

MODELICA BUILDINGSYSTEMS - EINE MODELLBIBLIOTHEK ZUR SIMULATION KOMPLEXER ENERGIETECHNISCHER GEBÄUDESYSTEME

Christoph Nytsch-Geusen, Jörg Huber, Manuel Ljubijankic und Jörg Rädler
Universität der Künste Berlin, Institut für Architektur und Städtebau, Deutschland
Hardenbergstraße 33, 10623 Berlin
Email: nytsch@udk-berlin.de

KURZFASSUNG

Am Lehrstuhl für Versorgungsplanung und Versorgungstechnik der UdK Berlin wird die Modelica-Modellbibliothek *BuildingSystems* zur objektorientierten Modellierung und Simulation komplexer energietechnischer Gebäudesysteme entwickelt. Die Modelle der Bibliothek decken ein breites Spektrum aus den Bereichen Raum und Gebäude, solare Energietechnik (Solarthermie, Fotovoltaik) sowie Heizungs- und Klimatechnik ab und werden um weitere Spezialmodelle zum Erzeugen geeigneter Klima- und Nutzer-Randbedingungen ergänzt. Ein besonderes Merkmal der Bibliothek besteht darin, dass eine Reihe der Modelle in unterschiedlicher räumlicher oder physikalischer Detaillierungstiefe vorliegen. So lässt sich mit der Modellbibliothek ein Nahwärmenetz mit einer Reihe stark vereinfachter Gebäudeverbrauchermodelle aber auch ein detailliertes hydraulisches Netz einer Heizungsanlage zusammen mit einem detaillierten Mehrzonen-Gebäudemodell abbilden.

Im vorliegenden Beitrag werden die grundlegenden Eigenschaften der Modelica-Bibliothek *BuildingSystems* beschrieben und an Hand mehrerer Anwendungsbeispiele demonstriert.

ABSTRACT

The Modelica library *BuildingSystems* for object-oriented modelling and simulation of complex energetic building systems is being developed by the chair of building services technology at UdK Berlin. The models of the library cover a broad spectrum of the domains such as room and building, solar energy technologies (solar thermal energy, photovoltaics), HVAC and are completed with specialized models for the generation of boundary conditions of the user behavior and climate data. A special feature is the fact that several models are present in different levels of detail in space and in the physical meaning. For example, a model of a district heating network combined with a set of strong simplified building models or a detailed hydraulic net of a heating system combined with a detailed multi-zone building model can be reflected by the model library.

The paper describes the most important features of the Modelica library *BuildingSystems* and demonstrates them by the use of several applications.

EINLEITUNG

In den letzten Jahren wurden eine Reihe von Modellbibliotheken zur energetischen Gebäude- und Anlagensimulation entwickelt, welche auf der objekt- und gleichungsorientierten Modellbeschreibungssprache Modelica (Modelica, 2012) basieren.

Eines der ersten Modelica-Implementierungen stellt die Bibliothek *ATPlus* der TU Kaiserslautern dar (Felgner et al., 2002), welche im Kontext der Anwendung neuartiger Regelungskonzepte (Fuzzy-Controller) im Bereich der Heizungstechnik entwickelt wurde. Die Bibliothek enthält ein thermisches Raummodell, Modelle der Heizungstechnik als auch zahlreiche Reglermodelle.

Im Rahmen eines Fraunhofer internen Forschungsprojektes wurde die Modelica-Modellbibliothek *BuildingPhysicsLibrary* zur thermischen und hygrothermischen Gebäudesimulation implementiert und an Versuchsräumen thermisch und hygrisch validiert (Noudui et al. 2008). Mit dieser Bibliothek können sowohl einzelne Raummodelle als auch Mehrzonen-Gebäudemodelle konfiguriert werden.

Am amerikanischen Forschungsinstitut LBNL in Berkeley wird seit 2009 die Modelica-Bibliothek *Buildings* zur gekoppelten energetischen Gebäude- und Anlagensimulation mit dem Schwerpunkt der Abbildung detaillierter Gebäuderegulungskonzepte entwickelt (Wetter et. al. 2011). Die Bibliothek enthält ebenfalls ein thermisches Mehrzonen-Gebäudemodell und zahlreiche Komponentenmodelle der Heizungs- und Klimatechnik.

An der RWTH Aachen wird zur Zeit eine ähnliche Modelica-Bibliothek entwickelt, welche neben einem thermischen Gebäudemodell auch umfangreiche Modelle der Heizungstechnik, aber auch insbesondere der Klima- und Lüftungstechnik umfasst (Müller und Badakhshani 2010). Die Bibliothek enthält auch eine umfangreiche Datenbank mit bauphysikalischen Stoffwerten sowie

Herstellerangaben zur Parametrisierung von Anlagenkomponenten.

Innerhalb des Forschungsprojektes Young Cities, in welchem Methoden zum simulationsgestützten Entwurf von Energieversorgungssystemen für Stadtquartiere entwickelt und an einem Fallbeispiel evaluiert werden, wurde am Institut für Architektur und Städtebau der UdK Berlin die Modelica-Bibliothek *FluidFlow* zur thermohydraulischen Simulation komplexer Energieversorgungssysteme für Einzelgebäude, aber auch für Gebäudegruppen implementiert (Nytsch-Geusen et al. 2009).

