

GEKOPPELTE GEBÄUDE- UND ANLAGENSIMULATION MIT MODELICA: ERFASSUNG THERMISCHER UND HYDRAULISCHER VORGÄNGE

Timo Haase, Alexander Hoh, Peter Matthes, Thomas Tschirner, Dirk Müller
Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin
Marchstr. 4, D-10587 Berlin
www.tu-berlin.de/fak3/hri
timo.haase@tu-berlin.de

KURZFASSUNG

Die energetische Optimierung eines Gebäudeentwurfs erfordert bereits in frühen Designphasen belastbare Aussagen über das Zusammenspiel von Gebäude und Anlagentechnik. Diese können vor der Errichtung naturgemäß nur auf der Basis von Simulationen getroffen werden. Das Hermann-Rietschel-Institut nutzt die Modellierungssprache Modelica für die Durchführung gekoppelter Gebäude- und Anlagensimulationen. Somit können wichtige dynamische Effekte des Zusammenspiels untersucht und der Entwurf entsprechend angepasst werden.

Am Beispiel eines Raumes, der über in die Decke eingebettete Kapillarrohrmatten gekühlt wird, werden die grundlegenden Konzepte dieses Vorgehens erläutert. Es zeigt sich, dass der objektorientierte und gleichungsbasierte Ansatz von Modelica in besonderer Weise geeignet sind, dynamische Untersuchungen von Gebäude und Anlage durchzuführen.

ABSTRACT

The energetic optimization of buildings demands knowledge concerning the interaction of the building structure and the building services installations already in early design stages. Such knowledge can only be achieved by the means of simulation. The Hermann-Rietschel-Institute uses the ability of the modeling language Modelica to aggregate different physical domains inside one simulation model. This approach allows for the coupled dynamic simulation of building and technical installations.

The paper shows the concepts of such coupled simulations, taking a room that is being chilled via capillary tubes inside the ceiling as an example. It is shown that the object oriented and equation based approach applying Modelica is a particularly useful way of dealing with such coupled simulation tasks.

EINLEITUNG

Soll das Zusammenspiel von verschiedensten Komponenten eines komplexen Systems untersucht werden, muss das System auch als Ganzes abgebildet werden. Zwar existieren verschiedene Simulationswerkzeuge, die in der Regel in einer Disziplin

besonders gut sind, jedoch finden sich kaum Programme, die alle Komponenten des Zusammenspiels von Gebäude und Gebäudetechnik gut abbilden können. Deshalb entstanden in den vergangenen 18 Monaten am Hermann-Rietschel-Institut Modelica-Bibliotheken, die der Modellierung von gekoppelten Systemen aus dem Bereich Gebäude und technische Installationen dienen. Erste Vorstöße in diese Richtung wurden bereits von der Universität Kaiserslautern unternommen (Merz, 2002), der Umfang der am Hermann-Rietschel-Institut entwickelten Bibliotheken geht jedoch bereits jetzt über den Umfang der damaligen Arbeiten hinaus.

SIMULATIONSMODELL

In der Bibliothek für die Gebäudesimulation sind neben mehrschichtigen Wänden und den damit verbundenen physikalischen Phänomenen wie Wärmeleitung, Konvektion und Strahlungsaustausch beispielsweise auch Komponenten zur Abbildung von Fenstern und Türen abgelegt. In den Luftknoten der Modelle kann durch die Kopplung an die „Modelica.Media“-Bibliothek, einer Standardbibliothek mit umfassender Sammlung thermodynamischer Parameter und Zustandsgleichungen, wahlweise mit trockener oder feuchter Luft gerechnet werden. Insbesondere für die Bewertung von Kühlflächen bietet sich das Modell der feuchten Luft an – nur hiermit kann die mögliche lokale Kondensation von Wasserdampf an kalten Oberflächen überwacht werden.

Zudem wurde ein umfangreiches Wettermodell entwickelt, welches auf der Basis von Daten aus dem Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes Außentemperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit sowie die solare Bestrahlungsintensität auf beliebig ausgerichtete und geneigte Flächen als Randbedingungen der Simulation zur Verfügung stellt.

Raummodell

Das im Beispiel verwendete einfache Raummodell besteht aus vier Wänden und einem Fußboden (siehe Abbildung 1). Wir gehen hier davon aus, dass drei der Wände Innenwände darstellen; in einer von ihnen befindet sich eine Zimmertür. In der Außenwand ist zudem ein Fenster vorgesehen. Während die Wände

als luftdicht gelten, wird durch das Fenster Luft mit der Umgebung ausgetauscht. Die jeweilige Luftwechselrate kann während der Simulation verändert werden, um das Nutzerverhalten abzubilden, welches sich hier im Öffnen und Schließen des Fensters zeigt. Die Wärmeproduktion von Raumbenutzern und technischen Geräten wird durch ebenfalls zeitveränderliche innere Wärmequellen abgebildet.

