

Grey-Box-Modellierung des thermischen Verhaltens von Typgebäuden

Themenbereiche Energie in Gebäuden / Modellierung

Evelyn SPERBER¹⁽¹⁾

⁽¹⁾Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik

Motivation und zentrale Fragestellung

Mit zunehmender Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien wird es notwendig, das Energiesystem zu flexibilisieren, um Erzeugung und Verbrauch in Einklang zu halten. Wärmepumpen stellen eine interessante Option für die Flexibilisierung dar, da aufgrund der thermischen Gebäudeträgheit die Stromnachfrage vom Wärmebedarf entkoppelt werden kann. Um das Lastmanagementpotential von Wärmepumpen systemanalytisch bewerten zu können, ist ein Verständnis des thermischen Verhaltens von Gebäuden auf variierende Heizsignale essentiell. Bestehende Gebäude-Simulationstools sind meist zu komplex, um in Energiesystemmodelle eingebunden zu werden. Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, wie das thermische Gebäudeverhalten am Fallbeispiel des deutschen Wohngebäudebestandes möglichst einfach und hinreichend genau in Energiesystemmodellen abgebildet werden kann.

Methodische Vorgangsweise

Zur Modellierung des thermischen Gebäudeverhaltens wird ein Grey-Box-Ansatz verfolgt. Dabei wird ein physikalisch interpretierbares Zustandsraummodell des dynamischen Gebäudesystemverhaltens erstellt, dessen Parameter mit Hilfe von Messdaten geschätzt werden. Die Grey-Box-Modellierung ist ein etabliertes Verfahren im Bereich der modellprädiktiven Regelung von Gebäuden [1][2], dessen breite Anwendung auf möglichst repräsentative Gebäudetypen zwecks Bestimmung des aggregierten Verhaltens des deutschen Gebäudebestandes noch aussteht.

Die Formulierung der reduzierten Grey-Box-Modelle erfolgt analog zu elektrischen Netzwerken, wobei die thermischen Gebäudekomponenten als pauschale Widerstände (R) und Kapazitäten (C) abgebildet werden. Als zentrale Quelle für die bauliche und energetische Charakterisierung repräsentativer Wohngebäude wird die deutsche Gebäudetypologie [3] herangezogen. Da Messdaten für diese repräsentativen Gebäudetypen nicht vorliegen, werden sie auf Basis komplexer physikalischer Gebäudemodelle mit der Simulationssoftware TRNSYS geschätzt. Hierzu werden die Angaben der Gebäudetypologie zu Konstruktionsweisen, Geometrie etc. der Typgebäude in TRNSYS überführt und Simulationen zum Gebäudeverhalten in Abhängigkeit der Heizleistung und des Wetters durchgeführt.

Die Parameterschätzung für die Grey-Box-Modelle jedes Gebäudetyps erfolgt mittels der Maximum Likelihood Methode. Gestartet wird jeweils mit dem einfachsten Modell mit einem R und einem C. Die Modellgüte wird anhand einer Analyse der Prädiktion, der Residuen und diverser Kennzahlen evaluiert. Das Modell wird solange sukzessive erweitert, bis sich die Modellgüte nicht mehr signifikant verbessert.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Abbildung 1 zeigt exemplarisch für das Typgebäude J (Bauperiode 2002-2009) die Vorhersage des Gebäudeverhaltens eines geschätzten Grey-Box-Modells mit drei Widerständen und zwei Kapazitäten. Im oberen Teil der Abbildung wird der Innentemperaturverlauf nach TRNSYS dem für die nächsten 24 h vorhergesagten Innentemperaturverlauf nach dem Grey-Box-Modell für eine Periode von fünf Wintertagen gegenübergestellt. Die für die Modellvalidierung genutzten Inputdaten (Außentemperatur, Heizleistung und Solarstrahlung) sind darunter dargestellt. Wie ersichtlich ist, wird der Temperaturverlauf bei Nacht bereits gut getroffen. Bei Tag unterschätzt das Grey-Box-Modell die Innentemperatur jedoch systematisch, weswegen die Modellformulierung weiter angepasst werden muss. Der Root Mean Square Error (RMSE) liegt im gezeigten Beispiel bei 1,3 °C.