Die in diesem Beitrag vorgestellte Modelica-Bibliothek *BuildingSystems* stellt eine Zusammenführung und Reimplementierung der Bibliotheken *BuildingPhysicsLibrary* und *FluidFlow* dar und zeichnet sich durch folgende Haupteigenschaften aus:

1. Modelle für komplexe energietechnische Gebäudesysteme

Die Modellbibliothek kann das dynamische Verhalten von komplexen Gebäudesystemen, bestehend aus thermischen oder hygrothermischen Modellen eines Einzelgebäudes oder einer Gebäudegruppe in Kombination mit den Modellen der zugehörigen energetischen Versorgungstechnik beschreiben. Die Gebäudetechnik kann hierbei sowohl thermische, hydraulische als auch elektrische Modelle der Solarthermie, der Fotovoltaik, der Heizungs- und Klimatechnik umfassen.

2. Modelle unterschiedlicher Detaillierungstiefe

Die Gebäudemodelle als auch eine Reihe der Modelle der Gebäudetechnik liegen in zwei oder mehr Detaillierungstiefen (unterschiedliche örtliche oder physikalische Detaillierung) vor. So können z.B. eine hohe Anzahl einfacher thermo-hydraulischer Komponentenmodelle (Rohre, Ventile, Pumpen etc. in 0D-Modellierung) zu einem komplexen Modell eines Nahwärmenetz konfiguriert werden, welches noch in erträglichen Rechenzeiten simuliert werden kann. Die Bibliothek erlaubt auch das thermische Verhalten eines Gebäudes entsprechend der Fragestellung stark vereinfacht über wenige konzentrierte Parameter über eine 0D-Modell zu beschreiben (z.B. im Fall eines vielfach genutzten Wärmeverbrauchermodells innerhalb eines Wärmenetzmodells) oder alternativ hierfür ein detailliertes 1D- oder sogar 3D-Modell (z.B. für die örtlich aufgelöste Analyse des Raumklimas) zu verwenden.

3. Eignung zur Co-Simulation

Die Bibliothek *BuildingSystems* enthält Schnittstellen-Modelle, welche eine Co-Simulation von gebäudetechnischen Modelica-Modellen mit Modellen anderer Simulationsumgebungen unter-

stützen. Zum einen können Modelica-Systemmodelle auf der Basis von Dymola mit dem kommerziellen CFD-Werkzeug ANSYS-CFD (ANSYS 2012) über das ebenso kommerzielle Co-Simulationsframework TISC (Kossel et al. 2009) gekoppelt werden. Eine zweite Kopplungsmöglichkeit von *BuildingSystems*-Modellen und Dymola mit dem frei verfügbaren Gebäudesimulationstool EnergyPlus (EnergyPlus 2012) ist über das ebenso frei verfügbare Co-Simulationsframework BCVTB (Wetter 2011) realisiert worden.

4. Dreidimensionale Visualisierung und Animation von Simulationsexperimenten

Ein weitere Eigenschaft der *BuildingSystems*-Bibliothek besteht in der Möglichkeit Simulationsexperimente als visualisierte und animierte 3D-Szenen in verschiedenen Visualisierungsumgebungen wie z.B. *Blender* oder *OpenSceneGraph* darzustellen. Hierzu wurde die zusammen mit der TU Berlin und der Fraunhofer-Gesellschaft entwickelte allgemeine Technologie zur 3D-Visualisierung von Modelica-Modellen (Höger et al. 2012) in die *BuildingSystems*-Bibliothek integriert.

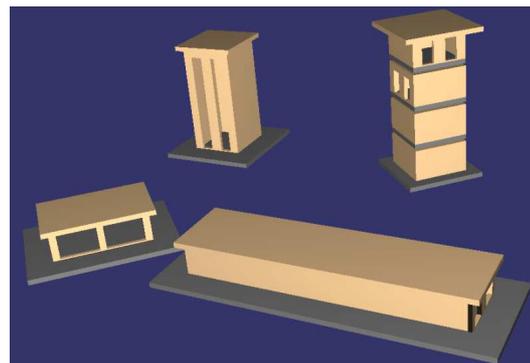


Abbildung 1 Parametrisierte 3D-Darstellung von Gebäudemodellen

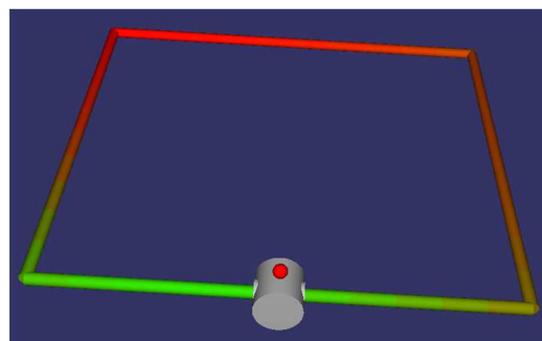


Abbildung 2 3D-Animation eines thermo-hydraulischen Netzwerks mit 1D-diskretisierten Rohrleitungsmodellen. Dargestellt sind die Fluidtemperaturen der einzelnen Rohrleitungssegmente sowie der Betriebszustand der Förderpumpe

Die physikalischen Komponentenmodelle wurden mit grafischen 3D-Primitiven (Kugel, Zylinder, Box, Kegel etc.) verknüpft, die so eine geometrische Repräsentation der Gebäude- und Anlagenmodelle

sowie eine animierte Darstellung von Zustandsgrößen innerhalb von 3D-Szenen ermöglichen.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein unterschiedlich geometrisch parametrisiertes Gebäudemodell und Abbildung 2 die Animation eines thermohydraulischen Einmaschennetzwerks.

BIBLIOTHEKSARCHITEKTUR

Die Architektur der *BuildingSystems* Bibliothek folgt einem hierarchischen Aufbau in drei aufeinander aufbauenden Schichten (vgl. Abbildung 3).

