

Validierung des Rechenkerns der C.A.T.S.- Kühllastberechnung anhand der VDI 6007

veröffentlicht in

**C.A.T.S.-Newsletter Februar 2008
HLH Bd. 59 (2008) Nr. 3, S. 56-62**

von

**CSE Nadler
Dipl.-Ing. Norbert Nadler
Arnstädter Str. 7, 16515 Oranienburg
Tel. : (03301) 579 39-0
Fax : (03301) 579 39-1
E-Mail: n.nadler@cse-nadler.de
Website: www.cse-nadler.de**

im Auftrag der

**C.A.T.S. Software GmbH
Poststr. 9, 64289 Darmstadt
Tel.: (06151) 8294-0
Fax.: (06151) 8294-16
Website: www.cats-software.com**

Oranienburg, den 14. Januar 2008

Das Rechenverfahren der VDI 6007 [1] soll einmal das EDV-Verfahren der VDI 2078 [2] ersetzen. Inzwischen ist das EDV-Verfahren aus [2] jedoch so weiterentwickelt worden, dass es die neuen Möglichkeiten der VDI 6007 weitgehend umfasst (s. [3] und [4]). Ein Vergleich der Rechenergebnisse ist daher angebracht. Für die eigene Validierung der Programme nach der VDI 6007 enthält die Richtlinie 12 Testbeispiele. Anhand dieser Testbeispiele wird der Vergleich mit dem Rechenkern des C.A.T.S.-Kühllastprogrammes (KLProg 4.4) vollzogen.

Bei der europäischen Normung geht man inzwischen andere Wege. Es wird nicht mehr ein bestimmtes Rechenverfahren vorgeschrieben, sondern es werden Validierungsprozeduren genormt (s. DIN EN 15255 [5]). Damit ist jedes Verfahren geeignet, welches die Validierung erfüllt und den gesetzten Anforderungen genügt. In diesem Sinne soll das C.A.T.S.-Kühllastprogramm eingeführt werden, da es auch international zur Anwendung kommen soll.

Aufbau der Testbeispiele

Bei den 12 Testbeispielen der VDI 6007 sollen die ersten 7 mit den Testbeispielen der VDI 6020 [6] identisch sein. Für diese 7 Testbeispiele enthält die VDI 6007 auch die Ergebnisse des Schaltkreisanalyseprogramms PSPICE. Dieses Programm ist mit einem Simulationsprogramm vergleichbar. Allerdings beschränken sich die Ergebnisse auf die Darstellung der Raumlufttemperatur und/oder der Heiz- bzw. Kühllast. Die Operativtemperatur (empfundene Temperatur) wurde seinerzeit in der VDI 6020 nicht ermittelt.

Erfreulich ist, dass in der VDI 6007 die Ergebnisse auch als Tabellenwerte angegeben werden. In der VDI 6020 wurden nur Grafiken dargestellt, bei denen die Einordnung der eigenen Ergebnisse schwer fällt. Leider sind auch in der VDI 6007 zahlreiche Druckfehler vorhanden, die nur mit Sachkenntnis und/oder Ausprobieren entdeckt werden können.

Die Räume entsprechen im Wesentlichen den Typräumen L und S der VDI 2078 [2] bzw. VDI 6020 [6]. Die Schichtdaten von Fußboden- und Decke wurden jedoch in der VDI 6007 verändert. Gründe hierfür sind nicht bekannt. Die Änderungen in beiden Typräumen betreffen die Steinwolle, im Typraum S jedoch auch die Dichte und spez. Wärmekapazität des Betons. Die spez. Wärmespeichermasse ($m c/A$) des Betons wurde im Typraum S von $105 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \text{ K})$ auf $80,5 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \text{ K})$ herabgesetzt.

Das Fenster zeigt nach Süden und besitzt in einigen Beispielen einen beweglichen äußeren Sonnenschutz. Der Grenzwert der „globalen Sonnenstrahlung“ bei dem der Sonnenschutz geschlossen wird beträgt $> 100 \text{ W}/\text{m}^2$. Es war sehr mühsam herauszufinden, dass tatsächlich der Grenzwert hinter der Verglasung gemeint sein muss. Unter dem Begriff „globale Sonnenstrahlung“ versteht man i.a. die Summe aus direkter und diffuser Strahlung auf horizontale Fläche. Das ist nicht vergleichbar mit der Strahlung hinter einer vertikalen Verglasung.

Die Außenlufttemperaturen in der VDI 6007 unterscheiden sich etwas von denen der VDI 6020 [6]. In einigen Beispielen kam die Außentemperatur vor Wänden und Fenster ohne Sonnenschutz zum Einsatz, die sich von der Außenlufttemperatur durch die Berücksichtigung des langwelligen Strahlungsaustausches mit der Umgebung unterscheidet.

Positiv zu bewerten ist in der VDI 6007 auch, dass nur einzelne einfache Aktionen getestet werden. Würde man die komplexen Aktionen vorgeben, die in der Realität auftreten, könnte das grundlegende Rechenverfahren nicht geprüft werden. Verschiedene Algorithmen für die Bereitstellung der Randbedingungen, z.B. Berechnung der kombinierten Außentemperatur oder die Umrechnung der Sonnenstrahlung auf verschiedene Flächenorientierungen beeinflussen das Ergebnis derart stark, dass über den eigentlichen Rechenkern keine Aussage mehr getroffen werden kann. Außer beim Testbeispiel 9 (s.u.) kommen solche Aktionstypen in der VDI 6007 nicht vor.

