

BAUSIM 2006: TRNSYS 16.1: NEUERUNGEN UND ANWENDUNG DES ANSI/ASHRAE STANDARD 140-2004 (BESTEST)

Marion Hiller¹, Timothy P. McDowell² und David E. Bradley²

¹TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, Stuttgart, Germany

²Thermal Energy System Specialists, LLC, Madison WI, USA

KURZFASSUNG

In diesem Beitrag werden die interessantesten Neuerungen der aktuellen TRNSYS Version 16.1 (Klein, S.A. et al., 2006) in Hinblick auf die Gebäudesimulation kurz vorgestellt. Zur Überprüfung der neuen Version TRNSYS 16.1 wendeten die Autoren den ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 (ASHRAE, 2004) an. Die Validierungsprozeduren basierend auf den IEA BESTEST (Judkoff und Neumark, 1995) und betreffen die Gebäudehülle. Dabei können die Ergebnisse mit den 8 ursprünglich verwendeten Simulationsprogrammen sowie mit neueren veröffentlichten Ergebnissen verglichen werden. Die Erfahrungen und ausgewählte Ergebnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt.

ABSTRACT

Throughout its thirty year history, the transient energy package simulation package TRNSYS (Klein, S.A. et al., 2006) has been under continual enhancement by an internal group. Especially for software developers it is important to constantly validate their software using high quality published test suites. Those validation procedures can serve to identify different problems in simulation software: modeling and coding errors, missing features, frequent sources of user confusion.

This paper briefly describes a subset of the features that were added to the simulation package with the release of its 16th version. The authors applied the validation procedures of ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (ASHRAE, 2001) to TRNSYS 16.1. The validation suite which is based on the IEA BESTEST (Judkoff und Neumark, 1995) concerns the building envelope and allows the developers to compare their programs with the 8 simulation tools originally tested, as well as with more recent results. The experiences and selected results are presented in this paper.

EINLEITUNG

In den letzten dreißig Jahren wurde das dynamische Simulationspaket TRNSYS von einer internationalen Gruppe beständig weiterentwickelt. Insbesondere für

Softwareentwickler ist es unerlässlich ihre Software kontinuierlich mit Hilfe von standardisierten qualitative hochwertigen Testprozeduren zu überprüfen. Diese Testprozeduren dienen zur Identifizierung verschiedener Probleme einer Simulationssoftware: Modell- und Programmierfehler, fehlende Features und auftretende Unklarheiten für Anwender.

NEUERUNGEN IN TRNSYS 16

Im folgenden werden interessante Neuerungen der aktuellen TRNSYS Version 16.1 (Klein, S.A. et al., 2006) in Hinblick auf die Gebäudesimulation kurz vorgestellt.

2-Bandmodell für Solarstrahlung

Die Eigenschaften moderner Verglasungen hängen von der Wellenlänge der Solarstrahlung ab. Eine Sonnenschutzverglasung weist zum Beispiel eine Transmission für das gesamte solare Spektrum von $T_{sol}=38\%$ auf, bezogen auf das visuelle Band beträgt die Transmission jedoch $T_{vis}=66\%$. Schaltet man zwei oder mehrere so genannte selektive Verglasungen hintereinander, kann der Energieeintrag in das Gebäude mit einem 1-Bandmodell nicht mehr korrekt abgebildet werden. Bei zwei Sonnenschutzverglasung ($T_{sol}=38\%$; $T_{vis}=66\%$) berechnet das 1-Bandmodell einen solaren Energieeintrag von $14,4\%$. Der korrekte Wert liegt jedoch bei $20,75\%$, wenn eine Energieaufteilung von $46,6\%$ im visuelles und $54,4\%$ im restlichen Spektrum zugrunde gelegt wird.

Integriertes Kühldeckenmodell

Zur einfachen und schnellen Simulation von Kühldecke wurde im Gebäudemodell ein von der EMPA entwickeltes Widerstandsmodell integriert und somit die Palette der zur Verfügung stehenden thermoaktiven Bauteile komplettiert.

Interne Berechnung der inneren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten

Die konvektive Kopplung der Oberflächen an die Raumluft spielt besondere bei der Simulation thermoaktiver Bauteile wie z.B. das neue Kühldeckenmodell eine entscheidende Rolle. Zur

genaueren Berechnung der konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten im Raum h_i sind temperatur- und lageabhängige Korrelationen in das Gebäudemodell integriert worden:

$$h_i = K * |T_{\text{surface}} - T_{\text{air}}|^{\text{exp}}$$

Die Konstante K und der Exponent exp variieren je nach Oberflächenorientierung (vertikal, horizontaler Boden oder horizontale Decke) und Wärmestromrichtung. Die vorgegebenen Default-werte können von den Nutzer verändert werden.

