

MOSILAB: Ein Modelica-Simulationswerkzeug zur energetischen Gebäude- und Anlagensimulation

Dr.-Ing. Christoph Nytsch-Geusen¹, Dr. André Nordwig¹, Dr.-Ing. Matthias Vetter²,
Dr.-Ing. Christof Wittwer², Dipl.-Ing. Thierry Nouidui³, Dipl.-Ing. Peter Schneider⁴

¹Fraunhofer-Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik, Kekuléstr. 7, D-12489 Berlin
Tel. (0049-30) 6392-1919, Fax.: (0049-30) 6392-1805, Email: christoph.nytsch@first.fhg.de,
Internet: <http://www.first.fhg.de>

²Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Heidenhofstr. 2, D-79110 Freiburg

³Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Fraunhoferstr. 10, D-83626 Valley, Oberlinden

⁴Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Zeunerstraße 38, D-01069 Dresden

Einleitung

Im Verbundprojekt GENSIM wird von sechs Fraunhofer-Instituten das auf der Modellbeschreibungssprache Modelica [1] basierende generische Simulationswerkzeug MOSILAB zur Simulation komplexer technischer Systeme entwickelt [2]. Ein innovatives Merkmal von MOSILAB besteht in der konsequenten Unterstützung von Modellstrukturdynamik, wodurch Modelle während des Simulationsexperiments ein unterschiedliches physikalisches oder unterschiedlich genau modelliertes Verhalten zeigen können. Hierdurch lässt sich z.B. das Verhalten einer thermischen Solaranlage im „Normalbetrieb“ oder in außerplanmäßigen Zuständen (Anlagenverhalten bei defekten Pumpen oder sich öffnende Überdruckventile) in einem einheitlichen zustandsabhängigen strukturvariablen Modell abbilden. Weiterhin lassen sich in MOSILAB verschiedene numerische Verfahren in Kombination benutzen, wodurch die Einbindung signalflossorientierter Modelle wie z.B. aus ColSim [3] in akausale Modelica-Systemmodelle ermöglicht wird.

Das MOSILAB-Simulationswerkzeug wird im GENSIM-Projekt u.a. in den Anwendungsdomänen „Hygrothermische Gebäudesimulation“ und „Simulation von stationären Brennstoffzellensystemen in verteilten Erzeugungsstrukturen“ evaluiert. Vor diesem Hintergrund soll im vorliegenden Beitrag eine Systemmodell einer gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation gezeigt werden, bei dem das thermische Gebäudemodell in Modelica und die solarthermischen Anlagenkomponenten in ColSim modelliert und in ein gemeinsames Systemmodell integriert werden. Mit Hilfe der Modellstrukturdynamik werden im Simulationsexperiment Teile des Systemmodells zeitweilig in unterschiedlichen Detaillierungsgraden abgebildet.

Simulationswerkzeug MOSILAB

MOSILAB [4] ist ein Simulationssystem für die Analyse komplexer, heterogener technischer Systeme. Es basiert auf der objekt- und gleichungsorientierten Modellbeschreibungssprache Modelica®. Eine wesentliche innovative Eigenschaft von MOSILAB ist die Unterstützung von variablen Modellstrukturen zur Simulationslaufzeit: Es wird somit möglich, die Objektstrukturen des Modells, und somit seine zugrunde liegenden Eigenschaften (Gleichungen und Zustandsvariablen), während eines Simulationslaufes zustandsabhängig zu verändern und an die untersuchungsspezifischen Erfordernisse anzupassen. Für diesen Zweck wurde die Modellbeschreibungssprache um spezielle Beschreibungsmittel (dynamische Komponenten und Konnektoren, sowie textuell repräsentierte Statecharts) erweitert.