¹ Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, +49 711 6862 8145, evelyn.sperber@dlr.de, www.dlr.de/tt

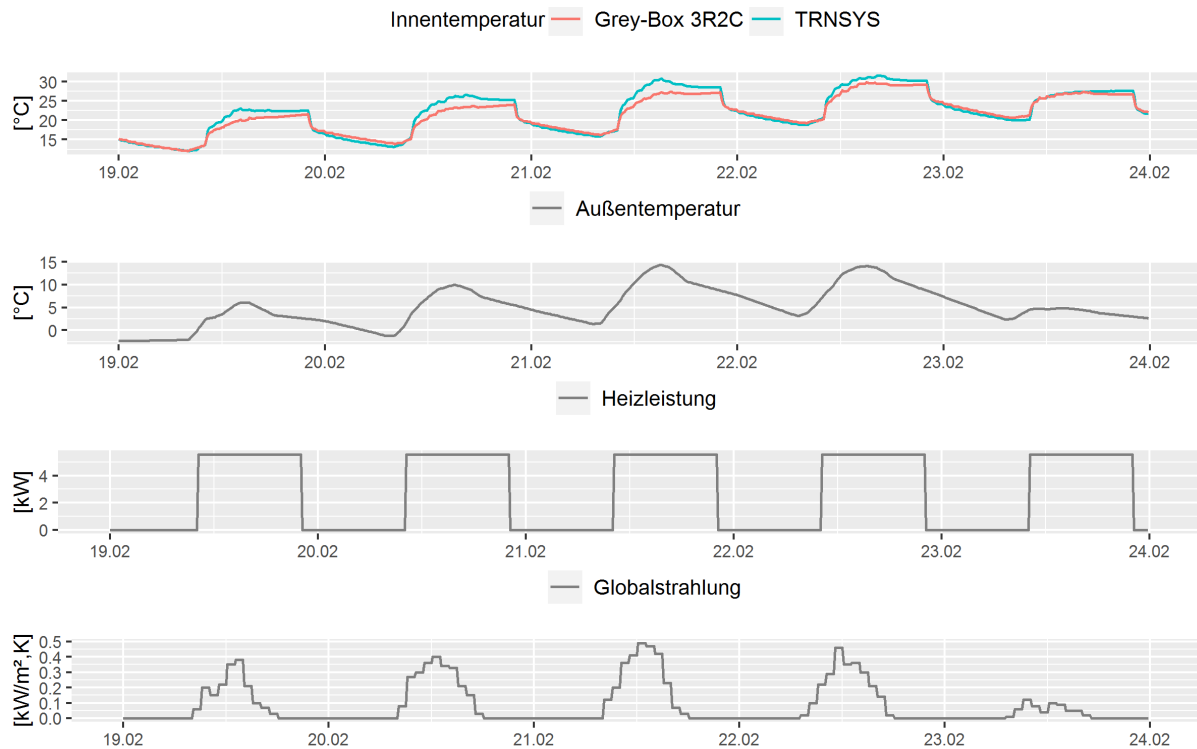


Abbildung 1: oben: 24h-Vorhersage der Innenraumtemperatur nach Grey-Box-Modell (rot) gegenüber der TRNSYS-Referenz (türkis); darunter: Inputdaten; Typgebäude J

Die bisher durchgeführten Modellschätzungen zeigen eine zufriedenstellende Prädiktion des thermischen Gebäudeverhaltens mit Grey-Box-Modellen. Gegenüber den Ergebnissen komplexer und rechenintensiver Gebäudesimulationen mit TRNSYS verbleiben zwar einige Diskrepanzen, insbesondere in Bezug auf die solaren Gewinne. Diese können jedoch zugunsten der einfachen Einbindung von Grey-Box-Modellen in komplexe und landesweite Energiesystemmodelle in Kauf genommen werden.

Literatur

- [1] P. Bacher, H. Madsen, Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings, *Energy and Buildings*. 43 (2011) 1511–1522.
- [2] H. Harb, N. Boyanov, L. Hernandez, R. Streblov, D. Müller, Development and validation of grey-box models for forecasting the thermal response of occupied buildings, *Energy and Buildings*. 117 (2016) 199–207.
- [3] T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach, R. Born, *Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*, Institut Wohnen und Umwelt, 2015.