

Validierungserklärung

Name des Ausstellers:
C.A.T.S. Software GmbH



Anschrift des Ausstellers:
Poststr. 9, 64289 Darmstadt

Gegenstand der Erklärung:
C.A.T.S.-Kühllastberechnung 2018.1
Version des Rechenkerns 4.4

Das oben beschriebene Produkt wurde validiert mit den Anforderungen der folgenden Dokumente:

VDI 6007 Blatt 1 Ausgabe Juni 2015: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden –Raummodell–

Zusätzliche Angaben:

Der Aussteller bestätigt, die Validierung der o. g. Software nach VDI 6007-1, Abschnitt 6.7, für den nachfolgend genannten Validierungsfall erfolgreich durchgeführt zu haben.

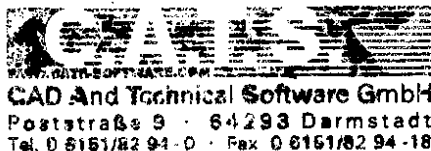
Validierung Fall B: Validierung eines Programms mit einem anderen Rechenkern als in der VDI 6007 Blatt 1 und einem anderen Strahlungsmodell als in der VDI 6007 Blatt 3 enthalten.
Die Validierungs-Grenzbedingung bei den Mittelwerten für die Temperaturen wurden in den Testbeispielen 1, 3 und 12 um 0,09 bis 0,63 K überschritten (Erläuterungen s. Anlage).
Bei den Standardabweichungen und bei allen Grenzbedingungen für die Heiz-/Kühllast wurden die geforderten Validierungsgrenzen eingehalten.

Unterzeichnet für und im Namen von:

C.A.T.S. Software GmbH

Darmstadt 02.05.2018

Andreas Schwab
Geschäftsführer



(Unterschrift oder Äquivalent, autorisiert durch den Aussteller)

Anlage

Validierung KLProg4.4 nach VDI 2078 Fall B - Testbeispiele der VDI 6007-1.pdf

Validierung nach VDI 2078 Fall B - Testbeispiele der VDI 6007-1

Der Validierungsfall B ist in der VDI 2078 [1] beschrieben durch:

Fall B:

Validierung eines Programms mit einem anderen Rechenkern als in der VDI 6007 Blatt 1 und/oder einem anderen Strahlungsmodell als in der VDI 6007 Blatt 3.

Es werden die Berechnungsergebnisse des zu validierenden Programms mit den Berechnungsergebnissen des **Referenzprogramms der VDI 6020 (n-K-Modell)** nach den Grenzbedingungen für Mittelwerte und Standardabweichungen der VDI 6020 verglichen.

Der Rechenkern des CATS-Kühllastprogrammes ist KLProg 4.4. Mit diesem Rechenkern wurde die folgende Validierung als stand alone – Programm vorgenommen.

Für die gesamte Validierung müssen die 16+7=23 Testbeispiele (+ weitere Unterteilungen) nach mehreren VDI-Richtlinien überprüft werden:

1. Validierung des Programms mit den Testbeispielen der VDI 6007 Blatt 1
2. Validierung des Programms mit den Testbeispielen der VDI 2078
3. Validierung des Programms nach VDI 6020

Dabei sind folgende Genauigkeiten einzuhalten:

Typ 1. Validierung mit den Grenzbedingungen der VDI 6007 Blatt 1	
Zulässige Abweichungen der Stundenwerte	
Lufttemperatur, operative Temperatur:	±0,1 °C
Heizlast, Kühllast:	±1 W
Typ 2. Validierung mit den Grenzbedingungen der VDI 2078	
Zulässige Abweichungen der Stundenwerte	
Lufttemperatur, operative Temperatur:	±0,2 °C
Heizlast, Kühllast:	±5 W
Typ 3. Validierung mit den Grenzbedingungen der VDI 6020	
Zulässige Abweichungen über einen Zeitbereich	
Streuung des Mittelwerts für Lufttemperatur, operative Temperatur:	±1,0 °C
Streuung des Mittelwerts für Heizlast, Kühllast:	±50 W
Streuung der Standardabweichung für Lufttemperatur, operative Temperatur:	±1,5 °C
Streuung der Standardabweichung für Heizlast, Kühllast:	±60 W

Für den Fall B kommt nur Typ 2 und Typ 3 infrage:

Typ 2 Testbeispiele 7-10 der VDI 2078 (Berechnung des Außenklimas)

Typ 3 Alle Testbeispiele der VDI 6007 Blatt 1
Testbeispiele 1-6 und 12-16 der VDI 2078

Die vorliegende Validierung umfasst nur die Testbeispiele der VDI 6007 Blatt 1, für die der Typ 3 verlangt wird.

