

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Anforderungen an thermisch-energetische  
Rechenverfahren zur Gebäude- und  
Anlagensimulation

VDI 6020

Entwurf

Requirements to be met by calculation methods  
for the simulation of thermal-energy efficiency of  
buildings and building installations

Einsprüche bis 2017-02-28

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal  
<http://www.vdi.de/einspruchportal>
- in Papierform an  
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik  
Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung  
Postfach 10 11 39  
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	5
<b>2 Normative Verweise</b> .....	5
<b>3 Begriffe</b> .....	5
<b>4 Abkürzungen</b> .....	6
<b>5 Anforderungen an und Randbedingungen für Rechenverfahren</b> .....	6
5.1 Allgemeine Anforderungen und Randbedingungen .....	6
5.2 Anforderungen und Randbedingungen bezüglich Nutzung .....	9
5.3 Art der Wärmezufuhr und -abfuhr durch die technische Gebäudeausrüstung .....	14
<b>6 Modelle und Rechenverfahren</b> .....	17
6.1 Modellbildung für die thermisch energetische Simulation .....	17
6.2 Rechenverfahren zur Raumbilanz .....	19
6.3 Referenzmodell für die Validierung .....	23
<b>7 Validierung</b> .....	23
7.1 Systematik der Validierung .....	23
7.2 Zuordnung der Testbeispiele zu den Validierungsfällen .....	24
7.3 Validierungsmaßstäbe und -details .....	24
7.4 Nachweis der Validierung .....	24

Inhalt	Seite
<b>8 Testbeispiele</b> .....	25
8.1 Randbedingungen und Berechnungs- annahmen für die Testbeispiele .....	25
8.2 Die Testbeispiele im Überblick .....	27
8.3 Testbeispiele der VDI 6020 .....	27
8.4 Testbeispiele der VDI 6007 Blatt 1 .....	32
8.5 Testbeispiele der VDI 2078 .....	33
<b>9 Durchführung der Validierung, Mustertabellen</b> .....	35
9.1 Vorgehensweise bei der Validierung .....	35
9.2 Mustertabellen für die Validierung .....	35
<b>Anhang A</b> Berechnungsalgorithmen .....	39
A1 Heating Design Period (HDP) und Heating Design Days (HDD) .....	39
A2 Heizlast, Kühllast- und Raumtemperaturberechnung .....	39
<b>Anhang B</b> Klimadaten der Testbeispiele .....	47
B1 Klimadaten der Testbeispiele der VDI 6020 .....	47
B2 Klimadaten der Testbeispiele der VDI 6007 Blatt 1 .....	49
B3 Klimadaten der Testbeispiele der VDI 2078 .....	53
<b>Anhang C</b> Daten der Testbeispiele .....	55
C1 Typräume S und L (VDI 2078:1996 bzw. VDI 6020 Blatt 1:2001) .....	55
C2 Räume vom Typ XL bis XS (VDI 2078) .....	56
C3 Inhalt des Datenträgers .....	60
C4 Ergebnisse der Testbeispiele .....	60
<b>Anhang D</b> Formblatt für eine Konformitätserklärung .....	74
Schrifttum .....	75

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

VDI-Handbuch Raumluftechnik  
VDI-Handbuch Wärme-/Heiztechnik

## 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.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Dr.-Ing. *Christoph Beck*, Stuttgart

Dipl.-Ing. (FH) *Björn Düchting* VDI, Düsseldorf

Prof. Dr.-Ing. *Rainer Hirschberg* VDI, Wiesbaden

B.Sc. *Jasmin Pfuhrer* VDI, Kehl

Prof. Dr.-Ing. *Lothar Rouvel*, München

Dipl.-Ing. *Christian Seifert* VDI, Dresden

Dipl.-Ing. (FH) *Frank Zimmermann* VDI, Heilbronn (Vorsitzender)

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

## Einleitung

Die Überarbeitung der Richtlinie VDI 6020 Blatt 1 (Ausgabe Mai 2001) wurde aus den nachfolgend erläuterten Gründen erforderlich:

