

Das ColSim Gebäudemodell: Eine realistische Wärmesenke zur Simulation solarer Kombianlagen

*Dipl.-Ing. (FH) Stephan Buschmann, Dipl.-Ing. Werner Hube,
Dr.-Ing. C. Wittwer
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofsstr. 2, 79110 Freiburg
Stephan.Buschmann@ise.fhg.de*

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Validierung des ColSim Gebäudemodells an etablierten Simulationsprogrammen vorgestellt. Durch die hohe Zeitauflösung und den modularen Aufbau sowie die den verfügbaren Modelle zur Simulation von solarthermischen Anlagen bietet sich mit ColSim eine geeignete Simulationsumgebung zur Abstimmung von Komponenten solarer Kombianlagen an. Die Simulationsentwicklung erfolgt im Rahmen des BMWi Projektes "Neue Gesamtenergieversorgungskonzepte für Gebäude" (NEGEV), bei dem das Fraunhofer ISE ein Brennstoffzellensystemmodell für Fa. SOLVIS erarbeitet [6].

Ein zunehmender Anteil der neuinstallierten solarthermischen Anlagen wird als Kombisystem ausgeführt. Die unterschiedlichen Konzepte bei der Einbindung der solaren Heizungsunterstützung eröffnen ein großes Optimierungspotential bezüglich des hydraulischen Systems und der Regelungstechnik. Hierzu lassen sich aufwendige reale Versuchsaufbauten sinnvoll durch numerische Simulation der physikalischen Zusammenhänge ergänzen. Dies bietet den Vorteil, dass der Einfluss einer großen Zahl an Parametern relativ schnell und mit vertretbarem Aufwand bewertet werden kann.

Ein geeignetes Simulationsmodell muss einerseits die detaillierte Abbildung der Solar Komponenten ermöglichen und andererseits eine realistische Darstellung der Wärmesenken bieten. Diese werden im Fall solarer Heizungssysteme durch das Heizkreis- und Gebäudeverhalten beschrieben. In der Simulationsumgebung ColSim können geeignete Modelle für diese drei Bereiche - Gebäude, Heizung, Solaranlage - verknüpft werden.

Das ColSim Gebäudemodell ist in zahlreichen Details modifiziert und um neue Eigenschaften ergänzt worden. Neben der Integration von Transparenter Wärmedämmung und Phasenwechsel-Materialien direkt in die Modell-Wand [3] erlaubt ColSim die Darstellung von Gebäuden als Mehrzonenmodell. In [1] wurde ein weitgehend raumweise modelliertes Einfamilienhaus untersucht. Um die Änderungen am Gebäudemodell zu validieren, wird ColSim erneut am BESTEST Verfahren mit etablierten Simulationsprogrammen verglichen [4]¹. BESTEST steht für "Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method"

¹Das ColSim-Gebäudemodell wurde bereits 1999, kurz nach seiner Entstehung am BESTEST Verfahren validiert [2]

und ist vom NREL im Auftrag der IEA entwickelt worden, um thermische Gebäudesimulationsprogramme zu überprüfen. Durch vergleichende systematische Tests sollen die Ursachen für unterschiedliche Simulationsergebnisse aufgefunden gemacht werden.

Die Methode ist an den folgenden acht Simulationsprogrammen durchgeführt worden:

- BLAST-3.0 level 193 v. 1 (BLAST)
- ESP-RV8 (ESP)
- DOE2.1D 14 (DOE2)
- SERIRES/SUNCODE 5.7 (SRES/SUN)
- SERIRES 1.2 (SERIRES)
- S3PAS
- TASE
- TRNSYS 13.1 (TRNSYS)

Zu den vorgeschlagenen Testprozeduren sind die Ergebnisse dieser Programme für den jährlichen Heiz- und Kühlenergiebedarf angegeben. Daneben liegen ausgewählte Tagesgänge für die Einstrahlung auf eine geneigte Fläche, für die Heiz- und Kühllast sowie für die Raumtemperatur vor. Diese Daten können als Referenz für die Cross-Validierung neuer Simulationsprogramme dienen.