Als Rechenergebnisse werden die sich einstellenden Temperaturen (Luft- und Operativtemperatur)

und/oder die Heiz- bzw. Kühllast zu jeder Tagesstunde, in der Regel am 1., 10. und 60. Tag ermittelt. Abweichungen von den Regelfällen sind in der Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Kurzbeschreibung der Testbeispiele nach VDI 6007 [1]

Test-beispiel	VDI 6007 Typraum	Belastung	Ergebnisse
1	S	1000 W konvektiv, 6-18 Uhr	Temperaturen
2	S	1000 W strahlend, 6-18 Uhr	Temperaturen
3	L	1000 W konvektiv, 6-18 Uhr	Temperaturen
4	L	1000 W strahlend, 6-18 Uhr	Temperaturen
5	S	konvektive und strahlende gemischte Innenlast von 7-17 Uhr, Sonnenstrahlungsabsorption nur im Raum und nur Außenlufttemperaturen, variabler Sonnenschutz	Temperaturen
6	S	1000 W strahlend, 6-18 Uhr, unbegrenzte Anlagenleistung, Soll-Raumlufttemperatur 27 °C von 6-18 Uhr, 22 °C in der restlichen Zeit	Operativtemp. Heiz-/Kühllast nur 10. Tag
7	S	wie Testbeispiel 6, mit begrenzter Anlagenleistung von ± 500 W	Temperaturen Heiz-/Kühllast nur 10. Tag
8	S, Westseite mit AW und FE	wie Testbeispiel 5, Sonnenstrahlungsabsorption auch auf AW	Temperaturen
9	S, Westseite mit AW und FE	wie Testbeispiel 8, mit Außentemperaturen vor Wänden und Fenster ohne Sonnenschutz	Temperaturen
10	S, mit FB nicht-adiabat	wie Testbeispiel 5, mit Kellerraumtemperatur 15 °C	Temperaturen
11	S	wie Testbeispiel 7, mit rein konvektiver Heizung und Kühlung mit Kühldecke (Konvektivanteil 0 %)	Temperaturen Heiz-/Kühllast
12	S	wie Testbeispiel 5, mit Außenluftkühlung 8-17 Uhr 50 m ³ /h, 17-8 Uhr 100 m ³ /h	Temperaturen

Sämtliche Testbeispiele werden mit dem C.A.T.S.-Kühllastprogramm als Beispieldateien ausgeliefert. Damit kann sich der Anwender des Programms von der Übereinstimmung mit den hier angegebenen Ergebnissen selbst überzeugen.

Das Verfahren nach VDI 6007

Algorithmen und Parameter des Ersatzmodell-Verfahrens aus der VDI 6007 haben sich gem. Schrifttum im Laufe der Zeit mehrfach geändert. Die Empfehlung für den Parameter „Kreisfrequenz ω “ war z.B. ursprünglich 7 Tage, dann 14 Tage und nunmehr 2 Tage. Mit diesem Parameter werden für die einzelnen Wandaufbauten Anpassungen einer analytischen Lösung für einen bestimmten Punkt (ω) an das Ersatzmodell vorgenommen. Das kann bedeuten, dass beim Auftreten anderer Frequenzen in der Belastung Fehler möglich sind. Das Verfahren ist also auch ein Näherungsverfahren und entspricht in seiner Qualität nicht den hochwertigen Differenzenverfahren, wie es bei Simulationsprogrammen üblich ist.

Mit der Ergebnisausgabe für den 1., 10. und 60. Tag wird der Anfahr- und Einschwingvorgang untersucht. Anfahr- und Einschwingvorgang unterscheiden sich durch unterschiedliche Frequenzen in der Belastung. Eine hohe Genauigkeit beim Anfahrvorgang ist wichtig für die Jahressimulation. Beim bisher üblichen Tagesgangverfahren für die Ermittlung der Kühllast ist dagegen der Einschwingvorgang von größerer Bedeutung.

Der Vorteil des neuen Rechenverfahrens soll in der Möglichkeit liegen, das thermische Verhalten individueller Wandschichtaufbauten besser abzubilden. Bei der VDI 2078 [2] wird die thermische

Speicherfähigkeit des Raumes aus der Erfahrung abgeschätzt und einer Klasse (z.B. Leicht, Mittel, Schwer) zugeordnet. Damit geht die VDI 2078 [2] konform mit den Berechnungsmethoden der EnEV. Für diese Klassen existieren Typräume mit fertigen Lösungen. Eine Anpassung an das individuelle Bauvorhaben erfolgt nur über die Fläche A und den stationären Wärmedurchgangskoeffizienten U. Von den Typräumen stark abweichende Konstruktionen oder geringe Änderungen im Schichtaufbau können von dem VDI 2078-Verfahren nur dann mit gleich bleibend hoher Genauigkeit erfasst werden, wenn hierfür auch neue Gewichtungsfaktoren ermittelt werden.