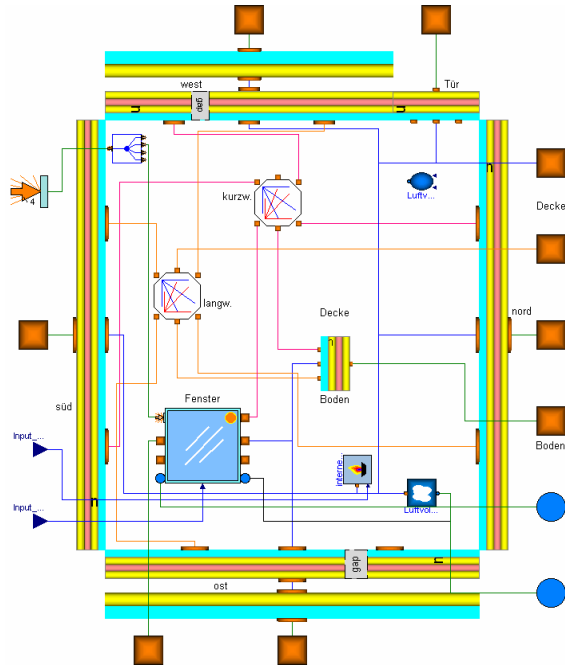


Abbildung 1 Grafische Darstellung des Raummodells

Im gewählten Beispiel wird vereinfachend davon ausgegangen, dass in den angrenzenden Nebenzimmern die gleiche Temperatur herrscht wie im betrachteten Raum. Somit kann für die Innenwände die adiabate Randbedingung angesetzt werden. An

der Außenwand bestimmen Außenlufttemperatur und Anströmung den Wärmeübergang. Die erforderlichen Parameter stellt das Wettermodell zur Verfügung.

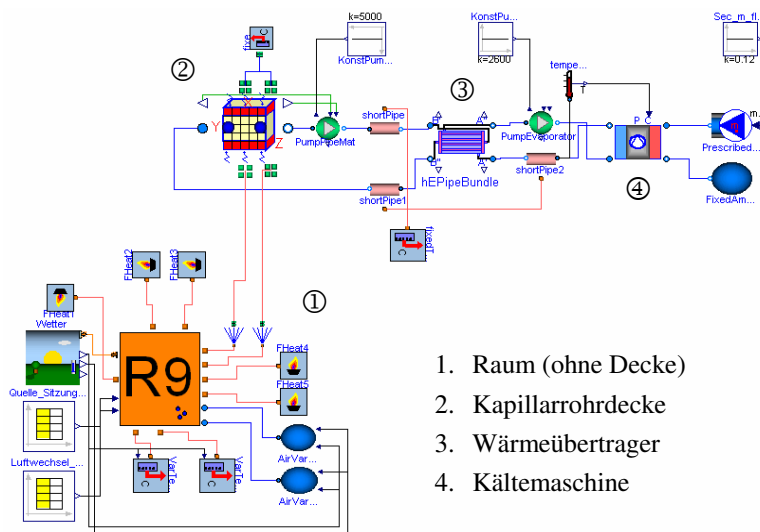
Eine Besonderheit des vorgestellten Raumes liegt in der mit Kapillarrohrmatten versehenen Raumdecke. Die wasserdurchflossenen Röhren dienen der Kühlung des Raumes. Somit bildet das Modell der Kapillarrohrdecke die Schnittstelle zur Anlagentechnik, die mit dem Raum in Verbindung steht. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde das Deckenmodell aus dem gekapselten Raummodell herausgelöst, siehe Abbildung 2.

Das Luftvolumen des Raumes wurde unter Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit modelliert. Da die Decke zur Kühlung verwendet werden soll, wurde neben dem allgemeinen Raumluftknoten eine dünne virtuelle Luftschicht direkt unterhalb der Decke vorgesehen. Dadurch kann die Kondensation in der Grenzschicht unterhalb der gekühlten Fläche betrachtet werden.

Anlagenmodell

Im Simulationsmodell wurde die Decke in diskrete Volumenelemente aufgeteilt, die eine genaue Untersuchung der lokalen Temperaturverteilung an der Oberfläche erlauben. Die Kapillarrohre selbst bestehen ebenfalls aus einer diskreten Anzahl kleiner Rohrelemente, wodurch der Temperaturverlauf auch im Rohr betrachtet werden kann (Glück, 1999).

Zur Komplettierung des Simulationsmodells wurden noch weitere Komponenten hinzugefügt. Diese Erweiterung umfasst eine Kältemaschine, einen Wärmeübertrager und Pumpen. Der Wärmeübertrager findet in der realen Anlage Verwendung, damit das Kühlaggregat vor dem sauerstoffreichen Wasser aus dem Kapillarrohrkreislauf geschützt werden kann.