Allgemeines

KLProg wurde schon mehrfach nach den alten Ausgaben der VDI 6007-1 validiert, zuletzt in [3]. Da damals nicht für alle Testbeispiele Referenzwerte vorlagen, wurde mit den Ergebnissen des Simulationsprogrammes TGASim verglichen. Nunmehr liegen für alle Testbeispiele der VDI 2078 und VDI 6007-1 die Referenzwerte vom Programm nach dem n-K-Modell vor.

Damit konnte auch TGASim gegen das n-K-Modell validiert werden. Bis auf das Testbeispiel 10 (1. Tag) und Testbeispiel 11 (10. und 60.Tag) wurden die Validierungsgrenzen der VDI 2078 unterschritten. Der 1. Tag im Testbeispiel 10 (Keller 15 °C) konnte nicht validiert werden, da TGASim andere Startwerte für die Simulation verwendet. Zur Startwertproblematik, die auch KLProg betraf, s.u. Kapitel „Testbeispiel 10“. TGASim berechnet die stündlichen Ergebnisse als Momentanwert zum Stundenende, das n-K-Modell gibt zum Stundenende den Mittelwert der vergangenen Stunde an. Da für den 10. und 60.Tag im Testbeispiel 11 (Kühldecke) ein schneller und starker Anstieg der Kühllast vorliegt, hat sich hier ein Unterschied von 3,3 W bei der Standardabweichung ergeben. Es zeigte sich, wie auch im n-K-Modell, das der 10. und 60. Tag fast identisch ist, wodurch der Unterschied bei beiden Tagen auftrat.

Startwertproblematik und Ergebnisausgabe belegen, dass es feine, aber nicht relevante Unterschiede in den Programmen geben kann, die aber zu einer Überschreitung der Validierungsgrenzen führen. Es ist daher fraglich, ob man die kleinen Besonderheiten der Programme an das n-K-Modell anpassen muss, um die Validierung zu erreichen.

Aufbau der Testbeispiele

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Testbeispiele.

Tabelle 1: Kurzbeschreibung der Testbeispiele nach VDI 6007-1 [2]

Test-beispiel	VDI 6007-1 Typraum	Belastung
1	S	1000 W konvektiv 6-18 Uhr, Außentemperatur 22 °C, keine kurzwellige Strahlung
2	S	1000 W strahlend 6-18 Uhr, Außentemperatur 22 °C, keine kurzwellige Strahlung
3	L	1000 W konvektiv 6-18 Uhr, Außentemperatur 22 °C, keine kurzwellige Strahlung
4	L	1000 W strahlend 6-18 Uhr, Außentemperatur 22 °C, keine kurzwellige Strahlung
5	S	konvektive und strahlende gemischte Innenlast von 7-17 Uhr, Sonnenstrahlungsabsorption nur im Rauminnern und Außenlufttemperaturen im Tagesgang, variabler Sonnenschutz
6	S	wie Testbeispiel 2, unbegrenzte Anlagenleistung, Soll-Raumlufttemperatur 27 °C von 6-18 Uhr, 22 °C in der restlichen Zeit
7	S	wie Testbeispiel 6, mit begrenzter rein konvektiver Anlagenleistung von ±500 W
8	S, Westseite mit AW und FE	wie Testbeispiel 5, Sonnenstrahlungsabsorption auch auf AW
9	S, Westseite mit AW und FE	wie Testbeispiel 8, mit zusätzlichem langwelligen Strahlungsaustausch zwischen Außenbauteilen und äußerer Umgebung
10	S, mit FB nicht-adiabat	wie Testbeispiel 5, mit Kellerraumtemperatur 15 °C
11	S	wie Testbeispiel 7, mit rein konvektiver Heizung und Kühlung mit Kühldecke (Konvektivanteil 0 %)
12	S	wie Testbeispiel 5, mit zeitgesteuerter Außenluftzufuhr 7-17 Uhr 50 m ³ /h, 17-7 Uhr 100 m ³ /h

Prüfergebnisse

Tabelle 2 enthält eine Zusammenfassung aller Prüfergebnisse.