- Die Testbeispiele enthalten nur wenige Standardfälle, die für die Validierung von Programmen für die thermisch energetische Gebäude- und Anlagensimulation – unter Berücksichtigung der thermischen und regelungstechnischen Rückwirkungen der TGA-Anlage – nicht ausreichend sind.
- Die Testbeispiele enthalten nur einen Vergleich verschiedener Programme, was lediglich Aussagen über die Streubreite der Ergebnisse erlaubt.
- Es fehlen Testbeispiele u.a. für Kühldecken, natürliche Lüftung, variable Anlagenleistung.
- Es fehlen Anforderungen an die Berücksichtigung von Regelungsstrategien.
- Die Eingabedaten enthalten noch einige Druckfehler, die zu Irritationen führten.
- Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt nur, für eine Validierung ungeeignet, in grafischer Form.
- Nicht zuletzt fehlen Validierungsverfahren für Jahressimulation und Anlagendimensionierung

mit einem geeigneten Maßstab und sinnvollen Validierungsgrenzen.

Die nun vorliegende Richtlinie fasst alle Anforderungen an Rechenverfahren zur Jahressimulation zusammen. Aufgrund der Komplexität des Verfahrens ist es erforderlich, für Teile des Verfahrens, die in anderen Richtlinien definiert wurden, auf diese zu verweisen. Auf diese Richtlinien – sie dokumentieren den Stand der Technik für ihre jeweilige Aufgabenstellung – wird hier soweit als möglich und sinnvoll verwiesen. Die nachfolgend genannten Richtlinien stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit dieser Richtlinie:

- VDI 6007 Blatt 1 bis Blatt 3
- VDI 2078

Wie bisher alle Vergleiche von Simulationsprogrammen gezeigt haben, weichen deren Ergebnisse nicht nur aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmodelle, sondern hauptsächlich wegen unterschiedlicher Randbedingungen oder unterschiedlich behandelte Grenzwerte usw. voneinander ab. Eine wichtige Aufgabe besteht somit in der Vereinheitlichung der Randbedingungen und der sonstigen das Ergebnis beeinflussenden Parameter sowie deren Behandlung. Hervorzuheben ist die Forderung, die thermischen und regelungstechnischen Rückwirkungen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) zu berücksichtigen. In der Vergangenheit wurden die Berechnungsergebnisse oft nur als konvektive Last ohne Rückkopplung ermittelt, was nicht mehr dem Stand der Technik entspricht.

Das Anliegen dieser Richtlinie ist es, Anforderungen an Berechnungsverfahren für die thermisch energetische Gebäude- und Anlagensimulation zu formulieren und deren Einhaltung mittels eines geeigneten Validierungsverfahrens zu gewährleisten.

### Anforderungen an Simulationsmodelle

Folgende Anforderungen werden an die Behandlung der in Bild 1 genannten Einflussgrößen gestellt:

- hinreichend genaue Abbildung des thermischen Verhaltens der Bauteile unter Berücksichtigung des konkreten Wandaufbaus
- hinreichend genaue Abbildung des Wärmeaustauschs zwischen den Bauteilen des Raums über Strahlung und Konvektion
- hinreichend genaue Abbildung des Wärmeaustauschs der Außenbauteile mit der Umgebung
- hinreichend genaue Abbildung des lang- und kurzwelligen Strahlungsaustauschs der Außenbauteile mit der Umgebung

