorhanden und folglich die Fläche der zusammengefassten  $IW$  gleich null ist, muss eine Divisionen mit dieser Variablen in geeigneter Weise ausgeschlossen werden. Das gilt entsprechend für nicht vorhandene nicht adiabate Bauteile. Im folgenden beispielhaften Programmcode wird auf so einen Fall reagiert:

Wenn  $A_{AW} > 0$

$$R_{\alpha, \text{str}; AW} = 1/(\alpha_{\text{str}} \cdot A_{AW})$$

**Test example 10**

Calculation of the response of the room air temperature to various internal and external heat sources/sinks for a room of type S:

As in test example 5, but with the floor FB1 being a non-adiabatic interior surface (adjacent to a cellar with specified temperature)

- results in graphical representation, Diagram A10.1 through Diagram A10.3

**Test example 11**

Load calculation assuming compliance with the set-points and the room temperature and specification of a sudden setpoint change for a room of type S:

As in test example 7 with limited design heating and cooling power output; removal of cooling load, however, not being convective, but via an exposed chilled ceiling.

Mind that this changes the heat transfer coefficient of ceiling DE1.

- results in graphical representation, Diagram A11.1 through Diagram A11.6

**Test example 12**

Calculation of the response of the room air temperature to various internal and external heat sources/sinks for a room of type S:

As in test example 5, but with the room being ventilated with outdoor air (having outdoor temperature) both during the day and at night, the volume flow over time being specified.

No additional heat input by window ventilation in the case of closed exterior shading, i.e., as per VDI 6007 Part 3:

For  $c \cdot \rho$  of air, a value of  $1,1953 \text{ Jkg/m}^3$  shall be assumed.

- results in graphical representation, Diagram A12.1 through Diagram A12.3

**6.8 Programming note**

Division by zero should be avoided, and this has to happen across the board. If, for example, there is no adiabatic building component and consequently the area of the combined  $IW$  vanishes, division by these variables must be excluded in some suitable way. This applies correspondingly when no non-adiabatic building components are present. In the following example, the program code deals with such a case:

If  $A_{AW} > 0$

$$R_{\alpha, \text{str}; AW} = 1/(\alpha_{\text{str}} \cdot A_{AW})$$

sonst

$$R_{\alpha, \text{str}; AW} = 10^{12}$$

In obigen Beispiel wird die Division durch null verhindert und die Widerstandswerte  $R_{\alpha, \text{str}; AW}$  und  $R_{\alpha, AW}$  für diese „nicht vorhandene“  $AW$  mit dem Wert  $\infty$  bzw.  $10^{12}$  belegt.

Weiteres Beispiel: Für einen Raum, der keine  $AW$  enthält, ist die Matrix  $KO_{AW}(n, j)$  mit  $10^{12}$  (statt 0) zu belegen.

otherwise

$$R_{\alpha, \text{str}; AW} = 10^{12}$$

In this example, division by zero is prevented and the resistances  $R_{\alpha, \text{str}; AW}$  and  $R_{\alpha, AW}$  for this “not present”  $AW$  are filled with  $\infty$  or  $10^{12}$ .

Another example: for a room containing no  $AW$ , the matrix  $KO_{AW}(n, j)$  should be filled with  $10^{12}$  (instead of 0).

## Anhang A Testbeispiele und Diagramme

### A1 Testbeispiele

#### Anwendungshinweise

##### Zeitprofile Nutzung

Zeitprofile für die Gebäudenutzung werden in Übereinstimmung mit der Richtlinie VDI 6020 in *Uhrzeit* (Uhrzeitbereich, z.B. 6 bis 7 Uhr) angegeben.

##### Zeitprofile Ergebnis

Die Ausgabe der Berechnungsergebnisse erfolgt jeweils als Mittelwert für die betrachtete Stunde. Die Ausgabe ist deshalb mit *n*-te Stunde zu bezeichnen. Dabei ist der Ausgabe von z.B. „11. Stunde“ der Ausgabe „10:00 bis 11:00 Uhr“ gleichwertig.

##### Zeitprofile Wetterdaten

Die Außenklimadaten sind als Stundenmittelwerte für die *n*-te Stunde anzugeben. Bei den Strahlungswerten und Außentemperaturen der Testreferenzjahre handelt es sich bereits um Stundenmittelwerte.

**Anmerkung 1:** Die Tabellen der Eingabewerte und Ergebnisse aller Testbeispiele befinden sich als MS-Excel®-Arbeitsmappen auch auf dem beiliegenden Datenträger. Darüber hinaus sind dort eine Musterdatei sowie Hinweise für die Validierung erstellter Software gespeichert.

**Anmerkung 2:** Die folgende Liste betrifft ausschließlich die englische Sprachfassung der Richtlinie.

## Annex A Test examples and diagrams

### A1 Test examples

#### Guidance on application

##### Time profiles of use

In accordance with the standard VDI 6020, the time profiles of building use are given in terms of *time of day* (time of day period, e.g., 6 to 7 h).

##### Time profiles of results

The calculation results are output in terms of averages over the hour in question. The output shall, therefore, be denoted as the *n*-th hour. In this notation, the output “11<sup>th</sup> hour” denotes the hour between “10:00 a.m. and 11:00 a.m.”.

##### Time profiles of meteorological data

Outdoor meteorological conditions are to be given in terms of one-hour averages for the *n*-th hour. The radiation values and outdoor temperatures of the test reference years are *per se* one-hour averages.

**Note 1:** The enclosed data carrier contains the tables of the input data and the results of all test examples in form of MS Excel® spreadsheets. Additionally it includes a sample file and information on validating developed software.

**Note 2:** In order to reduce the printing cost by avoiding the duplication of the tables, a key for the table entries is given here.

German	English
Bauteildaten für Typraum S	building-component data for type room S
Bauteilkennung	component
Fläche	area
Schicht	layer no.
Material	material
Dicke	thickness
Wärmeleitfähigkeit lambda	thermal conductivity lambda
Dichte rho	density rho
Wärmespeicherfähigkeit c	thermal storage capacity c
U-Wert	U value
Neigung	inclination
Orientierung	orientation
PVC-Belag	PVC flooring
Estrich	screed
Steinwolle	rock wool
Beton	concrete
Buche	beechwood
Hohlblocksteine	hollow blocks
Fenster	window
Dämmung	insulation
Fassadenplatte	façade panel
Gebäudenutzung in Zeitprofilen	building use in terms of time profiles
Uhrzeit	time
Personen	persons
Beleuchtung	lighting

German	English
Maschinen	machines
Sonstiges	other
Nebenraum FB	adjacent room FB
temperierte Zuluft	temp.-controlled supply air
Außenluft	outdoor air
Raumluft	room air
thermische Kenndaten der Anlage	thermal characteristics of installation
Wärmeabgabe	heat release
Konv_Anteil	conv. fraction
Soll-Temp.	temp. setpoint
Wetterdaten und Berechnungsergebnisse nach VDI 6007	meteorological data and calculation results in accordance with VDI 6007
Stunde	hour
Wetterdaten	meteorological data
Außenwand Süd	ext. wall, south
Außenwand West	ext. wall, west
Fenster Süd (im Raum)	window, south (in room)
Fenster West (im Raum)	window, west (in room)
Ergebnisse 1. Tag, Programm 1	results 1 <sup>st</sup> day, program 1
Ergebnisse 1. Tag, Programm 2	results 1 <sup>st</sup> day, program 2
Ergebnisse 10. Tag, Programm 1	results 10 <sup>th</sup> day, program 1
Ergebnisse 10. Tag, Programm 2	results 10 <sup>th</sup> day, program 2
Ergebnisse 60. Tag, Programm 1	results 60 <sup>th</sup> day, program 1
Ergebnisse 60. Tag, Programm 2	results 60 <sup>th</sup> day, program 2
Ergebnisse VDI 6020	results VDI 6020
Lufttemp.	air temp.
Empfundene Temp.	perceived temp.
Heiz-/Kühllast	heat/cool. load
1. Tag	1 <sup>st</sup> day
10. Tag	10 <sup>th</sup> day
60. Tag	60 <sup>th</sup> day
Luft	air
Metaldecke	metal cover
Tischlerplatte	coreboard
Porenbeton	cellular concrete
Brettschalung	boarding

## Tabelle A1.1 / Table A1.1

Tabelle A1.2 / Table A1.2Tabelle A1.3 / Table A1.3Benutzername: ip\_user\_b5229c21-257f-4bfe-acd1-941c41a0b266

[illegible]

## Tabelle A2.1 / Table A2.1

Tabelle A2.2 / Table A2.2Tabelle A2.3 / Table A2.3Benutzername: ip user b5229c21-257f-4bfe-acd1-941c41a0b266

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1												Ergebnisse 10. Tag, Programm 2				Ergebnisse 60. Tag, Programm 1				Ergebnisse 60. Tag, Programm 2				Ergebnisse VDI 6020					
Lufttemp.		Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.		Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.		Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.		Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.		Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	1.Tag		10.Tag	1.Tag		10.Tag	60.Tag			
in °C	in °C		in W	in °C	in °C		in W	in °C	in °C		in W	in °C	in °C		in W	in °C	in °C		in W	in °C	in °C		in W	in °C	in °C		in W		
37,7	37,8	0		37,7	37,8	0		50,0	50,1	0		50,0	50,1	0		22,0	37,3	49,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37,7	37,7	0		37,7	37,7	0		49,9	50,0	0		49,9	50,0	0		22,0	37,2	50,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37,6	37,6	0		37,6	37,6	0		49,8	49,8	0		49,8	49,8	0		22,0	37,1	49,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37,5	37,6	0		37,5	37,6	0		49,7	49,7	0		49,7	49,7	0		22,0	37,1	49,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37,5	37,5	0		37,5	37,5	0		49,6	49,6	0		49,6	49,6	0		22,0	37,0	49,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37,4	37,5	0		37,4	37,5	0		49,5	49,5	0		49,5	49,5	0		22,0	36,9	49,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,0	38,0	0		38,0	38,0	0		50,0	50,1	0		50,0	50,1	0		22,8	37,7	49,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,2	38,2	0		38,2	38,2	0		50,1	50,2	0		50,1	50,2	0		23,1	37,9	50,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,3	38,3	0		38,3	38,3	0		50,3	50,3	0		50,3	50,3	0		23,3	38,1	50,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,5	38,5	0		38,5	38,5	0		50,3	50,4	0		50,3	50,4	0		23,5	38,2	50,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,6	38,7	0		38,6	38,7	0		50,5	50,5	0		50,5	50,5	0		23,7	38,4	50,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,8	38,8	0		38,8	38,8	0		50,6	50,6	0		50,6	50,6	0		24,0	38,6	50,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,9	39,0	0		38,9	39,0	0		50,7	50,7	0		50,7	50,7	0		24,2	38,7	50,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,1	39,1	0		39,1	39,1	0		50,8	50,8	0		50,8	50,8	0		24,4	38,9	50,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,2	39,3	0		39,2	39,3	0		50,9	50,9	0		50,9	50,9	0		24,6	39,0	50,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,4	39,4	0		39,4	39,4	0		51,0	51,1	0		51,0	51,1	0		24,8	39,2	50,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,5	39,6	0		39,5	39,6	0		51,1	51,2	0		51,1	51,2	0		25,0	39,3	51,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,7	39,7	0		39,7	39,7	0		51,2	51,3	0		51,2	51,3	0		25,2	39,5	51,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,2	39,2	0		39,2	39,2	0		50,7	50,7	0		50,7	50,7	0		24,6	38,8	50,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,1	39,2	0		39,1	39,2	0		50,6	50,6	0		50,6	50,6	0		24,5	38,7	50,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,1	39,1	0		39,1	39,1	0		50,4	50,4	0		50,4	50,5	0		24,5	38,6	50,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39,0	39,0	0		39,0	39,0	0		50,3	50,4	0		50,3	50,4	0		24,5	38,5	50,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,9	39,0	0		38,9	39,0	0		50,2	50,3	0		50,2	50,3	0		24,5	38,5	49,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38,9	38,9	0		38,9	38,9	0		50,1	50,2	0		50,1	50,2	0		24,4	38,4	49,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

## Tabelle A3.1 / Table A3.1

Tabelle A.3.1	Bauteildaten für		

Tabelle A.3.1	Bauteildaten für		

Tabelle A.3.2	Geb
---------------	-----

Tabelle A.3.2	Geb
---------------	-----

Tabelle A.3.3		Wetterdaten und Berechnungen
		Wetterdaten

Tabelle A.3.3		Wetterdaten und Berechnungen
		Wetterdaten

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1				Ergebnisse 10. Tag, Programm 2				Ergebnisse 60. Tag, Programm 1				Ergebnisse 60. Tag, Programm 2				Ergebnisse VDI 6020					
Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast		Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast		Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast		Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast		Lufttemp.	Lufttemp.	Lufttemp.	Heiz-/Kühllast	Heiz-/Kühllast	Heiz-/Kühllast
in °C	in °C	in W		in °C	in °C	in W		in °C	in °C	in W		in °C	in °C	in W		in °C	in °C	in °C	in W	in W	in W
43,7	43,7	0		43,7	43,7	0		48,7	48,8	0		48,7	48,8	0		22,0	44,0	49,6	0	0	0
43,5	43,6	0		43,5	43,6	0		48,5	48,6	0		48,5	48,6	0		22,0	43,7	49,3	0	0	0
43,4	43,4	0		43,4	43,4	0		48,3	48,4	0		48,3	48,4	0		22,0	43,5	48,9	0	0	0
43,2	43,2	0		43,2	43,2	0		48,1	48,1	0		48,1	48,1	0		22,0	43,2	48,7	0	0	0
43,0	43,1	0		43,0	43,1	0		47,9	47,9	0		47,9	47,9	0		22,0	43,0	48,4	0	0	0
42,9	42,9	0		42,9	42,9	0		47,7	47,7	0		47,7	47,7	0		22,0	42,7	48,1	0	0	0
50,9	48,4	0		50,9	48,4	0		55,7	53,2	0		55,7	53,2	0		28,1	48,7	54,0	0	0	0
51,3	48,8	0		51,3	48,8	0		56,0	53,6	0		56,0	53,6	0		28,9	49,2	54,5	0	0	0
51,6	49,1	0		51,6	49,1	0		56,3	53,8	0		56,3	53,8	0		29,6	49,7	55,0	0	0	0
51,8	49,3	0		51,8	49,3	0		56,5	54,0	0		56,5	54,0	0		30,2	50,2	55,4	0	0	0
52,1	49,6	0		52,1	49,6	0		56,7	54,2	0		56,7	54,2	0		30,8	50,6	55,8	0	0	0
52,3	49,8	0		52,3	49,8	0		56,9	54,4	0		56,9	54,4	0		31,4	51,0	56,1	0	0	0
52,5	50,1	0		52,5	50,1	0		57,1	54,6	0		57,1	54,6	0		32,0	51,4	56,5	0	0	0
52,8	50,3	0		52,8	50,3	0		57,3	54,8	0		57,3	54,8	0		32,5	51,7	56,8	0	0	0
53,0	50,5	0		53,0	50,5	0		57,5	55,0	0		57,5	55,0	0		33,0	52,1	57,1	0	0	0
53,3	50,8	0		53,3	50,8	0		57,7	55,2	0		57,7	55,2	0		33,5	52,4	57,4	0	0	0
53,5	51,0	0		53,5	51,0	0		57,9	55,4	0		57,9	55,4	0		34,0	52,7	57,7	0	0	0
53,7	51,2	0		53,7	51,2	0		58,1	55,6	0		58,1	55,6	0		34,4	53,0	58,0	0	0	0
45,8	45,8	0		45,8	45,8	0		50,1	50,2	0		50,1	50,2	0		28,7	47,2	52,1	0	0	0
45,4	45,5	0		45,4	45,5	0		49,8	49,8	0		49,8	49,8	0		28,4	46,7	51,6	0	0	0
45,3	45,3	0		45,3	45,3	0		49,5	49,6	0		49,5	49,6	0		28,1	46,3	51,1	0	0	0
44,1	45,1	0		44,1	45,1	0		49,3	49,3	0		49,3	49,3	0		27,9	45,9	50,7	0	0	0
44,9	45,0	0		44,9	45,0	0		49,1	49,2	0		49,1	49,2	0		27,6	45,5	50,3	0	0	0
44,7	44,8	0		44,7	44,8	0		48,9	49,0	0		48,9	49,0	0		27,4	45,2	49,9	0	0	0

## Tabelle A4.1 / Table A4.1

Tabelle A4.2 / Table A4.2

	Personen		Beleuchtung		Maschinen		Sonstiges		Nebenraum FB	Außenluft	Raumluft
Uhrzeit	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Temp_NR	Vol_ZL_AL	Soll-Temp.
	in W	in %	in W	in %	in W	in %	in W	in %	in °C	in m³/h	in °C
0 bis 1					0	0				0	22
1 bis 2					0	0				0	22
2 bis 3					0	0				0	22
3 bis 4					0	0				0	22
4 bis 5					0	0				0	22
5 bis 6					0	0				0	22
6 bis 7					1000	0				0	22
7 bis 8					1000	0				0	22
8 bis 9					1000	0				0	22
9 bis 10					1000	0				0	22
10 bis 11					1000	0				0	22
11 bis 12					1000	0				0	22
12 bis 13					1000	0				0	22
13 bis 14					1000	0				0	22
14 bis 15					1000	0				0	22
15 bis 16					1000	0				0	22
16 bis 17					1000	0				0	22
17 bis 18					1000	0				0	22
18 bis 19					0	0				0	22
19 bis 20					0	0				0	22
20 bis 21					0	0				0	22
21 bis 22					0	0				0	22
22 bis 23					0	0				0	22
23 bis 24					0	0				0	22

Stunde	Wetterdaten										Außenwand Süd		Außenwand West		Fenster Süd (im Raum)		Fenster West (im Raum)		Ergebnisse 1. Tag, Programm 1			Ergebnisse 1. Tag, Programm 2		
	Temp. AL	l hw aus	l atm geg	l ges	l diff	l ges	l diff	l ges	l diff	l ges	l diff	l ges	l diff	l ges	l diff	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast			
	in °C	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in W/m²	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W			
1.	22,0															22,0	22,0	0	22,0	22,0	0			
2.	22,0															22,0	22,0	0	22,0	22,0	0			
3.	22,0															22,0	22,0	0	22,0	22,0	0			
4.	22,0															22,0	22,0	0	22,0	22,0	0			
5.	22,0															22,0	22,0	0	22,0	22,0	0			
6.	22,0															22,0	22,0	0	22,0	22,0	0			
7.	22,0															25,1	25,1	0	25,1	25,1	0			
8.	22,0															25,7	25,7	0	25,7	25,7	0			
9.	22,0															26,1	26,1	0	26,1	26,1	0			
10.	22,0															26,5	26,5	0	26,5	26,5	0			
11.	22,0															26,9	26,9	0	26,9	26,9	0			
12.	22,0															27,3	27,3	0	27,3	27,3	0			
13.	22,0															27,7	27,7	0	27,7	27,7	0			
14.	22,0															28,1	28,1	0	28,1	28,1	0			
15.	22,0															28,5	28,5	0	28,5	28,5	0			
16.	22,0															28,9	28,9	0	28,9	28,9	0			
17.	22,0															29,3	29,3	0	29,3	29,3	0			
18.	22,0															29,7	29,7	0	29,7	29,7	0			
19.	22,0															26,9	26,9	0	26,9	26,9	0			
20.	22,0															26,7	26,8	0	26,7	26,8	0			
21.	22,0															26,7	26,7	0	26,7	26,7	0			
22.	22,0															26,7	26,7	0	26,7	26,7	0			
23.	22,0															26,6	26,6	0	26,6	26,6	0			
24.	22,0															26,6	26,6	0	26,6	26,6	0			

												Ergebnisse VDI 6020																	
Ergebnisse 10. Tag, Programm 1				Ergebnisse 10. Tag, Programm 2				Ergebnisse 60. Tag, Programm 1				Ergebnisse 60. Tag, Programm 2				1.Tag		10.Tag		60.Tag		1.Tag		10.Tag		60.Tag			
Lufttemp.		Empf.Temp.		Heiz-/Kühllast		Lufttemp.		Empf.Temp.		Heiz-/Kühllast		Lufttemp.		Empf.Temp.		Heiz-/Kühllast		Lufttemp.		Empf.Temp.		Heiz-/Kühllast		Lufttemp.		Empf.Temp.		Heiz-/Kühllast	
in °C		in °C		in W		in °C		in °C		in W		in °C		in °C		in W		in °C		in °C		in W		in °C		in °C		in W	
43,8	43,9	0		43,8	43,9	0	48,8	48,9	0	48,8	48,9	0	22,0	43,6	49,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43,6	43,7	0		43,6	43,7	0	48,6	48,7	0	48,6	48,7	0	22,0	43,4	48,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43,5	43,5	0		43,5	43,5	0	48,4	48,4	0	48,4	48,5	0	22,0	43,1	48,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43,3	43,4	0		43,3	43,4	0	48,2	48,3	0	48,2	48,3	0	22,0	42,9	48,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43,1	43,2	0		43,1	43,2	0	48,0	48,1	0	48,0	48,1	0	22,0	42,7	48,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43,0	43,0	0		43,0	43,0	0	47,8	47,9	0	47,8	47,9	0	22,0	42,5	47,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45,9	46,0	0		45,9	46,0	0	50,7	50,8	0	50,7	50,8	0	23,7	44,0	49,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46,3	46,4	0		46,3	46,4	0	51,1	51,1	0	51,1	51,1	0	24,4	44,5	49,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46,6	46,6	0		46,6	46,6	0	51,3	51,4	0	51,3	51,4	0	25,0	45,0	50,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46,8	46,9	0		46,8	46,9	0	51,5	51,6	0	51,5	51,6	0	25,6	45,4	50,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47,1	47,1	0		47,1	47,1	0	51,7	51,8	0	51,7	51,8	0	26,2	45,7	50,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47,3	47,4	0		47,3	47,4	0	51,9	52,0	0	51,9	52,0	0	26,7	46,1	51,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47,6	47,6	0		47,6	47,6	0	52,1	52,2	0	52,1	52,2	0	27,2	46,4	51,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47,8	47,9	0		47,8	47,9	0	52,4	52,4	0	52,4	52,4	0	27,7	46,8	51,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48,1	48,1	0		48,1	48,1	0	52,6	52,6	0	52,6	52,6	0	28,2	47,1	52,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48,3	48,3	0		48,3	48,3	0	52,8	52,8	0	52,8	52,8	0	28,6	47,4	52,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48,5	48,6	0		48,5	48,6	0	53,0	53,0	0	53,0	53,0	0	29,1	47,7	52,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48,8	48,8	0		48,8	48,8	0	53,2	53,2	0	53,2	53,2	0	29,5	48,0	52,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45,9	45,9	0		45,9	45,9	0	50,2	50,3	0	50,2	50,3	0	28,2	46,5	51,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45,6	45,6	0		45,6	45,6	0	49,9	50,0	0	49,9	50,0	0	27,9	46,1	50,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45,4	45,4	0		45,4	45,4	0	49,7	49,7	0	49,7	49,7	0	27,7	45,7	50,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45,2	45,2	0		45,2	45,2	0	49,5	49,5	0	49,5	49,5	0	27,5	45,4	50,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45,0	45,1	0		45,0	45,1	0	49,2	49,3	0	49,2	49,3	0	27,3	45,1	49,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44,8	44,9	0		44,8	44,9	0	49,0	49,1	0	49,0	49,1	0	27,1	44,8	49,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

