

Die künftige VDI 2078 im Kontext zur europäischen Normung

Rouvel L., Seifert C., Zimmermann F.



Eine neue VDI-Richtlinie zur Berechnung der Kühllast und Raumlufttemperatur - VDI 2078 - ist in Vorbereitung. Sie basiert auf dem in der VDI 6007 Blatt 1 [10] beschriebenen Rechenkern und enthält ein modernes Verfahren zur Bestimmung der Kühllast und zur Berechnung von Raumluft- und operativen (empfundenen) Temperatur.

Aufgrund der Weiterentwicklung der Rechenverfahren für das thermische Verhalten von Räumen und der im allgemeinen gestiegenen Rechnerleistung entfallen alle Gründe für eine Einschränkung bzw. Vereinfachung der Algorithmen. Die neuen Kühllastregeln dienen deshalb nicht nur der Bestimmung der Kühllast von zu klimatisierenden Räumen, sondern in gleichem Maße der Berechnung von Raumtemperaturen für Räume aller Art unter Berücksichtigung der korrekten Wandaufbauten. Anlagenteile, die das thermische Verhalten des Raumes beeinflussen, wie z.B. maschinelle oder natürliche Lüftung und Flächenheizung bzw. -kühlung sind integraler Bestandteil des Rechenverfahrens und müssen nicht mehr über Näherungsverfahren bestimmt werden.

Die VDI 2078 (gemeint ist hier im Zusammenhang die künftige, demnächst im Gründruck erscheinende Richtlinie) wird gegenüber der bisherigen Richtlinie wesentliche Neuerungen aufweisen. Die Beschreibung des thermischen Verhaltens der Bauteile wird unter Berücksichtigung des konkreten Wandaufbaus vorgenommen. Es erfolgt eine Kopplung zwischen instationärer, thermischer Berechnung und aktiven Anlagenkomponenten, wie z.B. Flächenheizung bzw. -kühlung, natürlicher Lüftung etc. bei denen sich eine Leistungsänderung bei veränderter Raumtemperatur ergibt. Die Wärmebilanz des Raumes unter Berücksichtigung aller strahlenden und konvektiven Wärmequellen und -senken wird damit korrekt abgebildet.

Es wird ein Cooling Design Day (CDD) und eine Cooling Design Period (CDP) jeweils für die Monate April bis September definiert. Als Klimadaten für die Jahresberechnungen werden Testreferenzjahre, wie z.B. die Testreferenzjahre des DWD in Anlehnung an die DIN 4710, verwendet. Mit den Festlegungen und Randbedingungen der neuen VDI 2078 wird es daher auch möglich, eine thermische Gebäudesimulation auf der Basis von TRY-Daten vorzunehmen.

Parallel zur Neubearbeitung der Richtlinie VDI 2078 „Kühllastberechnung“ sind eine Reihe europäischer Normen zum wärmetechnischen Verhalten von Gebäuden veröffentlicht worden.

An zentraler Stelle steht die DIN EN 15243 „Lüftung von Gebäuden - Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlage“ [1]. Darin wird im Wesentlichen verwiesen und Bezug genommen auf andere europäische Normen, wie z.B.:

- DIN EN ISO 15927-2 [2] für die zu verwendenden Klimadaten
- DIN EN 15242 [3] für die Auswirkungen des Öffnens von Fenstern
- EN 15251 [4] für die annehmbaren Behaglichkeitsbedingungen
- DIN EN 13779 [5] für die inneren Lasten

Bei der Neubearbeitung sind diese Normen berücksichtigt worden, so dass es zu keinen Kollisionen kommt.

Zusätzlich sind auf europäischer Ebene noch vier Normen erschienen, die sich mit der Validierung von Berechnungsverfahren des wärmetechnischen Verhaltens von Gebäuden befassen; DIN EN ISO 13791 [11], DIN EN ISO 13792 [12], DIN EN 15255 [13] und DIN EN 15265 [14].

Insbesondere die im November 2007 veröffentlichte DIN EN 15255 „Berechnung der wahrnehmbaren Raumkühllast - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren“ [13], aber

auch die DIN EN ISO 13792 [12] vom Juni 2005 betreffen die VDI 2078. Es heißt in [13]: „Die Zielgruppen, für die diese Europäische Norm erarbeitet wurde, sind die Entwickler von Softwaretools für Gebäudesimulationen und die für Bauvorschriften verantwortlichen politischen Entscheidungsträger. Die Norm legt die Randbedingungen und die Vereinfachungen fest, die zur Erlangung von Berechnungsergebnissen für vergleichbare Bauwerksteile benötigt werden.“

In diesem Zusammenhang sollen hier unter Bezug auf die VDI 2078 Ziele, Grundlagen und Methode der Validierung von Programmen zur thermischen Gebäudesimulation betrachtet werden.

Ziele einer Validierung

Zwei Ziele für die Validierung eines Simulationsprogramms bzw. der Berechnungsalgorithmen können genannt werden. Zum einen ist bei der Erstellung eines Berechnungsprogramms die korrekte Umsetzung von Algorithmen zu kontrollieren, zum anderen besteht die Notwendigkeit, die Algorithmen selbst hinsichtlich korrekter, plausibler Ergebnisse zu prüfen.

Kontrolle der richtigen Umsetzung von Berechnungsalgorithmen

Algorithmen müssen bei ihrer Veröffentlichung so beschrieben sein, dass sie programmiert werden können und reproduzierbare Ergebnisse bringen. Dazu gehört neben der Darstellung des Formelzusammenhanges und der Funktionalität (Logik) der Abfolge die eindeutige Beschreibung der Randbedingungen und Einsatzgrenzen. Unabdingbar sind geeignete Berechnungsbeispiele (mit Zwischenergebnissen), um Programmierern und Programmnutzern die Überprüfung der korrekten Berechnung zu ermöglichen.