Die genauere Berücksichtigung der Wandschichtaufbauten eröffnen auch mehr Beratungsmöglichkeiten für den Architekten, die bisher nur Ingenieurbüros mit Simulationsprogrammen vorbehalten waren. Allerdings hat ein solches Verfahren auch den Nachteil, dass es die Schichtdaten (Dicke, Wärmeleitfähigkeit, Dichte, usw.) sämtlicher Bauteile im Raum benötigt. Damit entsteht für den Planer ein erhöhter Beschaffungs- und Eingabeaufwand. Gerade bei der Sanierung oder im Vorplanungsstadium könnten hierbei Schwierigkeiten auftreten. Werden nur die U-Werte benötigt -wie im aktuellen VDI 2078-Verfahren-, kann für diese Anwendungsfälle ein Rückgriff auf die gesetzlichen Vorgaben oder auf die Sammlung der dena für alte Bauteile erfolgen.

Leider haben die Entwickler des VDI 6007-Verfahrens bisher nicht belegt, dass mit diesem Verfahren auch verschiedene von den Typräumen abweichende Konstruktionen sowie geringe Konstruktionsunterschiede mit genügender Genauigkeit erfasst werden. Hierzu wären Vergleiche mit einem Simulationsprogramm notwendig. Erste Hinweise liefern die Vergleiche der Testbeispiele 1-7 mit den Ergebnissen des PSPICE-Programms aus der VDI 6020. Dabei ist aber zu bedenken, dass die Randbedingungen sich wie vorstehend ausgeführt leicht verändert haben.

Für die Testbeispiele 8-12 liegen gar keine Simulationsergebnisse zum Vergleich vor. Aus diesen Gründen kam für alle Testbeispiele das aus mathematischer Sicht hochwertige Simulationsprogramm TGASim (s. [3] und www.cse-nadler.de/zustra.pdf) zum Einsatz. TGASim war auch die Grundlage für die Ermittlung der neuen Gewichtungsfaktoren in [3].

Ergebnisse

Die Bilder 1-68 stellen die Ergebnisse aller Testbeispiele dar und sind unter dem Link <http://www.cats-software.com/CATsnewsletter/zusatzinfos/Compare6007-Bilder.pdf> zu beziehen. Die folgenden Bilder stellen nur eine Auswahl dar. Der Maßstab der Ordinate wurde auseinander gezogen, damit Unterschiede zwischen den einzelnen Programmresultaten besser erkennbar sind. Für die Wertung der Genauigkeit sollte jedoch unbedingt die Maßstabsgröße beachtet werden.

In der VDI 6007 werden die Ergebnisse zweier Programme angegeben. Bis auf das Testbeispiel 11 (Kühldecke) sind die Unterschiede derart gering, dass nur die Ergebnisse des Programms 1 dargestellt werden.

Im Einzelnen werden die Ergebnisse folgender Programme miteinander verglichen:

- VDI 6007 Programm 1 aus [1]. Beim Testbeispiel 11 auch Programm 2 aus [1]
- KLProg 4.4 Rechenkern des C.A.T.S.-Kühllastprogrammes (VDI 2078 [2] mit Korrekturen und Erweiterungen nach [3] und [4])
- VDI 6020 Ergebnisse aus [6], erzeugt mit dem Schaltkreisanalyseprogramm PSPICE
Diese Ergebnisse sind als Zahlenwerte auch in der VDI 6007 aufgeführt.
- TGASim Thermisches Gebäude und Anlagen-Simulationsprogramm als Bezugsmaßstab ([3] und www.cse-nadler.de/zustra.pdf)

Anzumerken ist, dass die Ergebnisse der VDI 6007 Mittelwerte der vergangenen Stunde darstellen. Bei den Programmen KLProg 4.4 und TGASim stellen die Ergebnisse Stundenendwerte dar, die sich durch eine Reaktion auf eine Belastung ergeben, die seit dem Stundenanfang vorlag. Diese Ergebnisse sind eine Folge von Sprungantworten.

Testbeispiel 1 und 2 (konvektive und strahlende Innenlast im Typraum S)

Der Unterschied zum „wahren“ Wert (TGASim) liegt bei allen Programmen bei max. 1 K und ist damit akzeptabel. Im Anfahrvorgang (1. und 10. Tag) sind die Unterschiede größer als im eingeschwungenen Zustand (60. Tag).

Testbeispiel 3 und 4 (konvektive und strahlende Innenlast im Typraum L)

Hier ergeben sich Unterschiede vom Programm VDI 6007 zu TGASim von bis zu 3 K am 10. Tag (s. Bild 15 und 21). Nach Rouvel und Zimmermann sind Abweichungen von 3 K nicht vernachlässigbar [7, Bild 1]. Der Abstand der Kurven für VDI 6007 zu VDI 6020 beträgt etwa 2 K und bestätigt, dass hier ein Rechen- oder Verfahrensfehler vorliegen muss. Im gewählten Maßstab der grafischen Darstellung der Ergebnisse in der VDI 6007 [1, Diagramm A4.2] ist diese Differenz nicht sofort erkennbar.

Bei dem Vergleich mit der VDI 6020 ist zu beachten, dass für die Testbeispiele 3 und 4 der Typraum L zur Anwendung kam, bei dem sich die Konstruktionsänderung (von VDI 6020 zu VDI 6007) nur auf die Wärmeleitfähigkeit und Dichte der Steinwolle bezog. D.h., für diese einzigen Testbeispiele mit einem leichten Raum besteht eine größere Vergleichbarkeit mit der Kurve VDI 6020.