## Tabelle A5.1 / Table A5.1

[illegible]

Tabelle A5.2 / Table A5.2

Uhrzeit	Personen		Beleuchtung		Maschinen		Sonstiges		Nebenraum FB	Außenluft	Raumluft
	Wärmeabgabe in W	Konv. Anteil in %	Wärmeabgabe in W	Konv. Anteil in %	Wärmeabgabe in W	Konv. Anteil in %	Wärmeabgabe in W	Konv. Anteil in %	Temp. NR in °C	Vol. ZL_AL in m³/h	Soll-Temp. in °C
0 bis 1	0	0			0	0				0	22
1 bis 2	0	0			0	0				0	22
2 bis 3	0	0			0	0				0	22
3 bis 4	0	0			0	0				0	22
4 bis 5	0	0			0	0				0	22
5 bis 6	0	0			0	0				0	22
6 bis 7	0	0			0	0				0	22
7 bis 8	160	50			200	100				0	22
8 bis 9	160	50			200	100				0	22
9 bis 10	160	50			200	100				0	22
10 bis 11	160	50			200	100				0	22
11 bis 12	160	50			200	100				0	22
12 bis 13	160	50			200	100				0	22
13 bis 14	160	50			200	100				0	22
14 bis 15	160	50			200	100				0	22
15 bis 16	160	50			200	100				0	22
16 bis 17	160	50			200	100				0	22
17 bis 18	0	0			0	0				0	22
18 bis 19	0	0			0	0				0	22
19 bis 20	0	0			0	0				0	22
20 bis 21	0	0			0	0				0	22
21 bis 22	0	0			0	0				0	22
22 bis 23	0	0			0	0				0	22
23 bis 24	0	0			0	0				0	22

Tabelle A5.3 / Table A5.3

Stunde	Wetterdaten							Außenwand Süd		Außenwand West		Fenster Süd (im Raum)		Fenster West (im Raum)		Ergebnisse 1. Tag, Programm 1			Ergebnisse 1. Tag, Programm 2		
	Temp. AL in °C	I hw. aus in W/m²	I atm. ges. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	Lufttemp. in °C	Empf.Temp. in °C	Heiz-/Kühllast in W	Lufttemp. in °C	Empf.Temp. in °C	Heiz-/Kühllast in W				
1.	18,8									0	0	22,0	22,0	0	22,0	22,0	0				
2.	17,1									0	0	22,0	22,0	0	22,0	22,0	0				
3.	16,5									0	0	21,9	21,9	0	21,9	21,9	0				
4.	16,1									0	0	21,9	21,9	0	21,9	21,9	0				
5.	16,5									17	17	22,0	22,0	0	22,0	22,0	0				
6.	17,8									38	38	22,2	22,1	0	22,2	22,1	0				
7.	20,3									59	59	22,4	22,3	0	22,4	22,3	0				
8.	22,8									98	80	24,4	23,5	0	24,4	23,5	0				
9.	24,8									198	99	24,1	23,4	0	24,1	23,4	0				
10.	26,7									287	115	24,4	23,6	0	24,4	23,6	0				
11.	28,1									359	125	24,7	23,9	0	24,7	23,9	0				
12.	29,0									385	129	24,9	24,1	0	24,9	24,1	0				
13.	29,7									359	125	25,1	24,3	0	25,1	24,3	0				
14.	30,4									287	115	25,2	24,4	0	25,2	24,4	0				
15.	30,9									198	99	25,3	24,5	0	25,3	24,5	0				
16.	31,0									98	80	26,0	25,1	0	26,0	25,1	0				
17.	30,8									59	59	25,9	25,1	0	25,9	25,1	0				
18.	30,1									38	38	24,3	24,2	0	24,3	24,2	0				
19.	28,9									17	17	24,2	24,2	0	24,2	24,2	0				
20.	27,0									0	0	24,1	24,1	0	24,1	24,1	0				
21.	24,7									0	0	24,1	24,1	0	24,1	24,1	0				
22.	22,9									0	0	24,1	24,1	0	24,1	24,1	0				
23.	21,9									0	0	24,1	24,1	0	24,1	24,1	0				
24.	20,9									0	0	24,1	24,1	0	24,1	24,1	0				

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1									Ergebnisse 10. Tag, Programm 2									Ergebnisse 60. Tag, Programm 1									Ergebnisse 60. Tag, Programm 2									Ergebnisse VDI 6020											
Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			1.Tag		10.Tag		60.Tag		1.Tag		10.Tag		60.Tag	
in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C		in °C		in W		in °C		in W			
34,9	34,9	0	34,9	34,9	0	34,9	34,9	0	44,9	45,0	0	44,9	45,0	0	21,9	34,4	44,6	0	21,9	34,4	44,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,9	34,4	44,6	0	0	0	0	0	0	0						
34,8	34,8	0	34,8	34,8	0	34,8	34,8	0	44,9	44,9	0	44,9	44,9	0	21,8	34,3	44,4	0	21,8	34,3	44,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,8	34,3	44,4	0	0	0	0	0	0	0							
34,7	34,7	0	34,7	34,7	0	34,7	34,7	0	44,7	44,7	0	44,7	44,7	0	21,8	34,2	44,3	0	21,8	34,2	44,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,8	34,2	44,3	0	0	0	0	0	0	0							
34,6	34,7	0	34,6	34,7	0	34,6	34,7	0	44,6	44,6	0	44,6	44,6	0	21,7	34,1	44,2	0	21,7	34,1	44,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,7	34,1	44,2	0	0	0	0	0	0	0							
34,7	34,7	0	34,7	34,7	0	34,7	34,7	0	44,6	44,6	0	44,6	44,6	0	21,9	34,2	44,2	0	21,9	34,2	44,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,9	34,2	44,2	0	0	0	0	0	0	0							
34,8	34,8	0	34,8	34,8	0	34,8	34,8	0	44,6	44,6	0	44,6	44,6	0	22,1	34,4	44,4	0	22,1	34,4	44,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,1	34,4	44,4	0	0	0	0	0	0	0							
34,9	34,9	0	34,9	34,9	0	34,9	34,9	0	44,8	44,7	0	44,8	44,7	0	22,4	34,6	44,6	0	22,4	34,6	44,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,4	34,6	44,6	0	0	0	0	0	0	0							
36,1	36,9	0	36,1	36,9	0	36,1	36,9	0	46,7	45,9	0	46,7	45,9	0	24,4	36,8	46,8	0	24,4	36,8	46,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,4	36,8	46,8	0	0	0	0	0	0	0							
36,6	35,9	0	36,6	35,9	0	36,6	35,9	0	46,3	45,6	0	46,3	45,6	0	24,4	36,5	46,4	0	24,4	36,5	46,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,4	36,5	46,4	0	0	0	0	0	0	0							
36,8	36,1	0	36,8	36,1	0	36,8	36,1	0	46,5	45,8	0	46,5	45,8	0	24,8	36,8	46,7	0	24,8	36,8	46,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,8	36,8	46,7	0	0	0	0	0	0	0							
37,0	36,3	0	37,0	36,3	0	37,0	36,3	0	46,7	46,0	0	46,7	46,0	0	25,1	37,1	46,9	0	25,1	37,1	46,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25,1	37,1	46,9	0	0	0	0	0	0	0							
37,2	36,4	0	37,2	36,4	0	37,2	36,4	0	46,8	46,1	0	46,8	46,1	0	25,3	37,3	47,1	0	25,3	37,3	47,1	0	0	0	0	0																					

## Tabelle A6.1 / Table A6.1

Tabelle A6.2 / Table A6.2Tabelle A6.3 / Table A6.3Benutzername: ip user b5229c21-257f-4bfe-acd1-941c41a0b266

[illegible]

												Ergebnisse VDI 6200							
Ergebnisse 10. Tag, Programm 1			Ergebnisse 10. Tag, Programm 2			Ergebnisse 60. Tag, Programm 1			Ergebnisse 60. Tag, Programm 2			1.Tag		10.Tag		1.Tag		10.Tag	
Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-KüHlast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-KüHlast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-KüHlast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-KüHlast	Lufttemp.	Lufttemp.	Lufttemp.	Heiz-KüHlast	Heiz-KüHlast	Heiz-KüHlast	Heiz-KüHlast	
in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in °C	in W	in W	in W	in W	
22,0	24,0	-774	22,0	24,0	-774	22,0	24,0	-774	22,0	24,0	-774	22,0	22,0	22,0	0	-729	-729	-729	
22,0	23,9	-742	22,0	23,9	-742	22,0	23,9	-742	22,0	23,9	-742	22,0	22,0	22,0	0	-698	-698	-698	
22,0	23,8	-711	22,0	23,8	-711	22,0	23,8	-711	22,0	23,8	-711	22,0	22,0	22,0	0	-669	-669	-669	
23,7	26,2	-682	23,7	26,2	-682	23,7	26,2	-682	23,7	26,2	-682	23,7	22,0	22,0	0	-641	-641	-641	
22,0	23,7	-654	22,0	23,7	-654	22,0	23,7	-654	22,0	23,7	-654	22,0	22,0	22,0	0	-615	-615	-615	
22,0	23,6	-627	22,0	23,6	-627	22,0	23,6	-627	22,0	23,6	-627	22,0	22,0	22,0	0	-590	-590	-590	
27,0	26,6	163	27,0	26,6	163	27,0	26,6	163	27,0	26,6	163	27,0	27,0	27,0	701	135	135	135	
26,7	26,7	120	27,0	26,7	120	27,0	26,7	120	27,0	26,7	120	27,0	27,0	27,0	631	87	87	87	
27,0	26,8	79	27,0	26,8	79	27,0	26,8	79	27,0	26,8	79	27,0	27,0	27,0	567	45	44	44	
27,0	27,0	40	27,0	26,9	40	27,0	26,9	40	27,0	26,9	40	27,0	27,0	27,0	507	5	32	32	
27,0	27,0	2	27,0	27,0	2	27,0	27,0	2	27,0	27,0	2	27,0	27,0	27,0	451	-32	-32	-32	
27,0	27,1	-33	27,0	27,1	-33	27,0	27,1	-33	27,0	27,1	-33	27,0	27,0	27,0	398	-66	-66	-66	
27,0	27,2	-67	27,0	27,2	-67	27,0	27,2	-67	27,0	27,2	-67	27,0	27,0	27,0	347	-99	-99	-99	
27,0	27,3	-99	27,0	27,3	-99	27,0	27,3	-99	27,0	27,3	-99	27,0	27,0	27,0	300	-130	-130	-130	
27,0	27,3	-130	27,0	27,3	-130	27,0	27,3	-130	27,0	27,3	-130	27,0	27,0	27,0	254	-159	-159	-159	
27,4	27,4	-159	27,4	27,4	-159	27,4	27,4	-159	27,4	27,4	-159	27,4	27,0	27,0	211	-198	-198	-198	
27,5	27,5	-187	27,5	27,5	-187	27,5	27,5	-187	27,5	27,5	-187	27,5	27,0	27,0	170	-212	-212	-212	
27,0	27,6	-214	27,0	27,6	-214	27,0	27,6	-214	27,0	27,6	-214	27,0	27,0	27,0	131	-237	-238	-238	
22,0	24,6	-1.004	22,0	24,6	-1.004	22,0	24,6	-1.004	22,0	24,6	-1.004	22,0	22,0	22,0	-607	-962	-962	-962	
22,0	24,4	-960	22,0	24,4	-960	22,0	24,4	-960	22,0	24,4	-960	22,0	22,0	22,0	22,0	-573	-915	-915	
22,0	24,3	-919	22,0	24,3	-919	22,0	24,3	-919	22,0	24,3	-919	22,0	22,0	22,0	22,0	-543	-872	-872	
22,0	24,2	-880	22,0	24,2	-880	22,0	24,2	-880	22,0	24,2	-880	22,0	22,0	22,0	22,0	-515	-833	-833	
22,0	24,2	-843	22,0	24,2	-843	22,0	24,2	-843	22,0	24,2	-843	22,0	22,0	22,0	22,0	-490	-796	-796	
22,0	24,1	-808	22,0	24,1	-808	22,0	24,1	-808	22,0	24,1	-808	22,0	22,0	22,0	22,0	-467	-761	-761	

[illegible]

Uhrzeit	Personen		Beleuchtung	Maschinen		Sonstiges	Nebenraum FB	Außenluft	Raumluft	
	Wärmeabgabe	Konv. Anteil	Wärmeabgabe	Konv. Anteil	Wärmeabgabe	Konv. Anteil	Temp. NR	Vol. ZL AL	Soll-Temp.	
	in W	in %	in W	in %	in W	in %	in °C	in m³/h	in °C	
0 bis 1					0	0			0	22
1 bis 2					0	0			0	22
2 bis 3					0	0			0	22
3 bis 4					0	0			0	22
4 bis 5					0	0			0	22
5 bis 6					0	0			0	27
6 bis 7					1000	0			0	27
7 bis 8					1000	0			0	27
8 bis 9					1000	0			0	27
9 bis 10					1000	0			0	27
10 bis 11					1000	0			0	27
11 bis 12					1000	0			0	27
12 bis 13					1000	0			0	27
13 bis 14					1000	0			0	27
14 bis 15					1000	0			0	27
15 bis 16					1000	0			0	27
16 bis 17					1000	0			0	27
17 bis 18					1000	0			0	22
18 bis 19					0	0			0	22
19 bis 20					0	0			0	22
20 bis 21					0	0			0	22
21 bis 22					0	0			0	22
22 bis 23					0	0			0	22
23 bis 24					0	0			0	22

Stunde	Wetterdaten												Ergebnisse 1. Tag, Programm 1			Ergebnisse 1. Tag, Programm 2				
	Wetterdaten						Außenwand Süd		Außenwand West		Fenster Süd (im Raum)		Fenster West (im Raum)		Lufttemp. in °C	Empf.Temp. in °C	Heiz-/Kühllast in W	Lufttemp. in °C	Empf.Temp. in °C	Heiz-/Kühllast in W
	Temp. AL in °C	I Nr. aus in W/m²	I str. geg. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²	I ges. in W/m²	I diff. in W/m²							
1.	22,0													22,0	22,0	0	22,0	22,0	0	
2.	22,0													22,0	22,0	0	22,0	22,0	0	
3.	22,0													22,0	22,0	0	22,0	22,0	0	
4.	22,0													22,0	22,0	0	22,0	22,0	0	
5.	22,0													22,0	22,0	0	22,0	22,0	0	
6.	22,0													22,0	22,0	0	22,0	22,0	0	
7.	22,0													25,5	24,2	500	25,5	24,2	500	
8.	22,0													25,8	24,6	500	25,8	24,6	500	
9.	22,0													26,1	24,9	500	26,1	24,9	500	
10.	22,0													26,5	25,2	500	26,5	25,2	500	
11.	22,0													26,8	25,5	500	26,8	25,5	500	
12.	22,0													27,0	25,8	481	27,0	25,8	481	
13.	22,0													27,0	25,9	426	27,0	25,9	426	
14.	22,0													27,0	26,1	374	27,0	26,1	374	
15.	22,0													27,0	26,2	324	27,0	26,2	324	
16.	22,0													27,0	26,3	276	27,0	26,3	276	
17.	22,0													27,0	26,4	230	27,0	26,4	230	
18.	22,0													27,0	26,5	186	27,0	26,5	186	
19.	22,0													22,7	24,0	-500	22,7	24,0	-500	
20.	22,0													22,6	23,8	-500	22,6	23,8	-500	
21.	22,0													22,4	23,7	-500	22,4	23,7	-500	
22.	22,0													22,3	23,6	-500	22,3	23,6	-500	
23.	22,0													22,2	23,4	-500	22,2	23,4	-500	
24.	22,0													22,0	23,3	-500	22	23,3	-500	

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1									Ergebnisse 10. Tag, Programm 2									Ergebnisse 60. Tag, Programm 1									Ergebnisse 60. Tag, Programm 2									Ergebnisse VDI 6020																										
Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast			Lufttemp.			Empf.Temp.			Heiz-/Kühlast		
in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C			in °C			in W			in °C			in W			in W		
25.1	26.4	-500	25.1	26.4	-500	25.1	26.4	-500	25.1	26.4	-500	25.1	26.4	-500	25.1	26.4	-500	22.0	24.7	24.8	0	-500	-500	22.0	24.7	24.8	0	-500	-500	22.0	24.7	24.8	0	-500	-500	22.0	24.7	24.8	0	-500	-500	22.0	24.7	24.8	0	-500	-500															
26.0	26.1	-500	26.0	26.1	-500	26.0	26.1	-500	26.0	26.1	-500	26.0	26.1	-500	26.0	26.1	-500	22.0	24.6	24.5	0	-500	-500	22.0	24.6	24.5	0	-500	-500	22.0	24.6	24.5	0	-500	-500	22.0	24.6	24.5	0	-500	-500	22.0	24.6	24.5	0	-500	-500															
24.7	26.0	-500	24.7	26.0	-500	24.7	26.0	-500	24.7	26.0	-500	24.7	26.0	-500	24.7	26.0	-500	22.0	24.3	24.4	0	-500	-500	22.0	24.3	24.4	0	-500	-500	22.0	24.3	24.4	0	-500	-500	22.0	24.3	24.4	0	-500	-500	22.0	24.3	24.4	0	-500	-500															
24.6	25.9	-500	24.6	25.9	-500	24.6	25.9	-500	24.6	25.9	-500	24.6	25.9	-500	24.6	25.9	-500	22.0	24.2	24.3	0	-500	-500	22.0	24.2	24.3	0	-500	-500	22.0	24.2	24.3	0	-500	-500	22.0	24.2	24.3	0	-500	-500	22.0	24.2	24.3	0	-500	-500															
24.4	25.7	-500	24.4	25.7	-500	24.4	25.7	-500	24.4	25.7	-500	24.4	25.7	-500	24.4	25.7	-500	22.0	24.1	24.1	0	-500	-500	22.0	24.1	24.1	0	-500	-500	22.0	24.1	24.1	0	-500	-500	22.0	24.1	24.1	0	-500	-500	22.0	24.1	24.1	0	-500	-500															
27.0	27.4	-142	27.0	27.4	-142	27.0	27.4	-149	27.0	27.4	-149	27.0	27.4	-149	27.0	27.4	-149	25.8	27.0	27.0	500	-124	-134	25.8	27.0	27.0	500	-124	-134	25.8	27.0	27.0	500	-124	-134	25.8	27.0	27.0	500	-124	-134	25.8	27.0	27.0	500	-124	-134															
27.0	27.4	-172	27.0	27.4	-172	27.0	27.4	-179	27.0	27.4	-179	27.0	27.4	-179	27.0	27.4	-179	26.2	27.0	27.0	500	-159	-169	26.2	27.0	27.0	500	-159	-169	26.2	27.0	27.0	500	-159	-169	26.2	27.0	27.0	500	-159	-169	26.2	27.0	27.0	500	-159	-169															
27.0	27.6	-201	27.0	27.6	-201	27.0	27.6	-207	27.0	27.6	-207	27.0	27.6	-207	27.0	27.6	-207	26.5	27.0	27.0	500	-190	-199	26.5	27.0	27.0	500	-190	-199	26.5	27.0	27.0	500	-190	-199	26.5	27.0	27.0	500	-190	-199	26.5	27.0	27.0	500	-190	-199															
27.0	27.6	-228	27.0	27.6	-228	27.0	27.6	-234	27.0	27.6	-234	27.0	27.6	-234	27.0	27.6	-234	26.9	27.0	27.0	500	-219	-228	26.9	27.0	27.0	5																																			