Bei der Erarbeitung der VDI 6007 Blatt 1 und der VDI 2078 wurde – vor allem auch wegen der Komplexität der Algorithmen – großer Wert auf diese Kontrollmöglichkeit gelegt.

Das Raummodell (Algorithmen der VDI 6007, Blatt) bildet rechen technisch den „Kernel“ der künftigen Kühllastberechnung. Die Beispiele der VDI 6007 Blatt 1 sind so angelegt, dass der Rechenkern nach erfolgter Programmierung völlig selbständig getestet werden kann. Erst mit einem getesteten Rechenkern wird man die „Kühllast“ programmieren.

Die Algorithmen der VDI 2078 haben die „Peripherie“ des Raummodells zum Inhalt, sie beschreiben Randbedingungen wie Klima und Nutzerverhalten, Logik und nicht zuletzt Einflüsse aktiver Bauteile und Haustechnischer Anlagen auf Raumtemperatur und Kühllast. Sie sind gegenüber dem Raummodell komplexer und umfangreicher. Es ist deshalb für Programmierer und für spätere Nutzer notwendig, die einzelne „Zweige“ der Algorithmen testen zu können und die Ergebnisse für die Randbedingungen zu prüfen, wie beispielsweise:

- Ermittlung der Klimadaten (Außentemperatur, Sonneneinstrahlung, langwelliger Strahlungsaustausch zur Umgebung und zum Himmel) für die CDP und den CDD.
- Berücksichtigung beliebiger Neigung und Himmelsorientierung der Außenflächen, Berücksichtigung des mischbewölkten Himmels bei der Umrechnung der diffusen Strahlung.
- Strahlungsdurchgang durch die Verglasung (energetisch und lichttechnisch) unter Berücksichtigung des Sonnenschutzes und seiner Betätigung
- Einschalten der Beleuchtung nach Helligkeit unter Berücksichtigung des Sonnenschutzes
- Berücksichtigung grundsätzlicher Vorgaben der Haustechnischen Anlagen (z.B. Veränderung der verfügbaren Kühllast bei Konstant-Volumen-Anlagen oder bei Kühldecken in Abhängigkeit von der sich einstellenden Raumtemperatur usw.)
- Innere Wärmequellen im Zeitgang, Einfluss von konvektiver und strahlender Wärmefreisetzung, Raumbelastungsgrade

Hierzu sind in beiden VDI-Richtlinien detaillierte und systematische Validierungsbeispiele enthalten.

Kontrolle der gewählten Algorithmen, deren Randbedingungen und Ergebnisse

Dieser Schritt dient der Kontrolle, ob die gewählten Algorithmen und Randbedingungen sowie deren Zusammenwirken plausible Ergebnisse, richtige Relationen und Tendenzen für die Auswirkungen der einzelnen Randbedingungen aufzeigen. Diese Kontrolle ist von den Autoren der Algorithmen zu leisten und zu dokumentieren.

Es hat Ansätze gegeben, für Programme der thermischen Gebäudesimulation einheitliche Validierungskriterien zu erarbeiten. Ein erster internationaler Ergebnisvergleich von qualifizierten Simulationsprogrammen (20 - 30 international verfügbarer EDV-Programme) am Beispiel der „Avon-Bank“ in England wurde in [17] beschrieben.

Fazit: Obwohl im Laufe der Bearbeitung die Randbedingungen bezüglich Nutzung u. ä. sehr vereinfacht und standardisiert wurden, gab es erhebliche Unterschiede in den Ergebnissen. Allerdings konnte für hochentwickelte Programme mit detaillierter numerischer Lösung ein Ergebniskorridor von ca. ± 10 bis 15 % erreicht werden.

1988 startete mit IEA-Annex 21 "**BESTEST** International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method" [18] ein weiterer Versuch, die Probleme bei der Validierung von Simulationsprogrammen besser in den Griff zu bekommen. Es nahmen zwölf Gruppen mit neun unterschiedlichen Programmsystemen teil. Auch hier zeigte sich, dass ein Ergebniskorridor von minimal ca. ± 10 % zu erwarten ist, bei einigen Fragestellungen aber auch deutlich höhere Unterschiede auftraten. Dabei war auch zu beobachten, dass Programme bei einigen Tests im engen Bereich des Gros der anderen Programme liegen, dann aber auch mal wieder deutlich abweichen.

Vor diesem Hintergrund soll etwas ausführlicher auf Inhalt und Zweck der VDI 6020 Blatt 1 [8] eingegangen werden.

VDI 6020 Blatt 1 „Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation – Gebäudesimulation“

Da die Nachprüfbarkeit von Simulationsergebnissen durch den Anwender (z. B. Planer einer RLT-Anlage) auch unter Berücksichtigung der beiden vorgenannten IEA-Annexe nicht oder nur bedingt möglich war, wurde mit der VDI 6020-1 eine Richtlinie erstellt, die Mindestanforderungen an eine Software der thermischen Gebäudesimulation festlegt.

Um die grundlegenden Algorithmen des im jeweiligen Programm implementierten Rechenverfahrens zu verifizieren, nachvollziehbare Ergebnisse zu erhalten und auch Unterschiede in den Ergebnissen interpretieren zu können, sind die Validierungsbeispiele so gewählt, dass jeweils möglichst nur die Auswirkungen einer Einflussgröße überprüft wird.