Systematik des Testverfahrens

Für eine Serie von Qualifikationstests dient ein geometrisch einfaches, kubisches Gebäude als Modellgrundlage. Die Beheizung und Kühlung des Gebäudes erfolgt ideal konvektiv, d. h. trägheitslos, ohne Regelabweichung und ohne Strahlungsanteil.

Das vom Erdboden entkoppelte Gebäude² wird in Bezug auf thermische Masse sowie Fensterorientierung und -verschattung variiert. Anhand dieser Fälle können die dynamische Wärmeleitung und -speicherung, die Wärmeübergänge und die Einkopplung der solaren Gewinne untersucht werden. Die unterschiedliche Ausrichtung und Verschattung der Fenster ermöglicht die Bewertung der Strahlungsumrechnung. Die acht Variationen des Grundgebäudes sind in **Tab. ??** gegenübergestellt.

ColSim im BESTEST-Vergleich

Vergleichbare Ergebnisse beim thermischen Gebäudeverhalten setzen eine korrekte Berechnung der Einstrahlung auf die geneigte Fläche voraus. Die Strahlungsumrechnung lässt sich gut an der Einstrahlung auf die Westwand validieren, da eine nicht korrekt

²Der Wärmestrom an den Erdboden ist wegen einer 1m dicken Dämmung nahezu Null.

bestimmte Sonnenposition den nachmittäglichen Beginn der Besonnung verschiebt. Die *ColSim* Ergebnisse liegen im Bereich der Referenzprogramme (vgl. **Abb. 1a**). Den Heiz- bzw. Kühllastverlauf für einen Wintertag mit starker Einstrahlung auf die Südfenster zeigen **Abb. 1b** ("leichtes" Gebäude) und **Abb. 1c** ("schweres" Gebäude). Die Gewinne gelangen zum überwiegenden Teil als transmittierte Solarstrahlung ins Gebäude und werden dort von den Bauteilinnenoberflächen absorbiert. Anhand der Lastverläufe können daher die inneren Wärmeübergangskoeffizienten und die Modellierung der Oberflächen validiert werden. Die mit *ColSim* ermittelten dynamischen Verläufe liegen jeweils

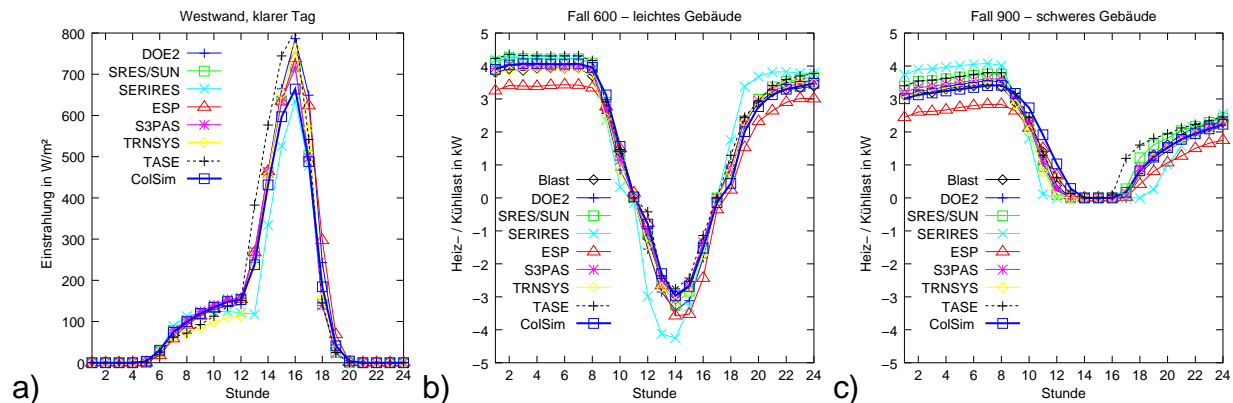


Abb. 1: Stundenmittelwerte für die Einstrahlung auf die Westwand am 27. Juli (a); Heiz- und Kühllastverlauf für das leichte Gebäude (b) und das schwere Gebäude (c), jeweils mit unverschatteten Südfenster am 4. Januar, Stundenmittelwerte

in der Bandbreite der Referenzprogramme. Beim schweren Gebäude ist der mit *ColSim* bestimmte Heizlastverlauf im Vergleich der trügste, er liegt jedoch dicht bei den anderen Programmen. Die Jahresenergieverbräuche ordnen sich ebenfalls in den Bereich der Referenzprogramme ein (vgl. **Abb. 2**).