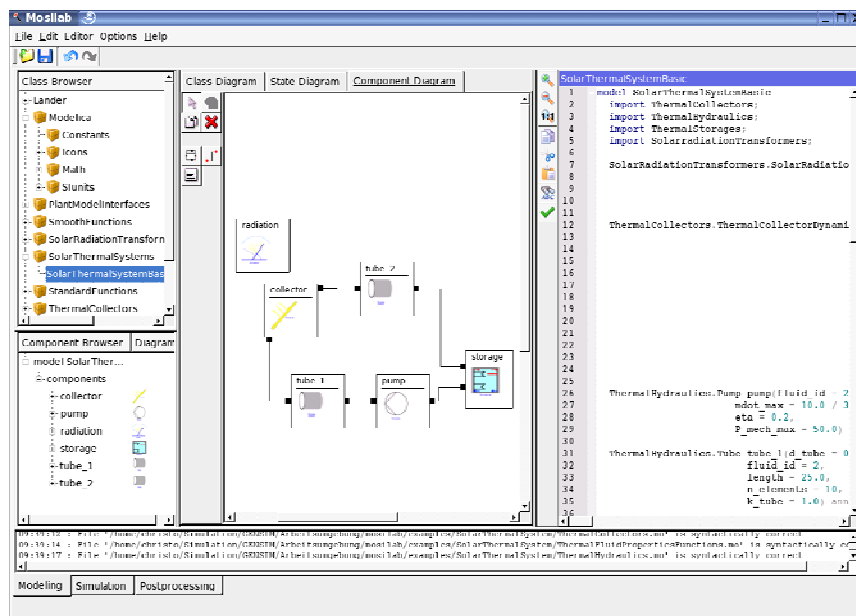


Abb.1: Arbeitsumgebung der Simulationswerkzeug MOSILAB

Das Simulationswerkzeug besteht aus zwei Hauptkomponenten: Einerseits einer Arbeitsumgebung (vgl. Abb. 1), die eine grafische und textbasierte Modellbildung aus verschiedenen Perspektiven (Klassen-, Komponentendiagramme und Statecharts) unterstützt und eine Experimentier- und Auswertungsumgebung anbietet, sowie andererseits ein separates Simulatorkernsystem, das die Übersetzung und Ausführung der Modelle vornimmt.

Numerische Algorithmen

Die textuelle Modellbeschreibung wird im Kernsystem auf eine interne mathematische Beschreibung durch geschaltete nichtlineare implizite Differential-Algebraische Gleichungen (DAE) abgebildet, deren kontinuierliche Anteile durch konfigurierbare numerische Algorithmen gelöst werden. Derzeit werden vier Standard-Lösungsalgorithmen angeboten: Trapezverfahren, implizites u. explizites Euler-Verfahren sowie der leistungsfähige DAE-Solver IDA [5]. Darüber hinaus ist ein spezielles Plug-Flow-Verfahren in MOSILAB integriert worden [3], das mit anderen Verfahren kombiniert werden kann: Während reine DAE-Teilmodelle mit den Standard-Verfahren behandelt werden, übernimmt für die Plug-Flow-Teilmodelle das spezialisierte Lösungsverfahren die Diskretisierung und Berechnung. Diskrete Modell-Anteile (diskrete Variablen, Statecharts) werden durch ein spezielles Event-Verfahren behandelt.

Modelle zur Gebäudesimulation

Innerhalb des GENSIM-Projekts wird eine Modelica-Modellbibliothek zur thermischen und hygrothermischen Gebäudesimulation entwickelt. Bei der Modellbildung wurden die physikalische Ansätze des thermischen Gebäudemodells von SMILE [6] und zur hygrothermischen Bauteilsimulation aus WUFI [7] zusammengeführt und erweitert [8]. Die Modellbibliothek umfasst thermische und hygrothermische Wandmodelle sowie Modelle für Luftvolumina, Fenster, Zonen und die Gebäudeumgebung. Aus diesen Teilmodellen können komplexe Gebäudemodelle mit vielen Zonen konfiguriert werden, welche die thermischen und hygrischen Wechselwirkungen zwischen Raumklima und Gebäudehülle berücksichtigen. Die Modellbibliothek wird derzeit an Testräumen des Fraunhofer IBP validiert.