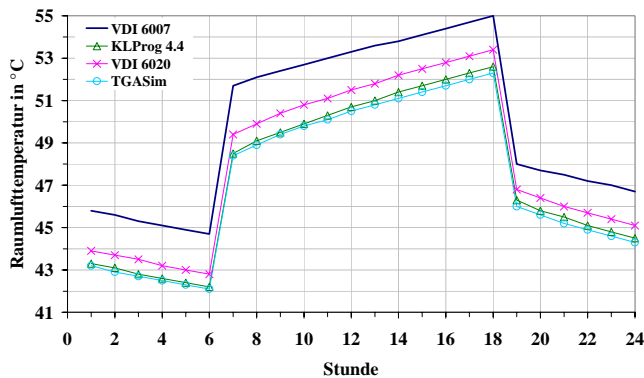


Bild 15: Testbeispiel 3, Raumlufthtemperatur, 10. Tag

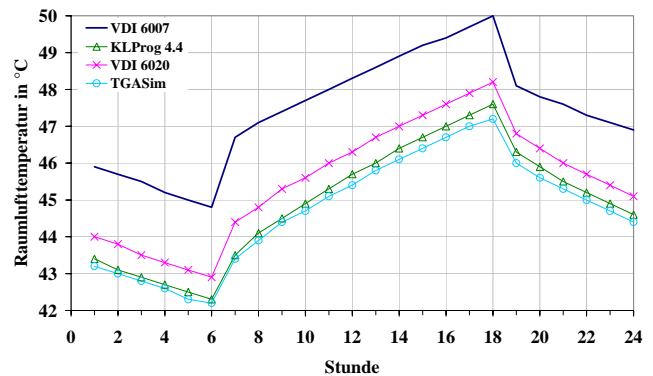


Bild 21: Testbeispiel 4, Raumlufthtemperatur, 10. Tag

Testbeispiel 5 (gemischte Innen- und Außenlast)

Da für dieses Testbeispiel die Sonnenstrahlung hinter der Verglasung von der VDI 6007 vorgegeben war, musste für TGASim ersatzweise eine innere langwellige Strahlungsquelle verwendet werden. Damit ist der Strahlungsverlust nach außen und die Absorption in der äußeren Scheibe ausgeschlossen. Die gesamte vorgegebene Leistung verbleibt somit im Raum und wird in Konvektion und langwellige Strahlung umgewandelt. Dies entspricht auch der Voraussetzung bei der Aktion „aufgeprägte absorbierte Strahlungswärme“ der VDI 2078.

Von der Stunde 9-15 ist der bewegliche Sonnenschutz aktiv. Hieraus ergeben sich die beiden Temperaturspitzen am Vor- und Nachmittag (s. Bild 25 und 29). Trotz schwerer Bauweise reagiert die Kurve VDI 6007 sofort auf die geringere Belastung durch eine Temperaturabnahme (Stunde 8-9) und behält diese Reaktion auch am 60. Tag bei. Da dieses Ergebnis einen Mittelwert der vergangenen Stunde darstellt, dürfte die Reaktion im Ersatzmodell noch heftiger ausgefallen sein. Bei KLPprog 4.4 und TGASim fällt die Reaktion gedämpfter aus, was bei der schweren Bauweise auch zu erwarten ist.

Interessant ist auch, dass am 1. Tag die Kurve VDI 6007 mit der Kurve VDI 6020 trotz Konstruktionsänderung im Typraum S deckungsgleich ist. Die Änderung der Speicherkapazität des Betons hat hier offenbar keinen Einfluss.

Insgesamt liegen die Abweichungen aller Programme unter 1 K und sind damit annehmbar.

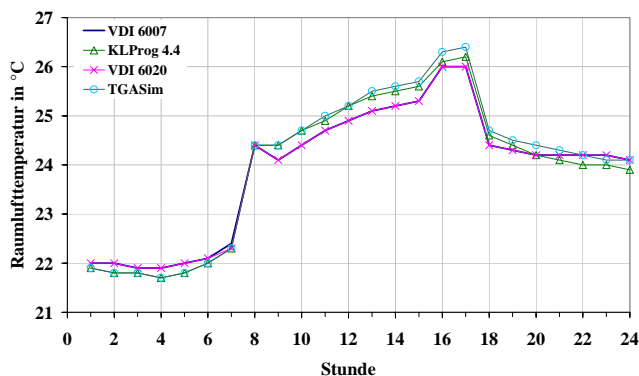


Bild 25: Testbeispiel 5, Raumlufttemperatur, 1. Tag

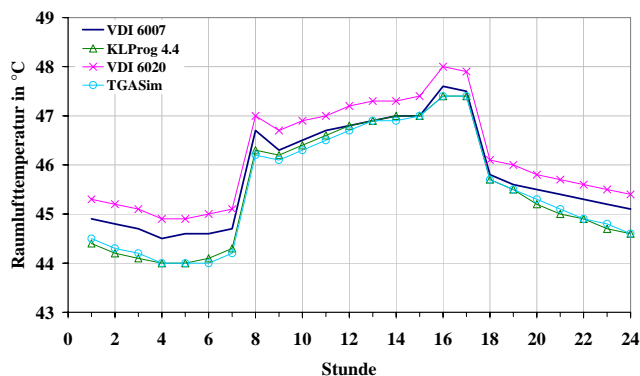


Bild 29: Testbeispiel 5, Raumlufttemperatur, 60. Tag

Testbeispiel 6 (Sollwertsprung) und 7 (begrenzte Anlagenleistung)

Hier wird ein Sollwertsprung der Raumlufttemperatur und die Auswirkung einer begrenzten Anlagenleistung einer RLT-Anlage untersucht. Die Ergebnisunterschiede am 10. Tag sind vernachlässigbar gering. Ein Vergleich für die anderen Tage ist nicht möglich, da sie in der VDI 6007 nicht vorhanden sind.