Dabei ist zum einen ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener qualifizierter Berechnungsverfahren (Simulationprogramme) vorgenommen, zum anderen auch eine Art „Eichmaßstab“ eingeführt worden.

Selbstverständlich handelt es sich nicht um einen „richtigen“ physikalischen Eichmaßstab, da es sich um Berechnungsergebnisse unter möglichst eindeutig definierten Randbedingungen handelt. Um diesen „Eichmaßstab“ möglichst nicht von einer bestimmten Programmierung abhängig zu machen, ist das „Beuken-Modell“ herangezogen worden. Das ist eine wissenschaftlich anerkannte Methodik zur Beschreibung von ein-, zwei- und dreidimensionalen instationären Wärmeleitvorgängen bei konstanten und variablen Stoffwerten und Wärmeübergangskoeffizienten. Die Genauigkeit infolge der Diskretisierung der kontinuierlichen Wärmeleit- und Wärmespeicherfähigkeit ist in wissenschaftlich anerkannten Veröffentlichungen nachgewiesen [6] [7].

Die in VDI 6020 Blatt 1 gegebenen Validierungsbeispiele sind mit fünf namhaften Simulationsprogrammen¹ berechnet worden und mit dem Beuken-Modell (es dient hier als Eichmaßstab) verglichen, siehe hierzu auch [20].

Wie aus Ergebnisvergleichen – siehe Bild 1 und 2 – zu ersehen ist, gibt es unterschiedliche Relationen, abhängig, zu welchem Zeitpunkt ein Vergleich gezogen wird. Es kann daher nur aus dem Gesamttrend über längere Zeitbereiche auf eine sinnvolle Übereinstimmung der Ergebnisse geschlossen werden. Einzelne herausgegriffene Ergebnisse von 2 oder 3 Zeitpunkten oder aber Mittelwerte sagen wenig über die Übereinstimmung aus.

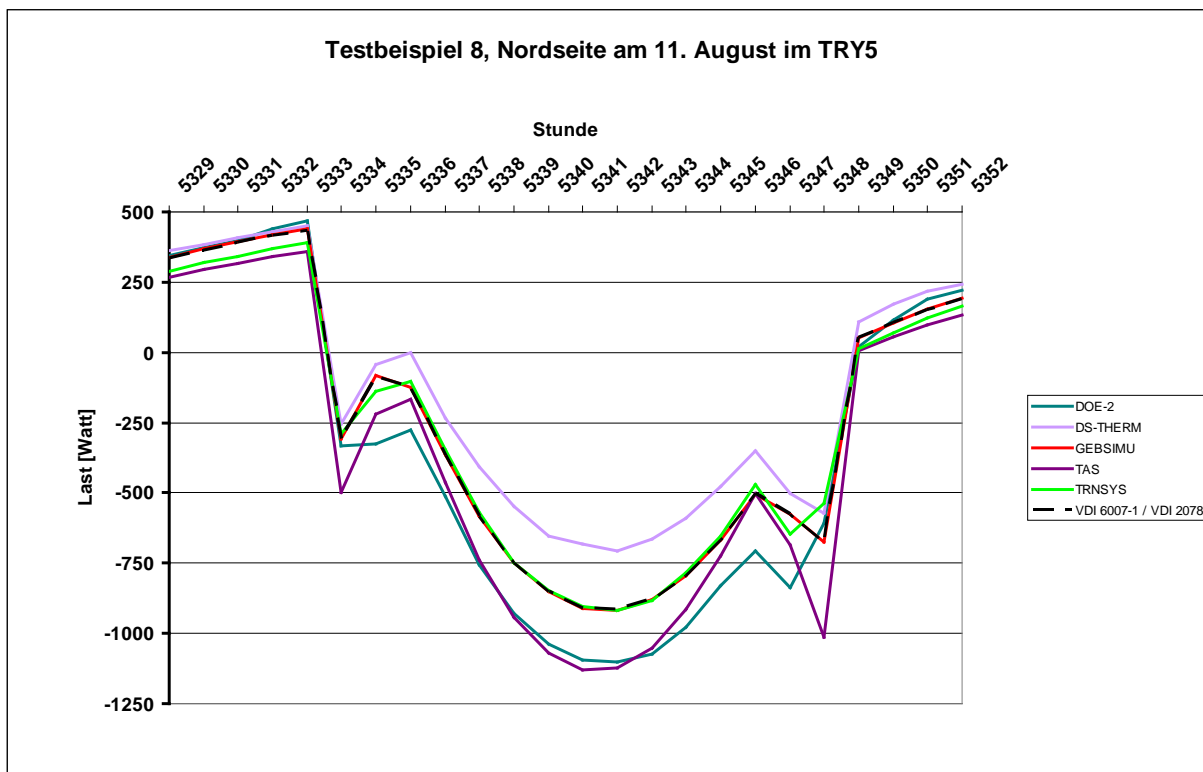


Bild 1: Beispiel 8 der VDI 6020-1: 11. August im TRY 5 (DWD 1984), Nordseite

¹ Für den Vergleich verwendete Programme: DOE-2, DS-THERM, GEBSIMU, TAS, TRNSYS
Diese alphabetische Reihenfolge ist **nicht** mit der Nummerierung in den Testbeispielen in VDI 6020-1 [8] identisch. Die Ergebnisse sind im Rahmen der Darstellung in der VDI 6020-1 aus rechtlichen Gründen anonymisiert.