Modelle zur Anlagensimulation

Im Rahmen des GENSIM-Projektes entsteht eine Modelica-Modellbibliothek für Brennstoffzellensysteme in verteilten Erzeugungsstrukturen. Neben der Abbildung der elektrischen Komponenten eines Stromnetzes mit einem hohen Maß an dezentralen Erzeugern (PV, Wind, konventionelle u. Brennstoffzellen-KWK) ist dabei die Betrachtung des thermischen Systemverhaltens erforderlich. Einerseits muss der Einfluss von Sanierungsmaßnahmen auf die Verfügbarkeit von KWK-Anlagen

berücksichtigt werden, andererseits steht die KWK-Technologie in Konkurrenz zu anderen Wärmeerzeugern, wie beispielsweise solarthermische Anlagen [9,10]. Zur Abbildung von Anlagen aus der Solarthermie wurde eine weitere Modelica-Modellbibliothek implementiert. Hierfür wurden Modelle für Kollektoren, Speicher, Pumpen, Wärmetauscher etc. aus der messtechnisch validierten Komponentenbibliothek der Simulationsumgebung SMILE nach Modelica portiert [11].

Anwendungsbeispiel

In diesem Beitrag soll die Anwendung der Modellbibliotheken zur Gebäude- und Anlagensimulation anhand eines solarunterstützten Heizungskonzeptes vorgestellt werden (vgl. Abb. 2). Die Beschreibung des zu versorgenden Gebäudes erfolgt hierbei über ein strukturvariables Modelica-Modell - außerhalb der Heizperiode wird ein vereinfachtes Modell verwendet, bei Vorliegen eines Heizwärmebedarfs auf ein detailliertes bauphysikalisches Modell gewechselt. Die Komponenten der solarthermischen Anlage, einschließlich Wärmespeicher, Wärmetauschern und Peripherie, können wahlweise über Modelica-Modelle oder über extern eingebundene Modelle aus der CoSim-Modellbibliothek abgebildet werden. Letztere werden innerhalb von MOSILAB mit dem Plug-Flow-Verfahren berechnet.

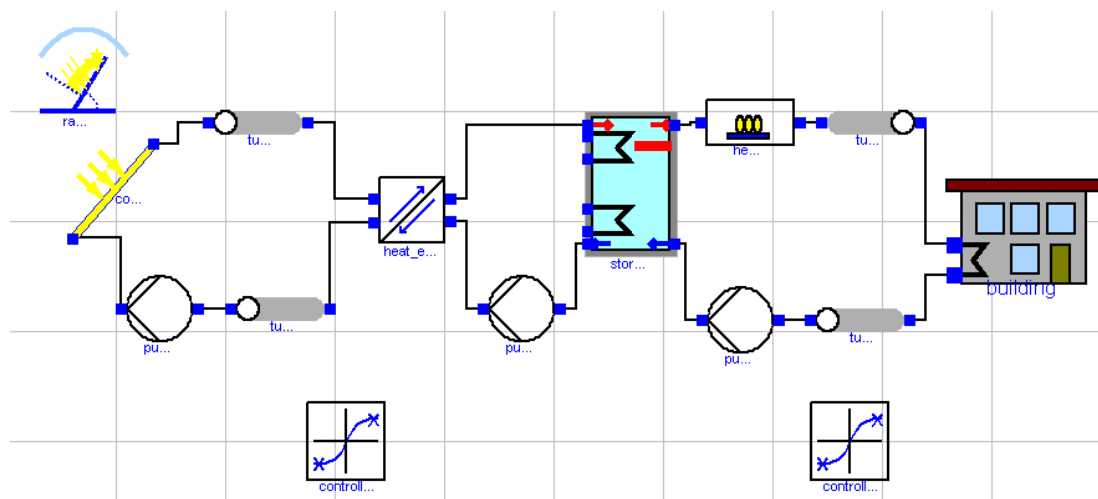


Abb. 2: MOSILAB-Systemsimulation eines solarunterstützten Heizungskonzeptes: Das Gebäudemodell wird über ein Modelica-Modell und die thermischen Anlagenmodelle über das Plug-Flow-Verfahren aus CoSim abgebildet.