Testbeispiel 8 (Eckraum)

Bei diesem Beispiel wird der Tyraum S zu einem Eckraum im Gebäude. Für das Programm KLProg 4.4 liegt damit aufgrund der Abweichung vom Tyraum der VDI 2078 eine erhöhte Anforderung vor. Trotzdem ergeben sich nur Fehler $\leq 1,5$ K (s. Bild 38 und 40). Das Programm VDI 6007 zeigt eine bessere Übereinstimmung nur am 10. Tag. Am 60. Tag liegen die max. Fehler in der gleichen Größenordnung. Ein signifikanter Vorteil bei verändertem Raumaufbau durch Hinzunahme weiterer Außenbauteile ist bei der VDI 6007 nicht erkennbar.

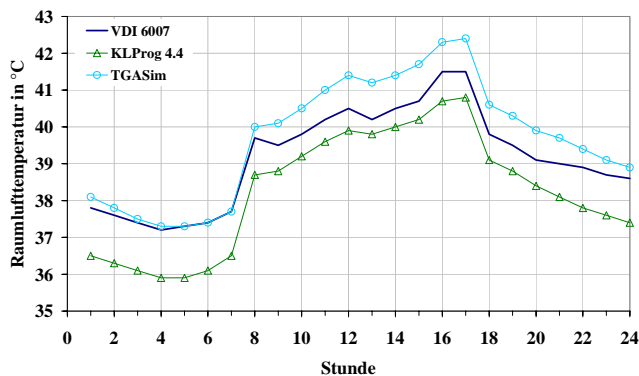


Bild 38: Testbeispiel 8, Raumlufttemperatur, 10. Tag

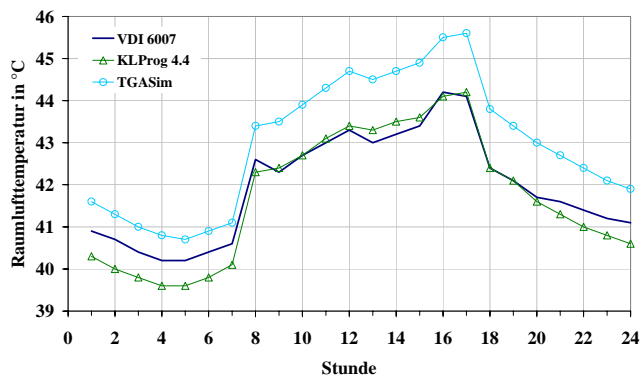


Bild 40: Testbeispiel 8, Raumlufttemperatur, 60. Tag

Testbeispiel 9 (Außentemperatur statt Außenlufttemperatur)

Bei diesem Testbeispiel wird gegenüber dem Testbeispiel 8 nur der langwellige Strahlungsaustausch der Außenbauteile mit der äußeren Umgebung berücksichtigt. Anstelle der Außenlufttemperatur wird die Außentemperatur verwendet. Die Berechnung der Außentemperatur erfolgt in beiden Verfahren unterschiedlich, woraus sich eine Differenz von max. 1,3 K ergibt. Da hier nur die Randbedingung verändert wird, ist dieses Testbeispiel nicht geeignet, Verfahrensunterschiede zu bewerten. Bezüglich der Unterschiede zwischen KLProg 4.4 und TGASim verbleibt es bei einem Fehler von $\leq 1,5$ K.

Testbeispiel 10 (nicht-adiabater Fußboden)

In diesem Beispiel wird der adiabate Fußboden im Tyraum S durch einen nicht-adiabaten Fußboden ersetzt, der an einen Kellerraum mit konstant 15 °C angrenzt. Die restliche Belastung des Raumes entspricht dem Testbeispiel 5.

Bild 48 zeigt den Verlauf der Raumlufttemperatur am 1. Tag. Der Unterschied zu TGASim beträgt zur 9. Stunde 4,5 K. Aus den bisherigen Ergebnissen für den 1. Tag konnte man annehmen, dass der Startwert bei allen Programmen 22 °C beträgt (vgl. Bild 25). Nimmt man diesen Startwert auch in diesem Beispiel für das Programm VDI 6007 an, so müsste die niedrige Kellerraumtemperatur von 15 °C bewirken, dass die Raumlufttemperatur schon in der 1. Stunde auf einen Wert von 17,6 °C und damit unter die Außenlufttemperatur von 18,8 °C abfällt. Im stationären Fall würde sich ein Wert von 16,4 °C in der 1. Stunde einstellen. Das kann man durch eine einfache Handrechnung mit U-Werten, Flächen und den anliegenden äußeren Temperaturen belegen. Die VDI 6007 liegt damit nahe bei einem Wert, der sich ohne die Berücksichtigung der Speicherfähigkeit des Raumes ergeben würde.