Die grundlegende Schicht (**Core layer**) enthält zunächst Basisklassen (**BaseClasses**), die bei der Modellierung von Komponentenmodellen in unterschiedlichem Kontext vielfach wiederverwendet werden. Hierzu gehören Schnittstellenmodelle (Interfaces), physikalische Grundmodelle (Physics) und Grundmodelle zur 3D-Visualisierung (Visualisation3D).

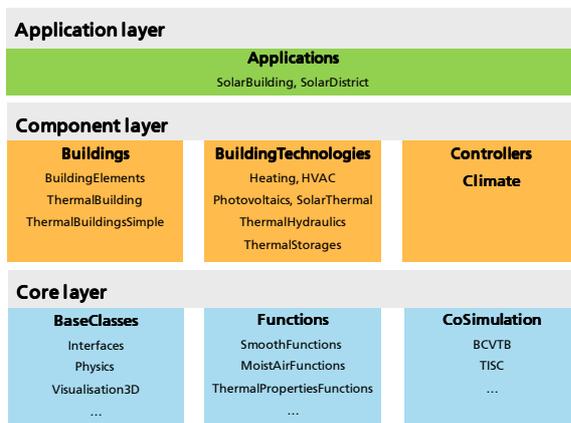


Abbildung 3 Struktureller Aufbau der Modellbibliothek *BuildingSystems*

So kann z.B. das eindimensional diskretisierte physikalische Modell für den dynamischen Wärmetransport eines monolithischen Materials durch mehrfache Verwendung und serieller Verschaltung zur Beschreibung des Wärmetransportvorgangs in einer mehrschichtigen Gebäudewand verwendet werden. Bei entsprechend angepasster Parametrisierung kann mit dem gleichen Schichtenmodell auch das thermische Verhalten eines detaillierten Fotovoltaikmoduls abgebildet werden, welches aus mehreren dünnen Materialschichten (z.B. Glas, Kunststoff, PV-Zelle, Kunststoff) besteht.

Eine zweite Gruppe bildet eine Sammlung an Funktionen (**Functions**), welche zum einen Algorithmen zur Berechnung von thermodynamischen Stoffwerten und Zustandsgrößen, Hilfsfunktionen zur numerischen Stabilisierung von schwierigen physikalischen Modellgleichungen und zum anderen auch eine Dateileserfunktion mit Interpolationsalgorithmen umfasst (Rädler et al. 2012).

Eine dritte Gruppe enthält Modellklassen zur Unterstützung von Co-Simulationen (**CoSimulation**) zwischen Modelica-Modellen/Werkzeugen mit anderen kopplungsfähigen Simulationswerkzeugen. Bisher unterstützt die *BuildingSystems*-Bibliothek die Co-Simulation über die Kopplungsframeworks BCVTB und TISC.

In der Komponentenschicht (**Component layer**) befinden sich thermische und hygrothermische Gebäudemodelle (**Buildings**) sowie Komponentenmodelle energetischer Gebäudetechnologien (**BuildingTechnologies**). Beide Modellarten liegen in unterschiedlichen Detaillierungstiefen vor.

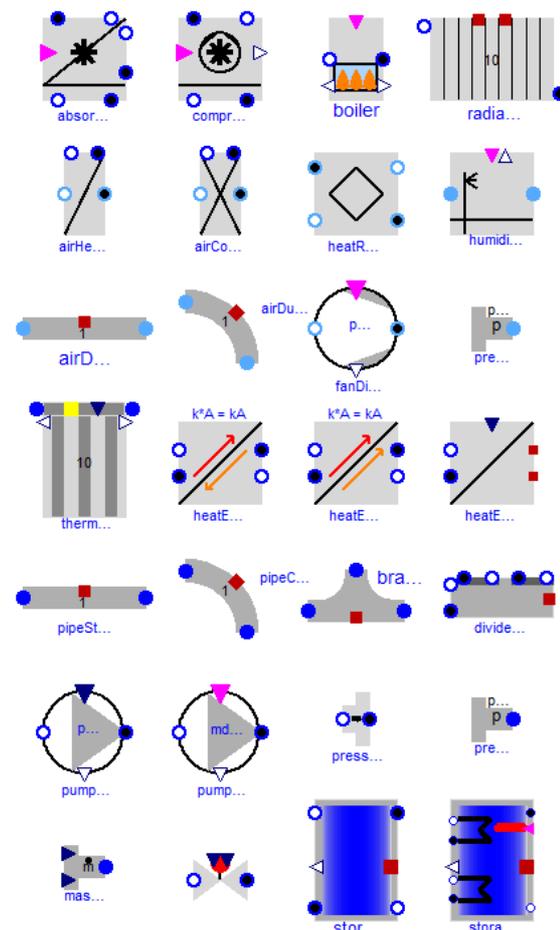


Abbildung 4 Komponentenmodelle des Sub-Packages *BuildingSystems.BuildingTechnologies*

So kann der Anwender bei den gebäudetechnischen Komponentenmodellen je nach Fragestellung z.B. zwischen einem vereinfachten Fotovoltaikmodulmodell auf Basis einer 1-Dioden-Modellierung in Verbindung mit einem empirischen thermischen Modell und einem detaillierten Fotovoltaikmodulmodell, auf Basis einer 2-Dioden-Modellierung in Verbindung mit einem mehrschichtigen thermischen und detaillierten optischen Modell wählen.