## Tabelle A8.1 / Table A8.1

Tabelle A8.1 / Table A8.1

Tabelle A8.2 / Table A8.2

Tabelle A8.2 / Table A8.2

Tabelle A8.3 / Table A8.3

Tabelle A8.3 / Table A8.3

Benutzername: ip user b5229c21-257f-4bfe-acd1-941c41a0b266

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1			Ergebnisse 10. Tag, Programm 2			Ergebnisse 60. Tag, Programm 1			Ergebnisse 60. Tag, Programm 2		
Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast
in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W
37,6	37,7	0	37,6	37,7	0	40,9	40,9	0	40,9	41,0	0
37,5	37,5	0	37,5	37,5	0	40,7	40,7	0	40,7	40,8	0
37,3	37,3	0	37,3	37,3	0	40,5	40,5	0	40,5	40,5	0
37,1	37,1	0	37,1	37,2	0	40,2	40,3	0	40,2	40,3	0
37,1	37,2	0	37,1	37,2	0	40,3	40,3	0	40,3	40,3	0
37,3	37,3	0	37,3	37,3	0	40,4	40,4	0	40,4	40,4	0
37,5	37,4	0	37,5	37,4	0	40,6	40,5	0	40,6	40,5	0
39,6	38,7	0	39,6	38,7	0	42,6	41,8	0	42,6	41,8	0
39,4	38,6	0	39,4	38,6	0	42,4	41,6	0	42,4	41,6	0
39,7	38,8	0	39,7	38,8	0	42,7	41,9	0	42,7	41,9	0
40,0	39,1	0	40,0	39,2	0	43,0	42,1	0	43,0	42,2	0
40,3	39,4	0	40,3	39,5	0	43,3	42,4	0	43,3	42,4	0
40,0	39,3	0	40,1	39,3	0	43,0	42,2	0	43,0	42,2	0
40,3	39,5	0	40,3	39,5	0	43,2	42,4	0	43,2	42,4	0
40,5	39,7	0	40,5	39,7	0	43,4	42,6	0	43,4	42,6	0
41,3	40,3	0	41,3	40,4	0	44,2	43,2	0	44,2	43,2	0
41,3	40,4	0	41,3	40,4	0	44,1	43,3	0	44,1	43,3	0
39,6	39,5	0	39,6	39,5	0	42,4	42,3	0	42,4	42,3	0
39,2	39,2	0	39,2	39,2	0	42,0	42,0	0	42,0	42,0	0
38,9	39,0	0	38,9	39,0	0	41,7	41,8	0	41,7	41,8	0
38,8	38,9	0	38,8	38,9	0	41,6	41,6	0	41,6	41,6	0
38,7	38,7	0	38,7	38,7	0	41,4	41,5	0	41,4	41,5	0
38,5	38,6	0	38,5	38,6	0	41,2	41,3	0	41,2	41,3	0
38,4	38,4	0	38,4	38,4	0	41,1	41,1	0	41,1	41,1	0

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1			Ergebnisse 10. Tag, Programm 2			Ergebnisse 60. Tag, Programm 1			Ergebnisse 60. Tag, Programm 2		
Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-/Kühllast
°C	°C	W	°C	°C	W	°C	°C	W	°C	°C	W
37,6	37,7	0	37,6	37,7	0	40,9	40,9	0	40,9	41,0	0
37,5	37,5	0	37,5	37,5	0	40,7	40,7	0	40,7	40,8	0
37,3	37,3	0	37,3	37,3	0	40,5	40,5	0	40,5	40,5	0
37,1	37,1	0	37,1	37,2	0	40,2	40,3	0	40,2	40,3	0
37,1	37,2	0	37,1	37,2	0	40,3	40,3	0	40,3	40,3	0
37,3	37,3	0	37,3	37,3	0	40,4	40,4	0	40,4	40,4	0
37,5	37,4	0	37,5	37,4	0	40,6	40,5	0	40,6	40,5	0
39,6	38,7	0	39,6	38,7	0	42,6	41,8	0	42,6	41,8	0
39,4	38,6	0	39,4	38,6	0	42,4	41,6	0	42,4	41,6	0
39,7	38,8	0	39,7	38,8	0	42,7	41,9	0	42,7	41,9	0
40,0	39,1	0	40,0	39,2	0	43,0	42,1	0	43,0	42,2	0
40,3	39,4	0	40,3	39,5	0	43,3	42,4	0	43,3	42,4	0
40,0	39,3	0	40,1	39,3	0	43,0	42,2	0	43,0	42,2	0
40,3	39,5	0	40,3	39,5	0	43,2	42,4	0	43,2	42,4	0
40,5	39,7	0	40,5	39,7	0	43,4	42,6	0	43,4	42,6	0
41,3	40,3	0	41,3	40,4	0	44,2	43,2	0	44,2	43,2	0
41,3	40,4	0	41,3	40,4	0	44,1	43,3	0	44,1	43,3	0
39,6	39,5	0	39,6	39,5	0	42,4	42,3	0	42,4	42,3	0
39,2	39,2	0	39,2	39,2	0	42,0	42,0	0	42,0	42,0	0
38,9	39,0	0	38,9	39,0	0	41,7	41,8	0	41,7	41,8	0
38,8	38,9	0	38,8	38,9	0	41,6	41,6	0	41,6	41,6	0
38,7	38,7	0	38,7	38,7	0	41,4	41,5	0	41,4	41,5	0
38,5	38,6	0	38,5	38,6	0	41,2	41,3	0	41,2	41,3	0
38,4	38,4	0	38,4	38,4	0	41,1	41,1	0	41,1	41,1	0

## Tabelle A9.1 / Table A9.1

Tabelle A9.2 / Table A9.2Tabelle A9.3 / Table A9.3Benutzername: ip user b5229c21-257f-4bfe-acd1-941c41a0b266

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1			Ergebnisse 10. Tag, Programm 2			Ergebnisse 60. Tag, Programm 1			Ergebnisse 60. Tag, Programm 2		
Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühlast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühlast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühlast	Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühlast
in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W
37,6	37,7	0	37,6	37,7	0	40,8	40,9	0	40,8	40,9	0
37,4	37,5	0	37,4	37,5	0	40,6	40,7	0	40,6	40,7	0
37,3	37,3	0	37,2	37,3	0	40,4	40,5	0	40,4	40,5	0
37,1	37,1	0	37,0	37,1	0	40,2	40,3	0	40,2	40,3	0
37,1	37,2	0	37,1	37,1	0	40,2	40,2	0	40,2	40,3	0
37,3	37,3	0	37,3	37,2	0	40,4	40,3	0	40,4	40,3	0
37,5	37,4	0	37,5	37,4	0	40,5	40,5	0	40,6	40,5	0
39,6	38,7	0	39,5	38,7	0	42,6	41,7	0	42,6	41,7	0
39,4	38,6	0	39,3	38,5	0	42,3	41,5	0	42,4	41,6	0
39,7	38,8	0	39,7	38,8	0	42,6	41,8	0	42,7	41,8	0
40,0	39,1	0	40,0	39,1	0	42,9	42,1	0	43,0	42,1	0
40,3	39,4	0	40,3	39,4	0	43,2	42,4	0	43,3	42,4	0
40,0	39,3	0	40,0	39,2	0	42,9	42,2	0	43,0	42,2	0
40,3	39,5	0	40,3	39,5	0	43,2	42,4	0	43,2	42,4	0
40,5	39,7	0	40,5	39,7	0	43,4	42,6	0	43,4	42,6	0
41,3	40,3	0	41,3	40,3	0	44,1	43,2	0	44,1	43,2	0
41,3	40,4	0	41,2	40,4	0	44,1	43,2	0	44,1	43,2	0
39,6	39,5	0	39,5	39,4	0	42,3	42,2	0	42,3	42,3	0
39,2	39,2	0	39,2	39,2	0	42,0	42,0	0	42,0	42,0	0
38,9	39,0	0	38,9	38,9	0	41,6	41,7	0	41,7	41,7	0
38,8	38,9	0	38,8	38,8	0	41,5	41,6	0	41,5	41,6	0
38,7	38,7	0	38,6	38,7	0	41,3	41,4	0	41,4	41,4	0
38,5	38,6	0	38,5	38,5	0	41,2	41,2	0	41,2	41,3	0
38,4	38,4	0	38,3	38,4	0	41,0	41,1	0	41,0	41,1	0

## Tabelle A10.1 / Table A10.1

[illegible]

Tabelle A10.2 / Table A10.2

	Personen		Beleuchtung		Maschinen		Sonstiges		Nebenraum FB	Außenluft	Raumluft
Uhrzeit	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Wärmeabgabe	Konv_Anteil	Temp_NR	Vol_ZL_AL	Soll-Temp.
	in W	in %	in W	in %	in W	in %	in W	in %	in °C	in m³/h	in °C
0 bis 1	0	0			0	0			15,0	0	22
1 bis 2	0	0			0	0			15,0	0	22
2 bis 3	0	0			0	0			15,0	0	22
3 bis 4	0	0			0	0			15,0	0	22
4 bis 5	0	0			0	0			15,0	0	22
5 bis 6	0	0			0	0			15,0	0	22
6 bis 7	0	0			0	0			15,0	0	22
7 bis 8	160	50			200	100			15,0	0	22
8 bis 9	160	50			200	100			15,0	0	22
9 bis 10	160	50			200	100			15,0	0	22
10 bis 11	160	50			200	100			15,0	0	22
11 bis 12	160	50			200	100			15,0	0	22
12 bis 13	160	50			200	100			15,0	0	22
13 bis 14	160	50			200	100			15,0	0	22
14 bis 15	160	50			200	100			15,0	0	22
15 bis 16	160	50			200	100			15,0	0	22
16 bis 17	160	50			200	100			15,0	0	22
17 bis 18	0	0			0	0			15,0	0	22
18 bis 19	0	0			0	0			15,0	0	22
19 bis 20	0	0			0	0			15,0	0	22
20 bis 21	0	0			0	0			15,0	0	22
21 bis 22	0	0			0	0			15,0	0	22
22 bis 23	0	0			0	0			15,0	0	22
23 bis 24	0	0			0	0			15,0	0	22

Tabelle A10.3 / Table A10.3

Stunde	Wetterdaten						Außenwand Süd		Außenwand West		Fenster Süd (im Raum)		Fenster West (im Raum)		Ergebnisse 1. Tag, Programm 1			Ergebnisse 1. Tag, Programm 2		
	Temp. AL in °C	1. w. sus in W/m²	1. atm. geg. in W/m²	1. ges. in W/m²	1. diff. in W/m²	1. ges. in W/m²	1. diff. in W/m²	1. ges. in W/m²	1. diff. in W/m²	1. ges. in W/m²	1. diff. in W/m²	1. ges. in W/m²	1. diff. in W/m²	Lufttemp. in °C	Empf.Temp. in °C	Heiz-/Kühlst. in W	Lufttemp. in °C	Empf.Temp. in °C	Heiz-/Kühlst. in W	
1.	18,8							0	0					17,6	17,6	0	17,6	17,6	0	
2.	17,1							0	0					17,6	17,6	0	17,6	17,6	0	
3.	16,5							0	0					17,5	17,5	0	17,5	17,5	0	
4.	16,1							0	0					17,5	17,5	0	17,5	17,5	0	
5.	16,5							0	17					17,6	17,6	0	17,6	17,6	0	
6.	17,8							38	38					17,8	17,7	0	17,8	17,7	0	
7.	20,3							59	59					18,0	17,9	0	18,0	17,9	0	
8.	22,8							98	80					20,0	19,2	0	20,0	19,2	0	
9.	24,8							186	99					19,7	19,0	0	19,7	19,0	0	
10.	26,1							287	115					20,0	19,2	0	20,0	19,2	0	
11.	28,1							359	125					20,3	19,5	0	20,2	18,4	0	
12.	29,0							385	129					20,5	19,7	0	20,5	19,7	0	
13.	29,7							359	125					20,6	19,8	0	20,6	19,8	0	
14.	30,4							287	115					20,7	20,0	0	20,7	19,9	0	
15.	30,9							186	99					20,8	20,0	0	20,8	20,0	0	
16.	31,0							98	80					21,5	20,6	0	21,5	20,6	0	
17.	30,8							59	38					21,4	20,6	0	21,4	20,6	0	
18.	30,1							38	38					19,8	19,7	0	19,8	19,7	0	
19.	28,9							17	17					19,7	19,7	0	19,7	19,6	0	
20.	27,0							0	0					19,6	19,6	0	19,6	19,6	0	
21.	24,7							0	0					19,6	19,6	0	19,5	19,5	0	
22.	22,8							0	0					19,5	19,5	0	19,5	19,5	0	
23.	23,9							0	0					19,5	19,5	0	19,5	19,5	0	
24.	20,9							0	0					19,5	19,5	0	19,5	19,5	0	

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1				Ergebnisse 10. Tag, Programm 2				Ergebnisse 60. Tag, Programm 1				Ergebnisse 60. Tag, Programm 2			
Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühllast		Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühllast		Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühllast		Lufttemp.	Empf.Temp.	Heiz-Kühllast	
in °C	in °C	in W		in °C	in °C	in W		in °C	in °C	in W		in °C	in °C	in W	
24,7	24,7	0		24,6	24,6	0		25,5	25,4	0		25,5	25,4	0	
24,6	24,6	0		24,7	24,7	0		25,3	25,3	0		25,4	25,3	0	
24,5	24,5	0		24,5	24,5	0		25,2	25,2	0		25,2	25,2	0	
24,4	24,4	0		24,4	24,4	0		25,1	25,1	0		25,1	25,1	0	
24,4	24,4	0		24,4	24,4	0		25,1	25,1	0		25,1	25,1	0	
24,5	24,4	0		24,5	24,4	0		25,2	25,1	0		25,2	25,1	0	
24,6	24,5	0		24,6	24,5	0		25,3	25,2	0		25,3	25,2	0	
26,6	25,7	0		26,6	25,7	0		27,3	26,4	0		27,3	26,4	0	
26,2	25,5	0		26,2	25,5	0		26,9	26,0	0		26,9	26,0	0	
26,4	25,6	0		26,4	25,6	0		27,1	26,3	0		27,1	26,3	0	
26,6	25,8	0		26,6	25,8	0		27,3	26,5	0		27,3	26,5	0	
26,8	25,9	0		26,7	25,9	0		27,4	26,6	0		27,4	26,6	0	
26,9	26,0	0		26,8	26,0	0		27,5	26,7	0		27,5	26,7	0	
26,9	26,1	0		26,9	26,1	0		27,5	26,7	0		27,5	26,7	0	
26,9	26,1	0		26,9	26,1	0		27,5	26,8	0		27,5	26,7	0	
27,5	26,6	0		27,5	26,6	0		28,1	27,3	0		28,1	27,2	0	
27,4	26,6	0		27,4	26,5	0		28,0	27,2	0		28,0	27,2	0	
25,7	25,6	0		25,7	25,6	0		26,3	26,2	0		26,3	26,2	0	
25,5	25,5	0		25,5	25,5	0		26,1	26,1	0		26,1	26,1	0	
25,3	25,3	0		25,3	25,3	0		26,0	25,9	0		26,0	25,9	0	
25,3	25,3	0		25,2	25,2	0		25,9	25,9	0		25,9	25,8	0	
25,2	25,2	0		25,2	25,1	0		25,8	25,8	0		25,8	25,8	0	
25,1	25,1	0		25,1	25,1	0		25,7	25,7	0		25,7	25,7	0	
25,0	25,0	0		25,0	25,0	0		25,6	25,5	0		25,6	25,6	0	

## Tabelle A11.1 / Table A11.1

Tabelle A11.2 / Table A11.2Tabelle A11.3 / Table A11.3Benutzername: ip user b5229c21-257f-4bfe-acd1-941c41a0b266

Ergbnisse 10. Tag, Programm 1				Ergbnisse 10. Tag, Programm 2				Ergbnisse 60. Tag, Programm 1				Ergbnisse 60. Tag, Programm 2					
Lufttemp.		Empf.Temp.		Hsz-Khlstahl		Lufttemp.		Empf.Temp.		Hsz-Khlstahl		Lufttemp.		Empf.Temp.		Hsz-Khlstahl	
in °C		in °C		in W		in °C		in °C		in W		in °C		in °C		in W	
26,2	26,2	-500	26,2	26,2	-500	26,20	26,20	-500	26,2	26,2	-500	26,2	26,2	-500	26,2	26,2	-500
26,1	26,1	-500	26,1	26,1	-500	26,10	26,10	-500	26,1	26,1	-500	26,1	26,1	-500	26,1	26,1	-500
26,0	26,0	-500	26,0	26,0	-500	26,00	26,00	-500	26,0	26,0	-500	26,0	26,0	-500	26,0	26,0	-500
25,8	25,8	-500	25,8	25,8	-500	25,80	25,80	-500	25,8	25,8	-500	25,8	25,8	-500	25,8	25,8	-500
25,7	25,7	-500	25,7	25,7	-500	25,70	25,70	-500	25,7	25,7	-500	25,7	25,7	-500	25,7	25,7	-500
25,6	25,6	-500	25,6	25,6	-500	25,60	25,60	-500	25,6	25,6	-500	25,6	25,6	-500	25,6	25,6	-500
27,0	27,0	126	27,0	27,0	126	27,00	26,70	126	27,0	26,70	126	27,0	26,70	126	27,0	26,70	126
27,0	26,8	27,0	26,8	27,0	26,8	27,00	26,90	27,0	26,8	27,0	26,90	27,0	26,8	27,0	26,90	27,0	26,8
27,0	26,9	28	27,0	26,9	28	27,00	26,90	28	27,0	26,90	28	27,0	26,9	28	27,0	26,9	28
27,0	27,0	-121	27,0	27,0	-121	27,00	27,00	-121	27,0	27,0	-121	27,0	27,0	-121	27,0	27,0	-121
27,0	27,0	-391	27,0	27,0	-391	27,00	27,00	-391	27,0	27,0	-391	27,0	27,0	-391	27,0	27,0	-391
27,0	27,0	-500	27,0	27,0	-500	27,00	27,00	-500	27,0	27,0	-500	27,0	27,0	-500	27,0	27,0	-500
27,1	27,1	-500	27,1	27,1	-500	27,10	27,10	-500	27,1	27,1	-500	27,1	27,1	-500	27,1	27,1	-500
27,2	27,2	-500	27,2	27,2	-500	27,20	27,20	-500	27,2	27,2	-500	27,2	27,2	-500	27,2	27,2	-500
27,3	27,3	-500	27,3	27,3	-500	27,30	27,30	-500	27,3	27,3	-500	27,3	27,3	-500	27,3	27,3	-500
27,4	27,4	-500	27,4	27,4	-500	27,40	27,40	-500	27,4	27,4	-500	27,4	27,4	-500	27,4	27,4	-500
27,5	27,5	-500	27,5	27,5	-500	27,50	27,50	-500	27,5	27,5	-500	27,5	27,5	-500	27,5	27,5	-500
27,6	27,6	-500	27,6	27,6	-500	27,60	27,60	-500	27,6	27,6	-500	27,6	27,6	-500	27,6	27,6	-500
27,0	27,0	-500	27,0	27,0	-500	27,00	27,00	-500	27,0	27,0	-500	27,0	27,0	-500	27,0	27,0	-500
26,9	26,9	-500	26,9	26,9	-500	26,90	26,90	-500	26,9	26,9	-500	26,9	26,9	-500	26,9	26,9	-500
26,7	26,7	-500	26,7	26,7	-500	26,70	26,70	-500	26,7	26,7	-500	26,7	26,7	-500	26,7	26,7	-500
26,6	26,6	-500	26,6	26,6	-500	26,60	26,60	-500	26,6	26,6	-500	26,6	26,6	-500	26,6	26,6	-500
26,5	26,5	-500	26,5	26,5	-500	26,50	26,50	-500	26,5	26,5	-500	26,5	26,5	-500	26,5	26,5	-500
26,4	26,4	-500	26,4	26,4	-500	26,40</											

## Tabelle A12.1 / Table A12.1

Tabelle A12.2 / Table A12.2Tabelle A12.3 / Table A12.3Benutzername: ip user b5229c21-257f-4bfe-acd1-941c41a0b266

Ergebnisse 10. Tag, Programm 1			Ergebnisse 10. Tag, Programm 2			Ergebnisse 60. Tag, Programm 1			Ergebnisse 60. Tag, Programm 2		
Lufttemp.	Empf. Temp.	Heiz-Kühlast	Lufttemp.	Empf. Temp.	Heiz-Kühlast	Lufttemp.	Empf. Temp.	Heiz-Kühlast	Lufttemp.	Empf. Temp.	Heiz-Kühlast
in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W	in °C	in °C	in W
29,1	29,9	0	29,1	29,9	0	30,5	31,5	0	30,5	31,5	0
28,7	29,7	0	28,7	29,7	0	30,0	31,2	0	30,0	31,2	0
28,4	29,5	0	28,4	29,5	0	29,8	31,0	0	29,8	31,0	0
28,2	29,3	0	28,2	29,3	0	29,6	30,8	0	29,6	30,8	0
28,3	29,3	0	28,2	29,3	0	29,6	30,7	0	29,6	30,7	0
28,5	29,4	0	28,5	29,4	0	29,9	30,8	0	29,9	30,8	0
29,0	29,7	0	29,0	29,7	0	30,3	31,1	0	30,3	31,1	0
31,8	31,3	0	31,8	31,3	0	33,2	32,8	0	33,2	32,8	0
31,6	31,2	0	31,6	31,2	0	33,0	32,6	0	33,0	32,6	0
32,0	31,4	0	32,0	31,4	0	33,4	33,4	0	33,4	32,9	0
32,3	31,7	0	32,3	31,7	0	33,7	33,1	0	33,7	33,1	0
32,5	31,9	0	32,5	31,9	0	33,9	33,3	0	33,9	33,3	0
32,7	32,1	0	32,7	32,1	0	34,1	33,5	0	34,1	33,5	0
32,9	32,2	0	32,9	32,2	0	34,2	33,6	0	34,2	33,6	0
32,9	32,3	0	32,9	32,3	0	34,3	33,7	0	34,3	33,7	0
33,5	32,8	0	33,5	32,8	0	34,9	34,2	0	34,9	34,2	0
33,5	32,8	0	33,5	32,8	0	34,8	34,2	0	34,8	34,2	0
31,7	31,8	0	31,7	31,8	0	33,0	33,2	0	33,0	33,2	0
31,5	31,7	0	31,5	31,7	0	32,7	33,0	0	32,7	33,0	0
31,0	31,4	0	31,0	31,4	0	32,2	32,7	0	32,2	32,7	0
30,6	31,1	0	30,6	31,1	0	31,8	32,4	0	31,8	32,4	0
30,3	30,9	0	30,3	30,9	0	31,4	32,2	0	31,4	32,2	0
30,0	30,7	0	30,0	30,7	0	31,2	32,0	0	31,2	32,0	0
29,8	30,5	0	29,8	30,5	0	30,9	31,8	0	30,9	31,8	0

A2 Diagramme

**Anmerkung:** Diese Anmerkung betrifft ausschließlich die englische Sprachfassung der Richtlinie.

A2 Diagrams

**Note:** In order to reduce the printing cost by avoiding the duplication of the tables, a key for the table entries is given here.