Da sich dieser starke Abfall im Testbeispiel 5 nicht zeigt, kann daraus gefolgert werden, dass die thermische Trägheit des nicht-adiabaten Betonfußbodens von der VDI 6007 nicht korrekt erfasst wird. Jedenfalls ist das Ergebnis für den 1. Tag unglaublich, auch ohne den Vergleich mit TGASim.

Beim Programm KLProg 4.4 beträgt der Abstand zu TGASim trotz der Abweichung vom Typraumaufbau wiederum $\leq 1,5$ K. Im eingeschwungenen Zustand sind die Unterschiede aller Programme minimal (s. Bild 52).

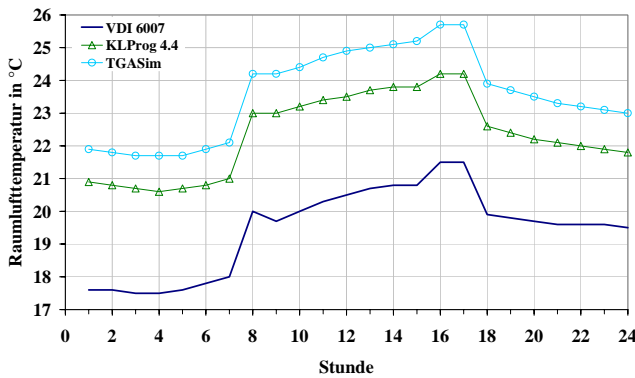


Bild 48: Testbeispiel 10, Raumlufttemperatur, 1. Tag

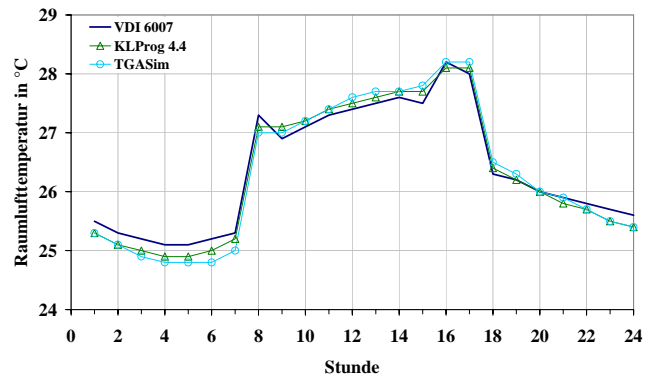


Bild 52: Testbeispiel 10, Raumlufttemperatur, 60. Tag

Testbeispiel 11 (Kühldecke)

Die neuen Möglichkeiten der VDI 6007 sollten neben der Berücksichtigung individueller Konstruktionen auch die Kühllastberechnung für Kühldecken sein. Wenn der Konvektivanteil der Kühldecke ungleich dem Konvektivanteil der Belastung ist, benötigen Kühldecken eine wesentlich höhere Leistung bei der Sollwertvorgabe „Raumlufttemperatur“ als bei der Soll-Operativtemperatur als Zielgröße [4]. Folglich sollte ein Rechenverfahren auch Algorithmen für die Operativtemperatur als Sollwertgröße bereitstellen. Im Programmablaufdiagramm der VDI 6007 [1, Seite 90] findet man hierzu nur den rückwärts gerichteten Pfad „Randbedingungen ändern“, wenn die errechnete empfundene Temperatur nicht der Vorgabe entspricht.

Die VDI 6007 bietet offenbar keine Algorithmen für die Kühllastberechnung von Kühldecken mit vorgegebener empfundener Temperatur an. Das Testbeispiel 11 gibt daher auch nur einen Sollwertsprung bezüglich der Raumlufttemperatur vor. Die Belastung folgt aus dem Testbeispiel 6 und ist nur von strahlender Natur (beachte Druckfehler in [1, Tab. A11.2]).

Der Konvektivanteil der Kühldecke soll 0 % betragen. In der Beschreibung für die Wandaufbauten [1, Tab. A11.1] wird jedoch ein innerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient der Decke von 1,7 W/(m² K) angegeben, der eigentlich den Wert 0 haben müsste. Hier liegt ein Widerspruch vor. Während TGASim sich den Konvektivanteil der Kühldecke selbst errechnet, wird KLProg 4.4 jeweils mit einem vorgegebenen Wert von 0 und 10 % ausgeführt.

Bezüglich der Raumlufttemperatur sind die Unterschiede zwischen KLProg 4.4 mit einem

Konvektivanteil für die Anlage von 0 und 10 % sehr gering (s. Bild 54). In Bild 60 wird auf eine gesonderte Darstellung von KLProg 4.4 mit 10 % verzichtet, da der Unterschied max. 0,2 K beträgt. Ein erheblicher Einfluss auf den Kühllastverlauf zeigt sich jedoch im Bild 62. Hier ergeben sich auch die größten Unterschiede zwischen Programm 1 und 2 der VDI 6007.