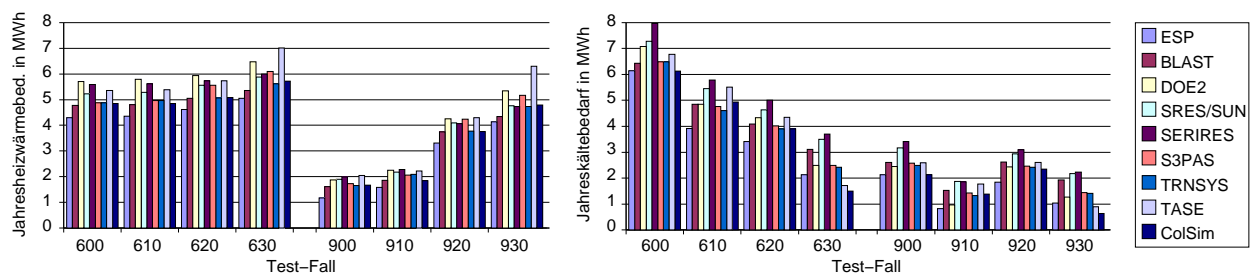


Abb. 2: Jahresheizwärmebedarf (links) und Jahreskältebedarf (rechts) für die BESTEST Fälle nach Tab. 1

Da das in BESTEST aufgeprägte Klima nicht dem unserer Breiten entspricht, und die verwendeten leichten und schweren Gebäudetypen eher Extreme darstellen, erscheint ein zusätzlicher Vergleich unter mitteleuropa-typischen Bedingungen wünschenswert.

TASK 26 - Referenzgebäude für solarthermische Kombianlagen

Die Projektpartner der IEA - TASK 26 haben diverse Standardgebäude³ als Referenzwärmesenke für die Simulation thermischen Solarkomponenten und -systeme definiert [5]. Der in TRNSYS implementierte Gebäudekörper kann dazu von jedem Projektpartner mit dessen spezifischen Anlagenmodellen kombiniert werden. Dadurch wird die Anlagencharakteristik direkt übertragbar. Als Ergänzung zur Validierung mit BESTEST ist daher das in der TASK 26 verwendete Einfamilienhaus in *Co/Sim* modelliert worden. **Abb. 3** zeigt den Verlauf der Heizkörperbeladeleistung für das "mittelschwere" Gebäude im Wärmedämmstandard 60 kWh/(m²a) für Zürich. Die TRNSYS Referenz wurde unter Kopp-

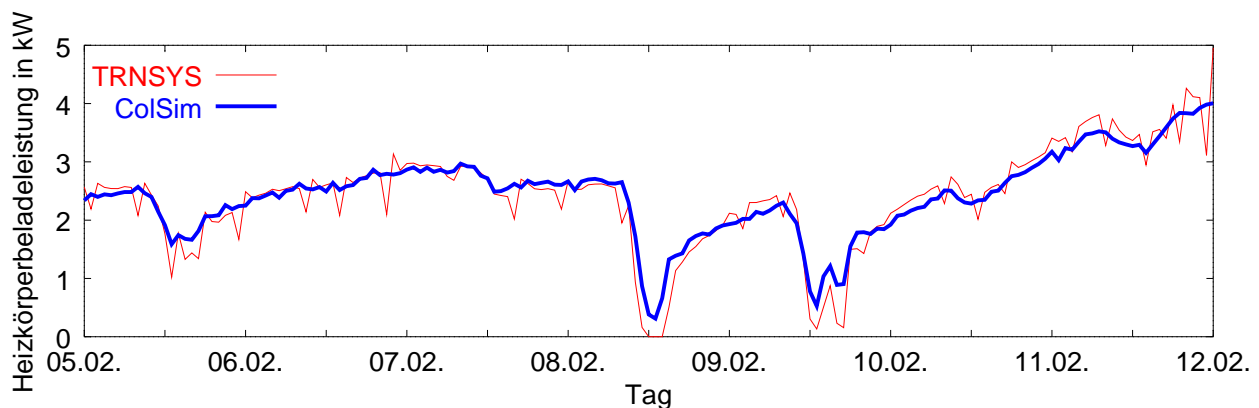


Abb. 3: Stundenmittelwerte der Heizkörper-Beladeleistung für das Einfamilienhaus nach TASK 26, Dämmstandard 60kWh/(m²a), Zürich

