

VALIDIERUNG DER EINDIMENSIONALEN HYGROTHERMISCHEN WANDMODELLE DER MODELICA-BIBLIOTHEK „BUILDINGPHYSICSLIBRARY“

Dipl.-Ing. Thierry Noudui¹, Dr.-Ing. Christoph Nytsch-Geusen², Dr.-Ing. Andreas Holm¹
¹Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Fraunhoferstr. 10, D-83626 Valley, Oberlinden
²Fraunhofer-Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik (FIRST),
Kekuléstr. 7, D-12489 Berlin

KURZFASSUNG

Für die Funktionstüchtigkeit und Dauerhaftigkeit von Bauteilen bzw. Gebäuden ist der Wärme- und Feuchtehaushalt von großer Bedeutung. Der Heiz- und Kühlwärmebedarf, die Behaglichkeit des Innenklimas, die Feuchtezustände der Bauteile, das Risiko der Schimmelpilzbildung und weitere bauphysikalische Fragestellungen sind mit der Wechselwirkung des Außenklimas, der Bauteile und der Nutzung verknüpft.

Bisher fehlen Simulationscodes, die hygrothermische Analysen mit starken Wechselwirkungen zwischen Raumklima und Bauteilverhalten erlauben. Daher wurde in dem Verbundprojekt GENSIM die Modelica-Bibliothek „BuildingPhysicsLibrary“ entwickelt, welche zusammen mit dem Simulationswerkzeug MOSILAB (Nytsch-Geusen et al., 2004) komplexe hygrothermische Analysen für mehrzonige Gebäude erlaubt.

Dieses Paper präsentiert die ersten vertiefenden Validierungsrechnungen des in Modelica (www.modelica.org) entwickelten Modelica-1D-Wandmodells. Das Modell berücksichtigt den Wärme-, Feuchte- sowie Lufttransport innerhalb einer Wandkonstruktion. Die Simulationsergebnisse der gerechneten *Benchmarks* aus dem HAMSTAD-Projekt (Hagentoff et al., 2002) werden mit verschiedenen HAM (Heat-Air-Moisture) - Modellen verglichen.

Ausgehend von den Validierungsrechnungen der hygrothermischen Wandmodelle wird derzeit die Validierung des Gebäudemodells durchgeführt, wobei die validierten Wandmodelle die Grundlage bilden. Hierzu werden Messungen an Testräumen des Fraunhofer IBP durchgeführt.

ABSTRACT

The heat and moisture balance play a major role in the efficiency and durability of building components. The heating and cooling requirements, the comfort of the interior climate, the moisture state of the construction units, the risk of mildew formation and further questions from the building design aspect are

associated with the interdependence of the external climate, the building components and their use.

So far, there are not enough simulation tools, which are able to analyse cases with strong reciprocal effects between the climate in the room and the behaviour of the building components.

Therefore, a Modelica library for Building Components „*BuildingPhysicsLibrary*“ is developed in the joint research project GENSIM, which together with MOSILAB (Nytsch-Geusen et al., 2004) allow complex hygrothermal analyses for multizonal buildings.

This Paper presents the first detailed validation calculations of a 1D- wall model, which has been implemented in Modelica (www.modelica.org). This model takes into account the heat, air and moisture transfer through a wall construction. The simulation results of the calculated *benchmark* cases from the HAMSTAD Project (Hagentoff et al., 2002) are compared with other HAM (Heat – Air - Moisture)-Tools.

At the moment validation calculations for the hygrothermal building model with the validated wall models are taking place. For reasons of comparison, measurements were performed at Fraunhofer IBP.

EINLEITUNG

In dem Fraunhofer -internen Verbundprojekt GENSIM wurde eine Modelica-Bibliothek entwickelt, die die Analyse mehrzoniger Gebäuden ermöglicht. Diese Bibliothek beinhaltet unter anderen ein hygrothermisches Wandmodell, das der Wärme-Feuchte und Lufttransport in Wandkonstruktionen berücksichtigt. Nachfolgend werden die Validierungsrechnungen dieses hygrothermischen Modells vorgestellt.

PHYSIKALISCHES WANDMODELL

Ein Wandmodell (HAM-Modell), das der Wärme-Feuchte und –Lufttransport berücksichtigt wurde in Modelica implementiert. Dieses Modell basiert auf den mathematischen Gleichungen des hygrothermischen Wandmodells von Künzel

(Künzel, 1995) und Hagentoff (Hagentoff et al., 2002).

MATHEMATISCHES WANDMODELL

Energiebilanzgleichung

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\delta_p \frac{\partial \varphi p_{sat}}{\partial x} \right) - r_a \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right) - r_a \cdot h_v \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$H = \rho_s c_s \vartheta + w \cdot c_w \cdot \vartheta, \quad r_a = C \cdot \Delta P_a^k, \quad v = x_a \cdot \rho_a$$

Massenbilanzgleichung

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(D_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \delta_p \frac{\partial \varphi p_{sat}}{\partial x} \right) - r_a \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$r_a = C \cdot \Delta P_a^k, \quad v = x_a \cdot \rho_a$$

HAMSTAD-PROJEKT

Das HAMSTAD- Projekt wurde eingeleitet, um ein Plattform für die Beurteilung von Berechnungstools für die Simulation des Wärme-Feuchte und Lufttransports in Baukonstruktionen zu entwickeln.