- korrekte Wärmebilanz des Raums unter Berücksichtigung aller strahlenden und konvektiven Wärmequellen und -senken
- Kopplung zwischen instationärer thermischer Berechnung und aktiven Anlagenkomponenten, z.B. Flächenheizung oder -kühlung, natürliche Lüftung, Lüftungsanlage mit vorgegebener Luftmenge, bei denen sich eine Leistungsänderung bei veränderter Raumtemperatur ergibt
- Änderung der verfügbaren Leistung durch außen-temperaturabhängige Vorregelung (z.B. Heizung – auch bei Nachtabsenkung)
- korrekte Berechnung der Raumtemperaturen mit Unterscheidung zwischen Raumlufitemperatur und operativer Temperatur
- Als Klimadaten für die Jahresberechnungen werden Testreferenzjahre verwendet.
- Verwendung einer Cooling Design Period (CDP), bestehend aus einer vierzehntägigen Vorberechnung mit bedeckten und/oder bewölkten Tagen, einer viertägigen Anlaufberechnung mit sonnigen Tagen und ansteigender Außentemperatur und anschließendem Cooling Design Day (CDD) mit maximaler Außentemperatur
- Für Sonderfälle, z.B. für technologische Anlagen, kann abweichend zum aperiodischen Fall (CDP) der eingeschwungene Zustand (Wiederholung des CDD bis zum Abbruchkriterium) berechnet werden.
- Verwendung einer Heating Design Period (HDP), Vorschlag siehe Anhang A1
- Berücksichtigung von Kennwerten für die Kombination aus Verglasung und Sonnenschutz mit und ohne Hinterlüftung, getrennt für direkte und diffuse Strahlung
- Berücksichtigung von Fensterlüftung als auftriebsinduzierte natürliche Lüftung
- Berücksichtigung der Veränderungen des Wärmeeintrags bei Fensterlüftung mit Sonnenschutz
- korrekte Berücksichtigung von Betriebsweise und Regelstrategie
- korrekte Berücksichtigung begrenzter oder nicht verfügbarer Anlagenleistung
- Möglichkeit der Vorgabe eines zulässigen Schwankungsbereichs für die Raumtemperatur

Die vorstehend genannten Anforderungen verlangen nicht die Anwendung eines bestimmten Re-

chenverfahrens, jedoch die Berücksichtigung der genannten Randbedingungen und die Einhaltung der Ergebnisse in den vorgegebenen Grenzen. So ist z.B. das dem Referenzmodell zugrunde liegende Beuken-Modell nicht vorgeschrieben. Der detaillierte Schichtaufbau der Bauteile kann ebenso in einem Differenzenverfahren berücksichtigt werden, jedoch nicht mit Gewichtsfunktionen für Typräume. Das Gleiche gilt für das Fenster- und das Strahlungsmodell nach VDI 6007 Blatt 2 bzw. Blatt 3. Entscheidend sind die Verwendung eines gleichwertigen oder genaueren Verfahrens und die Einhaltung der in dieser Richtlinie geforderten Genauigkeit der Ergebnisse.

Neben der Vereinheitlichung der vorgenannten Behandlung von Einflussgrößen besteht der Bedarf nach einem standardisierten Validierungsverfahren. Die vorhandenen Validierungsverfahren haben eine nicht ausreichende Systematik in der Auswertung der Ergebnisse und der Vorgabe der Grenzbedingungen. Wie in [1] dargelegt, ist es z.B. nicht ausreichend, bei einer Jahressimulation singuläre Punkte zu testen. So treten beim gleichen Testbeispiel Ergebnisbereiche mit nur geringen Abweichungen und andere Bereiche mit relativ großen Abweichungen auf. Nur zwei oder drei Fixpunkte einer Auswertung sind deshalb nicht ausreichend. Mit der in Abschnitt 6.1 beschriebenen Systematik der Validierung werden diese Fehler vermieden.

Eine Validierung sollte mit dem Standardprogramm (Verkaufsversion) ohne Änderungen vom Anwender nachvollziehbar sein. In den anderen bisherigen Validierungsverfahren fehlt auch die standardmäßige Nachvalidierung bei Programmänderungen. Ein standardisiertes Validierungsverfahren muss deshalb folgende Anforderungen erfüllen:

- allgemein gültig
- verständlich durch korrekte und vollständige Dokumentation
- sinnvolle, bei unterschiedlichen Rechenkernen statistische Validierungskriterien
- Nachvalidierung bei Programmänderungen
- Nachvollziehbarkeit durch den Anwender
- Nachweis durch Abgabe einer Konformitätserklärung

Die nachstehende Übersicht (Bild 1) dient, wegen der erheblichen Anzahl betroffener Richtlinien, ausschließlich als Hilfe für das Auffinden der wichtigsten Beschreibungen.