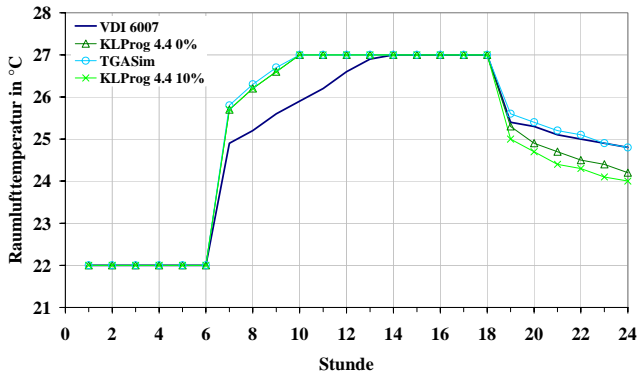


Bild 54: Testbeispiel 11, Raumlufttemperatur, 1. Tag

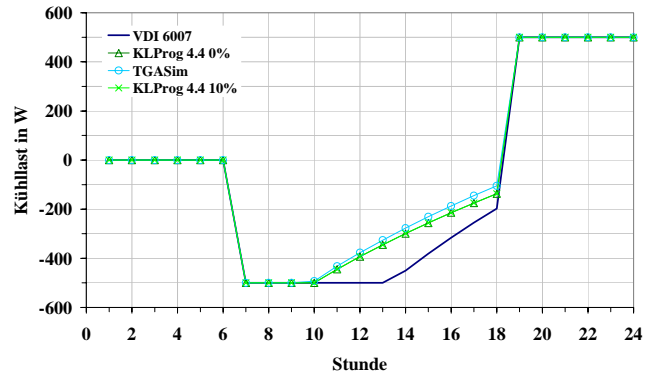


Bild 56: Testbeispiel 11, Kühllast, 1. Tag

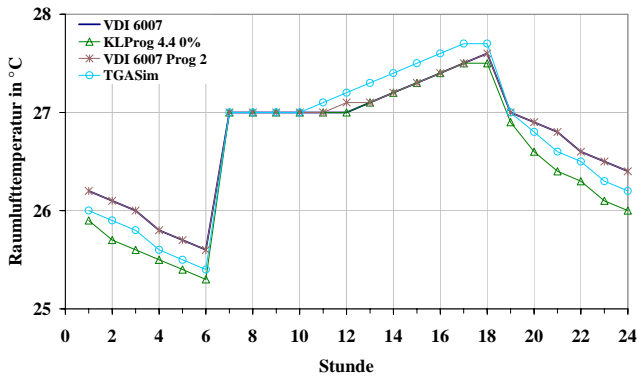


Bild 60: Testbeispiel 11, Raumlufttemperatur, 60. Tag

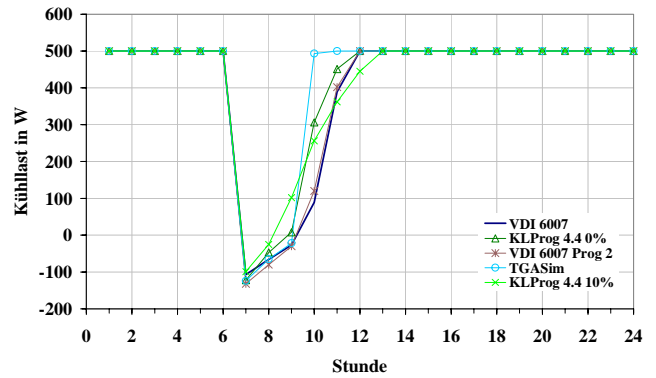


Bild 62: Testbeispiel 11, Kühllast, 60. Tag

Testbeispiel 12 (reine Außenluftkühlung)

Die Belastung entspricht wiederum dem Testbeispiel 5. Die Ergebnisse aller Programme liegen gut beieinander (s. Bild 63 und 67). Allerdings verstärkt sich hier das Phänomen der ersten Temperaturspitze beim Programm VDI 6007 (s. Testbeispiel 5). Die Dämpfung fällt bei KLProg 4.4 und TGASim so stark aus, dass ein Temperaturmaximum in der 8. Stunde gar nicht mehr erkennbar ist.

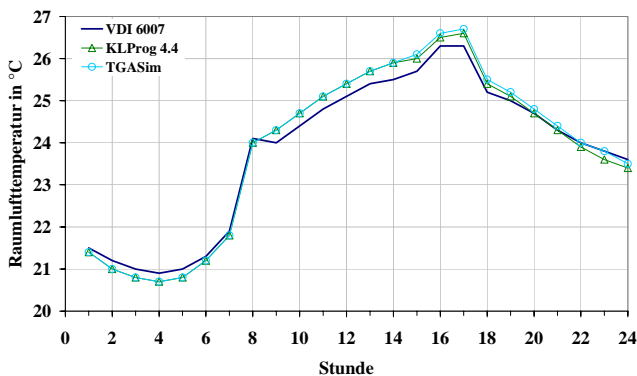


Bild 63: Testbeispiel 12, Raumlufttemperatur, 1. Tag

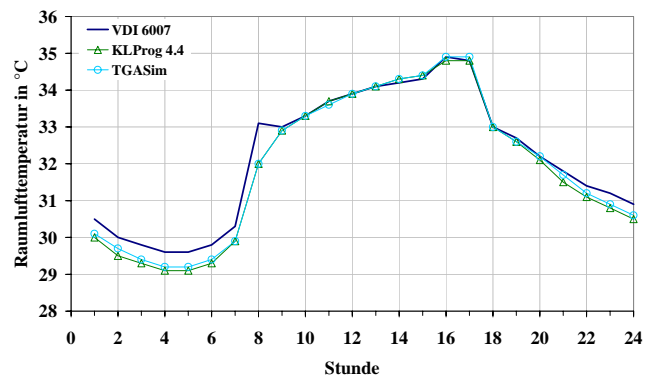


Bild 67: Testbeispiel 12, Raumlufttemperatur, 60. Tag

Fazit und Kritik

Zunächst soll sich die Kritik auf die Testbeispiele selbst richten. Während RLT-Anlagen sehr ausführlich untersucht werden, liegt für Kühldecken nur ein Testbeispiel vor. Testbeispiele für eine vorgegebene Soll-Operativtemperatur werden gänzlich vermisst. Sollte das mit der VDI 6007 nicht möglich sein, dürfte der Anwendungsbereich für Kühldecken unakzeptabel eingeschränkt sein. Nach dem