Modellstrukturdynamik

Abbildung 3 zeigt das Verhalten des Beispielsystems für eine Woche in der Übergangszeit zwischen Heizperiode und Nichtheizperiode (1. Mai bis 7. Mai). Dar-

gestellt sind die Lufttemperatur im Gebäude, die Umgebungslufttemperatur, der solare Kollektorertrag, die Temperatur der obersten Speicherschicht und der geregelte Massenstrom der Heizkreispumpe. Deutlich ist zu erkennen, dass der Massenstrom im Heizkreis in der Übergangszeit nur für kurze Zeit von Null verschieden ist. Für einen großen Zeitraum im Jahr kann also die Energiebilanz eines saisonalen solaren Heizsystems in MOSILAB mit einem stark vereinfachten Gebäudemodell mit ca. zwanzig Gleichungen berechnet werden. Dieses hat lediglich die Aufgabe die „richtigen“ Temperaturen für die träge Gebäudemasse am Anfang der Heizperiode zu bestimmen. Während der Heizperiode wird dann über ein detailliertes Gebäudemodell mit einigen hundert Gleichungen die Energiebilanz der Gebäudehülle ermittelt.

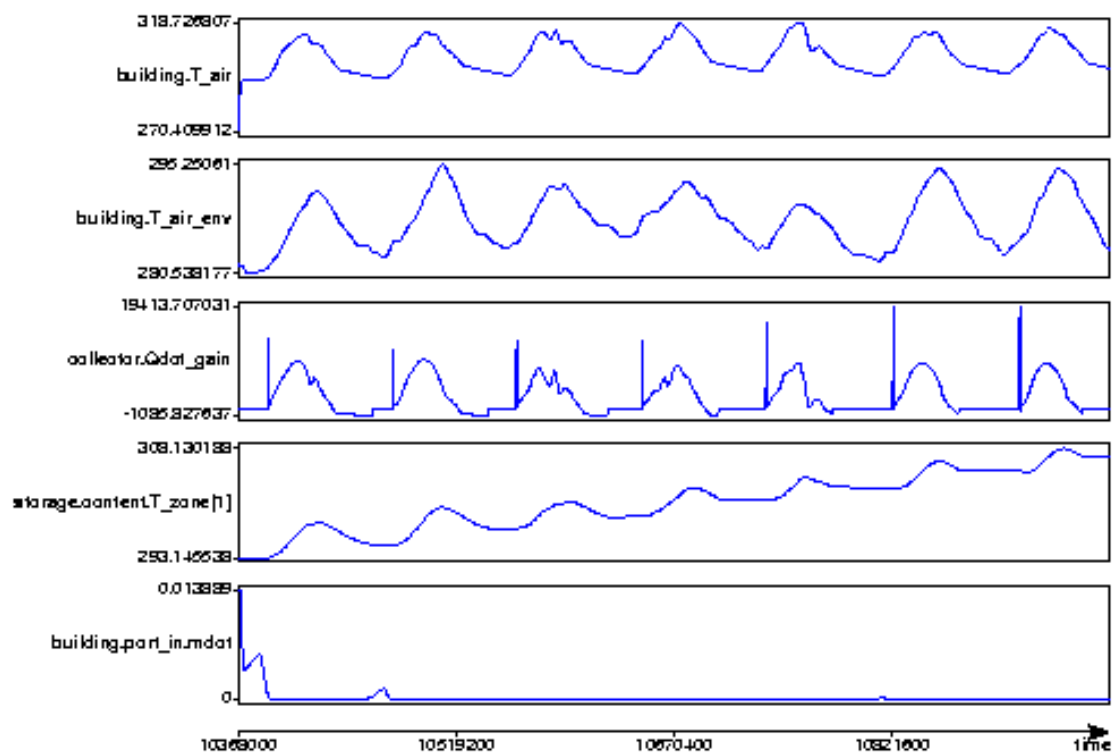


Abb. 3: Ergebnisse der MOSILAB-Systemsimulation für die Woche 1. Mai bis 7. Mai

Literatur

- [1] Modelica-Homepage, <http://www.modelica.org>, 2005.
- [2] C. Nytsch-Geusen et al., MOSILAB: Development of a Modelica based generic simulation tool supporting model structural dynamics. Proceedings of the 4th International Modelica Conference TU Hamburg-Harburg, 7./8. März, Hamburg, 2005.
- [3] C. Wittwer: ColSim – Simulation von Regelungssystemen in aktiven solarthermischen Anlagen. Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 1999. <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de>.
- [4] MOSILAB-Homepage. <http://www.mosilab.de>, 2005.

- [5] Hindmarsh, A. C. et al.: "SUNDIALS: Suite of Nonlinear and Differential/Algebraic Equation Solvers," ACM Transactions on Mathematical Software, 2005.
- [6] C. Nytsch-Geusen, G. Bartsch: An Object Oriented Multizone Thermal Building Model based on the Simulation Environment SMILE. Proceedings of Building Simulation 2001, International Building Performance Simulation Association, Rio de Janeiro, 2001.
- [7] H.M. Künzel: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. - One- and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB Verlag, 1995.