German	English
Raumlufttemperatur 1. Tag	room-air temperature, 1 <sup>st</sup> day
Temperatur in °C	temperature, in °C
Programm 1	program 1/2
Stunde des Tages	hour of day
Raumlufttemperatur 10. Tag	room-air temperature, 10 <sup>th</sup> day
Raumlufttemperatur 60. Tag	room-air temperature, 60 <sup>th</sup> day
Heiz- bzw. Kühlleistung 10. Tag	heating/cooling load, 10 <sup>th</sup> day
Leistung in W	power output, in W

Diagramm A1.1 / Diagram A1.1

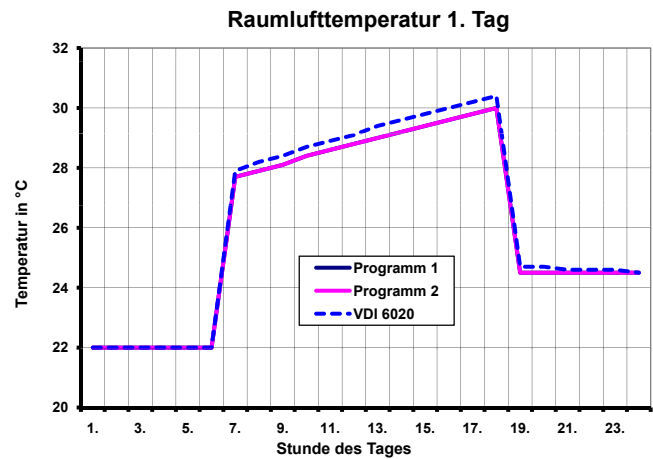


Diagramm A1.2 / Diagram A1.2

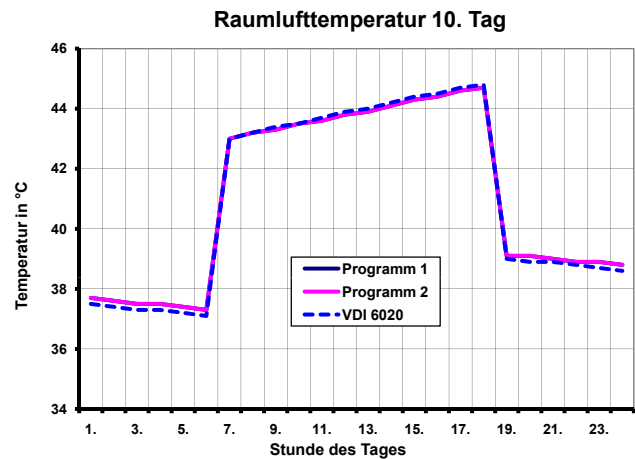


Diagramm A1.3 / Diagram A1.3

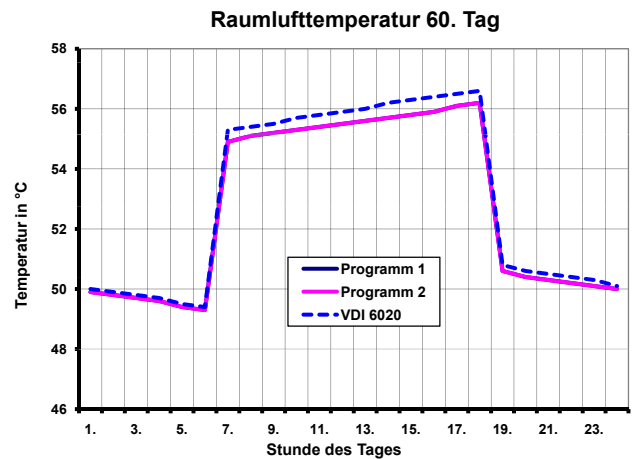


Diagramm A2.1 / Diagram A2.1

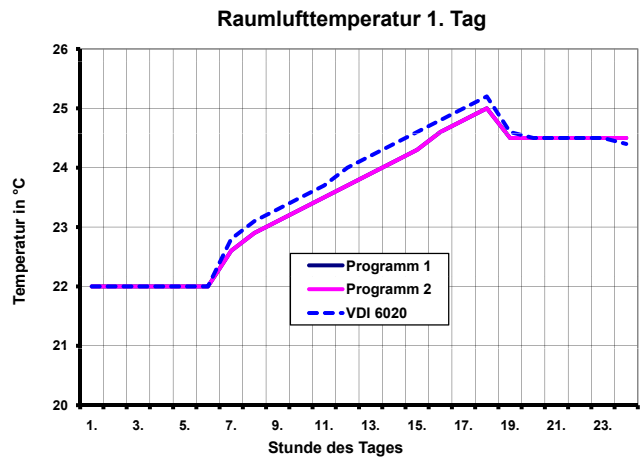


Diagramm A2.2 / Diagram A2.2

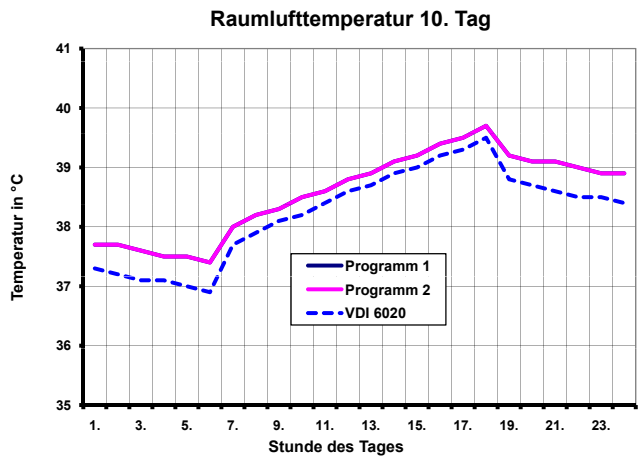


Diagramm A2.3 / Diagram A2.3

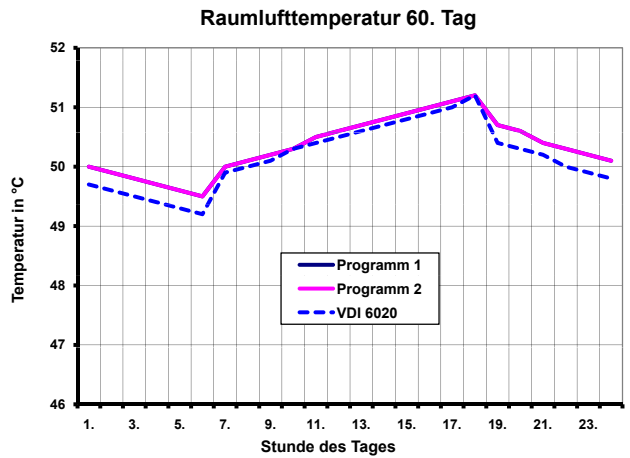


Diagramm A3.1 / Diagram A3.1

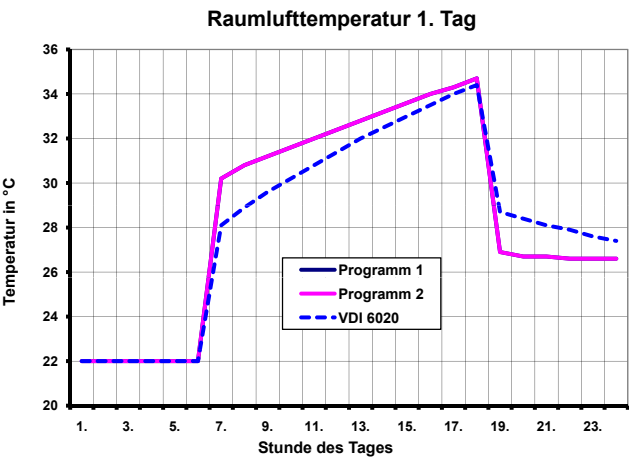


Diagramm A3.2 / Diagram A3.2

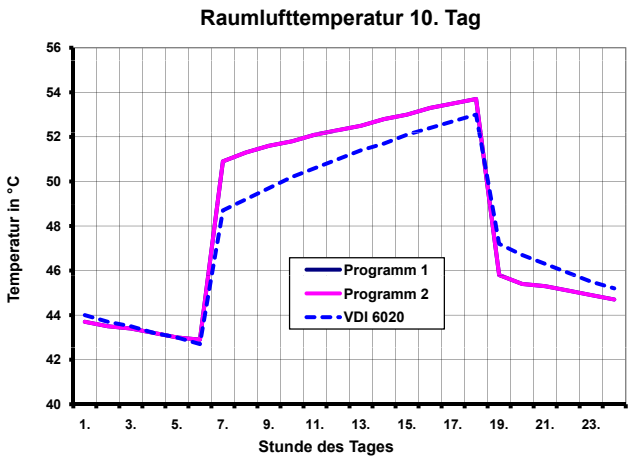


Diagramm A3.3 / Diagram A3.3

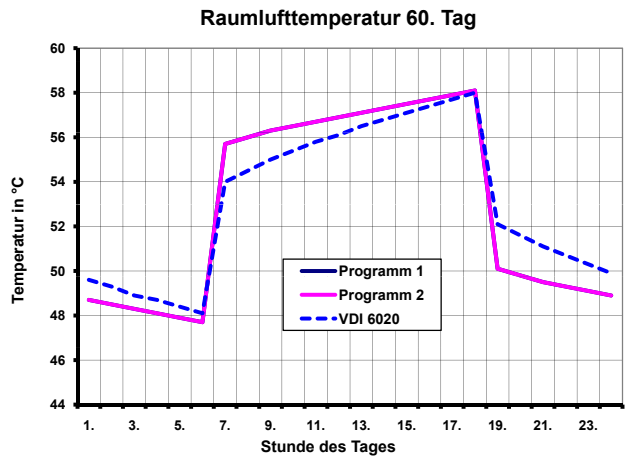


Diagramm A4.1 / Diagram A4.1

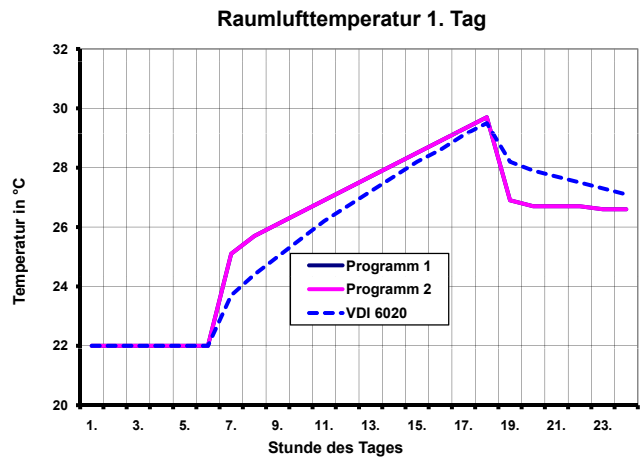


Diagramm A4.2 / Diagram A4.2

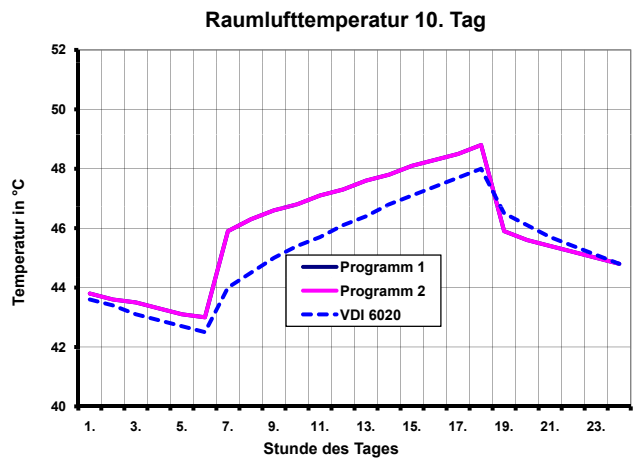


Diagramm A4.3 / Diagram A4.3

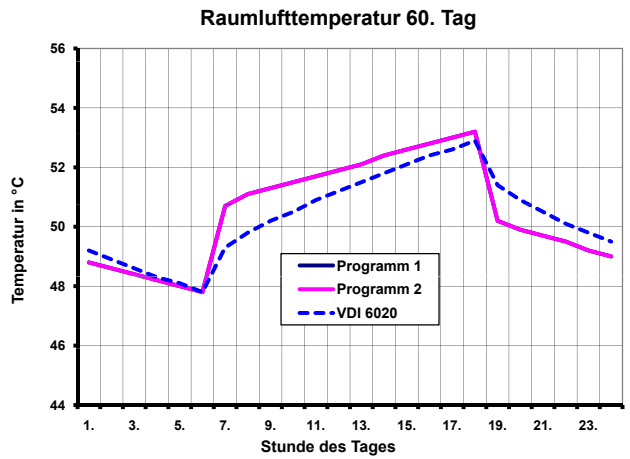


Diagramm A5.1 / Diagram A5.1

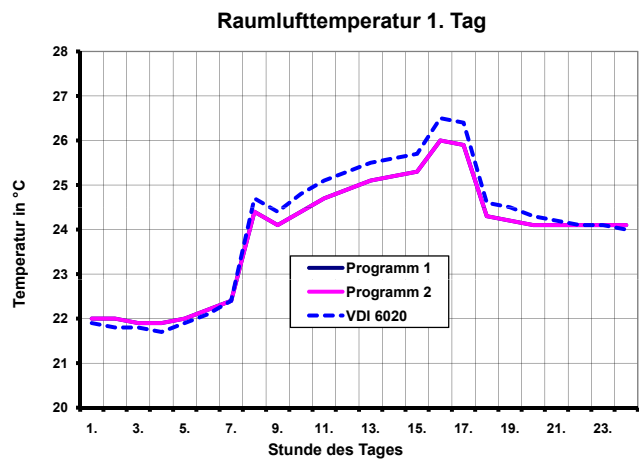


Diagramm A5.2 / Diagram A5.2

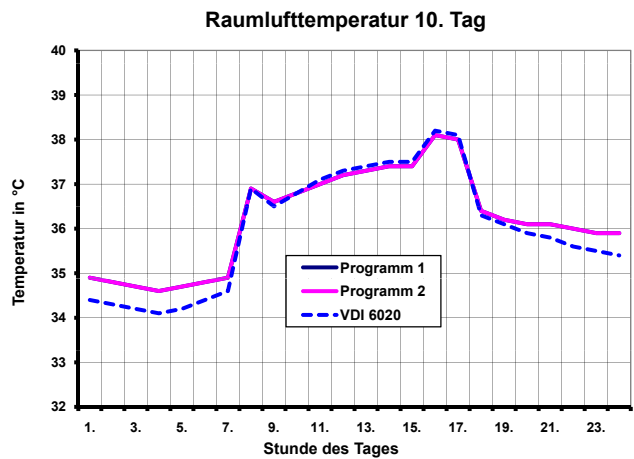


Diagramm A5.3 / Diagram A5.3

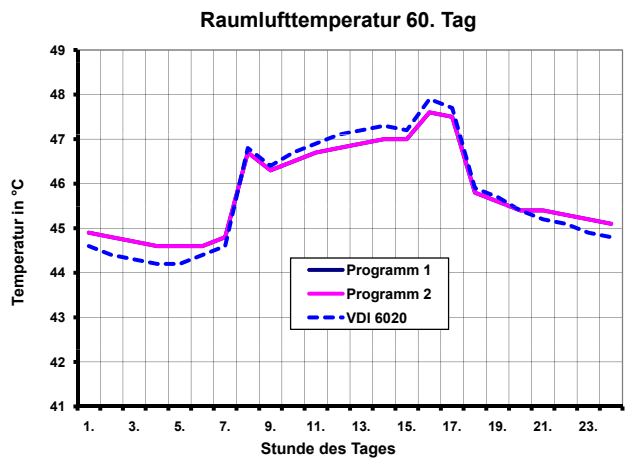


Diagramm A6.1 / Diagram A6.1

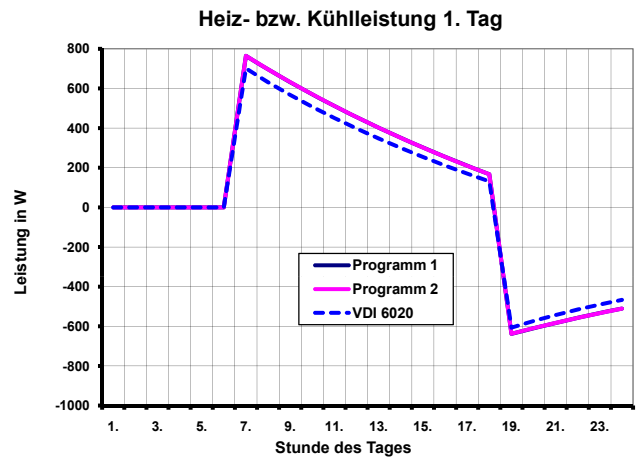


Diagramm A6.2 / Diagram A6.2

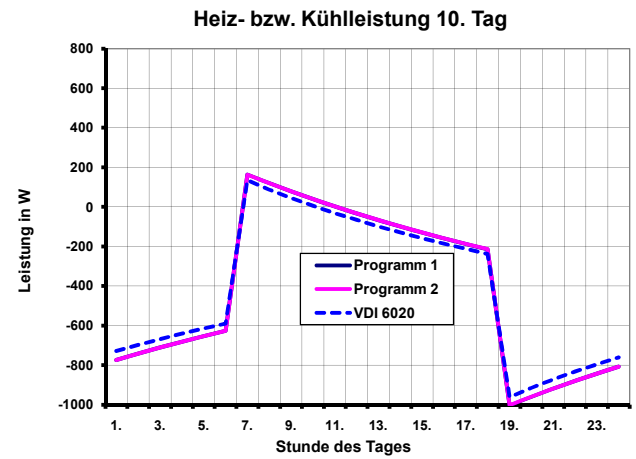


Diagramm A6.3 / Diagram A6.3

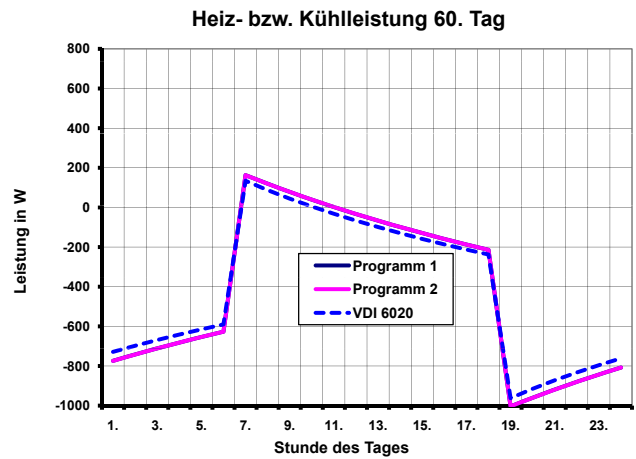


Diagramm A7.1 / Diagram A7.1