lung an die SolvisMax-Solarzentrale errechnet. Für die Vergleichsrechnung mit *Co/Sim* wurde das Mehrknotenmodell eines Röhrenradiators an das Gebäude gekoppelt. Die Erwärmung des Heizungswassers auf die witterungsgeführte Vorlauftemperatur erfolgt mit einem idealen Heizer bei den Auslegungstemperaturen 40/35 °C. Ein PID-Regler für die Raumtemperatur wirkt auf den Volumenstrom. Als Jahresheizenergieverbrauch sind 8.53 MWh/a (TRNSYS) bzw. 8.87 MWh/a (*Co/Sim*) errechnet worden. Dies entspricht einer Abweichung von ca. 4%. Das *Co/Sim* Gebäudemodell kann durch die gute Übereinstimmung des Lastverlaufs und des Jahresverbrauchs mit dem TRNSYS-Modell der TASK26 seine Aussagekraft zum thermischen Verhalten eines typischen Wohngebäudes in unserer Klimaregion unter Beweis stellen.

Zusammenfassung

Durch Anwendung des BESTEST-Verfahrens und durch den TRNSYS-Vergleich am TASK 26 Gebäude konnte gezeigt werden, dass die Simulationsumgebung *Co/Sim* ein erprobtes Gebäudemodell für weitere Entwicklungen bietet, das sich an andere Komponenten

³Einfamilienhaus im Dämmstandard 30, 60 und 100 kWh/(m²a), Reihenhaus im Dämmstandard 45 kWh/(m²a)

koppeln lässt, z. B. Heizungsmodell, Kollektorsystem und Brennstoffzellenheizgeräte. *ColSim* unterscheidet sich hierin von Simulationsprogrammen die primär entwickelt wurden, um den Jahresheizwärmebedarf von Gebäuden zu bestimmen. Das in *ColSim* verwendete Differenzenverfahren mit explizitem numerischen Löser enthält bereits eine Systemenergiebilanz, so dass für die erforderliche Energieflusskontrolle komplexer Systeme kein zusätzlicher Rechenaufwand anfällt. Daneben bietet das Verfahren freien Zugriff auf interne Zustandsgleichungen und eine hohe Zeitauflösung. Das schafft die Voraussetzung für die Anbindung an komplexe solarthermische Kombianlagen und die Untersuchung von selbstoptimierenden Regelkonzepten für das Gesamtsystem [3].

Literatur

- [1] Buschmann, S.: *Simulationsgestützte Untersuchung zum Energiesparpotential ausgewählter Fassadenkonstruktionen*. Diplomarbeit, FH-Münster, 2002.
- [2] Chen, T.: *Entwicklung und Implementierung eines Raummodells in der Simulationsumgebung ColSim*. Studienarbeit, TH Karlsruhe, 1999.
- [3] Hube, W.: *Modellentwicklung neuer Wandelemente in ColSim zur Untersuchung von Wärme-flussregelungen in solarthermischen Gebäudesystemen*. In: Tagungsband zum 12. Symposium Thermische Solarenergienutzung. Staffelstein, 2002.
- [4] Judkoff, R.: *International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*. NREL/TP-472-7332. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 1995.
- [5] Suter, J.M.; Weiss, W.; In'abnit, J.: *IEA SHC - Task 26: Solar Combisystems*, 2000.
- [6] Vetter, M.: *Brennstoffzellenheizgeräte BZH: Chance oder Risiko für die Solarthermie?* In: Tagungsband zum 12. Symposium Thermische Solarenergienutzung. Staffelstein, 2002.