Für die experimentelle Analyse nach dem Beuken- und dem n-Kapazitäten-Modell verwendetes Programm: MicroSim: Design Center mit PSPICE Engineering Equation Solver, S.A. Klein, F.L.Alvarado, Middleton USA

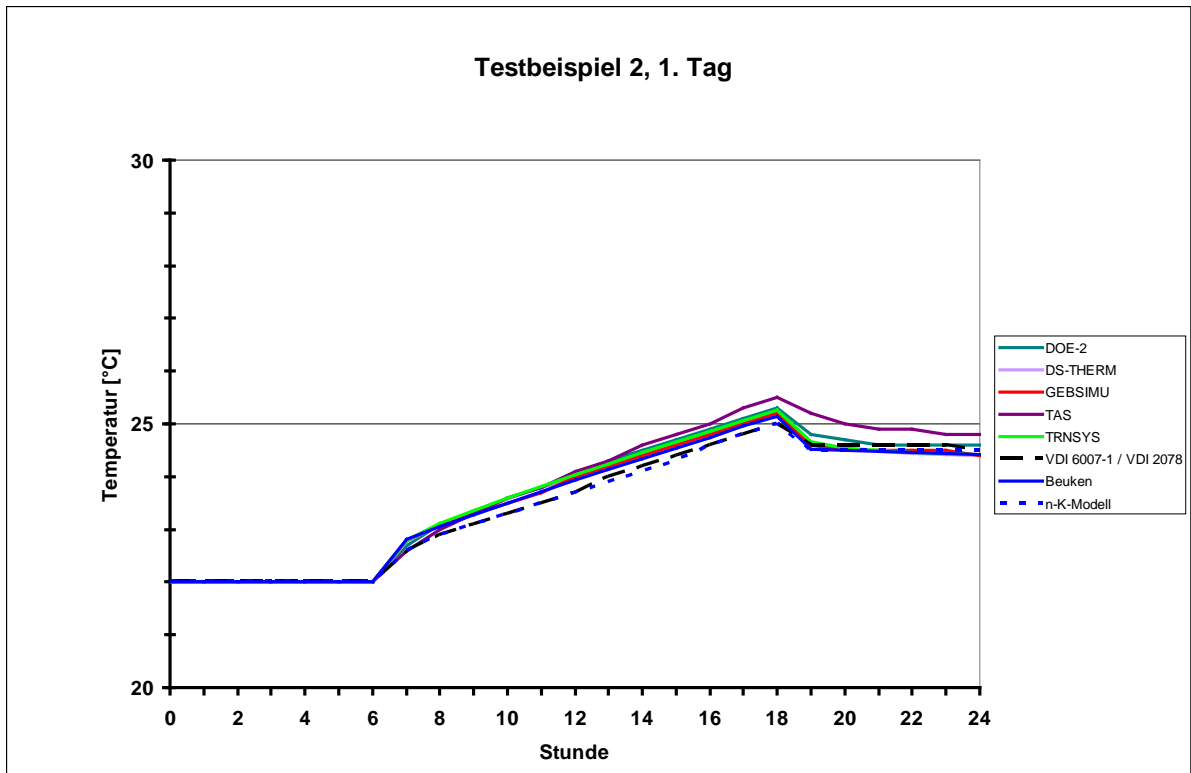


Bild 2a: Beispiel 2 der VDI 6020-1 am 1. Tag: Raumreaktion auf innere Belastungen; Typraum S, 1000 W strahlend