Allgemeine Verbesserungen am Quellcode

Neben der Verbesserungen der graphischen Oberflächen und der Implementierung neuer Features wurden auch grundlegende Verbesserungen im Quellcode durchgeführt. Durch die konsequente Verwendung von "double precision" Variablen wurde eine höhere Genauigkeit erreicht, die v.a. für Simulationen mit sehr kleinen Zeitschritten benötigt wird. Zusätzlich wurde in TRNSYS 16 eine neue multi-DLL Architektur eingeführt, die die Einbindung neuer Komponenten wesentlich erleichtert. Es reicht aus eine neue Komponente als eine vorkompilierte DLL in ein bestimmtes Verzeichnis zu kopieren. Des weiteren wurde die Datenstruktur sowie die Fehlerbehandlung überarbeitet.

ASHRAE STANDARD 140

ASHRAE Standard 140 ist aufgeteilt in fünf Testreihen: 600 – 650, 900 – 960, 195 - 320, 395 – 440 und 800 - 810. Jede Testreihe beginnt mit einem Basistest (600, 900, 220, 400 bzw. 800) auf den die folgenden Testfälle aufbauen. Jeder weiterführende Test einer Reihe testet die Fähigkeit der Software einen bestimmten Unterschied in der Gebäudekonfiguration zu modellieren (unterschiedliche Fensterausrichtung, bauliche Verschattung, Nachtabsenkung der Heizsolltemperatur, etc.). Für jede Testreihe werden die gleichen Varianten gerechnet nur mit grundlegend unterschiedlichen Gebäudetypen (z.B. thermisch leichtes und schweres Gebäude). Die 220-er, 400-er und 800-er Reihe ermöglichen eine tiefergehende Untersuchung isolierter Effekte und die Sensitivität der Software auf bestimmte Variablen. Alle Testreihen basieren im wesentlichen auf einer Box mit den Maßen 6 m * 8 m * 2.7 m (vgl. Abbildung 1)

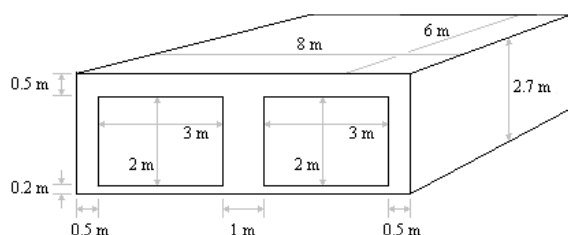


Abbildung 1 Basiskonfiguration des Gebäudes gemäß ASHRAE Standard 140

Dieser Beitrag behandelt im wesentlichen die Ergebnisse der 600-er (thermisch leichtes Gebäude) und der 900-er Reihe (thermisch schweres Gebäude). Als Ergebnisse werden im ASHRAE Standard 140 betrachtet v.a. vier Größen betrachtet: jährliche Heizlast, jährliche Kühllast, maximale Heizleistung und maximale Kühlleistung. Für einige Testfälle werden zusätzliche Ausgaben gefordert.

Für jeden Testfall wird im Standard ein akzeptabler Bereich vorgegeben. Dieser Bereich basiert jedoch nicht auf einer analytischen oder empirischen Lösung, sondern wurde aus den Ergebnisse der acht ursprünglich verwendeten Simulationsprogrammen ermittelt und repräsentieren den damaligen Stand der Technik. TRNSYS 13.1, die damals aktuelle Version, war eines davon.

ANNAHMEN BEI DER MODELIERUNG

Da nicht alle im ASHRAE Standard 140 angegeben Simulationsparameter direkt in TRNSYS verwendet werden können, mussten für verschiedene Parameter Annahmen getroffen werden. Da die Ergebnisse zum Teil entscheidend von den Annahmen abhängen, wird eine wesentliche Annahme stellvertretend im folgenden diskutiert.

Wärmeübergangskoeffizienten

ASHRAE Standard 140 enthält im Hauptteil lediglich Angaben für kombinierten Wärmeübergangskoeffizienten während in einem informativen Anhang die Aufteilung in einen konvektiven und einen radiativen Anteil erläutert wird. Zur Abhängigkeit der Koeffizienten von der Temperatur werden keine Angaben gemacht. Die Berechnung der radiativen Wärmeübergangskoeffizienten erfolgt in TRNSYS 16.1 jedoch automatisch. Lediglich der konvektive Anteil kann vom Nutzer definiert werden.

Äußere Wärmeübergangskoeffizienten

Für die äußeren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten wurde ein Polynom 2-ter Ordnung zur Berücksichtigung der Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in Anlehnung an den informativen Anhang verwendet. Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass der Unterschied bei Verwendung konstanter Koeffizienten gering ist.

Zur Berechnung der Himmelstemperatur haben sich die Autoren für die Verwendung des im Datensatzes enthalten Bedeckungsgrades entschieden, auch wenn die Daten teilweise fehlerhaft sind. Eine Überprüfung mit einem berechneten Bedeckungsgrad führte nur zu minimalen Abweichungen.