Beim thermischen Gebäudemodell gibt es zur Zeit Modelle in zwei (0D und 1D) und zukünftig sogar in

drei Detaillierungstiefen (0D, 1D, 3D). Im einfachsten Gebäudemodell werden alle Außenluft berührenden thermischen Gebäudemassen, alle innen liegenden Gebäudemassen und alle das Erdreich berührende Gebäudemassen unabhängig von ihrer Geometrie und Ausrichtung jeweils mit ihrer Gesamtfläche und ihrer thermischen Gesamtkapazität auf ein einfaches numerisch sehr schnelles thermisches Ersatzmodell abgebildet wobei das Raumluftvolumen nur über ein Luftknoten modelliert ist. Die transparenten Außenbauteile sind allerdings differenziert entsprechend ihrer Orientierung modelliert, da diese erheblichen Einfluss auf die Höhe der passiven solaren Gewinne und damit auf die Gesamtenergiebilanz des Gebäudes ausüben.

Beim Gebäudemodell in 1D-Auflösung können die Bauteile in einer Dimension, i.d.R. vom Innenraum zur Umgebung, ortsdiskretisiert werden. Alle Bestandteile des Gebäudemodells (Fenster, Wände, Decken, Räume, Raumluftvolumina) werden über einzelne Submodelle beschrieben, die zusammen zu einem Einzonen- oder Mehrzonengebäudemodell konfiguriert werden können. Der Luftraum in den Gebäudezonen kann über einen oder auch mehrere vertikale Luftknoten abgebildet werden.

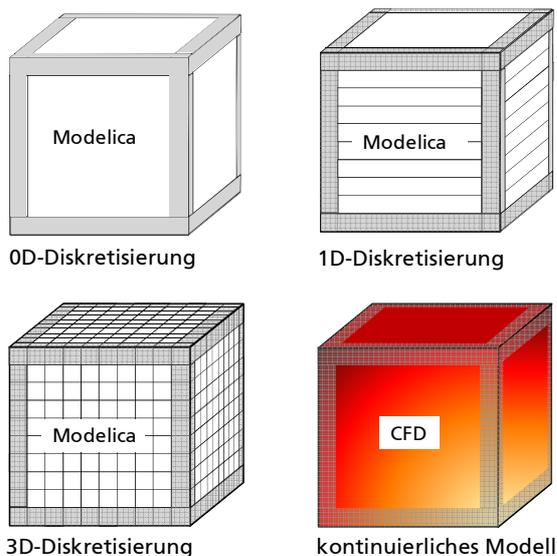


Abbildung 5 Detaillierungstiefen Gebäudemodell

Im Rahmen der Forschungstätigkeiten der DFG-Forschergruppe 1736 "Urban Climate and Heat Stress in mid-latitude cities in view of climate change (UCaHS)" wurde an der UdK Berlin im Teilprojekt „Indoor Simulations“ mit der Entwicklung eines thermischen Modelica-Raummodells in 3D-Modellierung für den Luftraum sowie die umgebende Baukonstruktion begonnen, welche zukünftig in die *BuildingSystems*-Bibliothek integriert sein wird. So stehen zukünftig drei Detaillierungstiefen (0D-, 1D- und 3D-Diskretisierung) an Gebäudemodellen zur Verfügung, welche mit quasi kontinuierlich

diskretisierten CFD-Gebäudemodellen ergänzt werden können (vgl. Abbildung 5).

Weiterhin enthält die Bibliothek Modelle zur Regelungstechnik (**Controllers**), sowie Modelle zur Bereitstellung von Klimarandbedingungen (**Climate**) mit Klimadaten des Testreferenzjahres und aus Meteororm.

Die Anwendungsschicht (**Application layer**) enthält komplexe zusammengesetzte Anwendungsbeispiele unter Verwendung von Modellen aus mehreren gebäudetechnischen Anwendungsdomänen (Solarthermie, Thermohydraulik, Klimatechnik), ähnlich dem ersten Beispiel des folgenden Abschnitts.

ANWENDUNGSBEISPIELE

Mit vier Anwendungsbeispielen sollen die beschriebenen Haupteigenschaften der *BuildingSystems*-Bibliothek veranschaulicht werden.

Beispiel 1: Komplexes Energieversorgungssystem

Die Modellierung einer gebäudeübergreifenden solarunterstützten Klimatisierung, welche innerhalb des Forschungsprojekt "YoungCities" (Ederer et al. 2010) konzipiert wurde, soll demonstrieren, wie mit der *BuildingSystems*-Bibliothek sehr komplexe Gesamtsystemmodelle konfiguriert werden können.

In Abbildung 6 ist ein Ensemble aus vier Wohnblöcken (Sub-Neighbourhood) dargestellt, welches aus jeweils mehreren Reihenhäusern besteht, auf deren Dachflächen sich unterschiedlich große nach Süden orientierte Solarkollektorfelder befinden. Die solarthermischen Kollektorfelder sowie die Wärme- und Kälteversorgung der Einzelgebäude sind über mehrere thermische Netze mit einer gemeinsamen Wärme- und Kältezentrale verbunden, in welcher aus solarer Wärme über Absorptionskältemaschinen Kaltwasser zur Gebäudeklimatisierung erzeugt wird.

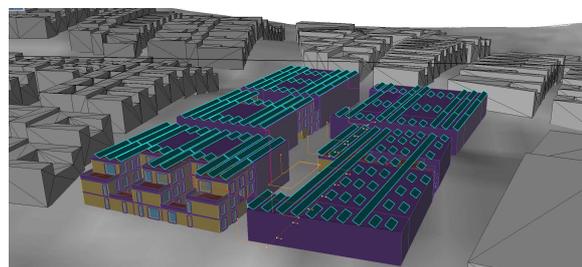


Abbildung 6 Sub-Neighbourhood mit einem solarunterstützten gebäudeübergreifenden Wärme- und Kälteversorgungssystem

Abbildung 7 zeigt die Struktur des entsprechenden Modelica-Modells, welches das beschriebene Energieversorgungssystem dargestellt. Es umfaßt neben dem Modell der Energiezentrale auch die Sub-Modelle der Solarthermiefelder und der thermischen Gebäudeenergieversorgung.