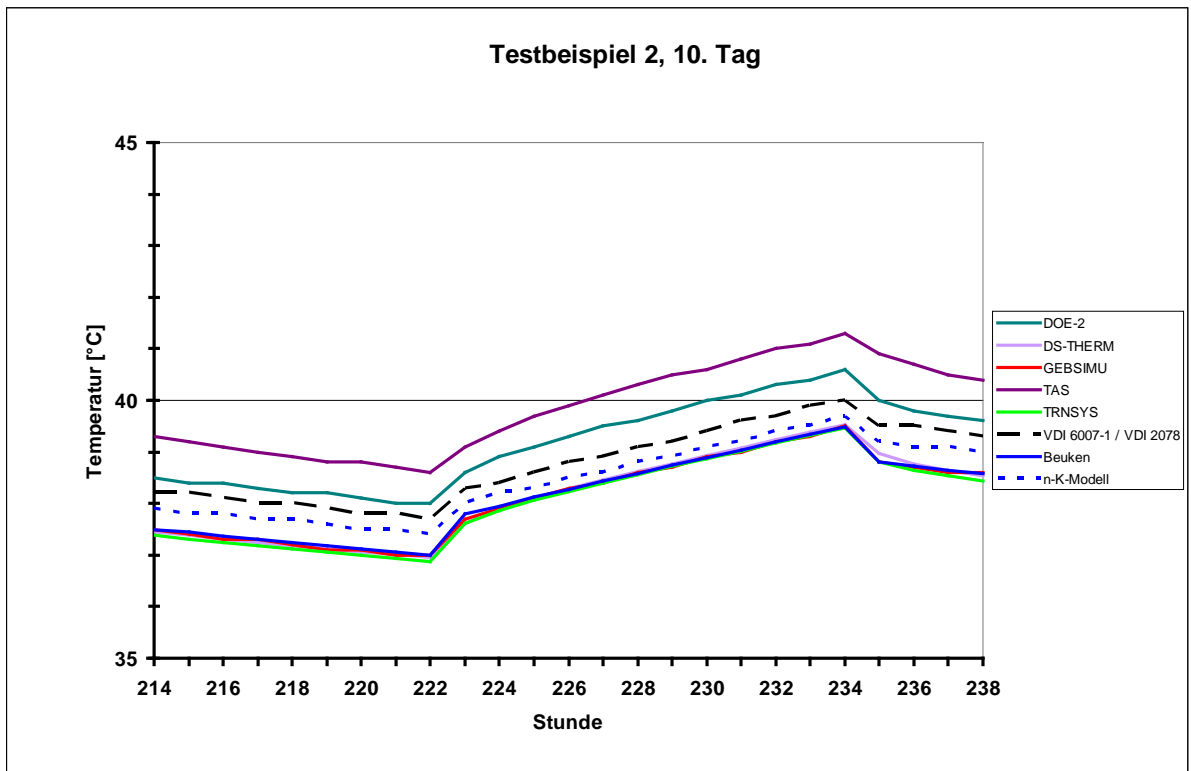


Bild 2b: Beispiel 2 der VDI 6020-1 am 10. Tag: Raumreaktion auf innere Belastungen; Typraum S, 1000 W strahlend

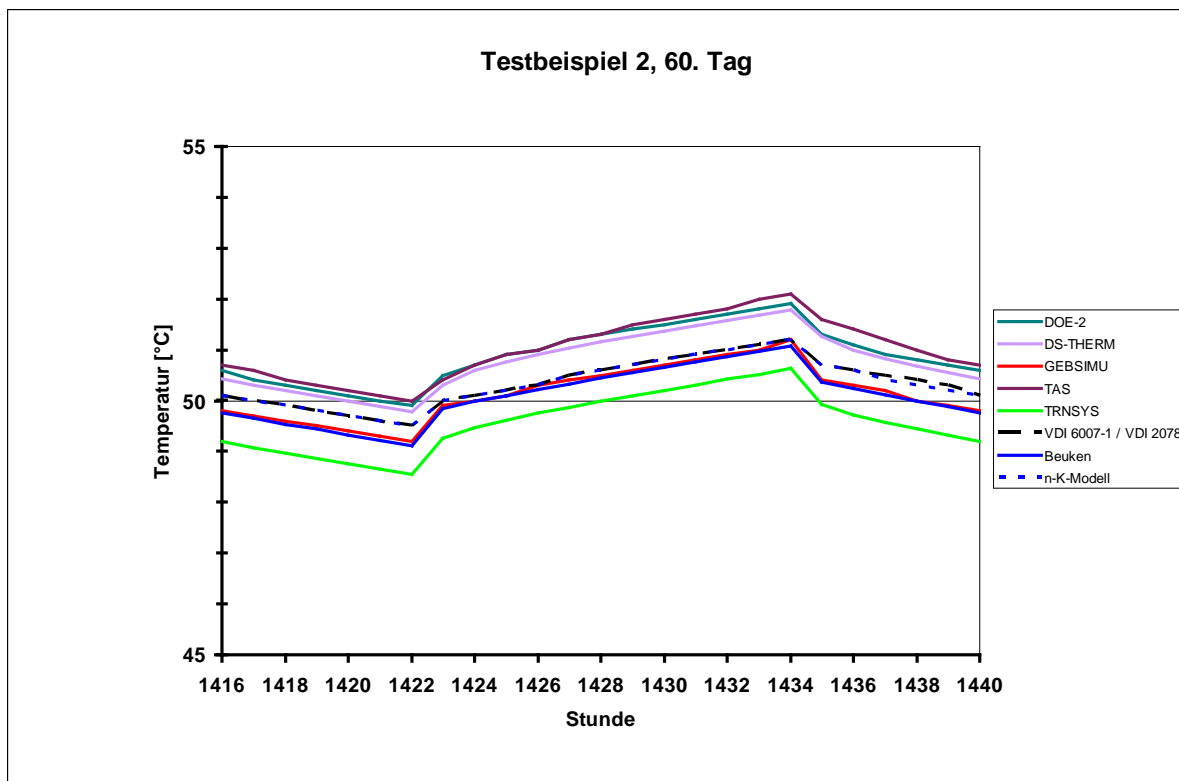


Bild 2c: Beispiel 2 der VDI 6020-1 am 60. Tag: Raumreaktion auf innere Belastungen; Typraum S, 1000 W strahlend

Wie aus Bild 1 und 2 erkennbar ist, passt sich das 2-K-Modell der VDI 6007-1 (Rechenkern der VDI 2078) sehr gut im Validierungsvergleich nach VDO 6020-1 ein. In der VDI 2078 sind selbstverständlich die Ergebnisse für alle 13 Validierungsbeispiele der VDI 6020-1 [8] detailliert enthalten.

Anmerkungen zu einschlägigen europäischen Normen

Nahezu zeitgleich zur Bearbeitung der VDI 2078 sind in den Jahren 2005 bis 2007 die vier europäische Normen DIN EN ISO 13791 [11], DIN EN ISO 13792 [12], DIN EN 15255 [13] und DIN 15265 [14] erschienen, die sich mit der Validierung von Berechnungsverfahren zum wärmetechnischen Verhalten von Gebäuden befassen.

Die Inhalte der Normen bestehen aus Vorgaben für Randbedingungen, aus Vorschlägen für vereinfachte Berechnungsverfahren und Validierungsbeispielen.

Insbesondere in der DIN EN 15255 werden allgemeine Vorgaben und Vorgaben für die Validierung vermischt und sind in vielen Fällen nicht eindeutig. Die Norm enthält unklare Definitionen und Beschreibungen von Kennwerten. Es ist nicht eindeutig beschrieben, ob bestimmte Randbedingungen nur für vereinfachte Berechnungsverfahren gelten oder ob sie für alle Verfahren eingehalten werden sollen.