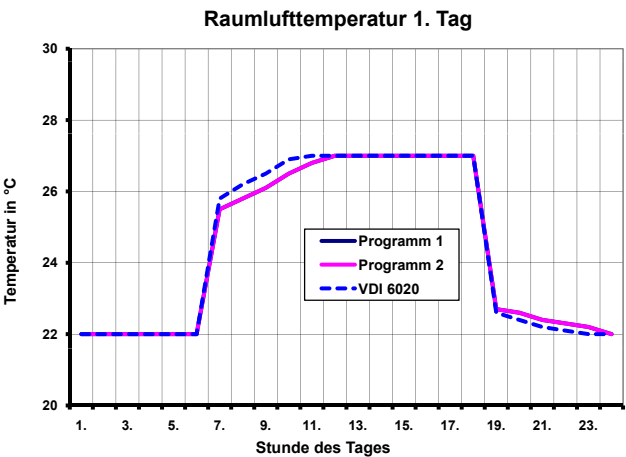


Diagramm A7.2 / Diagram A7.2

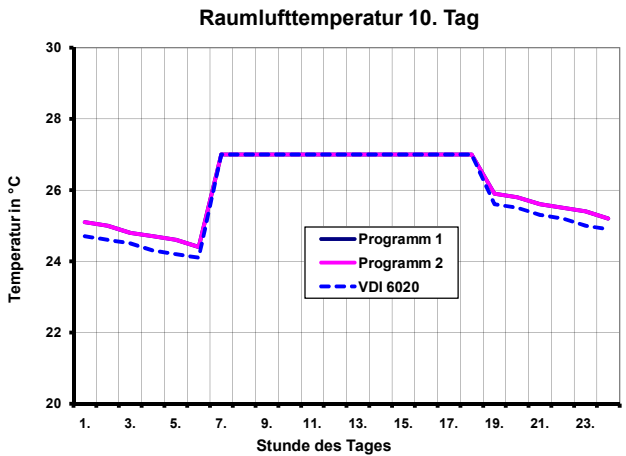


Diagramm A7.3 / Diagram A7.3

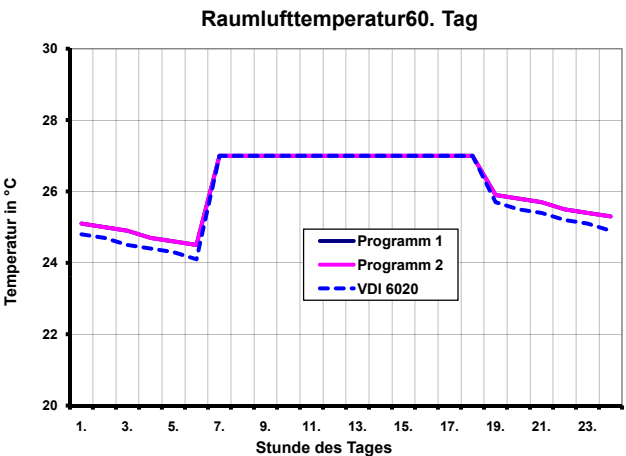


Diagramm A7.4 / Diagram A7.4

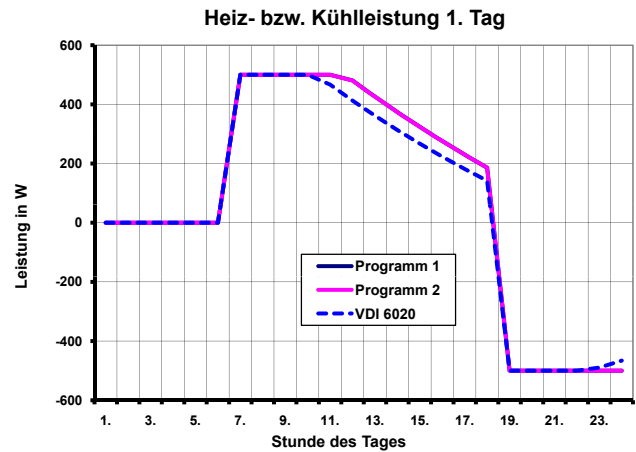


Diagramm A7.5 / Diagram A7.5

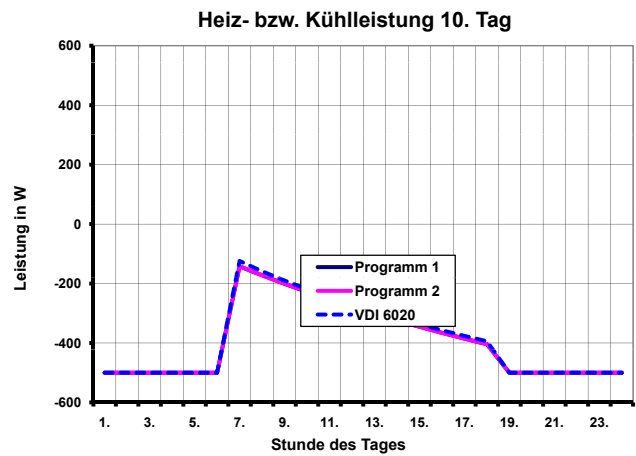


Diagramm A7.6 / Diagram A7.6

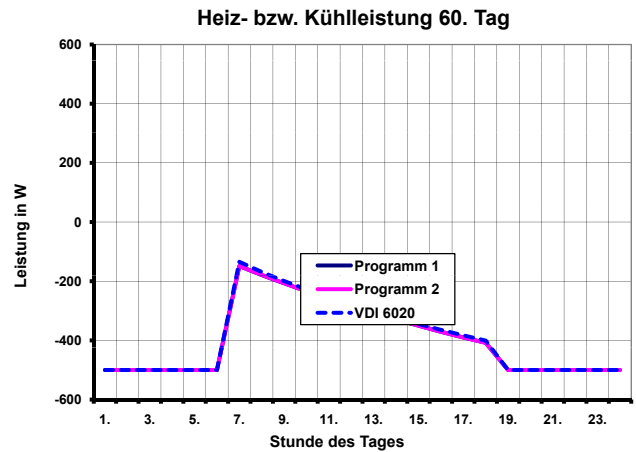


Diagramm A8.1 / Diagram A8.1

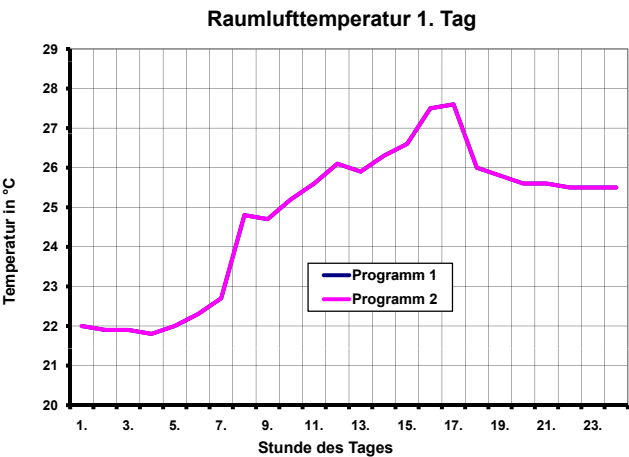


Diagramm A8.2 / Diagram A8.2

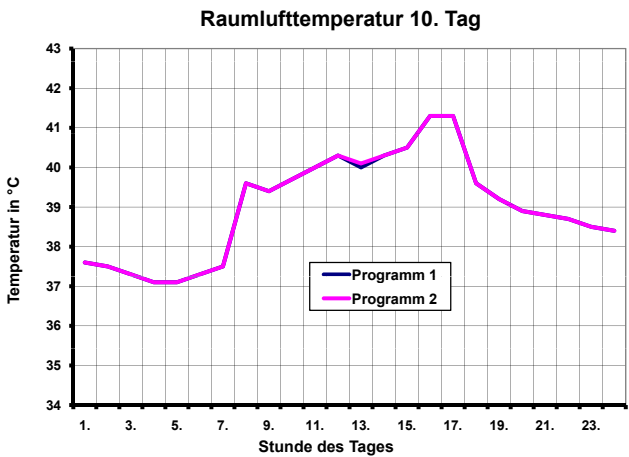


Diagramm A8.3 / Diagram A8.3

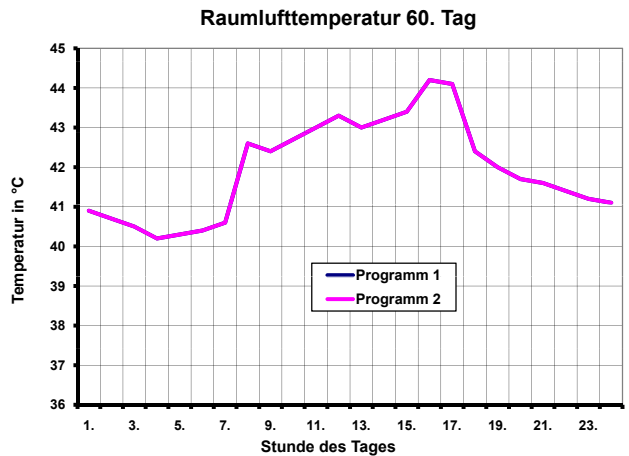


Diagramm A9.1 / Diagram A9.1

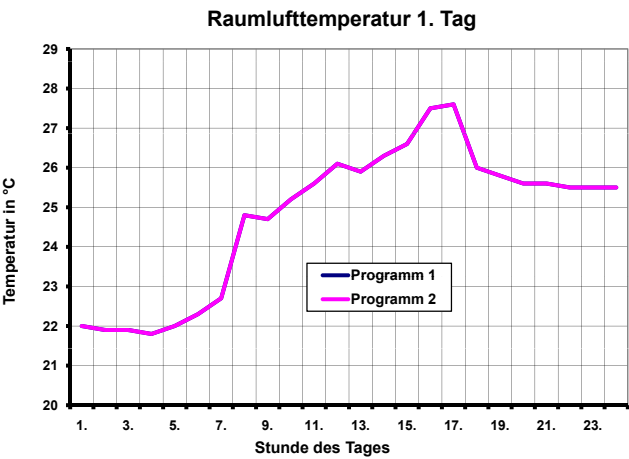


Diagramm A9.2 / Diagram A9.2

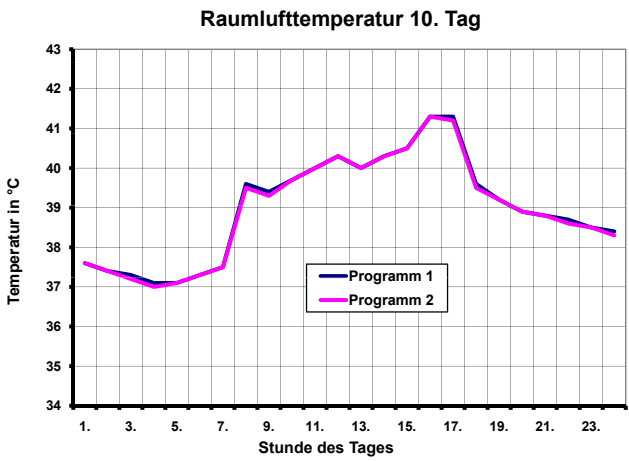


Diagramm A9.3 / Diagram A9.3

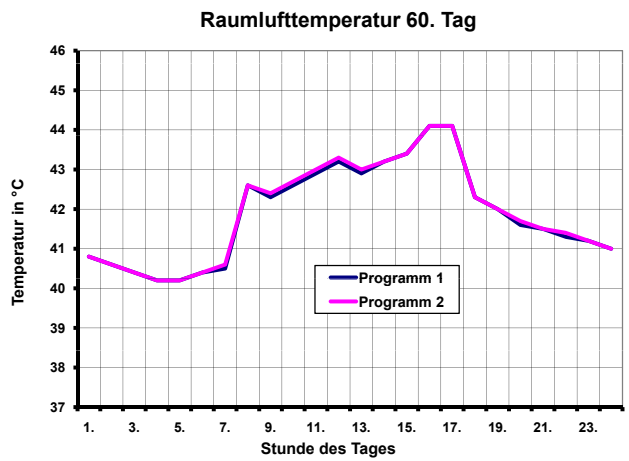


Diagramm A10.1 / Diagram A10.1

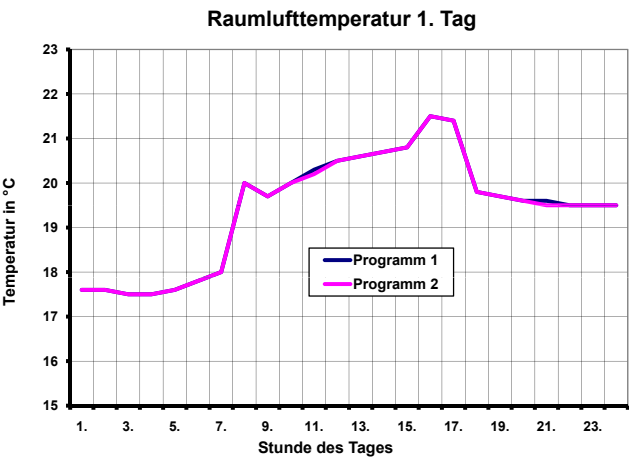


Diagramm A10.2 / Diagram A10.2

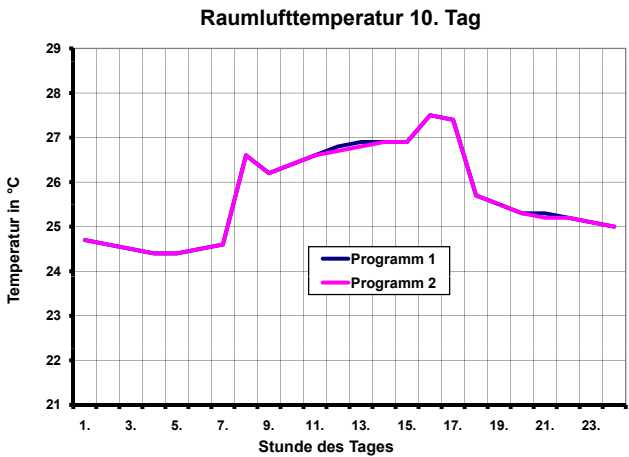


Diagramm A10.3 / Diagram A10.3

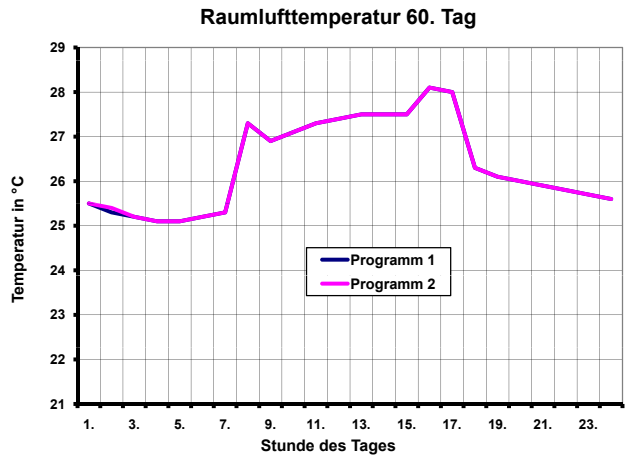


Diagramm A11.1 / Diagram A11.1

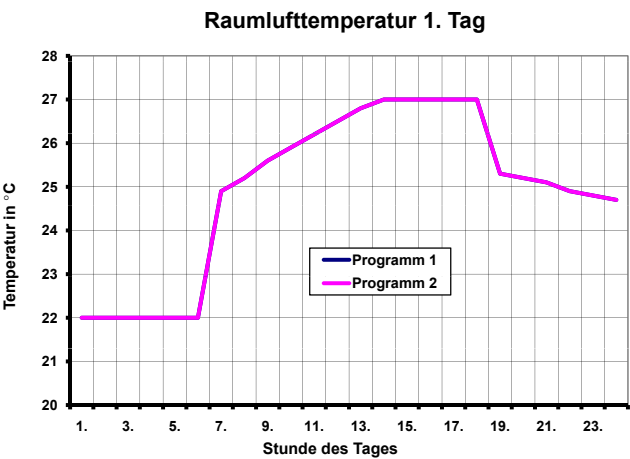


Diagramm A11.2 / Diagram A11.2

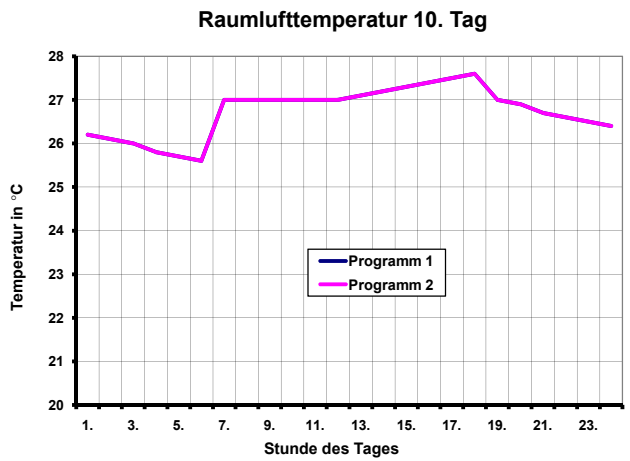


Diagramm A11.3 / Diagram A11.3

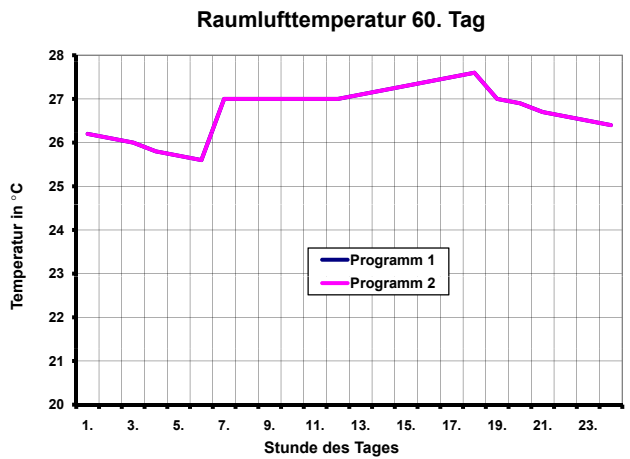


Diagramm A11.4 / Diagram A11.4

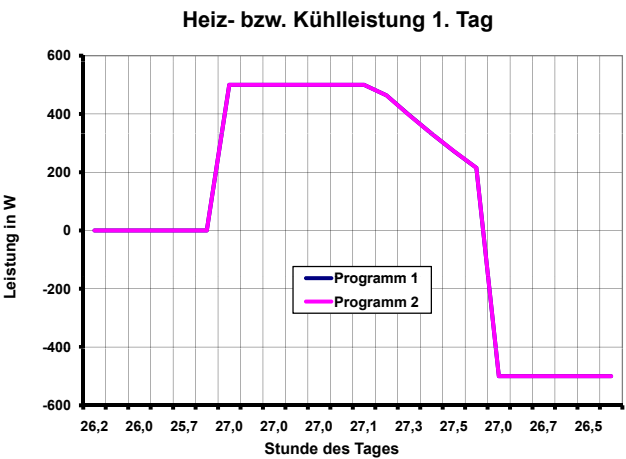


Diagramm A11.5 / Diagram A11.5

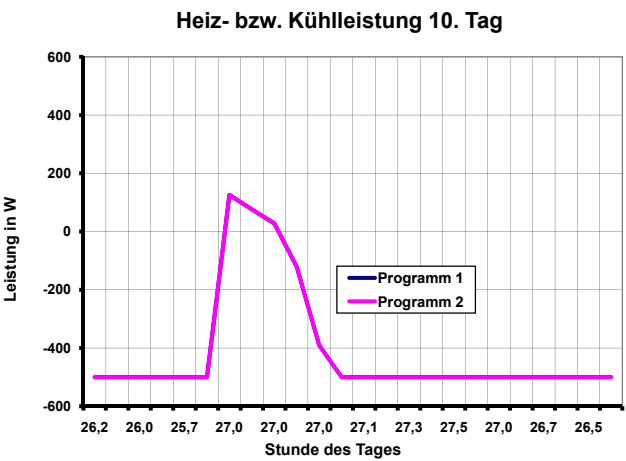


Diagramm A11.6 / Diagram A11.6

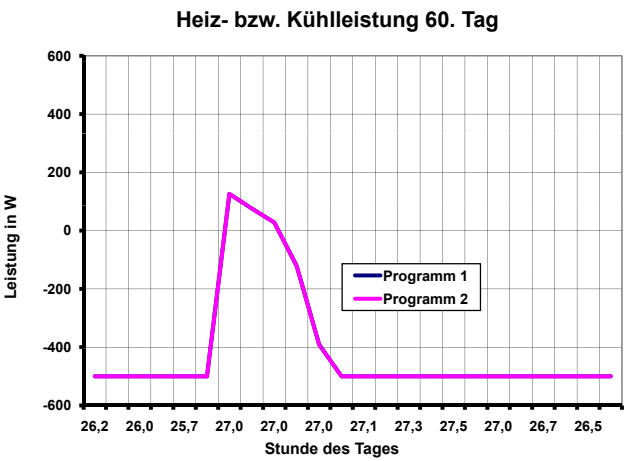


Diagramm A12.1 / Diagram A12.1

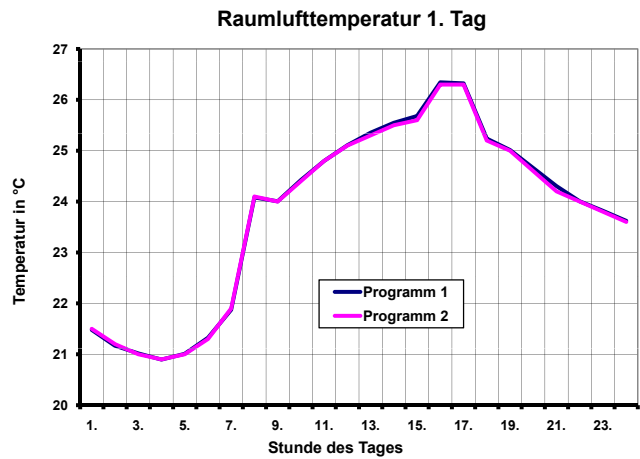


Diagramm A12.2 / Diagram A12.2

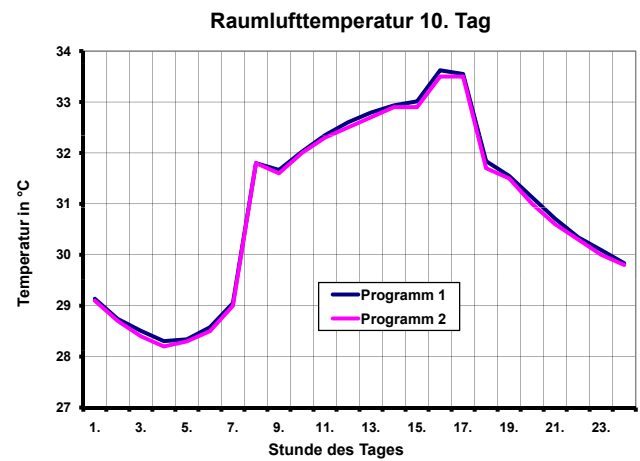
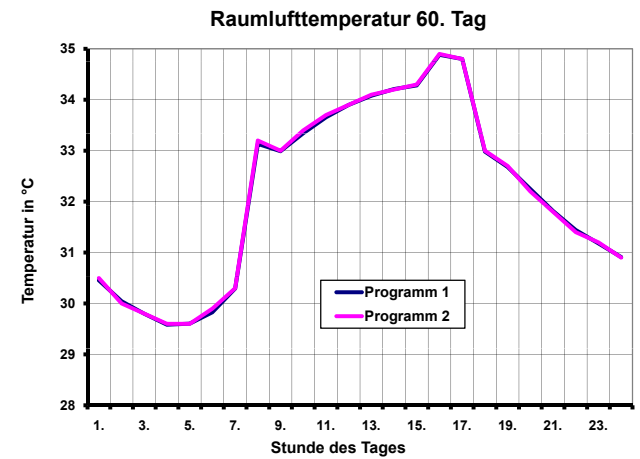
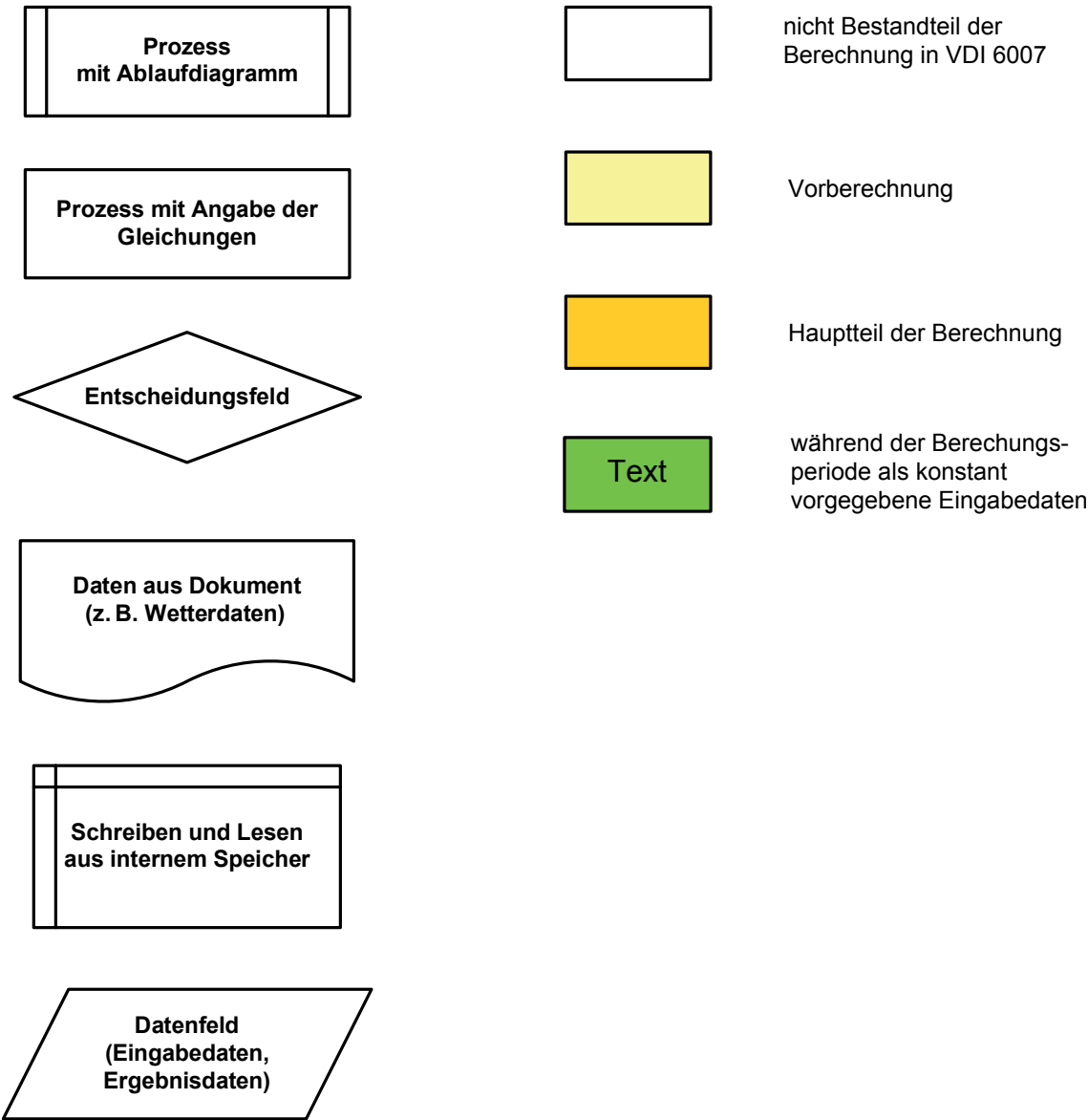