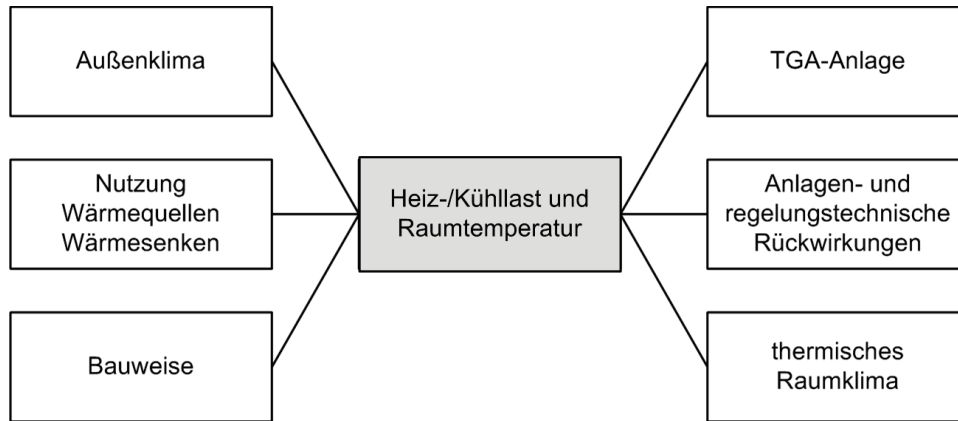


Bild 1. Übersicht über die Einflussgrößen und Quellenverweis

**Außenklima**

Außenklima  
 meteorologische Daten  
 Cooling Design Period (CDP) und Cooling Design Day (CDD)  
 Heating Design Period (HDP) und Heating Design Days (HDD)  
 Kühllastzonen  
 TRY-Regionen des DWD  
 Strahlungsmodell  
 Randbedingungen

VDI 6020, Abschnitt 4.1.11  
 VDI 6020, Abschnitt 5.1.4  
 VDI 2078, Abschnitt 7.3.1 und Anhang A1  
 VDI 6020, Anhang A1  
 VDI 2078, Abschnitt 5.1 und Anhang B2  
 Deutscher Wetterdienst [17]  
 VDI 6007 Blatt 3  
 VDI 2078, Abschnitt 7.1

**Anforderungen an und Randbedingungen für Rechenverfahren**

allgemeine Anforderungen und Randbedingungen  
 z. B.: Bauteile, Wärmeübergangskoeffizienten, Wärmefluss, Maße, adiabatisch/nicht adiabatisch, speichernd/nicht speichernd, Strahlungsverteilung im Raum, äquivalente Außentemperatur, Zeitschritt

VDI 6020, Abschnitt 4.1 ff.

Anforderungen und Randbedingungen bezüglich Nutzung

z. B.: Lüftung, Beleuchtung, Verglasung/Sonnenschutz, Nutzung- u. Betriebszeiten, Wärmequellen und -senken, Rückkopplung von Anlage und Regelung, Nutzungs- und Betriebszeiten

VDI 6020, Abschnitt 4.2 ff.

**Grundlagen zu Nutzung, Wärmequellen und -senken**

Gebäudenutzung und Nutzungsperioden  
 Wärmequellen  
 Personenwärmeabgabe  
 tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtung

VDI 2078, Abschnitt 6.2  
 VDI 2078, Abschnitt 6.2.1  
 VDI 2078, Abschnitt 6.2.1  
 VDI 6007 Blatt 3; VDI 2078, Abschnitt 5.3

**Bauweise**

solare Kennwerte transparenter Fassaden  
 Infiltration und Fensterlüftung  
 zusätzliche Fensterlüftung  
 Fensterlüftung und außenliegender Sonnenschutz  
 Räume vom Typ XL bis XS (VDI 2078)  
 Typräume S und L (VDI 2078:1996 und VDI 6020:2001)

VDI 6007 Blatt 2; VDI 2078, Anhang B3  
 VDI 2078, Abschnitt 6.2.2, Anhang A2 und A3  
 VDI 6020, Abschnitt 4 ff.  
 VDI 2078, Anhang B3  
 VDI 6020, Anhang C2  
 VDI 6020, Anhang C1