Eine Reihe der in den vier vorgenannten Normen angegebenen Randbedingungen und Vereinfachungen können für Deutschland nicht akzeptiert werden; sie widersprechen dem Stand der Technik und sind vom Ansatz her nicht geeignet. Diese Einschätzung wird von Fachleuten, auch außerhalb des Richtlinienausschusses getragen. Kritikpunkte sind u. a.:

- Vorgaben zu den Wärmeübergangskoeffizienten, zur langwelligen Ausstrahlung an die Atmosphäre, zum Strahlungszuordnungsfaktor u. dgl.
- Der definierte Strahlungszuordnungsfaktor berücksichtigt nicht Art und Lage des Sonnenschutzes

- Die solare Verteilung im Raum wird von der Art (Lage) aktiver Bauteile abhängig gemacht
- Aktive Bauteile werden als **nicht speichernd** betrachtet.

Allgemeine Vorgaben und Vorgaben für die Validierung werden vermischt und sind in vielen Fällen nicht eindeutig. Die Norm enthält unklare Definitionen und Beschreibungen von Kennwerten. Die DIN EN 15265, DIN EN ISO 13791 und DIN EN ISO 13792 ist in gleicher Weise einzuschätzen.

Vorstehende Aussagen können im Detail belegt werden. Wegen des Umfangs wird versucht, dies hier komprimiert darzulegen:

- Die Winkelabhängigkeit der solaren Transmissionseigenschaften der Verglasung wird in [11][12][13] vernachlässigt (zu Null gesetzt), bzw. nur allgemein sehr kurz behandelt. In [14], S. 9 wird dann aber in diesem Zusammenhang auf „Angaben des Herstellers“ verwiesen, alternativ der Wert 0,9 als Anhaltswert genannt. Was bei den Validierungsbeispielen anzusetzen ist, bleibt unklar.
- In [12], S. 10 wird der konvektive Wärmeübergangskoeffizient außen mit $13,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ angesetzt, für die Ermittlung der U-Werte auf S. 11 jedoch ein Wert von $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ verwendet.
- Der Wärmeübergangskoeffizient für langwellige Strahlung wird auf S. 27 in [11], auf S. 10 in [12], auf S. 11 in [13] und auf S. 10 in [14] allgemein sowohl für außen, als auch für innen mit $5,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ festgeschrieben. Für Hohlräume (auch zwischen Glasschichten) wird aber dazu im Widerspruch auf S. 29 in [11] und S. 12 in [12] ein Wert zwischen $4,4$ und $5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ vorgegeben.
- Der langwelligen Strahlungsaustausch mit der Umgebung und der Atmosphäre wird in [11] vernachlässigt, in [12] finden sich keine Angaben und in [13], S. 11 wird ein stark vereinfachtes Verfahren mittels eines Festwertes, bewertet mit einer cos-Funktion abhängig von der Neigung der Außenfläche angegeben. In [14] gibt es Angaben zwar dazu, welcher Wärmeübergangskoeffizient für langwellige Strahlung auf Außenflächen anzusetzen ist, aber weitere Angaben fehlen. Welche Vorgaben hierzu in den Validierungsbeispielen gemacht wurden, ist unklar, Wahrscheinlich wurde der langwellige Strahlungsaustausch mit der Umgebung und der Atmosphäre vernachlässigt (zu Null gesetzt).
- Es ist in keiner der vier Normen beschrieben, ob die Validierungsergebnisse Stundenmittelwerte oder Momentanwerte sind. Da die Ausgangsdaten für das Außenklima als Momentanwert gegeben sind, die durch lineare Interpolation auf Stundenmittelwerte umgerechnet werden können, ist dies nicht eindeutig.
- Für die Validierungsberechnung des vereinfachten RC3-Knotenmodells (Anhang E, Seite 48 in [12]) werden andere Wandaufbauten verwendet, als für die Validierungsvorgaben (siehe S. 18). Ebenso wird für dieses Beispiel ein anderer Gesamtenergiedurchlassgrad bei geschlossenem Sonnenschutz verwendet (siehe S. 50). Die Validierung wird dadurch fragwürdig.
- In [12] sind für die darin beschriebenen beiden vereinfachten Berechnungsverfahren (RC3-Knotenmodell und Wärmeaufnahmeverfahren) berechnete Zeitgänge der operativen Temperatur genannt (Tab. E.7 und Tab. E.9). Vergleicht man diese Zeitgänge, stellt man überraschend fest, dass die Unterschiede in einzelnen Stunden bis zu $+3,6 \text{ K}$ betragen, Spannweite $6,8 \text{ K}$. In den Normen wird aber die zulässige Abweichung von den „Eichwerten“ in drei Fixpunkten für die Validierung mit nur $\pm 1 \text{ K}$ angegeben.
- Ist die Nutzungszeit in den Beispielen 1 bis 4 der [14], S. 17 ff auf 5 Tage pro Woche oder auf 7 Tage pro Woche bezogen?
- Auf S. 12 in [13] wird für das Testbeispiel 14 (Fußbodenkühlung) eine unterschiedliche Aufteilung der absorbierten Sonneneinstrahlung im Raum angesetzt als bei den sonstigen Testbeispielen (auch anders als in [11][12][13]). Begründet scheint dies mit dem Hinweis „dunkle Farbe“, obwohl auf S. 25 ein Reflexionsgrad für solare Einstrahlung von $0,5$ für den Fußboden bei diesem Beispiel angegeben wird.