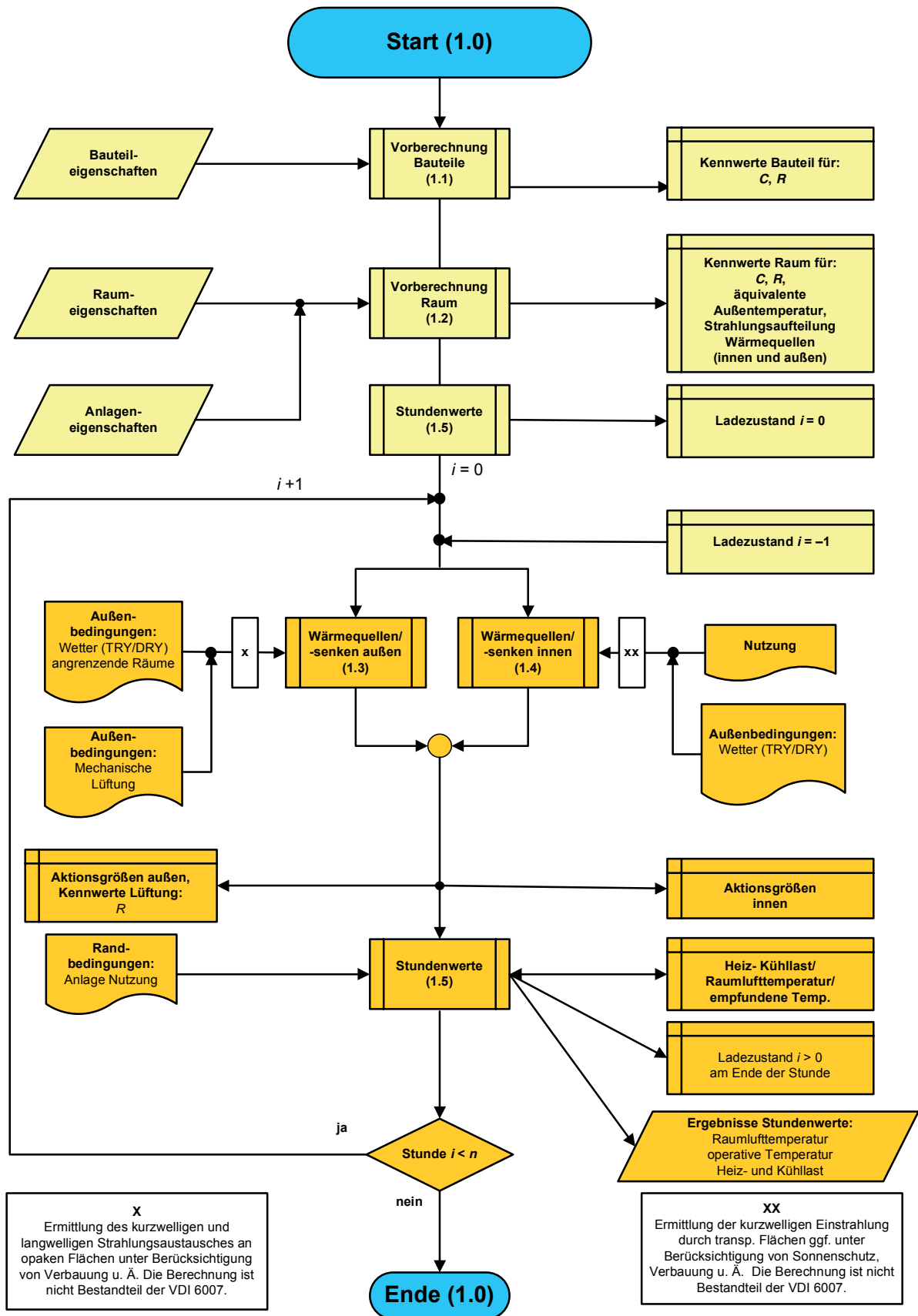
Diagramm A12.3 / Diagram A12.3

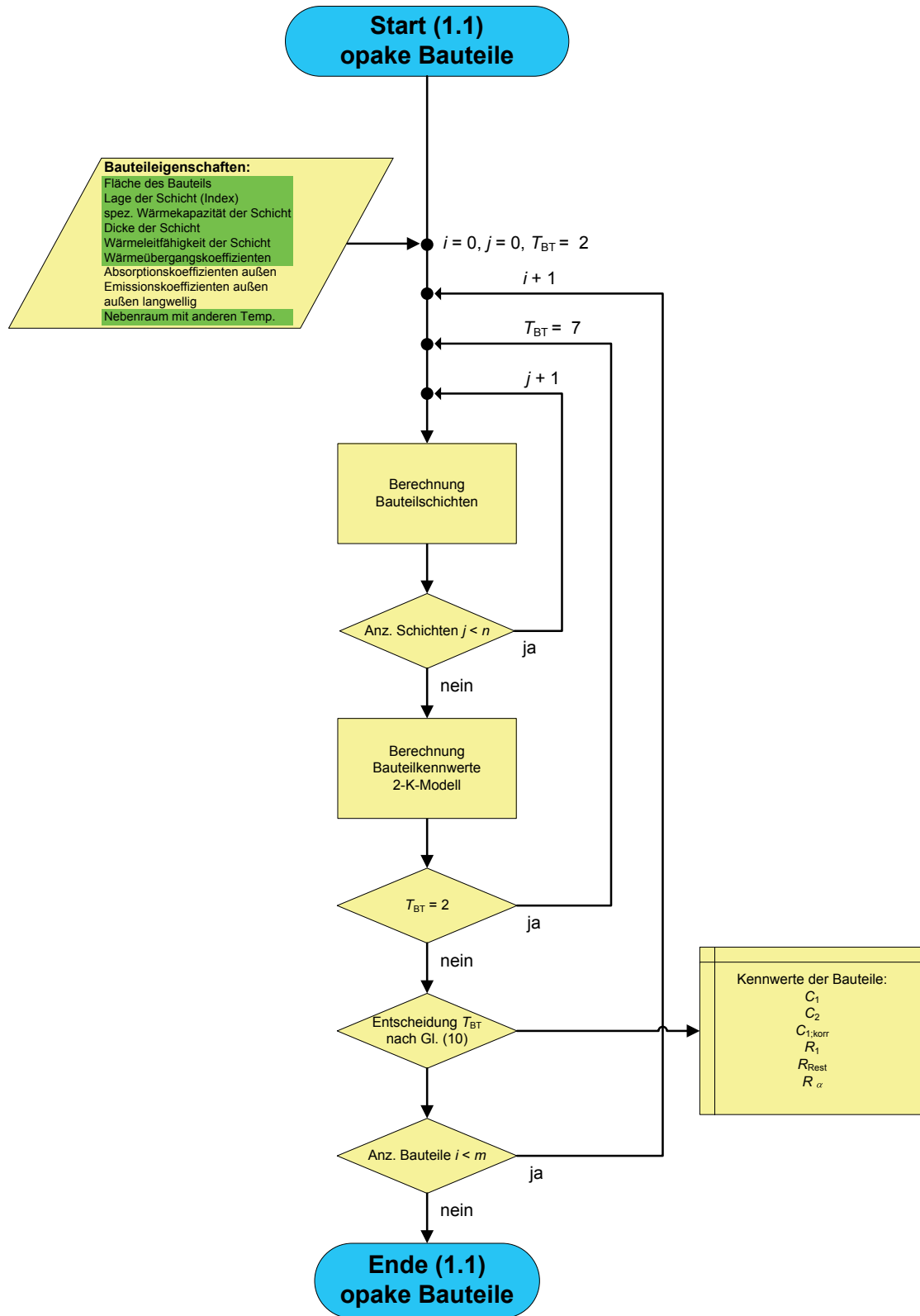


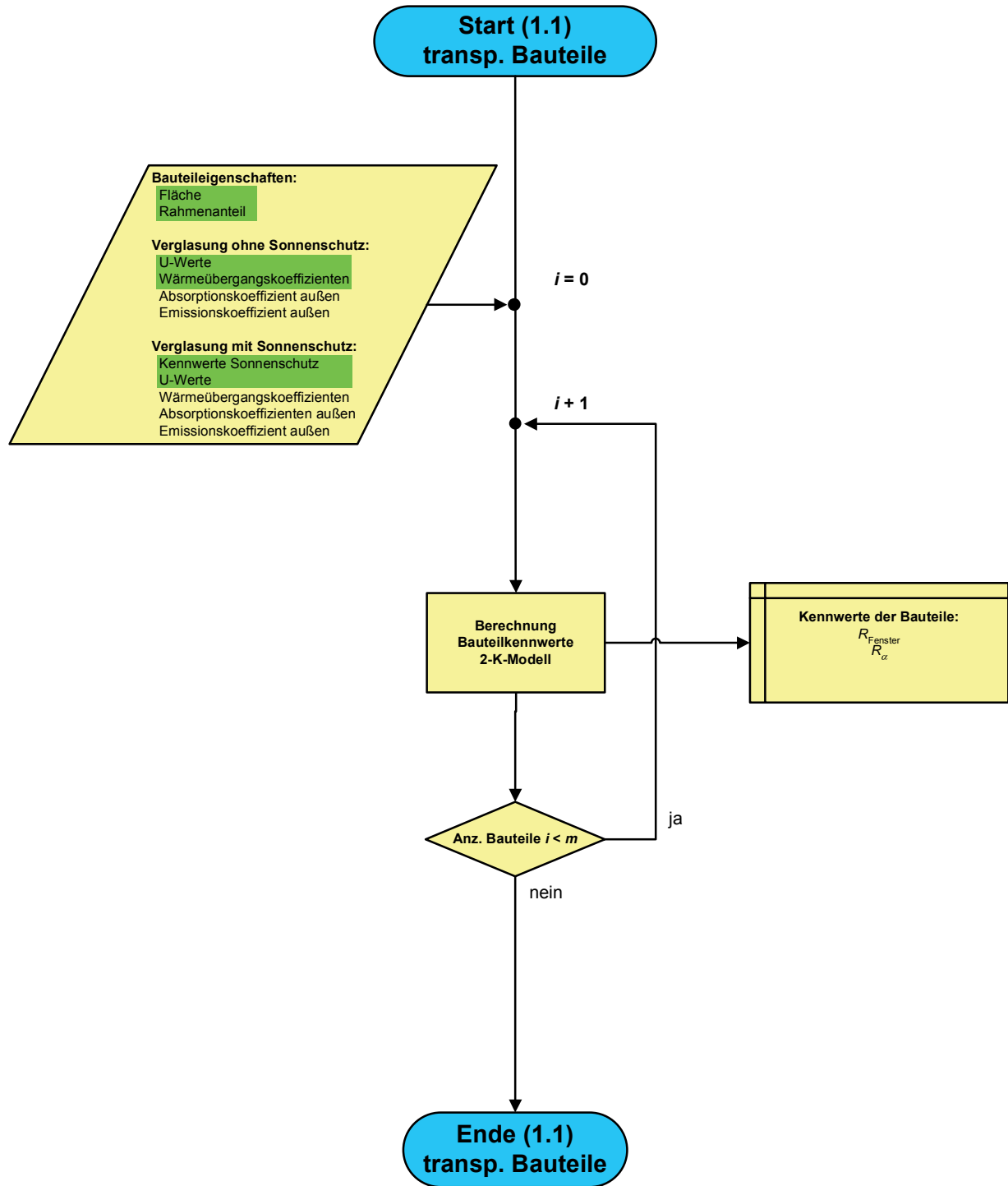
Anhang B Ablaufplan

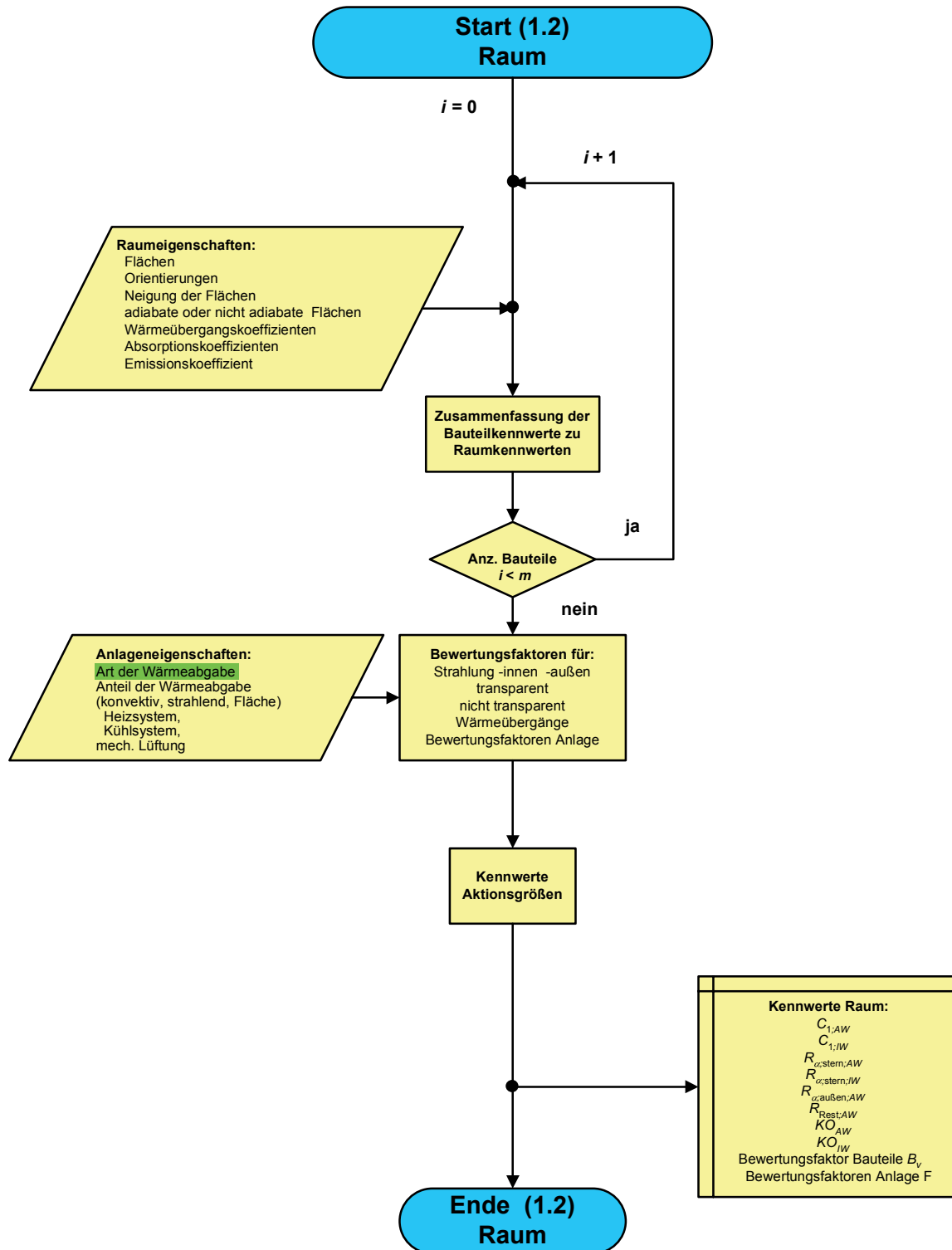
Legende

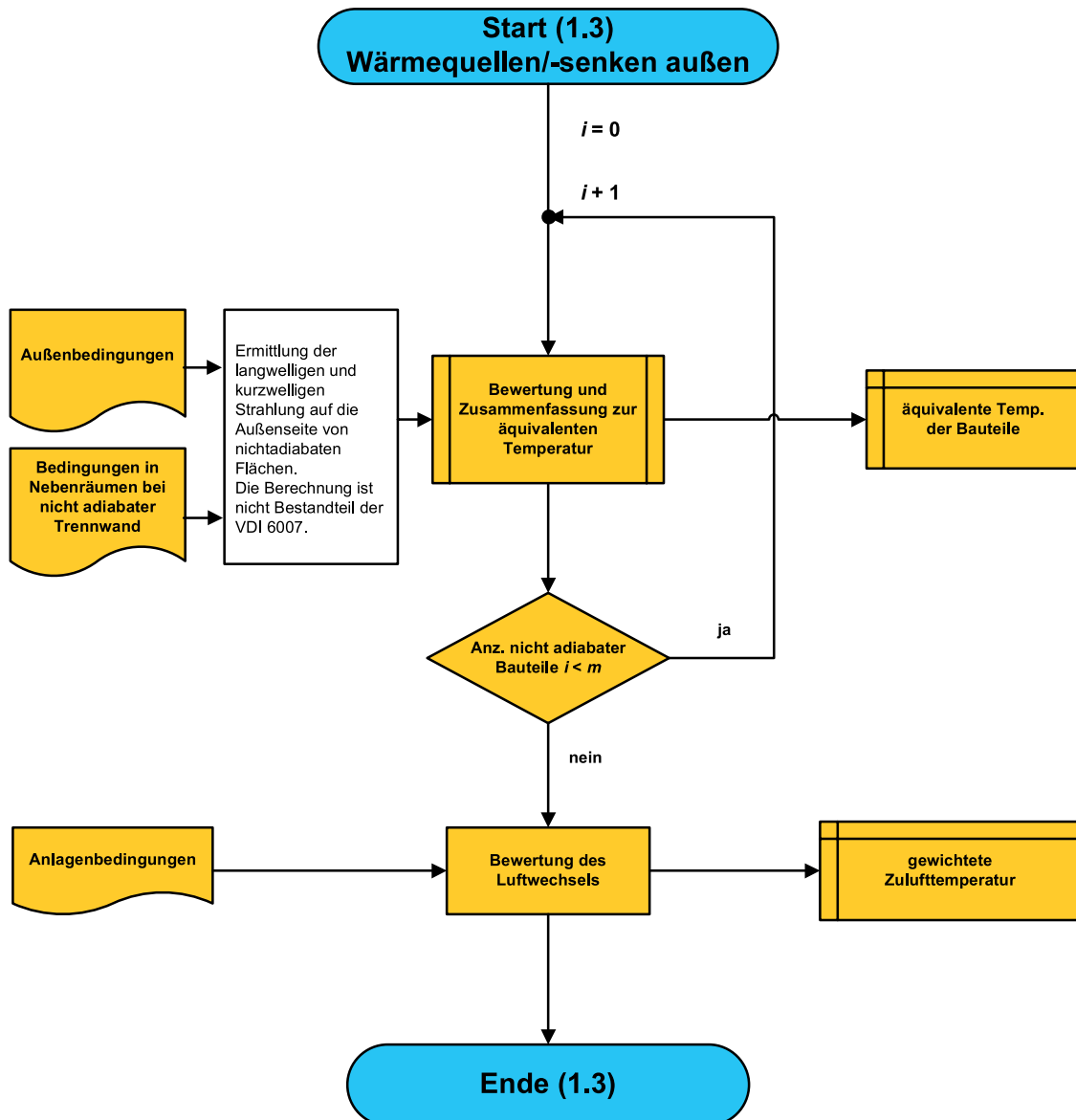


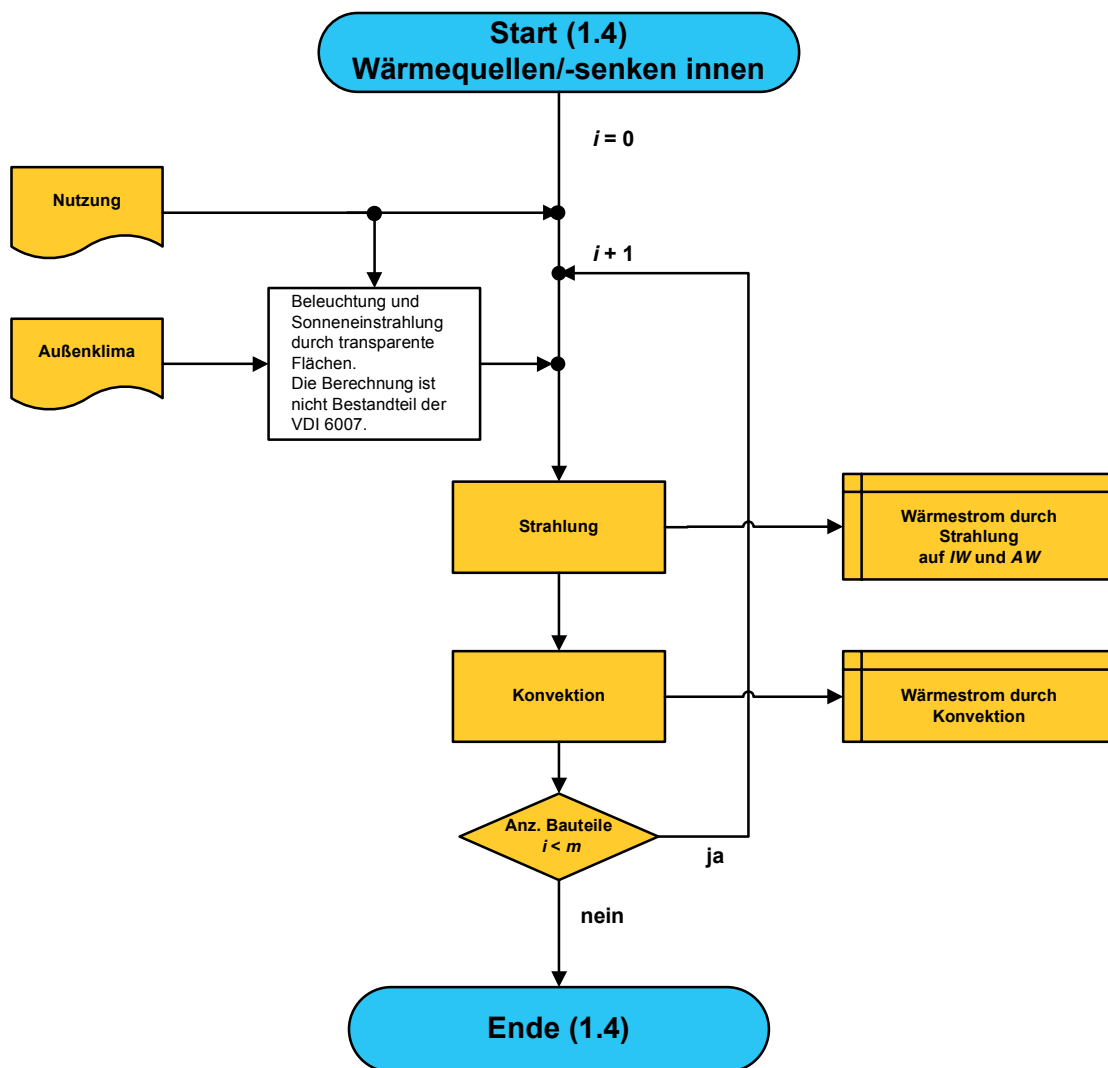


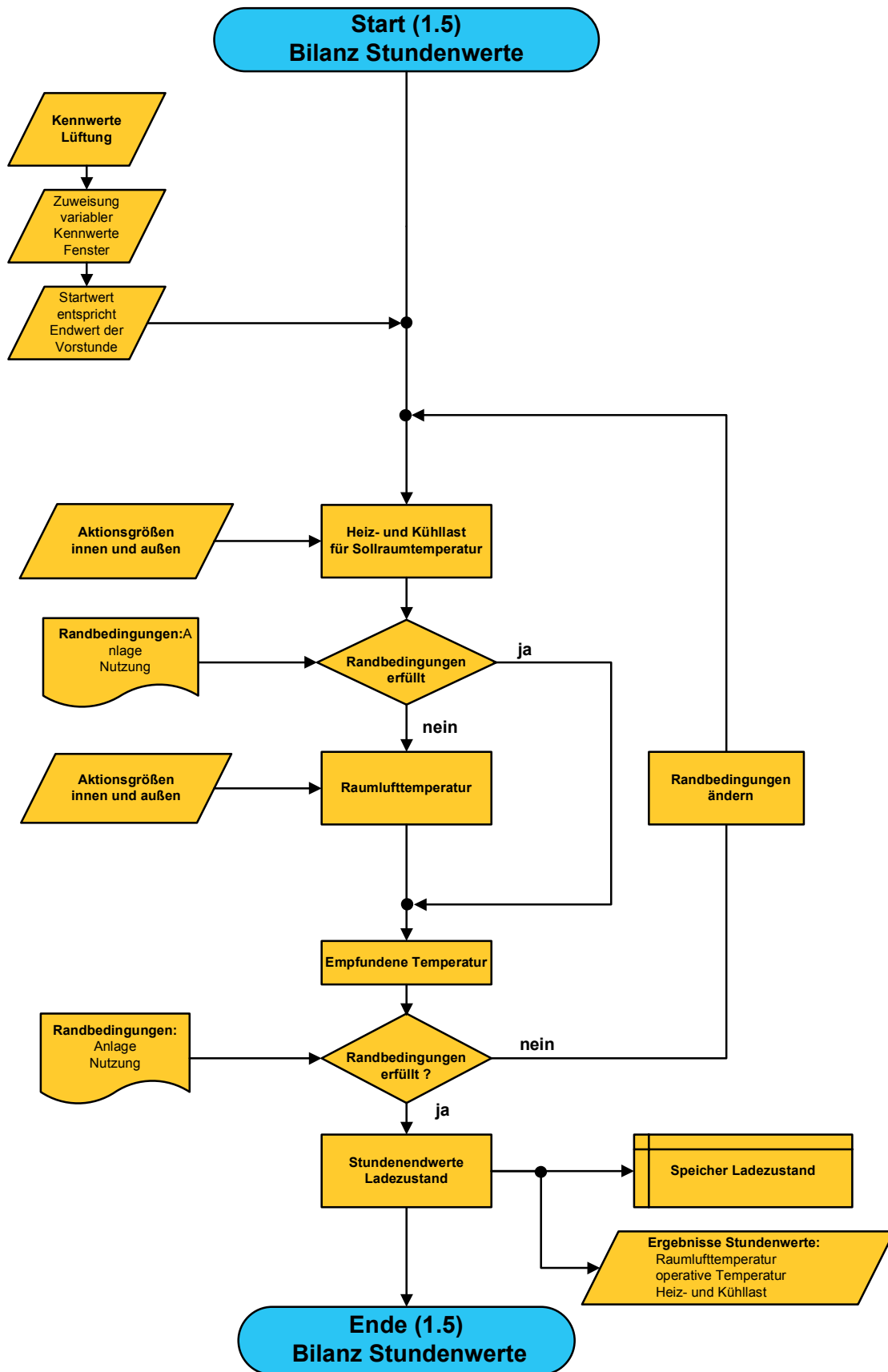






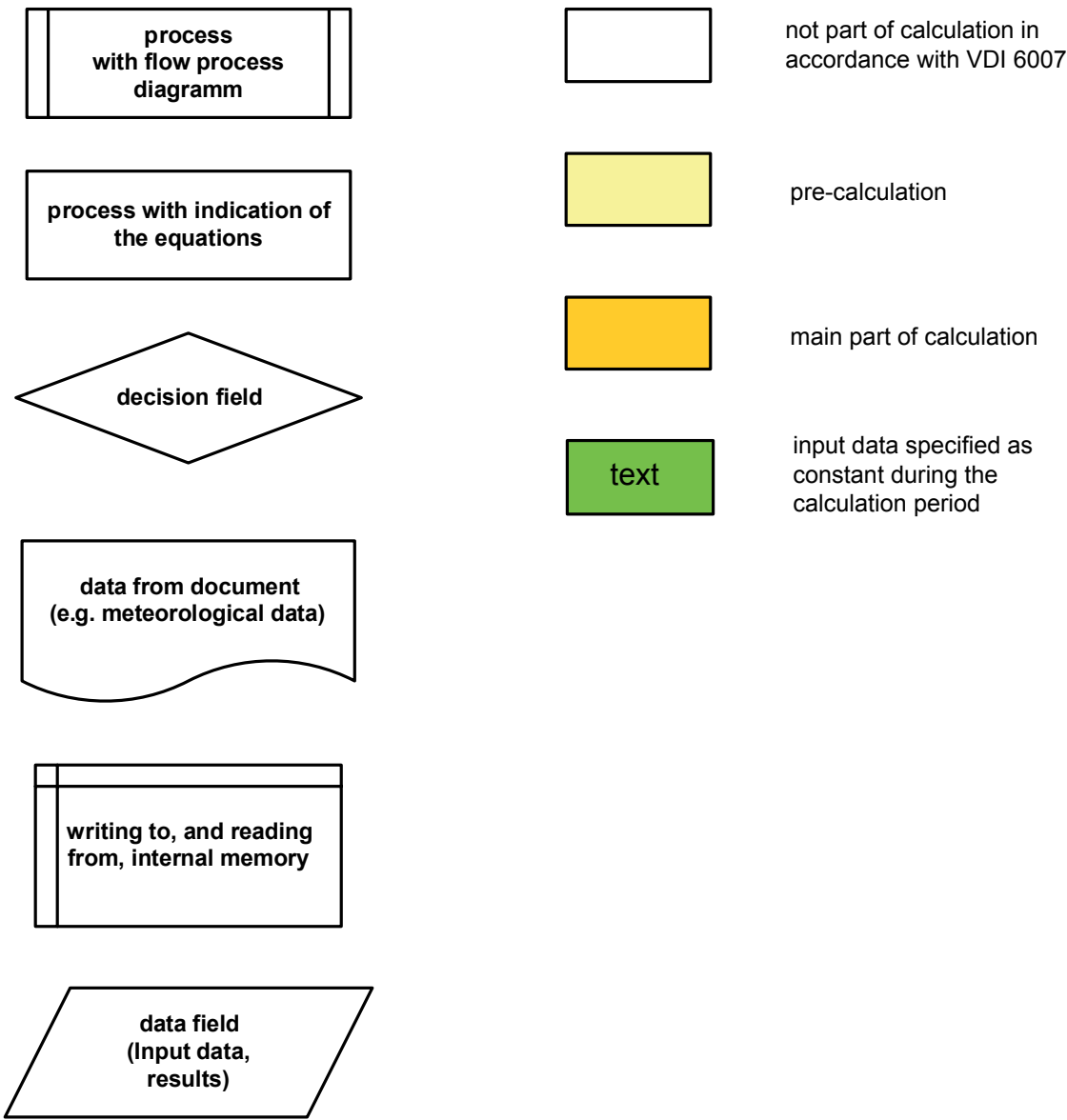


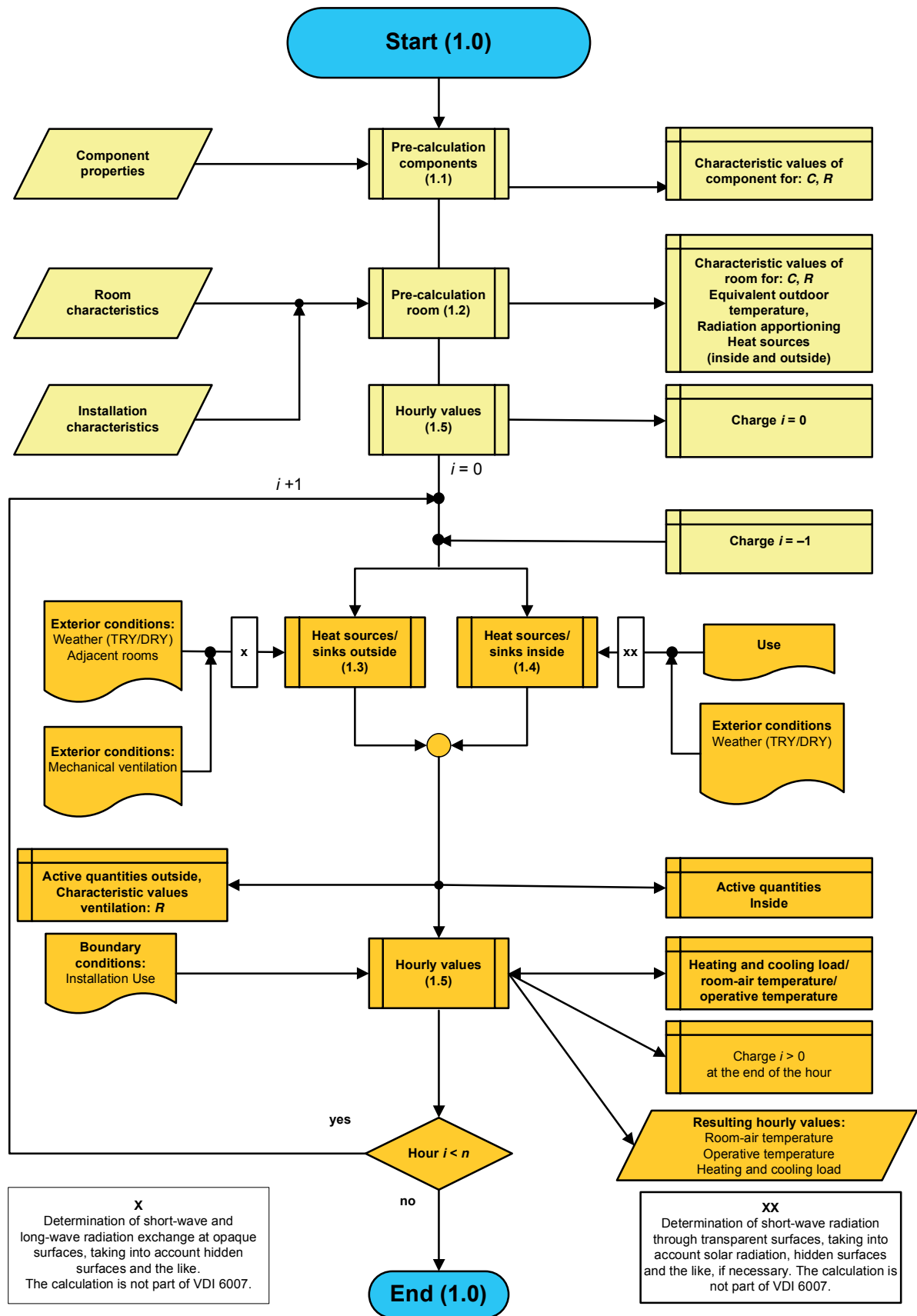


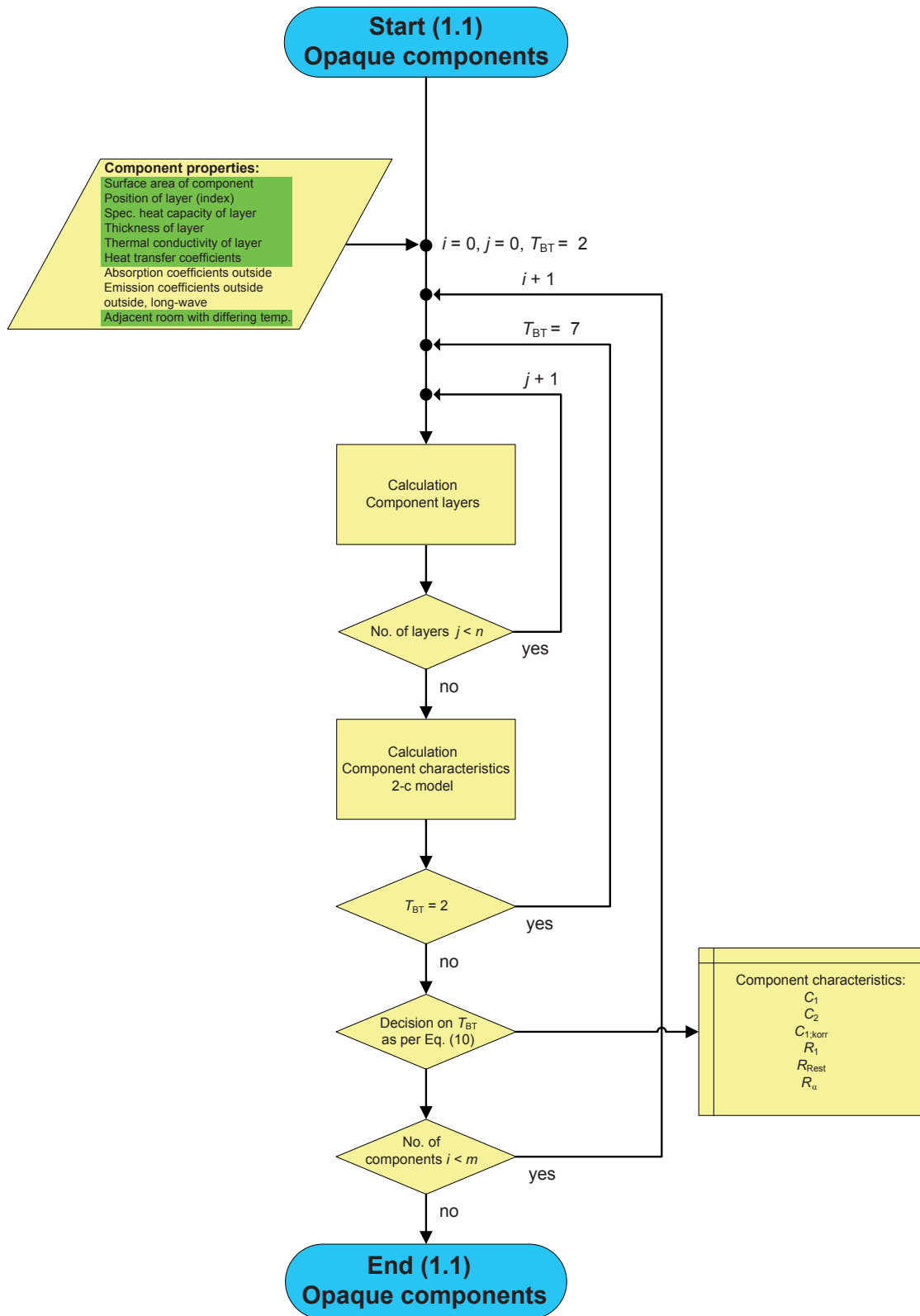


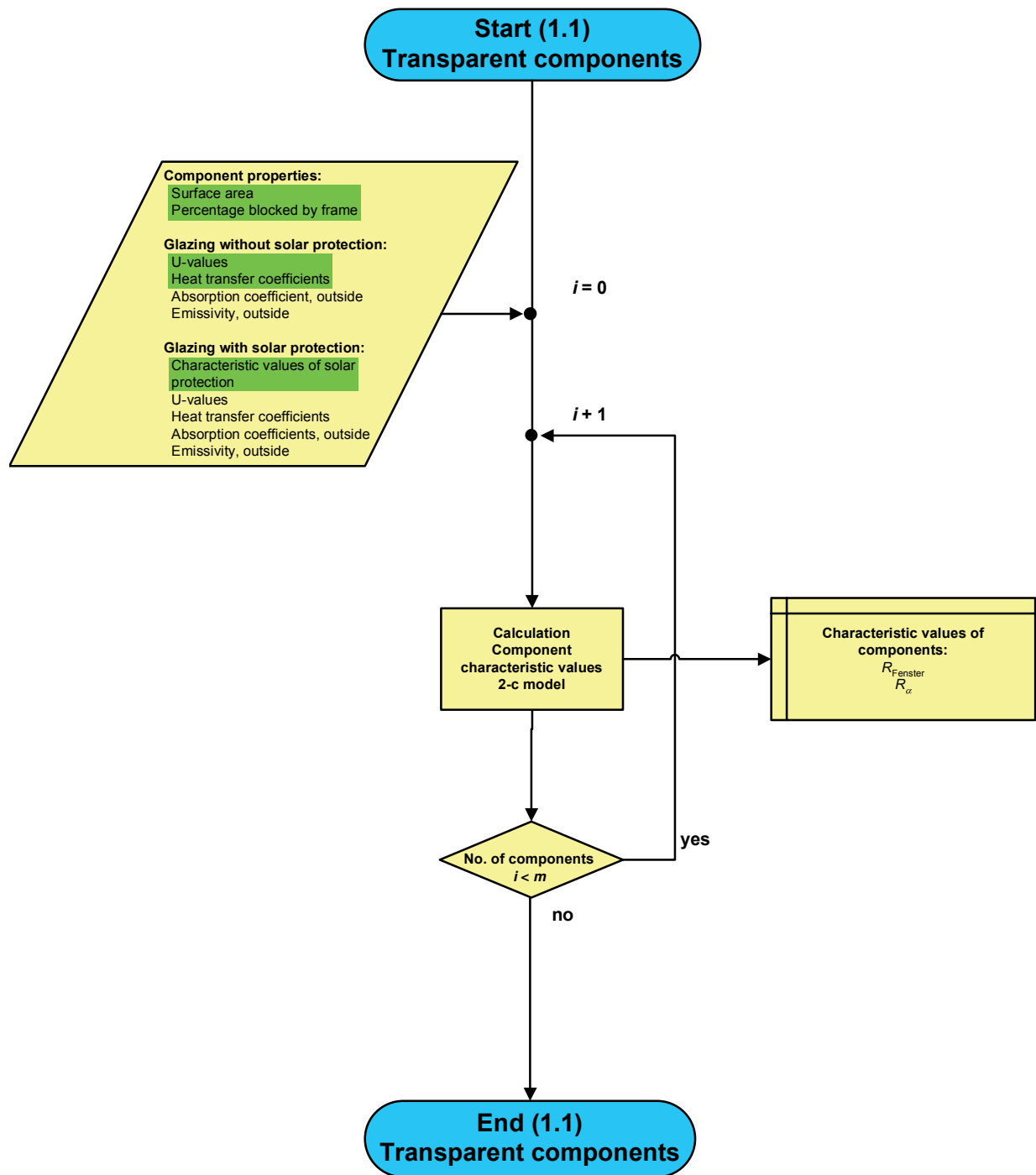
Annex B Flow chart

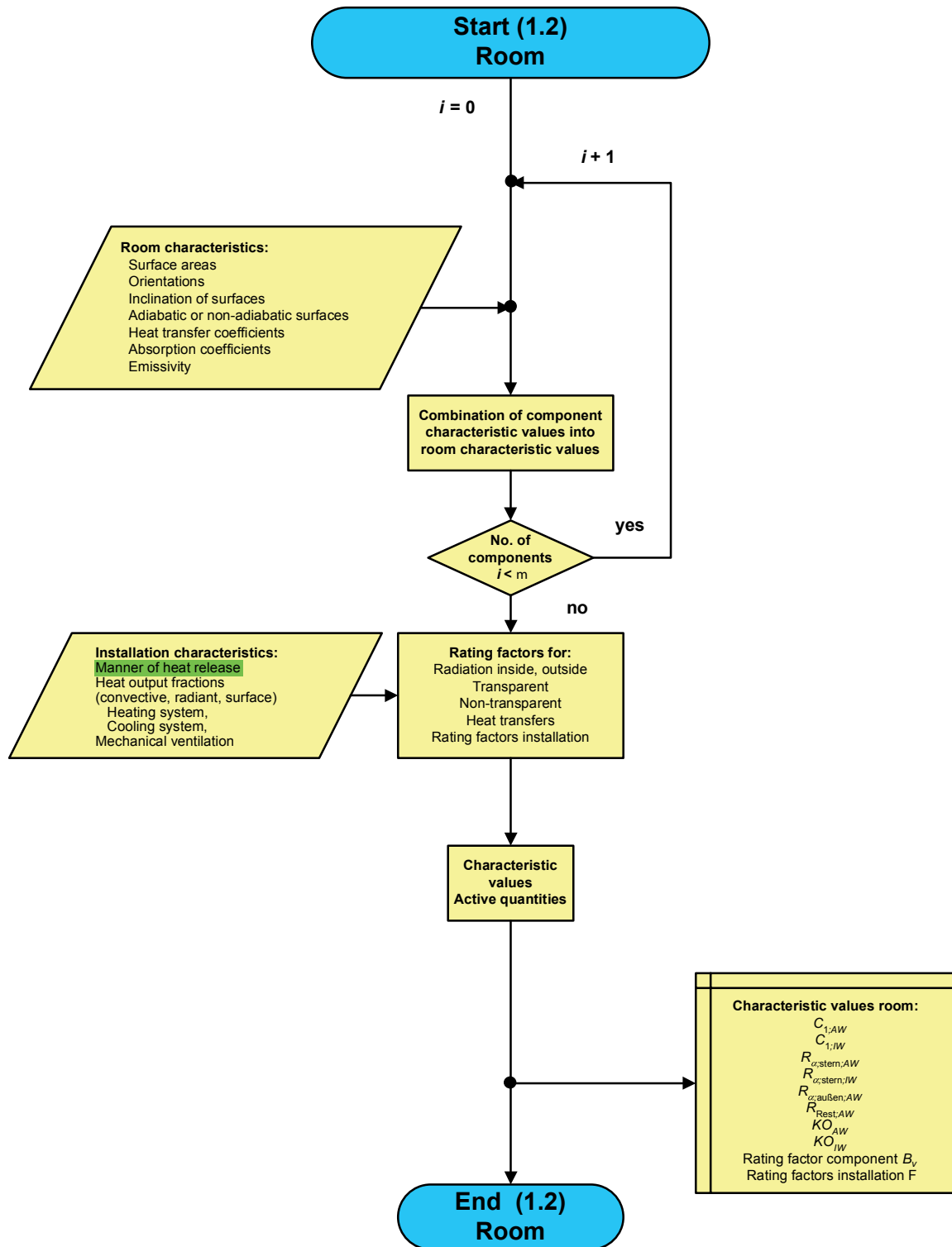
Key

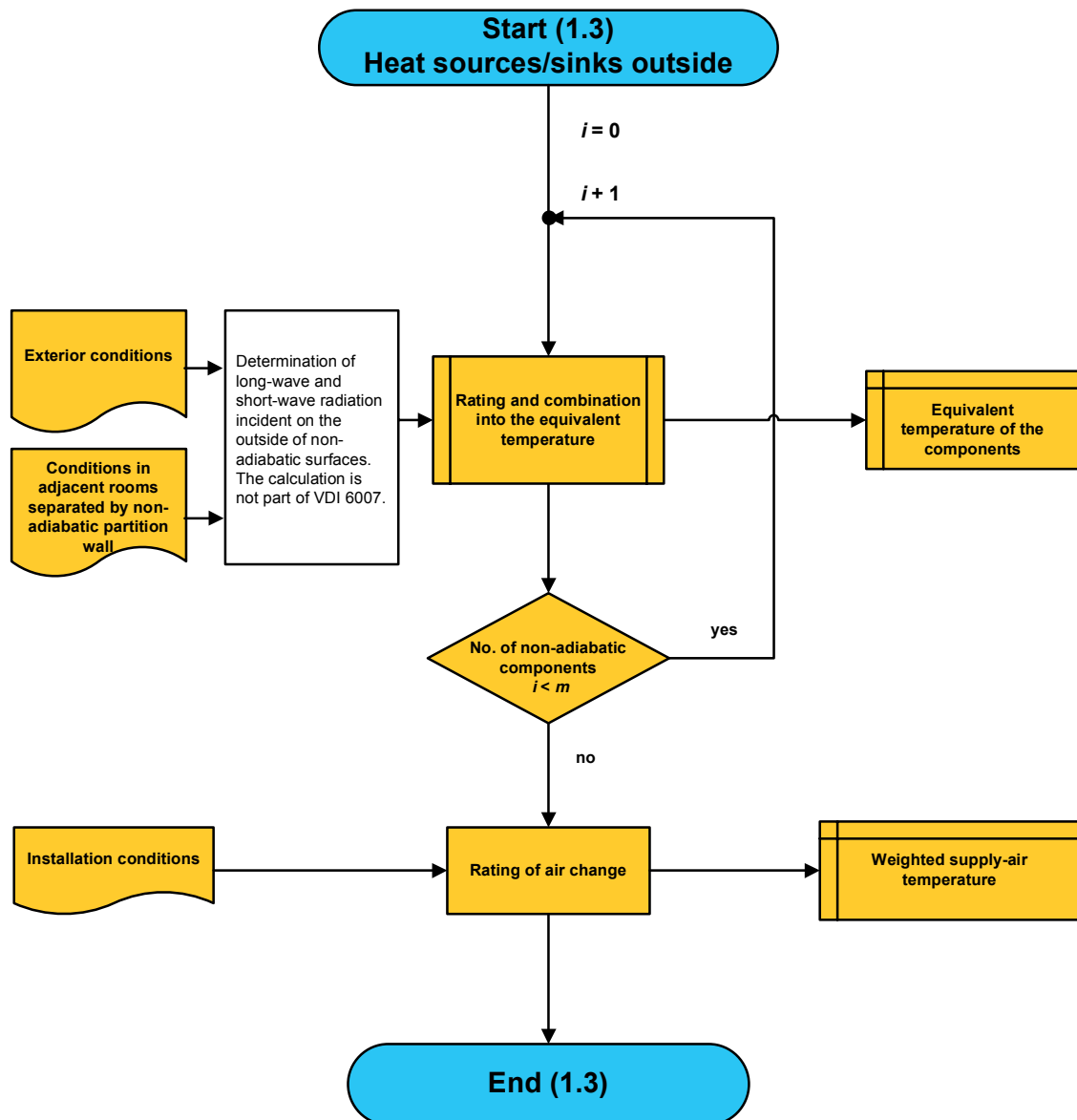


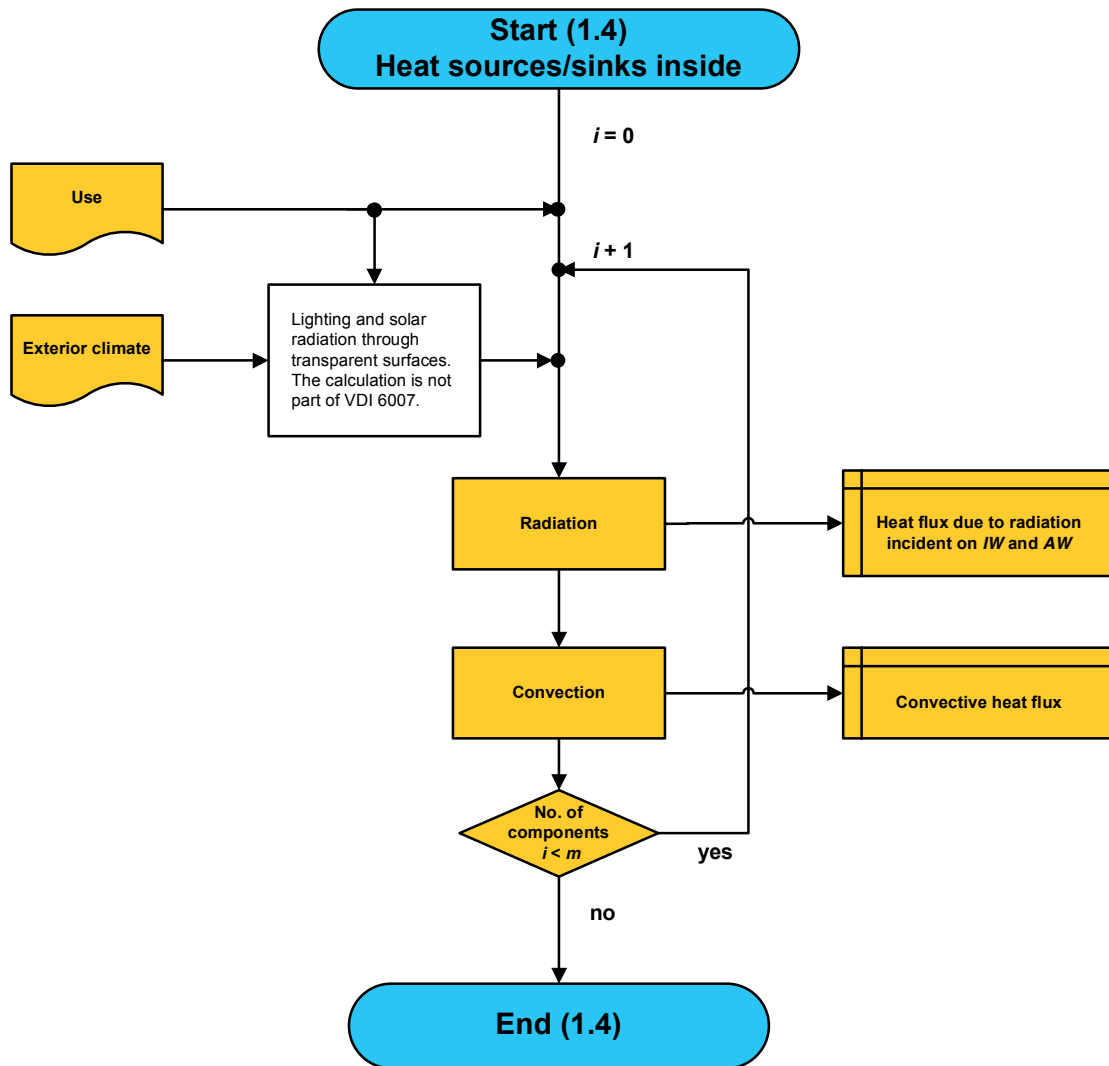


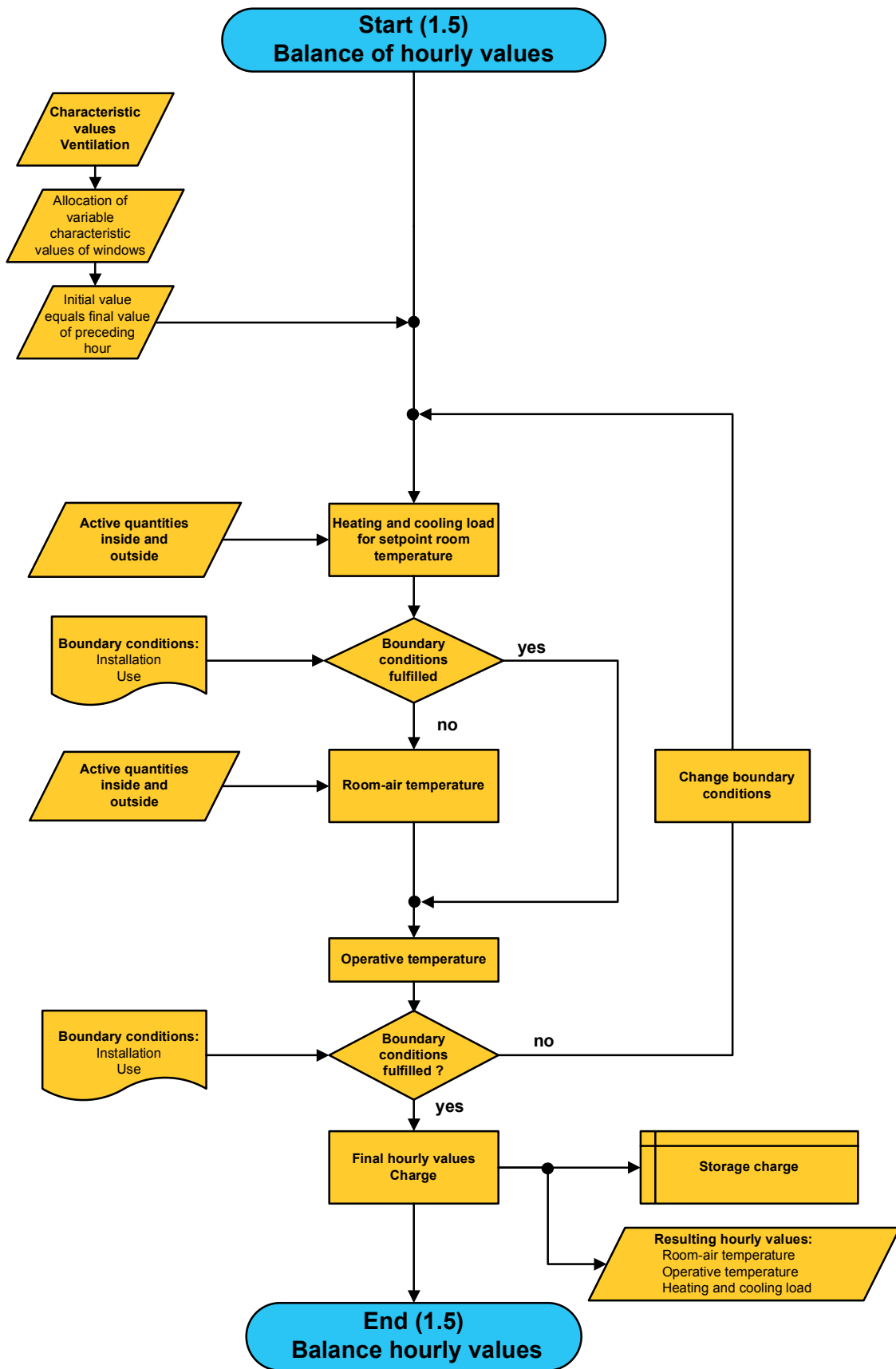












Hier ist ein Datenträger eingeklebt. /  
A data carrier should be attached here!

**Schrifttum / Bibliography****Technische Regeln / Technical rules**

DIN 4710:2003-01 Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland (Statistics on German meteorological data for calculating the energy requirements for heating and air conditioning equipment). Berlin: Beuth Verlag

DIN 4710 Beiblatt 1:2003-01 Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland; Korrelation zwischen der Lufttemperatur  $t$  und dem Wasserdampfgehalt  $\chi$  (Statistics on meteorological data for calculating the energy requirement for heating and air conditioning equipment in Germany; Correlation between air temperature  $t$  and content of water vapor  $\chi$ ). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 12831:2003-08 Heizungsanlagen in Gebäuden; Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast; Deutsche Fassung EN 12831:2003 (Heating systems in buildings; Method for calculation of the design heat load; German version EN 12831:2003). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN ISO 13786:2008-04 Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen; Dynamisch-thermische Kenngrößen; Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13786:2007 (Thermal performance of building components; Dynamic thermal characteristics; Calculation methods (ISO 13786:2007); German version EN ISO 13786:2007). Berlin: Beuth Verlag