Tabelle 2: Prüfergebnisse

	1. Tag			10. Tag			60. Tag		
	Lufttemp.	opera. Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	opera. Temp.	Heiz-/Kühllast	Lufttemp.	opera. Temp.	Heiz-/Kühllast
	°C	°C	W	°C	°C	W	°C	°C	W
Testbeispiel 1									
Mittelwert	0.17	0.16		-1.09	-1.12		-0.28	-0.33	
Standardabw.	0.16	0.16		0.13	0.14		0.14	0.16	
Testbeispiel 2									
Mittelwert	0.19	0.18		-0.85	-0.87		0.16	0.10	
Standardabw.	0.16	0.16		0.14	0.14		0.16	0.14	
Testbeispiel 3									
Mittelwert	1.06	1.06		-1.12	-1.18		-0.08	-0.12	
Standardabw.	1.18	1.17		1.20	1.18		1.19	1.19	
Testbeispiel 4									
Mittelwert	0.88	0.88		-0.97	-1.00		0.19	0.13	
Standardabw.	0.87	0.86		0.91	0.92		0.91	0.90	
Testbeispiel 5									
Mittelwert	0.03	0.09		-0.98	-0.98		-0.34	-0.36	
Standardabw.	0.10	0.09		0.08	0.09		0.10	0.11	
Testbeispiel 6									
Mittelwert		0.05	-22.4		0.00	-5.5		0.00	-6.6
Standardabw.		0.12	39.3		0.12	38.1		0.12	38.0
Testbeispiel 7									
Mittelwert	0.03	0.09	-19.6	-0.13	-0.14	-3.3	-0.10	-0.09	-8.0
Standardabw.	0.11	0.16	36.7	0.16	0.16	11.8	0.12	0.15	13.3
Testbeispiel 8									
Mittelwert	-0.10	0.01		-0.97	-0.92		-0.40	-0.35	
Standardabw.	0.19	0.09		0.21	0.12		0.22	0.12	
Testbeispiel 9									
Mittelwert	-0.09	0.02		-0.93	-0.88		-1.48	-1.45	
Standardabw.	0.20	0.11		0.23	0.14		0.25	0.17	
Testbeispiel 10									
Mittelwert				0.00	0.07		-0.08	0.00	
Standardabw.				0.10	0.06		0.10	0.05	
Testbeispiel 11									
Mittelwert	-0.13	-0.15	5.6	-0.07	-0.06	-13.9	-0.06	-0.05	-16.8
Standardabw.	0.28	0.27	13.5	0.07	0.08	42.7	0.06	0.08	48.7
Testbeispiel 12									
Mittelwert	0.03	0.10		-1.54	-1.63		-0.01	0.05	
Standardabw.	0.09	0.11		0.15	0.15		0.09	0.07	

Die Farbmarkierungen kennzeichnen die Überschreitungen der Validierungsgrenzen. Für die grün markierten gibt es nachfolgend eine Erklärung. Die rot markierten treten nur bei den Mittelwerten auf. Alle Standardabweichungen und Kühllasten unterschreiten die zulässigen Validierungsgrenzen.

Testbeispiel 9

Bei diesem Testbeispiel wird gegenüber dem Testbeispiel 8 anstelle der Außenlufttemperatur die Außentemperatur verwendet, welche auch die langwellige und kurzwellige Strahlung der äußeren Umgebung beinhaltet. In der VDI 6007-1 wird diese fiktive Temperatur als äquivalente Außentemperatur bezeichnet. In KLProg wird an dieser Stelle die kombinierte Außentemperatur mit mehrfachen Reflexionen nach [4] eingesetzt. Ohne kurzwellige Strahlung wird der Begriff Außentemperatur in Abgrenzung zur Außenlufttemperatur gewählt.

