

Raummodell für ein prädiktives Energiemanagement im Gebäude

Zu den energie- und klimapolitischen Zielen der Bundesregierung zählt die Realisierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands in Deutschland bis zum Jahr 2050. Kernpunkte der Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) sind die Erhöhung der Energieeffizienz und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien im Gebäudesektor^[1]. Im Jahr 2015 verursachten Gebäude etwa 35 % des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs^[2]. Hierbei ist die Raumwärme besonders hervorzuheben. In Wohngebäuden wurden im Jahr 2015 etwa 81 % (436 TWh) der Endenergie für das Heizen aufgewendet^[3]. Diese kurze Analyse zeigt, dass Effizienzmaßnahmen im Gebäudesektor großes Einsparpotential bieten.

Energiemanagement im Gebäude

Neben der Steigerung der Energieeffizienz der Gebäudehülle sowie technischer Anlagen spielen auch intelligente Betriebsführungsstrategien eine zunehmend wichtige Rolle. Im Rahmen des Projekts „InnoProSys: Technologietransfer innovativer Produkte und Systeme in der Energie- und

Gebäudetechnik“ beschäftigt sich die Arbeitsgruppe Last- und Energiemanagement für Gebäude mit effizienten Gebäudetechnikkonzepten. Optimierte Regelstrategien für Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung (wie z. B. Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerke) in Kombination mit thermischen Speichern können eine Reduzierung des Energiebedarfs bewirken. Zudem können sie zu einer Flexibilisierung des Stromverbrauchs oder der Stromerzeugung führen, was die Integration erneuerbarer Energien fördert. Neben ökologischen und ökonomischen Aspekten ist im Gebäudebereich insbesondere der Raumkomfort von entscheidender Bedeutung. Daher ist sowohl die Berücksichtigung der Anlagentechnik als auch die Betrachtung des Gebäudes für ein ganzheitliches Energie- und Lastmanagement erforderlich.

Raummodell

Da für die Anwendung modellbasierter Betriebsführungsstrategien im Gebäudebereich, wie modellprädiktiver Regelungen, ein Modell zur Berechnung des dynamischen Verhaltens des Gebäudes unabdingbar ist,

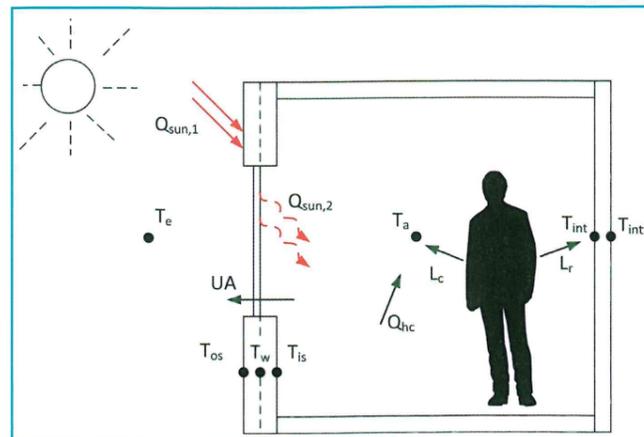


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Raumes mit Temperaturen und externen sowie internen Einflussgrößen.

wurde im Rahmen des Projekts InnoProSys ein vereinfachtes Raummodell für eine thermische Zone in der Software MATLAB^[4] entwickelt. Das RC-Modell dritter Ordnung ist in Abbildung 1 dargestellt. Bei diesem Modell werden die physikalischen Zusammenhänge in Analogie zur Elektrotechnik mittels thermischer Widerstände und Kapazitäten abgebildet. Die im Modell verwendeten Parameter berücksichtigen bauphysikalische Eigenschaften des Gebäudes, wie die Geometrie und den Wandaufbau (Material, Dicke der Schichten). Zunächst wurde ein vereinfachtes 2-Kapazitäten-Modell nach

Kämpf und Robinson in MATLAB umgesetzt^[5]. Dieses Modell hat eine thermische Speicherkapazität für die Gebäudemasse von asymmetrisch beaufschlagten Bauteilen und eine Kapazität für die Raumluft und interne Massen (z.B. Möbel). Zu den asymmetrisch beaufschlagten Bauteilen zählen bspw. Außenwände, da sich hier die Temperatur an der Innenseite unterscheidet. Symmetrisch beaufschlagte Bauteile weisen ein adiabates Wandverhalten auf, hierunter fallen z.B. Innenwände, die an einen gleich temperierten Nachbarraum grenzen.