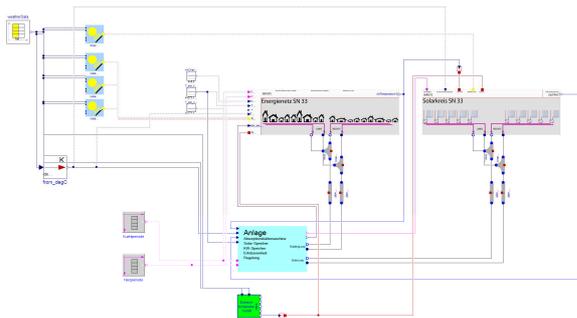
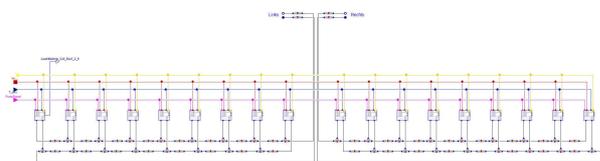
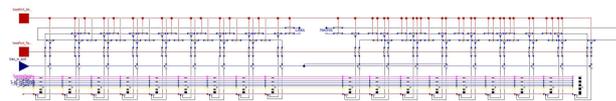


Abbildung 7 Gesamtsystemmodell für das gebäudeübergreifende Energieversorgungssystem

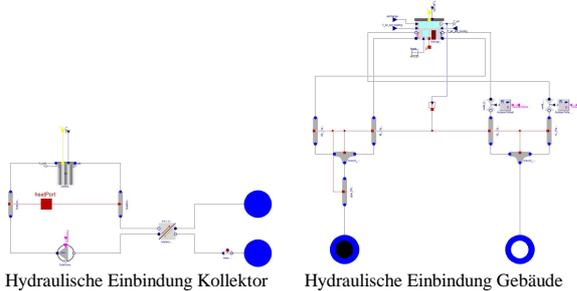
Der innere Aufbau beider Sub-Modelle sowie jeweils eine weitere Modell-Unterebene sind in Abbildung 8 dargestellt.



Struktur Solarkreislauf



Struktur Heiz-/Kühlkreislauf



Hydraulische Einbindung Kollektor

Hydraulische Einbindung Gebäude

Abbildung 8 Sub-Modell des Solarkreislaufes und der thermischen Versorgungsnetze sowie Sub-Sub-Modelle der hydraulische Einbindung eines Einzelkollektorfeldes bzw. der Einzelgebäude

Das Gesamtmodell aus Abbildung 7 wird über insgesamt 15.870 Modellgleichungen beschrieben, welche im Simulationsexperiment bei Verwendung von Dymola durch das Entfernen von Verknüpfungsvariablen auf 8.223 unabhängige Modellgleichungen reduziert werden. Auf Grund der Komplexität dieses Modells in seinem Umfang, seiner Struktur und seiner aufwendigen hydraulischen Regelung lassen sich mit derzeit verfügbarer PC-Hardware einige Tage Realzeit simulieren. Abbildung 10 zeigt für eine Sommerwoche für den Standort Hashtgerd (Iran) den Verlauf wichtiger Systemgrößen wie die solarthermisch erzeugte Wärme, die von der Absorptionskältemaschine produzierte Kälte sowie die Kühllast aller Gebäude der Sub-Neighbourhood.

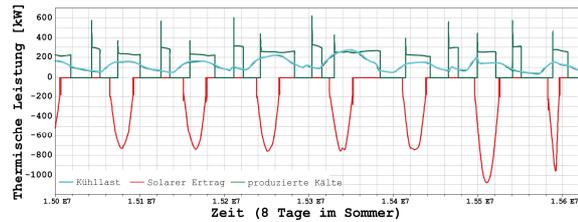


Abbildung 10 Systemverhalten des komplexen Energieversorgungssystem während einer Sommerwoche

Beispiel 2: Fotovoltaisch angetriebenes Klimatisierungssystem

Ein zweites Modell eines fotovoltaisch angetriebenen Klimatisierungssystem mit Batteriespeicher und Kaltwasserspeicher soll demonstrieren, wie auf Basis der *BuildingSystems*-Bibliothek multiphysikalische Systemmodelle (elektrische und thermische Energiewandlung) modelliert werden können (vgl. Abbildung 11).

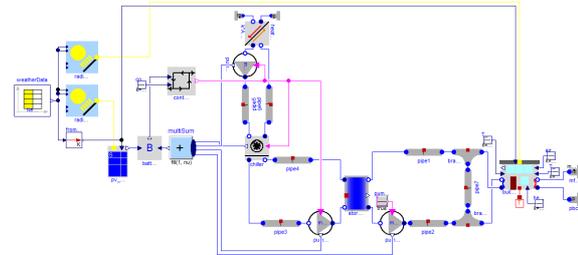


Abbildung 11 Systemmodell eines fotovoltaisch angetriebenen Gebäudeklimatisierungssystems

Bei diesem gebäudetechnischen System erzeugt ein PV-Generator Gleichstrom, welcher zunächst in einer Batterie zwischengespeichert wird. Eine nachgeschaltete Kompressionskältemaschine liefert Kaltwasser für einen Kaltwasserspeicher. Über ein geregelten Kaltwasserkreislauf wird entsprechend der sommerliche Wärmelast thermische Energie in den Kaltwasserspeicher abgeführt. Da mit diesem Modell die Berechnung Energiebilanz über die gesamte Kühlperiode mehrerer Monate erfolgen soll, wurde aus der Bibliothek numerisch schnelle Modelle mit einer niedrigen Abbildungstiefe (PV-Generator, Batterie, Gebäude) verwendet. Das Gesamtsystem kann mit insgesamt 658 Modellgleichungen beschrieben werden, die von Dymola nochmals auf 342 unabhängige Modellvariablen reduziert werden können. Die Simulationsdauer für eine gesamte Kühlperiode beträgt ca. 1 Minute.