Bild 1 zeigt die Differenzen der beiden Außentemperaturdefinitionen zur Außenlufttemperatur und den Tagesgang der Temperaturen. Die Außentemperatur mit Reflexionen unterscheidet sich von der Außenlufttemperatur durch eine Absenkung im Tagesmittel von -1,1 K und liegt alle 24 Stunden unterhalb der Außenlufttemperatur. Unter der Annahme, dass es sich bei den vorgegebenen Sonnenstrahlungsdaten im Raum um einen klaren Himmel handelt, ist dieser Effekt mit der langwelligen Strahlung an den Himmel begründet und ist korrekt (s. [4]). Dagegen zeigt die Außentemperatur nach VDI 6007-1 auch eine zeitweise Anhebung über die Außenlufttemperatur. Eine

Jahresbetrachtung in [3, Bild 57] belegt, dass diese Erscheinung auch bei klarem Himmel auftritt und sehr unwahrscheinlich ist, wie auch Messwerte bestätigen.

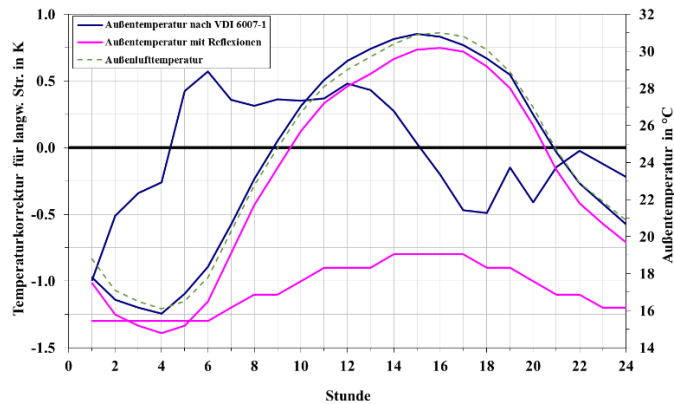


Bild 1: Außentemperaturabsenkung infolge langwelliger Strahlung und Außentemperaturverlauf im Testbeispiel 9

Im Tagesmittel ergibt die Differenz der Außentemperatur nach VDI 6007-1 zur Außenlufttemperatur $-0,01$ K. Die Ergebnisse des n-K-Modells für das Testbeispiel 8 und 9 unterscheiden sich daher nur um maximal $-0,1$ K.

Bei KLProg unterscheiden sich die Ergebnisse nur im eingeschwungenen Zustand (60. Tag) um im Mittel $-1,13$ K. Für den 1. und 10. Tag wirkt sich die langwellige Strahlung außen noch nicht aus. Addiert man den Differenzbetrag von $1,1$ K in der Tabelle 2 für das Testbeispiel 9 am 60. Tag, werden die zulässigen Grenzbedingungen der VDI 2078 wieder eingehalten. Mit dieser Korrektur ergeben sich in etwa wieder die Mittelwerte des Testbeispiels 8, was folgerichtig ist.

Testbeispiel 10

Nach VDI 6007-1 ist der stationäre Zustand zu berechnen und als Startwert einzusetzen. Diese Anforderung ist für Simulationsprogramme unnötig, da i.d.R. vor dem eigentlichen ersten Datum mit der Berechnung begonnen wird - bei der Jahressimulation z.B. am 1. Dezember- und dadurch die Startwerte automatisch ermittelt werden. Bei Programmen, die den eingeschwungenen Zustand als Endergebnis haben, hat der Startwert ohnehin keinen Einfluss. In [5] wird gezeigt, dass die Startwerte auch im nicht-eingeschwungenen Zustand exponentiell nach wenigen Berechnungstagen abklingen. Da der stationäre Zustand auch nicht den realen Verhältnissen entsprechen muss, insbesondere nicht bei schwerer Bauart, kann diese Vorgehensweise nicht verlangt werden. Das Referenzprogramm (n-K-Modell) enthält aber dieses Startwertmodell, wodurch sich die Schwierigkeit beim Vergleich mit KLProg, vor allem am 1. Tag ergibt. KLProg setzt als Startwert alle Temperaturen auf 22 °C. Der 1. Tag wird daher in den Prüfergebnissen der Tabelle 2 ausgeblendet.