- In den Beispielen 14 und 15 in [13] (S. 25 f) wird die gekühlte Decke und der gekühlte Fußboden **speicherlos** angenommen. Diese Annahme ist unrealistisch und für Validierungsbeispiele ungeeignet.
- Großen Einfluss auf das Berechnungsergebnis nimmt der Gesamtenergiedurchlassgrad transparenter Fassaden.

Allgemein gilt nach [12], S. 13, dass die Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrades für Verglasung nach DIN EN 410 [19] und des Gesamtenergiedurchlassgrades für Verglasung einschließlich Sonnenschutz nach DIN EN 13363 Blatt 1 vorzunehmen ist. Bei der Nachrechnung dieser beiden Werte mit den Angaben für Verglasung und Sonnenschutz fällt beim genauen Hinschauen auf, dass die gültige Fassung der DIN EN 13363-1 vom September 2007 [15] stammt, die Vorgängerfassung stammt vom Oktober 2003 [16]. Die Berechnungsergebnisse beider Fassungen unterscheiden sich, da die Konstanten in den Näherungsgleichungen für den außenliegenden Sonnenschutz (Gl. (1) in beiden Fassungen der DIN EN 13363 Blatt 1) geändert wurden.

Somit errechnet sich der des Gesamtenergiedurchlassgrad für Verglasung einschließlich Sonnenschutz für die Validierungsbeispiele zu:

- Nach DIN EN 13363 Blatt 1 von 2003: **0,1949**
- Nach DIN EN 13363 Blatt 1 von 2007: **0,2124**

Für die Beispielsberechnungen zu den vereinfachten Berechnungsverfahren werden für geschlossenen Sonnenschutz folgende Werte genannt:

- Nach DIN EN ISO 13792 [12] von 2005, S. 50: **0,221**
(aus $\tau = 0,153 + S_{f2} = 0,068$)
- Nach DIN EN 15255 [12] von 2007, S. 16: **0,20**
- Nach DIN EN 15265 [14] von 2007, S. 15: **0,20**

Es kann also vermutet werden, dass die Daten der Validierungsbeispiele der DIN EN 15255 [12] und der DIN EN 15265 [14] (beide von 2007) auf die alte, nicht mehr gültige Fassung der DIN EN 13363 Blatt 1 vom Oktober 2003 beruhen. Diese Differenz des Gesamtenergiedurchlassgrades für geschlossenen Sonnenschutz von rund 0,02 führt zu einer Änderung der berechneten maximalen operativen Temperatur von über 1 K und über 5 % der berechneten max. und mittleren Kühllast. Zulässig für die Validierung nach Vorgaben der DIN EN ISO 13792 [12] sind Abweichungen von 1 K bei der Temperatur bzw. nach DIN EN 15255 [13] 5 % bei der Last. Welche Gesamtenergiedurchlassgrade für die Validierungsbeispiele der DIN EN 15255 verwendet wurden, ist unklar. Da nur auf die DIN EN 13363-1 (ohne Ausgabedatum) verwiesen wird, müsste eigentlich immer die gültige Ausgabe verwendet werden. Aber dadurch vergleicht man bei einer Validierung wahrscheinlich mit „falschen“ Ergebnissen.

An diesem Beispiel wird auch deutlich, dass aufgrund des enormen Einflusses des Gesamtenergiedurchlassgrades auf das Berechnungsergebnis Kühllast und Raumtemperatur für die Validierung vorgegeben sein sollte, ob und wie der Wert zu runden ist.

Fazit

Zusammenfassend leiten sich die folgenden Aspekte ab:

1) Randbedingungen des Validierungsmodells

Eine Reihe von Randbedingungen und Annahmen, wie sie in den europäischen Normen festgelegt sind, entsprechen nicht dem Stand der Technik oder sind für Verhältnisse in Deutschland ungeeignet. So wird die Lage des Sonnenschutzes vernachlässigt, aktive Bauteile werden als nicht speichernd betrachtet, der langwellige Strahlungsaustausch mit der Umgebung wird vereinfacht und die Winkelabhängigkeit der solaren Transmission transparenter Fassaden wird nicht berücksichtigt. Es lassen sich weitere Beispiele anführen. Die vorgenommenen Vereinfachungen in der Modellierung spiegeln die Realität nicht hinreichend genau wider.

2) Qualität des Validierungsmodells

Wenn es auch keine „absoluten“ Eichkriterien für wärmetechnische instationäre Vorgänge gibt, so können doch zeitliche instationäre Abfolgen von Wärmevergängen allgemein anerkannt mit dem „Beuken-Modell“ [6][7] überprüft werden. Berechnet man mit dem Beuken-Modell beispielsweise die Grundvarianten der Prüfbeispiele der DIN EN 15255 (Prüfung 1, 2, 6 und 7) mit den dort gegebenen Randbedingungen und Annahmen, liegen die berechneten Ergebniswerte alle außerhalb des in dieser Norm vorgegebenen Toleranzbereichs der Bezugsergebnisse.

3) Anzahl der zur Validierung gegebenen Berechnungsergebnisse bzw. Fixpunkte
Wenn man die Ergebnisse der verschiedenen Tests in der VDI 6020 Blatt 1 genauer anschaut, stellt man fest, dass sich die Ergebnisse der Berechnungen mit unterschiedlichen "hochwertigen" Verfahren teils deutlich stärker unterscheiden als nach DIN EN 15255 usw. zulässig. Es zeigt sich auch, dass es beim selben Testbeispiel Ergebnisbereiche gibt, in denen nur geringe Abweichungen sind und es gibt Bereiche mit relativ großen Abweichungen. Zwei oder drei Fixpunkte, wie in der DIN EN 15255 usw. vorgegeben, sind grundsätzlich nicht als Validierungskriterium ausreichend.