Klassifizierungssystem der DIN EN 12255 [5] würde sich damit die Einstufung der VDI 6007 von 4b auf 4a verringern.

Bei der Leichtbauweise haben sich mit der VDI 6007 größere Abweichungen zum Programm PSPICE ergeben. Dies hätte der Anlass sein müssen, mehr Leichtbauweisen statt der schweren Bauweise des Typraums S in die Testbeispiele aufzunehmen.

Vergleiche mit einem Simulationsprogramm liegen durch die Veränderungen der Schichtdaten der Typräume nur eingeschränkt und auch nur für die Testbeispiele 1-7 vor. Zu einer Validierung eines neuen Rechenverfahrens gehört auch der Vergleich mit einem höherwertigeren Verfahren. Früher hat man hierfür Messwerte verwendet, heute sind Simulationsprogramme die preiswertere Methode und werden allgemein anerkannt. Bei dem Zeichensaal-Beispiel aus der VDI 2078 [2] diente das Simulationsprogramm PROMETHEUS als Vergleichsmaßstab. Für kleinere Softwareunternehmen ist es unzumutbar, wenn sich erst nach der Entwicklung eines Programms herausstellt, dass das zugrunde liegende Rechenverfahren von der Branche nicht anerkannt wird bzw. unzureichend ist.

Insgesamt schneidet das Programm KLProg 4.4 im Vergleich zum Simulationsprogramm TGASim besser ab, als die neue Methode der VDI 6007. Probleme scheinen sich bei der VDI 6007 bei der leichten Bauweise und bei der Dynamik in Räumen mit nicht-adiabaten Innenflächen zu ergeben. Der max. Fehler betrug bei KLProg 4.4 1,5 K und bei der VDI 6007 4,5 K. Die im Schrifttum der VDI 6007 angegebene hohe Genauigkeit des Verfahrens kann nicht bestätigt werden.

KLProg 4.4 bzw. das C.A.T.S.-Kühllastprogramm würde aufgrund der Optionsvielfalt nach DIN EN 15255 [5] die höchst mögliche Einstufung 4b erhalten. Die gängigen Kühllastprogramme nach dem EDV-Verfahren der VDI 2078 [2] ohne Erweiterungen würden zum Vergleich in die Klasse 3a fallen. Das Kurzverfahren der VDI 2078 in die Klasse 1a.

Wie in mehreren Vorträgen zum EDV-Verfahren der VDI 2078 bereits mitgeteilt wurde, erhebt die VDI 2078 bzw. die Ergänzungen und Erweiterungen in [3] und [4] nicht den Genauigkeitsanspruch eines Simulationsprogrammes. Dafür muss der Anwender auch weniger Daten eingeben, was der Planungspraxis mit großen Gebäuden zugute kommt. Das Verfahren der VDI 2078 versteht sich nur als Vorstufe zur Simulation und als Kompromiss zwischen Eingabeaufwand und Genauigkeit. Wenn man allerdings fast den gleichen Eingabeaufwand hat, wie bei einem Simulationsprogramm, sollte man auch mit einer höheren Genauigkeit belohnt werden. Dies scheint aber bei der VDI 6007 nicht gegeben zu sein.

Literatur

- [1] VDI 6007 Ausgabe Oktober 2007: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden –Raummodell–.
- [2] VDI 2078 Ausgabe Juli 1996: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln).
- [3] Nadler, Norbert: Korrekturvorschläge zum EDV-Verfahren der VDI 2078.
Teil 1a: Algorithmen, HLH Bd. 54 (2003) Nr. 8, S. 59-66
Teil 1b: Algorithmen, HLH Bd. 54 (2003) Nr. 9, S. 62-66
Teil 2a: Vergleichsrechnungen, HLH Bd. 54 (2003) Nr. 10, S. 83-90
Teil 2b: Vergleichsrechnungen, HLH Bd. 54 (2003) Nr. 11, S. 75-78
- [4] Nadler, Norbert: Kühllastberechnung für Bauteilanlagen.
C.A.T.S.-Newsletter Dezember 2007
- [5] DIN EN 15255 Ausgabe 11-2007: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung der wahrnehmbaren Raumkühllast – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.
- [6] VDI 6020 Blatt 1 Ausgabe Mai 2001: Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation. Gebäudesimulation.

- [7] Rouvel, L. und Zimmermann, F.: Ein regelungstechnisches Modell zur Beschreibung des thermisch dynamischen Raumverhaltens. Teil 3: Berechnung von Gewichtungsfaktoren für VDI 2078 und alternatives Verfahren mittels Übergangsfunktionen. HLH Bd. 49 (1998), Nr. 1, S. 18-29.