VDI 1000:2010-06 VDI-Richtlinienarbeit; Grundsätze und Anleitungen (VDI Guideline Work; Principles and procedures). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2067 Blatt 10:2013-09 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen; Energiebedarf von Gebäuden für Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten (Economic efficiency of building installations; Energy demand for heating, cooling, humidification and dehumidification). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2078:2015-06 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation) (Calculation of thermal loads and room temperatures (design cooling load and annual simulation)). Berlin: Beuth Verlag

VDI 4710 Blatt 1:2013-03 Meteorologische Grundlagen für die Technische Gebäudeausrüstung; Außereuropäische Klimadaten (Meteorological data for building-services purposes; Non-European climatic data). Berlin: Beuth Verlag

VDI 4710 Blatt 3:2011-03 Meteorologische Grundlagen für die technische Gebäudeausrüstung; t,x-Korrelationen der Jahre 1991 bis 2005 für 15 Klimazonen in Deutschland (Meteorological data for the building services; t,x correlations from 1991 to 2005 for 15 climatic zones in Germany). Berlin: Beuth Verlag

VDI 4710 Blatt 4:2014-03 Meteorologische Grundlagen für die Technische Gebäudeausrüstung; t,x-Korrelationen und Windstatistiken für 122 europäische Orte (Meteorological data for the building services; t,x correlations and wind statistics for 122 European cities). Berlin: Beuth Verlag

VDI 6007 Blatt 2:2012-03 Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden; Fenstermodell (Calculation of transient thermal response of rooms and buildings; Modelling of windows). Berlin: Beuth Verlag

VDI 6007 Blatt 3:2015-06 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

VDI 6020 Blatt 1:2001-05 Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation; Gebäudesimulation (Requirements on methods of calculation to thermal and energy simulation of buildings and plants; Buildings). Berlin: Beuth Verlag

**Weiterführende technische Regeln /****Further technical rules**

VDI 3789 Blatt 2:1994-10 Umweltmeteorologie; Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung (Environmental meteorology; In-

teractions between atmosphere and surfaces; Calculation of short-wave and long-wave radiation). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3789 Blatt 3:2001-10 Umweltmeteorologie; Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der spektralen Bestrahlungsstärken im solaren Wellenlängenbereich (Environmental meteorology; Interactions between atmosphere and surfaces; Calculation of spectral irradiances in the solar wavelength range). Berlin: Beuth Verlag

**Literatur / Literature**

- [1] Rouvel, L.: Berechnung des wärmetechnischen Verhaltens von Räumen bei dynamischen Wärmelasten. Brennstoff-Wärme-Kraft 24 (1972) 6, S. 245–262