4) Validierung abhängig von der Zielrichtung

Validierungsbeispiele sollten in ihrer Systematik so gewählt werden, dass der Einfluss von Teilbereichen gesondert und schrittweise getestet werden können. Das ist bei den einschlägigen europäischen Normen nicht der Fall. Dagegen bildet die VDI 6020 Blatt 1 ein positives Beispiel.

5) Der Bezug der Randbedingungen und ihre Vollständigkeit muss gegeben sein

Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) transparenter Fassaden hat großen Einfluss auf das Berechnungsergebnis. Die DIN EN 13792 verweist beispielsweise für die Berechnung des g-Wertes auf die DIN 13363, Blatt 1. Die Ausgabe dieser Norm vom Oktober 2003 wurde zwischenzeitlich überarbeitet (gültigen Ausgabe vom November 2007). Die dadurch entstehende Differenz des g-Wertes bei geschlossenem Sonnenschutz beträgt rund 0,02 (rund 10 %). Diese Differenz führt zu einer Änderung der berechneten maximalen operativen Temperatur **von über 1 K und über 5 %** der berechneten max. und mittleren Kühllast. Zulässig für die Validierung sind Abweichungen von 1 K bei der Temperatur bzw. 5 % bei der Last.

Eine Reihe von sonstigen Randbedingungen, wie beispielsweise

- die Konvektivanteile beim Wärmeeintrag der Solarstrahlung
- der Aufbau der Raumumschließungsflächen in der DIN EN 13792 (Testbeispiel B1a)

sind für die Validierung nicht oder widersprüchlich angegeben.

Unter Berücksichtigung aller vorgenannten Aspekte können zur Validierung der Richtlinien VDI 2078 und VDI 6007 Blatt 1 die Vorgaben der vier europäischen Normen nicht herangezogen werden. Vielmehr bildet die VDI 6020 Blatt 1 die Validierungsgrundlage für die neuen VDI-Richtlinien zur thermischen Gebäudesimulation.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 15243:
Lüftung von Gebäuden - Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlage,
Oktober 2007
- [2] DIN EN ISO 15927-2:
Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 2: Stundendaten zur Bestimmung der Kühllast,
Entwurf Juli 2007
- [3] DIN EN 15242:
Lüftung von Gebäuden – Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration,
Entwurf September 2005
- [4] DIN EN 15251:
Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik,
August 2007
- [5] DIN EN 13779
Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme,
September 2007
- [6] Beuken, D.L.:
Wärmeverluste bei periodisch betriebenen Öfen.
Dissertation Freiburg 1936
- [7] Brockmeier, K.-H.:
Über ein Beuken-Modell kleinster Abmessungen.
Elektrotechnische Zeitschrift, 72. Jahrgang (1951) Heft 17
- [8] VDI 6020 Blatt 1:
Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation – Gebäudesimulation,
Mai 2001
- [9] ISO/FDIS 13786:
Thermal performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods,
ISO 2007
- [10] VDI 6007 Blatt1
Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden – Raummodell,
Oktober 2007
- [11] DIN EN ISO 13791
Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren,
Februar 2005
- [12] DIN EN ISO 13792
Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Vereinfachtes Berechnungsverfahren,
Juni 2005

- [13] DIN EN 15255
Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung der wahrnehmbaren Raumkühllast - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren, November 2007
- [14] DIN EN 15265
Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren, November 2007
- [15] DIN EN 13363 Blatt 1:
Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades Teil 1: Vereinfachtes Verfahren, September 2007
- [16] DIN EN 13363 Blatt 1:
Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades Teil 1: Vereinfachtes Verfahren, Oktober 2003
- [17] IEA International Energy Agency:
Results and analysis of Avonbank Building simulation, Annex 1 Level 1 und Level 2, April 1980, Veröffentlicht in LTG Technische Information Nr. 51
- [18] IEA International Energy Agency:
Building Energy Simulation Test (BESTTEST), Annex 21, Februar 1995
- [19] DIN EN 410
Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen, Dezember 1998
- [20] Rouvel, L. und Zimmermann, F. ;
Ein regelungstechnisches Modell zu Beschreibung des thermisch dynamischen Raumverhaltens
Teil 1: Theoretische Grundlagen und deren Anwendung auf die Berechnung von Raumtemperaturen, HLH Bd.48 (1997) Nr. 10 S. 66/75
Teil 2: Vergleich der Berechnungsergebnisse für das regelungstechnische Modell mit anderen Verfahren am Beispiel der sommerlichen Raumtemperaturen, HLH Bd.48 (1997) Nr. 12 S. 24/31
Teil 3: Berechnung von Gewichtsfaktoren für VDI 2078 und alternatives Verfahren mittels Übergangsfunktionen, HLH Bd.49 (1998) Nr. 1 S. 18/29

veröffentlicht in der HLH:

Rouvel, L. Die künftige VDI 2078 im Kontext zur europäischen Normung
Seifert C. HLH Bd. 59 (2008) Nr. 8 - August S. 49/54
Zimmermann F.:

PROF. DR.-ING. HABIL. LOTHAR ROUVEL
FACHGEBIET ENERGIETECHNIK UND -VERSORGUNG · THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION

SÄULINGSTRASSE 4
80686 MÜNCHEN

TEL.: 089-576804 FAX: 089-5706641
ROUVEL@GEBSIMU.DE WWW.GEBSIMU.DE