- [8] C. Nytsch-Geusen, T. Nouidui, A. Holm, W. Haupt: A hygrothermal building model based on the object-oriented modeling language Modelica. Proceedings of Building Simulation 2005, International Building Performance Simulation Association, Montreal, 2005.
- [9] M. Vetter, C. Wittwer. Brennstoffzellen-Heizgeräte BZH: Chance oder Risiko für die Solarthermie ? Tagungsband 12.Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 24.-26.4.2002.
- [10] M. Vetter. Modellbildung und Regelstrategien für erdgasbetriebene Brennstoffzellen Blockheizkraftwerke, Dissertation Universität Karlsruhe (TH), Fraunhofer IRB Verlag, 2005.
- [11] C. Nytsch, M. Poli, T. Schneider: Messtechnische Untersuchungen an einer solarthermischen Versuchsanlage zur Validierung der solartechnischen Modelle der Simulationsumgebung SMILE. Tagungsband zum 10. Symposium Thermische Solarenergie in Staffelstein, OTTI-Technologiekolleg, Regensburg, 2000.

MOSILAB: A Modelica-Simulation tool for energetic building and plant simulation

The generic simulation tool MOSILAB for simulating complex technical systems, based on the modelling description language Modelica [1], is being developed within the joint project GENSIM by six Fraunhofer-institutes [2]. One major innovation of MOSILAB consists in the consequent support of model structural dynamics, whereby simulation models can show a different physical or different accurately modelled behaviour during the simulation experiment. Through this, e.g. the behaviour of a solar thermal plant during „normal operation“ or in different unscheduled states (plant behaviour whilst damaged pumps) could be represented in an integrated state dependent structure variable model. Further, MOSILAB can use different numerical methods in combination, whereby existent signal flow oriented models, e.g. from ColSim [3], can be integrated in an acausal Modelica system model. The MOSILAB simulation tool is evaluated in the GENSIM-project within the application areas „hygrothermal building simulation“ and „simulation of stationary fuel cell systems“. For this reason, in the present article a system model of a coupled building and plant simulation should be presented, where the thermal building model is modelled with Modelica and the component models of the solar thermal plant are modelled with ColSim. Both model parts are integrated in a common Modelica system model.