In Abbildung 12 sind die simulierten Leistungen (Leistung PV-Generator, Kälteleistung der Kompressionskältemaschine, Gebäude-Kühllast) im fotovoltaisch angetriebenen Gebäudeklimatisierungssystem für eine Sommerwoche und einer Kühlgrenztemperatur von 24 °C für den gleichen Klimastandort Hashtgerd dargestellt.

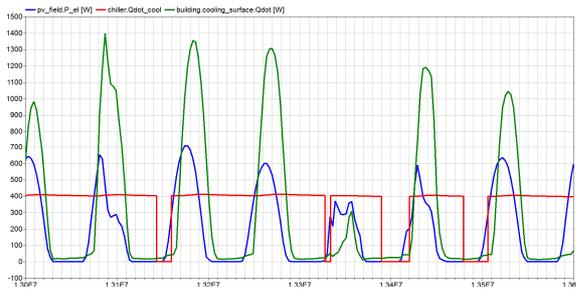


Abbildung 12 Leistungen im fotovoltaisch angetriebenen Gebäudeklimatisierungssystem während einer Sommerwoche: Leistung PV-Generator (blau), Kälteleistung (rot), Kühllast (grün)

Beispiel 3: 1D/3D Co-Simulation von Modelica- und CFD-Modellen

Ein drittes Beispiel veranschaulicht wie ein 3D-Detailmodell (CFD-Modell eines thermischen Wasserspeichers, simuliert mit ANSYS CFX mit ca. 85.000 finiten Elementen) in ein übergeordnetes 1D-Systemmodell einer gebäudetechnischen Anlage (Modelica-Modell einer thermischen Solaranlage siehe Abbildung 13) mittels einer Co-Simulation auf Basis von TISC integriert werden kann.

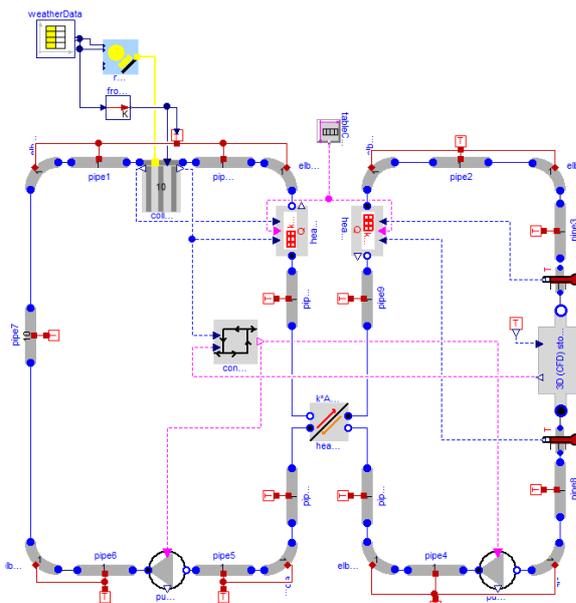


Abbildung 13 Modelica-Systemmodell der thermischen Solaranlage der 1D/3D-Co-Simulation

Das Modelica-Systemmodell prägt über TISC dem Warmwasserspeicher den von der Pumpe geregelten Massenstrom und die mit ihm verbundene Eintrittstemperatur auf. Das Speichermodell wiederum sendet den Austrittsmassenstrom, die Austrittstemperatur sowie die Temperatur des Sensors im 3D-Strömungsfeld des Speichers über TISC an das Modelica-Systemmodell, welche zusammen mit der Kollektoraustrittstemperatur das Schaltkriterium für den diskreten Zweipunktregler bildet.

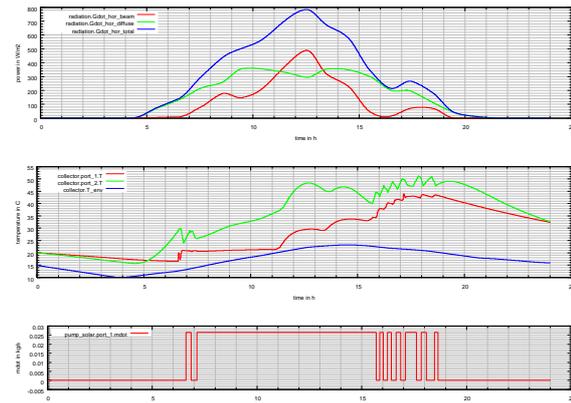


Abbildung 14 Einstrahlung auf den Kollektor (oben) Kollektoreintrits- und -austrittstemperatur, Umgebungstemperatur (mitte) sowie geregelter Massenstrom (unten) im Verlauf eines Sommertages für das gekoppelte Modelica / CFD System-Modell