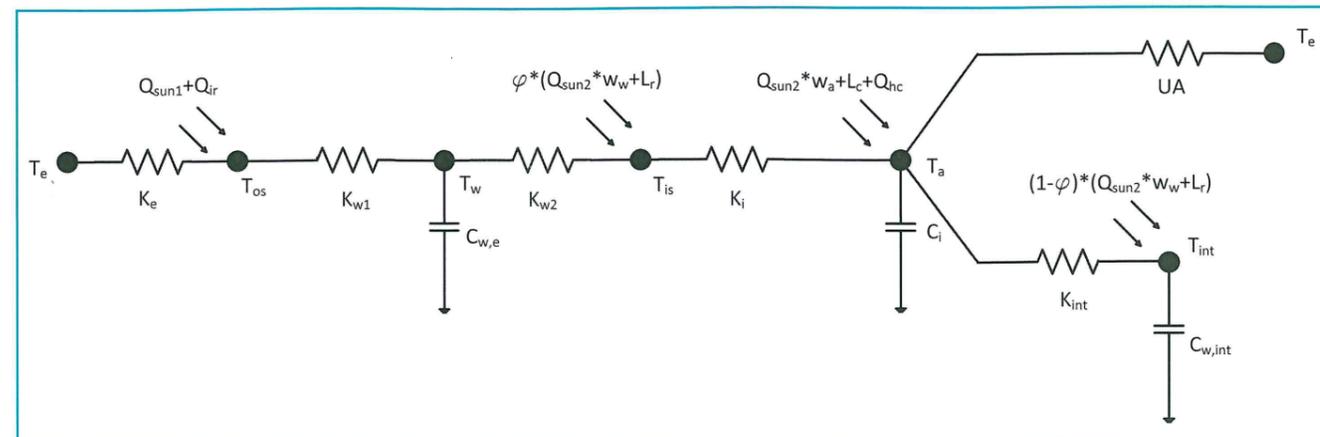


Abbildung 1: Thermisches Modell als äquivalentes RC-Modell dritter Ordnung.

Um auch symmetrisch beaufschlagte Bauteile wie in der VDI Richtlinie 6007^[6] zu berücksichtigen wurde das 2-Kapazitäten-Modell nach Kämpf und Robinson um eine dritte Kapazität erweitert.

Der thermische Bedarf eines Gebäudes hängt von dessen bauphysikalischen Eigenschaften, den Wetterverhältnissen sowie dem Nutzerverhalten ab (Abbildung 2). Als externe Einflussgrößen auf die Raumtemperatur (T_a) und die Heiz- bzw. Kühllast (Q_{hc}) eines Raumes werden im Modell die Außentemperatur (T_e) sowie die solare Einstrahlung berücksichtigt. Bei der solaren Einstrahlung wird zwischen der Einstrahlung auf opake Außenwände ($Q_{sun,1}$) und der durch die Fenster in den Raum einfallenden Strahlung ($Q_{sun,2}$) unterschieden. Innerhalb des Raums wirken interne strahlende und konvektive Lasten (L_r und L_c). Beispielsweise geben Bewohner und auch

technische Geräte, wie Computer, Wärme an den Raum ab. Der Wärmetransport wird durch die einzelnen Wärmeleitwiderstände abgebildet. Dabei stellen K_e , K_i und K_{int} den Wärmetransport zwischen den Wandoberflächen und der Außen- oder Raumluft dar (Konvektion und Strahlung). Die Parameter $K_{w,1}$ und $K_{w,2}$ beschreiben den Wärmetransport in der Außenwand (Wärmeleitung). Die Transmissionsverluste durch Fenster und Lüftung werden über den Parameter UA abgebildet. Die Trägheit im System wird durch die Speichermassen verursacht. Hierbei wird die thermische Masse der Außenwände bzw. der Innenwände mit der Kapazität $C_{w,e}$ bzw. mit $C_{w,int}$ beschrieben, C_i ist die Speicherkapazität der Raumluft. Für jede Speicherkapazität wird eine Differentialgleichung erster Ordnung formuliert, da die Energie, die gespeichert werden kann, von der zeitlichen Änderung der Temperatur abhängt.

Als Eingabewert des Modells kann entweder die Sollraumtemperatur oder die thermische Leistung übergeben werden. Dementsprechend wird dann die erforderliche Heiz- bzw. Kühllast zur Erreichung einer gewünschten Raumtemperatur berechnet oder die sich einstellende Raumtemperatur bei einer vorgegebenen Heiz-/Kühllast ermittelt.

Das vereinfachte 3-Kapazitäten-Modell wurde anhand von Beispielen aus der VDI Richtlinie 6007 für den Typraum 5 (schwere Bauweise) getestet und mit den Ergebnissen am ersten, zehnten und sechzigsten Tag verglichen. Im Folgenden wird Beispiel 6 der VDI Richtlinie näher betrachtet (Abbildung 3), da hier ein Sprung der Raumlufttemperatur vorgegeben wird, was einer üblichen Steuerung für Heizungsanlagen entspricht. Von Stunde 6 auf 7 wird die Raumlufttemperatur von 22°C auf 27°C erhöht und

von Stunde 18 auf 19 wieder um 5 K abgesenkt. Des Weiteren wird eine konstante strahlende innere Wärmequelle vorgegeben, solare Einstrahlung tritt nicht auf. Die mit dem 3-Kapazitätenmodell berechneten Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Referenzwerten der Richtlinie. Der Tagesmittelwert der stündlichen Abweichung ist für Tag 10 am höchsten und beträgt ca. 23,8 Watt. Eine auffällige Abweichung tritt jedoch zu Beginn der Aufheiz- und der Abkühlphase auf. In Stunde 7 ist die berechnete Heizlast um 27 % größer als die Referenzlast und in Stunde 19 ist die berechnete Kühllast um 7 % größer als der Referenzwert. Der erhöhte Heiz- bzw. Kühllastbedarf lässt sich auf die thermische Speicherkapazität der Raumluft zurückführen. Zur Verdeutlichung wird das entwickelte 3-Kapazitäten-Modell mit und ohne Speicherkapazität der Raumluft für Beispiel 6 an Tag

**Schnell, schlank, wirtschaftlich
- die HOLORIB® Verbunddecke**

www.holorib.de

Montana Bausysteme AG
CH - 5612 Villmergen
Tel. + 41 56 619 85 85
info@montana-ag.ch