Im Rahmen dieses Projektes wurden für HAM-Modelle Beispielfälle (Benchmarks) unterschiedlicher Komplexität entwickelt. Einige dieser Benchmarks sind für die Validierung des Modelica - Wandmodells herangezogen worden

VALIDIERUNG DES WANDMODELLS

Benchmark Nr. 1

Dieser Benchmark beschäftigt sich mit der Kondensation, die an der Kontaktfläche zwischen zwei Materialien, ein tragendes Material und eine Dämmung, auftritt. Die Materialien haben unterschiedliche thermische- und hygrische Eigenschaften - das tragende Material ist kapillar aktiv, während die Dämmung (unendlicher Widerstand) hygroskopisch aber nicht kapillar ist. Die Wärmeleitfähigkeiten unterscheiden sich um einen Faktor 50 Die Struktur ist luftdicht.

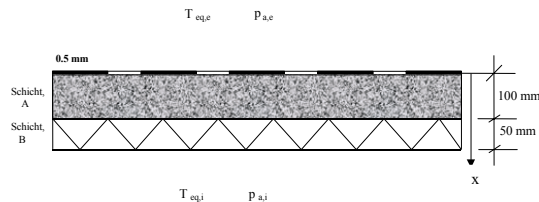


Abbildung 1 Wandaufbau des Benchmarks 1

In Abbildung 2 sind die Simulationsergebnisse verschiedene HAM-Modelle zu sehen. Es wurde von allen Teilnehmern von dem Projekt den mittleren Wassergehalt im tragenden Material berechnet.

In Abbildung 3 ist ein Vergleich zwischen dem Mittelwert aller berechneten Ergebnisse (blau) und dem von Modelica -Modell berechneten Benchmark (rot). Hier sieht man, dass die Ergebnisse des Modelica - Modells mit dem Mittelwert der berechneten Ergebnisse gut übereinstimmen.

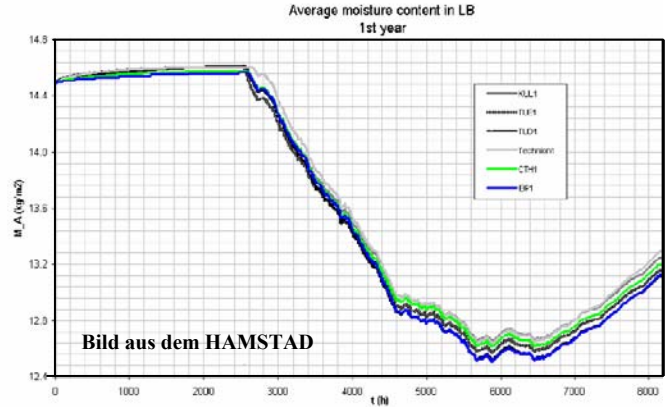


Abbildung 2 Berechneter mittlerer Wassergehalt in dem tragenden Material.

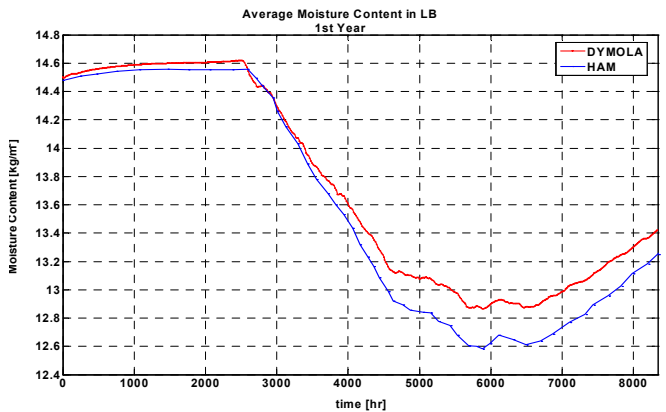


Abbildung 3 Mittelwert des mittleren Wassergehalts des tragenden Materials (blau) und mittleren Wassergehalt des Modelica- Modells (rot)

Benchmark Nr. 3

Dieser Benchmark beschäftigt sich mit dem Lufttransport durch eine 200mm dicke Schicht. Der Feuchtetransport wird durch diesen Lufttransport dominiert. Die Simulationszeit beträgt 100 Tage. Während der ersten 20 Tage gibt es eine Exfiltration der Luft. Danach findet eine Luftinfiltration statt.