**TGA-Anlage**

Raumtemperatur bei begrenzter Kühlleistung

VDI 6020, Anhang A2.1,  
 VDI 2078, Abschnitt 7.4.2 und Anhang A2.1

Kühllast- und Raumtemperatur bei vorgegebenem Schwankungsbereich

VDI 6020, Anhang A2.2

Nachbildung komplexerer Anlagen und Regelstrategien

VDI 6020, Anhang A2.3

zusätzliche Fensterlüftung

VDI 6020, Anhang A2.4

**Modellbildung für die thermisch energetische Simulation**

Raummodell

VDI 6020, Abschnitt 5.1.1,  
 VDI 6007 Blatt 1; VDI 2078, Abschnitt 7.2  
 VDI 6020, Abschnitt 5.1.2,  
 VDI 6007 Blatt 2; VDI 2078, Abschnitt 5.2.2  
 VDI 6020, Abschnitt 5.1.3, VDI 6007 Blatt 3

Fenstermodell

Strahlungsmodell

**Rechenverfahren zur Raumbilanz**

Differenzenverfahren  
 Gewichtsfunktionen  
 elektrische Ersatzmodelle

VDI 6020, Abschnitt 5.2.1  
 VDI 6020, Abschnitt 5.2.2  
 VDI 6020, Abschnitt 5.2.3  
 (Beuken-Modell, n-/2-/1-Kapazitäten-Modell)

**Validierung**

Systematik, Validierungsfälle, Validierungsmaßstäbe, Nachweis Vorgehensweise, Mustertabellen

VDI 6020, Abschnitt 6.1 ff.  
 VDI 6020, Abschnitt 8.1 f.

**Testbeispiele**

Randbedingungen, Berechnungsannahmen, Überblick  
 Testbeispiele der VDI 6020  
 Testbeispiele der VDI 6007 Blatt 1

VDI 6020, Abschnitt 7.1 f.  
 VDI 6020, Abschnitt 7.3  
 VDI 6020, Abschnitt 7.4  
 VDI 6007 Blatt 1, Abschnitt 6.7

Testbeispiele der VDI 2078

VDI 6020, Abschnitt 7.5; VDI 2078, Abschnitt 8

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie dient der Festlegung der Anforderungen an Algorithmen und Randbedingungen von Berechnungsverfahren für die instationäre thermisch energetische Jahressimulation. Mit dieser Richtlinie wird ein standardisiertes Validierungsverfahren mit Testbeispielen zur prinzipiellen Prüfung von Programmen für die thermisch energetische Gebäudesimulation mit und ohne Auslegungsberechnung vorgegeben.

Ferner dient sie der Festlegung der Anforderungen für den Nachweis der Konformität mit dieser Richtlinie. Dabei wird zwischen zwei Validierungsfällen nach VDI 6020 unterschieden:

- Fall 1: Validierung eines Programms zur thermisch energetischen Jahressimulation, **ohne** Validierung der Auslegungsberechnung
- Fall 2: Validierung eines Programms zur thermisch energetischen Jahressimulation, **mit** Validierung der sommerlichen Auslegungsberechnung nach VDI 2078

**Anmerkung:** Liegt bereits eine Validierung nach VDI 2078 (Fall A und B) vor, ist eine Validierung nach dieser Richtlinie nicht erforderlich, da die Validierung nach Fall 2 bereits implizit enthalten ist.

## 2 Normative Verweise

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

- DIN 5034-2:1985-02 Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen
- DIN V 18599-2:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden; Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen
- DIN V 18599-10:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden; Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
- DIN EN ISO 13786:2008-04 Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen; Dynamisch-thermische Kenngrößen; Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13786:2007
- DIN EN ISO/IEC 17050-1:2010-08 Konformitätsbewertung; Konformitätserklärung von Anbietern; Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO/IEC 17050-1:2004, korrigierte Fassung 2007-06-15); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17050-1:2010

VDI 2078:2015-06 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)

VDI 6007 Blatt 1:2015-06 Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden; Raummodell

VDI 6007 Blatt 2:2012-03 Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden; Fenstermodell

VDI 6007 Blatt 3:2015-06 Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden; Modell der solaren Einstrahlung