Testbeispiel 1, 3 und 12

Kennzeichnendes Merkmal dieser Testbeispiele ist ein hoher konvektiver Lasteintrag. Hier werden offenbar Verfahrensunterschiede bezüglich der Wärmespeicherbehandlung deutlich. In eingeschwungenen Zustand sind die Abweichungen vernachlässigbar.

Endergebnis

Eine Zusammenfassung aller Prüfergebnisse mit den zulässigen Validierungsgrenzen zeigt die Tabelle 3. Die Validierung wird bezüglich der Mittelwerte für die Luft- und operative Temperatur nicht in allen Beispielen erfüllt. Korrigiert man die Mittelwerte für das Testbeispiel 9 (s.o.), so unterliegen für den eingeschwungenen Zustand auch die Mittelwerte den Validierungsgrenzen. Die Heiz- bzw. Kühllasten erfüllen die Grenzbedingungen in allen Beispielen.

Tabelle 3: Zusammenfassende Prüfergebnisse

Testbeispiele der VDI 6007-1: Validierung für das Programm KLProg 4.4				
Mittelwert der stündlichen Abweichung (Prüfergebnis für das Programm KLProg minus Referenzergebnis für das n-K-Modell)				
Standardabweichung der der stündlichen Abweichung (Prüfergebnis für das Programm KLProg minus Referenzergebnis für das n-K-Modell)				
Maximum (Betrag des Maximalwertes)				
	Lufttemp. °C	opera. Temp. °C	Heiz-/Kühllast W	
Testbeispiel 1 Mittelwert Standardabw.	1.09 0.16	1.12 0.16		Testbeispiel 1 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 2 Mittelwert Standardabw.	0.85 0.16	0.87 0.16		Testbeispiel 2 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 3 Mittelwert Standardabw.	1.12 1.20	1.18 1.19		Testbeispiel 3 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 4 Mittelwert Standardabw.	0.97 0.91	1.00 0.92		Testbeispiel 4 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 5 Mittelwert Standardabw.	0.98 0.10	0.98 0.11		Testbeispiel 5 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 6 Mittelwert Standardabw.	0.00 0.00	0.05 0.12	22.4 39.3	Testbeispiel 6 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 7 Mittelwert Standardabw.	0.13 0.16	0.14 0.16	19.6 36.7	Testbeispiel 7 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 8 Mittelwert Standardabw.	0.97 0.22	0.92 0.12		Testbeispiel 8 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 9 Mittelwert Standardabw.	1.48 0.25	1.45 0.17		Testbeispiel 9 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 10 Mittelwert Standardabw.	0.08 0.10	0.07 0.06		Testbeispiel 10 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 11 Mittelwert Standardabw.		0.15 0.27	16.8 48.7	Testbeispiel 11 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 12 Mittelwert Standardabw.	1.54 0.15	1.63 0.15		Testbeispiel 12 Mittelwert Standardabw.
Testbeispiel 1-12 Mittelwert Standardabw.	1.54 1.20	1.63 1.19	22.4 48.7	Testbeispiel 1-12 Mittelwert Standardabw.
Validierungs-Grenzbedingung				
Mittelwert	< 1,00	< 1,00	< 50,0	Mittelwert
Standardabw.	< 1,50	< 1,50	< 60,0	Standardabw.

Literatur

- [1] VDI 2078:2015-06: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation).
- [2] VDI 6007:2015-06: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden – Raummodell–.

- [3] Nadler, N.: C.A.T.S.-Kühllastberechnung. Validierung des Raummodells anhand der neuen VDI 6007-1. TAB 12/2012, S. 42-50.
- [4] Nadler, N.: Kombinierte Außentemperatur mit langwelligen Reflexionen an der terrestrischen Umgebung. Gesundheits-Ingenieur 118 (1997) Heft 6, Seite 310 - 315.
- [5] Nadler, N.: Zur Anlaufrechnung bei der Kühllastberechnung. Nach dem EDV-Verfahren der VDI 2078 C.A.T.S.-Newsletter Juni 2006 und HLH Bd. 58 (2007) Nr. 3, Seite 46 – 50.