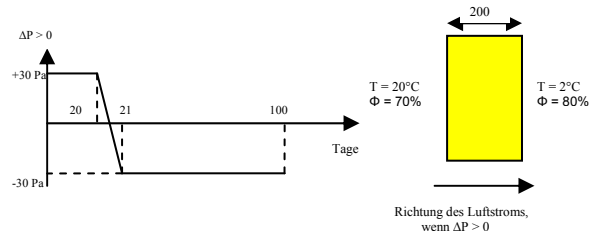


Abbildung 4 Randbedingungen des Benchmarks 3

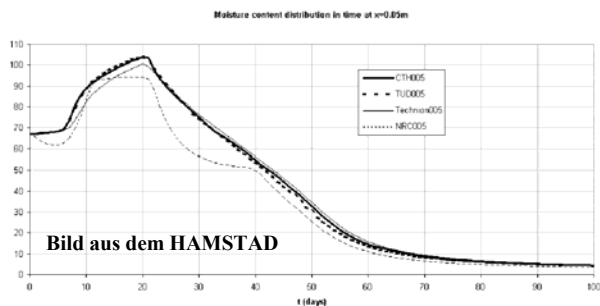


Abbildung 5 Berechneter Wassergehalt im Material.

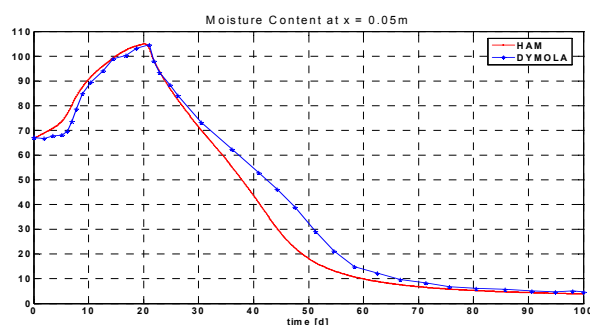


Abbildung 6 Vergleich zwischen Mittelwert des Wassergehalts des Materials und des Wassergehalts des Modelica- Modells

Abbildung 5 zeigt den Wassergehalt in dem untersuchten Material, dass von den Teilnehmern des Projektes berechnet wurde.

Abbildung 6 zeigt den Vergleich zwischen dem Mittelwert aller berechneten Ergebnisse (Rot) und dem von Modelica -Modell berechneten *Benchmark* (Blau). Hier sieht man eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse des Modelica - Modells mit dem Mittelwert der berechneten Ergebnisse.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein hygrothermisches Wandmodell wurde in der Modellierungssprache Modelica entwickelt. Dieses Modell berücksichtigt, den Wärme –Feuchte und Lufttransport innerhalb einer Wandkonstruktion. Dieses Wandmodell bildet mit den anderen im GENSIM entwickelten Gebäudeelementen (Fenstermodell, Luftmodell, Zonenmodell) die Modelica-Bibliothek „BuildingPhysicsLibrary“, welche zusammen mit dem Simulationswerkzeug MOSILAB hygrothermische Analysen für mehrzonige Gebäude erlaubt. Für die Validierung des hygrothermischen Wandmodells wurden *Benchmarks* aus dem HAMSTAD-Projekt gerechnet. Die Ergebnisse des Modelica-Modells stimmen gut überein mit den Ergebnissen der *Benchmarks* dieses Projektes

NOMENCLATUR

H	Gesamte Enthalpie [J/m^3]
H_t	Enthalpie des trockenen Baustoffes [J/m^3]
H_w	Enthalpie des feuchten Baustoffes [J/m^3]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
ρ_s	Rohdichte des trockenen Baustoffes [kg/m^3]
ρ_w	Rohdichte des Wassers [kg/m^3]
φ	Relative Feuchte [-]
w	Wassergehalt [kg/m^3]
P_{sat}	Sättigungsdampfdruck [Pa]
δ_p	Wasserdampfpermeabilität des Baustoffes [$kg/msPa$]
D_φ	Flüssigleitkoeffizient [kg/ms]
c_s	spezifische Wärmekapazität des Baustoffes [J/kgK]
c_w	spezifische Wärmekapazität des Wassers [J/kgK]
h_v	spezifische Verdunstungsenthalpie von Wasser [J/kg]
r_a	Dichte des Luftstroms [m^3/m^2s]
ρ_a	Luftdichte [kg/m^3]
c_a	spezifische Wärmekapazität der Luft [J/kg]

LITERATUR

- C. Hagentoff: 2002, HAMSTAD – WP2 Modelling, Version 4. Report R-02:8. Department of Building Physics, Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden.
- C. Nytsch-Geusen, T. Noudui, A. Holm, W. Haupt 2005: A hyrothermal building model based on the object-oriented modeling language Modelica. Proceedings of Building Simulation 2005, International Building Performance Simulation Association, Montreal, Canada
- C. Nytsch-Geusen, et. al. 2005: MOSILAB: Development of a Modelica based generic simulation tool supporting model structural dynamics. Proceedings of the 4th International Modelica Conference TU Hamburg-Harburg, 2, Germany
- A. Nordwig : 2003.: Integration von Sichten für die objektorientierte Modellierung hybrider Systeme. Dissertation, TU Berlin, Deutschland
- H Künzel. 1995: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, IRB Verlag

Modelica-Homepage : www.modelica.org.