1. Raum (ohne Decke)
2. Kapillarrohrdecke
3. Wärmeübertrager
4. Kältemaschine

Abbildung 2 Simulationsmodell mit Randbedingungen

Die Kältemaschine selbst ist ein Black-Box-Modell, in dem anstelle der physikalischen Vorgänge Kataloginformationen des Herstellers verwendet werden, um den Zusammenhang zwischen den Temperaturen in Verdampfer und Kondensator und der elektrischen Leistungsaufnahme herzustellen. Ein einfacher Regler passt die Leistung der Wärmepumpe kontinuierlich an die Vorlauftemperatur an.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die gekoppelte Simulation von Raum und Anlage ermöglicht unter Anderem den Test verschiedener Regelstrategien. Als Regelkriterien stehen Raumlufttemperatur, operative Raumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit zur Verfügung. Durch die zusätzliche Überwachung der lokalen Kondensat-

bildung an der Oberfläche der Kapillarrohrdecke existiert ein weiteres Kriterium, das die Betriebsweise der Oberflächenkühlung einschränkt, zugleich aber simulativ häufig schwer zugänglich ist.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft drei Regelstrategien für die Kältemaschine, die zu unterschiedlichen Raumtemperaturen führen. An dieser Stelle soll keine detaillierte Untersuchung der optimalen Regelstrategie erfolgen; die Simulation dient zunächst dem Machbarkeitsbeweis und fußt derzeit auf noch nicht vollständig validierte Modelle. Gerade bei der Optimierung von Systemen mit vielen Einflussgrößen und starker dynamischer Verzahnung der Komponenten verspricht der Ansatz der gekoppelten Simulation innerhalb *eines* numerischen Modells jedoch schon jetzt, das Mittel der Wahl zu sein.

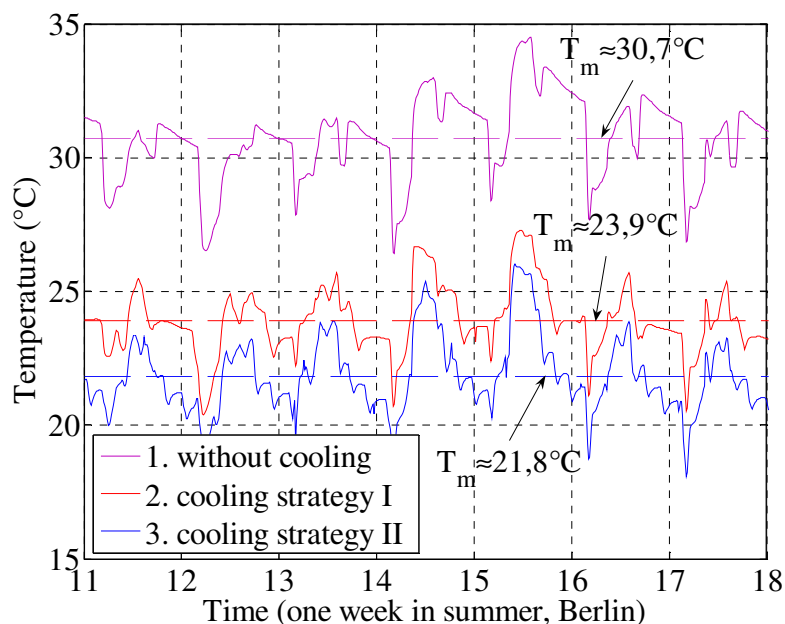


Abbildung 3 Verschiedene Regelstrategien für die Kältemaschine

Ein weiterer Vorteil der Kopplung ist, dass alle Freiheitsgrade des Gesamtsystems Gebäude-Anlage innerhalb der Simulation zugänglich sind. Sollte sich herausstellen, dass keine Regelstrategie gefunden werden kann, die zu dem gewünschten Betriebsverhalten der Anlage führt, kann ebenso einfach der Wandaufbau oder die Art der Kapillarrohrmatte angepasst werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die durchgeführten Simulationsstudien zeigen die Vorteile der Anlagen- und Gebäudesimulation mit Modelica: Unterschiedlichste Komponenten lassen sich innerhalb eines Simulationsmodells verschalten und interagieren miteinander. So wurde im vorliegenden Fall die thermische Gebäudesimulation mit der Betrachtung von Einflüssen der Luftfeuchtigkeit, hydraulischen und thermischen Eigen-

schaften der Anlagenmodelle und der Regelungstechnik verbunden.

Durch den objektorientierten Ansatz der Beschreibungssprache ist eine schnelle Erweiterbarkeit der Modelle und eine übersichtliche Pflege bestehender Komponenten möglich. Schließlich sorgt die gleichungsbasierte Formulierung der Komponenten für einen gut lesbaren Code und kurze Entwicklungszeiten.

LITERATUR

- Merz, R. 2002. Objektorientierte Modellierung thermischen Gebäudeverhaltens. Doktorarbeit, Universität Kaiserslautern.
- Glück, B. 1999. Thermische Bauteilaktivierung, Heidelberg.