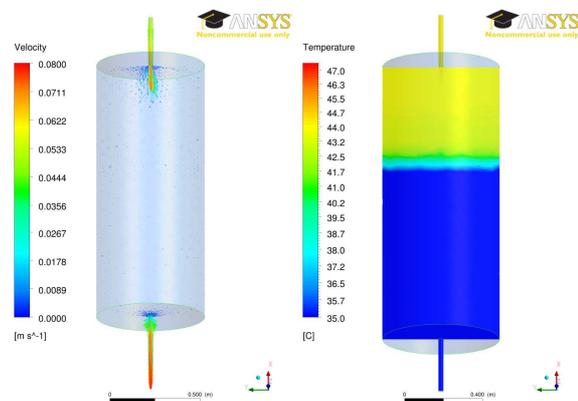


Abbildung 15 Vertikaler Schnitt des Geschwindigkeitsfelds (links) und des Temperaturfelds nach dem ersten Schaltereignis um 13 Uhr, für das gekoppelte CFD/Modelica-Modell

Abbildung 14 zeigt das simulierte Verhalten für das gekoppelte Modell für den Beladevorgang des Speichers während eines typischen Sommertages und Abbildung 15 das Strömungsfeld und die Temperaturverteilung im Speicher um die Mittagszeit. Deutlich ist zu erkennen wie die Eintritts- und Austrittstemperatur des Solarkollektors durch das differenzierte CFD-Strömungsfeld des Speichers beeinflusst wird und letztendlich auch auf das Schaltverhalten des Reglers wirkt. Eine ausführliche Beschreibung dieses Co-Simulationsbeispiels findet sich in (Ljubijankic et al. 2011).

Beispiel 4: 3D-Visualisierung einer thermischen Solaranlage

Ein viertes Beispiel soll mit der 3D-Visualisierung der technischen Bestandteile einer thermischen Solaranlage zeigen, wie mit der *BuildingSystems*-Bibliothek das dynamische Verhalten eines Energiesystems (Temperaturen, Massenströme,

Betriebszustände der Regelung etc.) sowie seine räumliche Integration in ein Gebäude veranschaulicht werden kann. In Abbildung 15 ist das hierzu modellierte System einer thermischen Solaranlage zur Brauchwassererwärmung mit zwei Vakuumröhrenkollektoren skizziert.

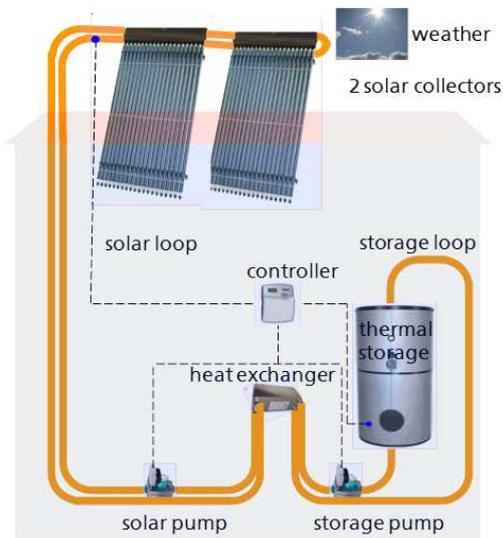


Abbildung 15 Solarthermisches Anlagenbeispiel für eine 3D-Visualisierung

Alle wesentlichen für eine Visualisierung notwendigen Komponentenmodelle der *BuildingSystems*-Bibliothek wie Rohrleitungen, Krümmer, Umwälzpumpen, Wärmeerübertrager, Solarkollektur etc.) wurden mit Hilfe der Modelica 3D-Bibliothek (Höger et al. 2012) um Möglichkeiten der 3D-Darstellung in externen Visualisierungsumgebungen wie *Blender* oder *OpenSceneGraph* erweitert.

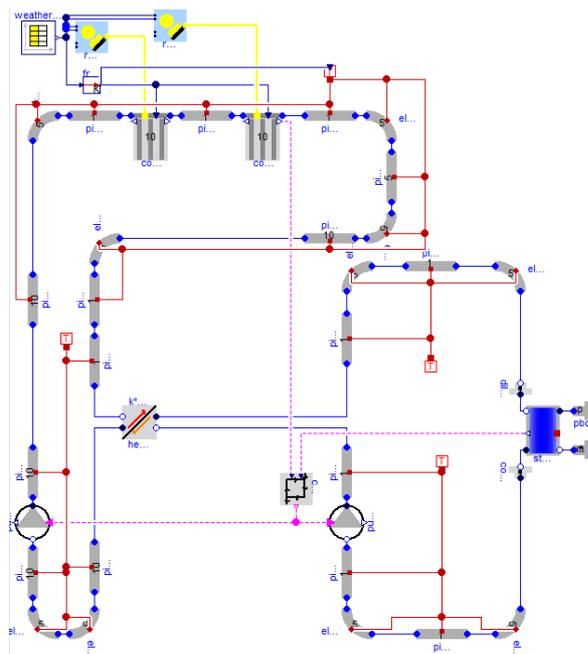


Abbildung 16 Modelica-Systemmodell der thermischen Solaranlage zur 3D-Visualisierung

Abbildung 16 zeigt die Struktur des Modelica-Anlagenmodells, Abbildung 17 die in ein Gebäude integrierte thermische Solaranlage in einer 3D-Visualisierungsszene, wobei *OpenSceneGraph* als Visualisierungsumgebung gewählt wurde. Dargestellt sind die Temperaturen des Fluids in den diskretisierten Kollektor-, den Rohrleitungs- und im Warmwasserspeichermodell sowie die Betriebszustände der beiden Umwälzpumpen für zwei ausgewählte Zeitpunkte während eines Sommertages.