Innere Wärmeübergangskoeffizienten

Für die inneren konvektiven Wärmeübergänge wurde die neu in das Gebäudemodell integrierte

Berechnungsmethode (vgl. Neuerungen in TRNSYS 16) mit den Defaultwerte verwendet, da der Standard keine Vorgaben enthält. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen unter Verwendung konstanter Koeffizienten für alle Innenoberflächen (gemäß Standard $h_i = 3.16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), so ergibt sich ein signifikanter Unterschied von bis zu 6 % für die jährliche Heizlast. In Tabelle 1 sind die resultierenden Abweichungen für den Basistestfall 600 dargestellt.

Tabelle 1: Sensibilität bzgl. der internen konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten

Testreihe	Jährl. Heizlast	Jährl. Kühllast	Max. Heizleistung	Min. Kühlleistung
	%	%	%	%
600	6.06	3.00	0.95	-2.15

ERGEBNISSE

Abbildung 2 zeigt die resultierenden jährlichen Heizlasten für alle Tests der 600-er und 900-er Reihe. Die Testfälle 650 und 950 enthalten kein Heizsystem. Die Ergebnisse von TRNSYS 16.1 liegen mitten im akzeptablen Bereich gemäß ASHRAE Standard 140. Das Gleiche gilt für die maximalen Heizlasten.

Betrachtet man die jährlichen Kühllasten, so liegt TRNSYS 16.1 eher am unteren Ende des akzeptablen Bereich und nur für den Fall 630 geringfügig unterhalb (- 3.1 %). ASHRAE Standard 140 ermöglicht eine weitergehende Untersuchung u.a. durch die Verfügbarkeit von Zwischenergebnissen wie den Verschattungsfactor. Es zeigt sich, daß der Verschattungsfactor für die Testfälle 630 bzw. 930 (Verschattung durch horizontalem und seitlichen Überstand bei Ost/West orientierten Fenster) relative hoch ist im Vergleich zu den Referenzprogrammen. Nachforschungen ergaben, daß das verwendete Himmelsmodell für die diffuse Strahlung das Problem verursachen. Bedingt durch die Flexibilität von TRNSYS wird die solar Strahlung und die Verschattung auf geneigte Flächen in zwei unterschiedlichen Routinen berechnet und die verwendeten Modelle sind nicht konsistent. Dieses Problem muß von den Entwicklern noch gelöst werden. Weitere Sensibilitätstests lieferten keine alarmierende Ergebnisse. Die maximalen Kühllasten liegen wie die maximalen Heizleistungen innerhalb des akzeptablen Bereichs.

ZUSAMMENFASSUNG

Bedingt durch wesentliche Neuerungen in dem Simulationpaketes TRNSYS 16.1 wendeten die Autoren zur Überprüfung den ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 an. Es zeigt sich, daß TRNSYS

die Tests akzeptable besteht. Lediglich bei einem Fall wird die jährliche Kühllast wird um 3,1 % unterschritten.

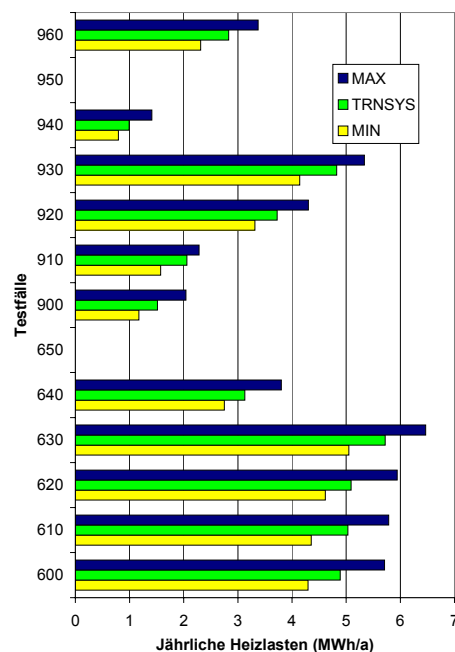


Abbildung 2: Resultierende jährliche Heizlasten der 600-er und 900-er Testreihe

Die Durchführung des ASHRAE Standards 140 machte auch deutlich, daß die Ergebnisse z.T. stark von den im Rahmen der Vorgaben des Standards getroffenen Annahmen abhängt. Besonders deutlich wurde dies bei der Modellierung des inneren konvektiven Wärmeübergangs. Als Ergebnis dieser Arbeit hat sich die TRNSYS Entwicklungsgruppe entschlossen, nach erneuter internen Abstimmung die Eingabedaten und die Ergebnisse von TRNSYS 16.1 mit ASHRAE Standard 140 als "best practice" zu veröffentlichen.

LITERATUR

- ASHRAE 2004. ANSI/ASHRAE Standard 140-2004, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia. USA
- Judkoff, R. und Neymark, J. 1995. International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA. NREL/TP-472-6231.
- Klein, S.A. et al. 2006. TRNSYS 16.1: A Transient System Simulation Program, SEL, University of Wisconsin, Madison USA.