- [2] Rouvel, L.; F. Zimmermann: Ein regelungstechnisches Modell zur Beschreibung des thermisch dynamischen Raumverhaltens, Teil 1 und 2. Heizung-Lüftung-Haustechnik 48 (1997) 10 und 12
- [3] Rouvel, L.; F. Zimmermann: Ein regelungstechnisches Modell zur Beschreibung des thermisch dynamischen Raumverhaltens, Teil 3. Heizung-Lüftung-Haustechnik 49 (1998) 1
- [4] Rouvel, L.; F. Zimmermann: Berechnung des instationären thermischen Gebäudeverhaltens, Teil 1. Heizung-Lüftung-Haustechnik 55 (2004) 3
- [5] Rouvel, L.; F. Zimmermann: Berechnung des instationären thermischen Gebäudeverhaltens, Teil 2. Heizung-Lüftung-Haustechnik 55 (2004) 4
- [6] Rouvel, L.: Raumkonditionierung – Wege zum energetisch optimierten Gebäude. Berlin: Springer Verlag 1978
- [8] Boeke, W.; L. Wall: Radiative Exchange Factors in Rectangular Spaces for the determination of Mean Radiant Temperatures, B.S.E., March 1976, Volume 43
- [9] Seem, J. E.: Modeling of Heat Transfer in Buildings, Dissertation, University of Wisconsin-Madison, 1987
- [10] Testreferenzjahre – Meteorologische Grundlagen für Simulationen von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Förderkennzeichen 03 E – 5280 A; veröffentlicht in BINE Nr. 1/Okttober 1991
- [11] Nehring, G.: Über den Wärmefluss durch Außenwände und Dächer in klimatisierte Räume infolge der periodischen Tagesgänge der bestimmenden meteorologischen Elemente. Gesundheitsingenieur 83 (1962) Nr. 7, S. 185–189, Nr. 8 S. 230–242, Nr. 9 S. 253–269
- [12] Mackey, C.O.; Wright, L.T.: Periodic heat flow-homogenous walls or roofs. ASHVE Transaction Vol. 50, New York, 1944
- [13] Rouvel, L.: Raumkonditionierung – Wege zum energetisch optimierten Gebäude. Schriftenreihe der Forschungsstelle für Energiewirtschaft Band 12. Berlin: Springer Verlag, 1978
- [14] Zimmermann, F.: Energetische Optimierung von Gebäuden und Anlagen 12 von Simulationsprogrammen. Fortschrittsberichte Reihe 19, Wärmetechnik/Kältetechnik, Nr. 61. Düsseldorf: VDI Verlag
- [15] Jahn, A.: Das Testreferenzjahr. HLH 28 (1977) 6
- [16] Christoffer, J.; Deutschländer, T.; Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes Offenbach a. Main, 2004
- [17] Meteororm Version 5.1: Meteotest Fabrikstraße 14 CH 3012 Bern
- [18] Aydinli, S.: Über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarenergie und des Tageslichtes. Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften Reihe 6 (1981) 79