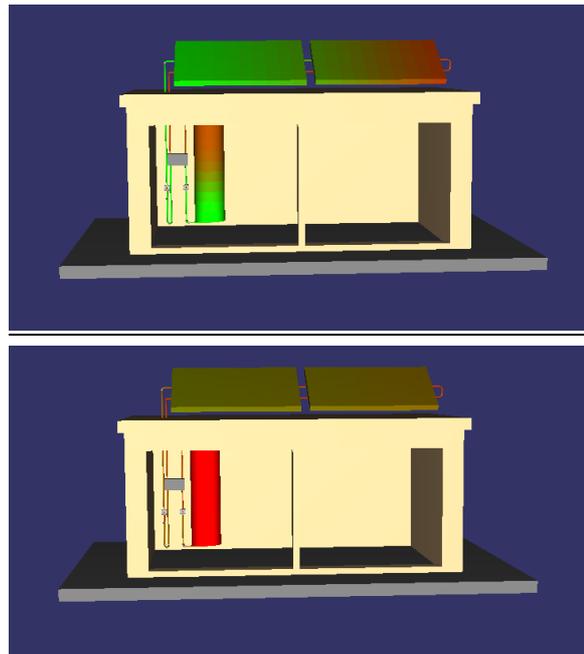


Abbildung 17 3D-Visualisierung des Beladeprozess der thermischen Solaranlage am Vormittag (oben) und im Ruhezustand des Systems nach Abschalten der Umwälzpumpen am Abend (unten)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Modelica-Bibliothek *BuildingSystems* ermöglicht eine Konfigurierung auch multiphysikalischer komplexer Systemmodelle zur integrierten energetischen Gebäude- und Anlagensimulation. Durch die Verwendung von Modellen unterschiedlicher Detaillierungstiefe kann flexibel auf die jeweilige Fragestellung der Simulationsanalyse eingegangen werden und Rechenzeiten minimiert werden, z.B. für die detaillierte Simulation eines vielzogen Gebäudes oder für ein gesamtes Stadtquartier. Im Bedarfsfall können die Modelle der Bibliothek auch über Co-Simulation mit anderen Simulationswerkzeugen zu übergeordneten Systemmodellen kombiniert werden. Die Möglichkeit zur 3D-Visualisierung verschafft dem Anwender einen intuitiven Überblick über den Gesamtzustand eines Modells während des Simulationsexperiments.

AUSBLICK

Nächste Entwicklungsschritte bestehen in der weiteren Implementierung der detaillierten thermischen 1D- und 3D-Gebäudemodelle, in der Erweiterung des Umfangs der energetischen Komponentenmodelle und in der Verbesserung der 3D-Visualisierungstechnik.

Ab Herbst 2012 wird die Modelica-Bibliothek *BuildingSystems* interessierten Nutzern und Mitentwicklern unter einer Open-Source-Lizenz auf der Seite <http://www.modelica-buildingsystems.de> zur Verfügung gestellt werden.

LITERATUR

Modelica 2012. A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling. Language Specification Version 3.2 Revision 1. Modelica Association.

Felgner F., Augustina S., Cladera Bohigas R., Merz R., Litz L. 2002. Simulation of Thermal Building Behaviour in Modelica. Proceedings of the 2nd International Modelica Conference, 18.-19. März, Oberpfaffenhofen, Germany.

Noudui T., Nytsch-Geusen C., Holm A., Sedlbauer, K. 2008. Object-oriented hygrothermal building physics library as a tool to predict and to ensure a thermal and hygric indoor comfort in building construction by using a Predicted-Mean-Vote (PMV) control ventilation system. In Proceedings: Nordic Symposium of Building Physics 2008, 16.-18. Juni, Kopenhagen, Denmark.

Wetter M., Zuo W., Noudui, T. 2011. Recent Developments of the Modelica "Buildings" Library for Building Energy and Control Systems. Proceedings of the 8th International Modelica Conference, Dresden, Germany.

Müller D., Badakhshani A. H. 2010. Gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation mit Modelica. Proceedings of the 3rd German-Austrian IBPSA Conference, 22.-24. September, Vienna, Austria.

Nytsch-Geusen C., Ljubijankic M.; Unger S. 2009. Modelling of complex thermal energy supply systems, based on the Modelica-Library FluidFlow. Proceedings of the 7th International Modelica Conference, 20.-22. September, Como, Italy.

ANSYS 2012. Homepage ANSYS CFD: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/ANSYS+CFD>.

Kossel R., Correia C., Loeffler M., Bodmann, M., Tegethoff W. 2009. Verteilte Systemsimulation

mit TISC. In: ASIM-Workshop 2009 in Dresden mit integrierter DASS'2009, Germany.

EnergyPlus 2012. Homepage EnergyPlus: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

Wetter M. 2011. Co-simulation of building energy and control systems with the Building Controls Virtual Test Bed, Journal of Building Performance Simulation, 4:3, 185-203.

Höger C., Mehlhase A., Nytsch-Geusen C., Isakovic K., Kubiak R. 2012. Modelica3D - Platform Independent Simulation Visualization. Proceedings of the 9th International Modelica Conference, 3.-5. September, München, Germany.

Rädler J., Huber J., Ljubijankic M., Nytsch-Geusen C. 2012. Accessing External Data on Local Media and Remote Servers Using a Highly Optimized File Reader Library. Proceedings of the 9th International Modelica Conference, 3.-5. September, München, Germany.

Ljubijankic M., Nytsch-Geusen C., Rädler J., Löffler M. 2001. Numerical coupling of Modelica and CFD for building energy supply systems. In Proceedings: 8th International Modelica Conference, 20./22. März, Dresden, Germany.

Ederer K., Huber J., Nytsch-Geusen C., Seelig S., Unger S., Wehage P. 2010. Konzeption und Planung solarunterstützter Energieversorgungssysteme für New Towns im Iran. In Tagungsband: 20. Symposium Thermische Solarenergie in Staffelstein, OTTI-Technologiekolleg, Regensburg, Germany.