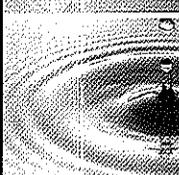
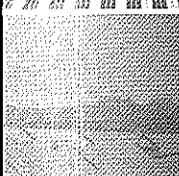
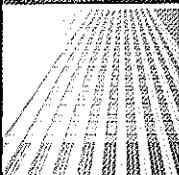
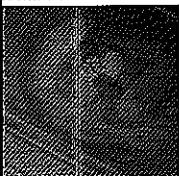


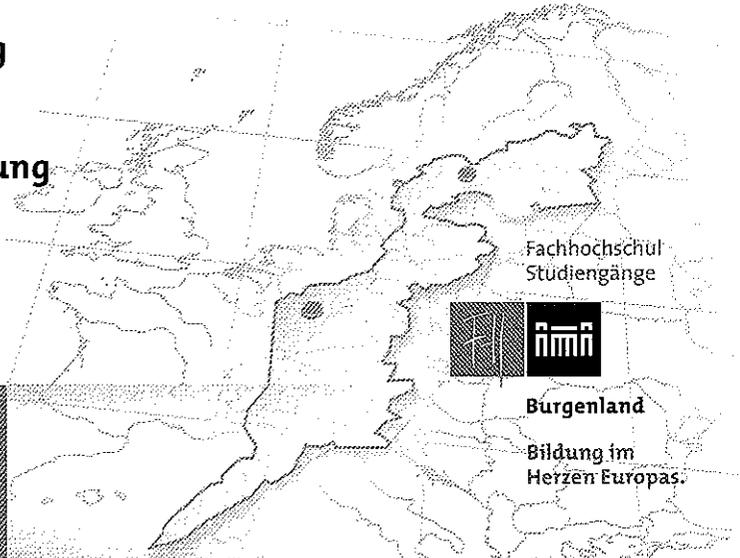
Wien	3
Eisenstadt	4
Pinakfeld	15
Budapest	289



11. - 12. November 2010
e-nova[®]
 Internationaler
 KONGRESS 2010

Nachhaltige Gebäude

Planung
 Betrieb
 Bewertung



Fachhochschul
 Studiengänge



Burgenland

Bildung im
 Herzen Europas.

www.fh-burgenland.at/enova2010



e.nova®

Internationaler KONGRESS 2010

Nachhaltige Gebäude

Planung – Betrieb – Bewertung

11. und 12. November 2010

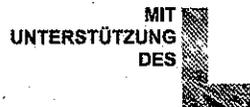
BAND 14

gefördert durch:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umweltschutz und Wasserwirtschaft
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie



lebensministerium.at



Herausgeber und Verleger: Fachhochschulstudiengänge Burgenland Ges.m.b.H.
Forschungs- und Studienzentrum Pinkafeld
Kernkompetenzbereich Energie- und Umweltmanagement
Steinamangerstraße 21
A-7423 Pinkafeld
www.fh-burgenland.at

Wissenschaftlicher Beirat: Arne Ragoßnig
Dušan Petráš
Michael Paula

Redaktion Tagungsband: Hildegard Gremmel-Simon

Hersteller und Druck: Gröbner Druckgesellschaft m.b.H.
Steinamangererstraße 161
A-7400 Oberwart

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung vorbehalten.

Die Beiträge der Autoren wurden unverändert in der zur Verfügung gestellten Fassung veröffentlicht.

Der internationale Kongress e-nova 2010 wurde gefördert mit Mitteln vom

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umweltschutz und Wasserwirtschaft
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

The Role of Sustainable Buildings in 100% Renewable Energy Systems (Lund / Aalborg University / DK).....	1
Kombination von Top-Down und Bottom-Up Ansätzen zur LCC-Berechnung (Schrag, Stocker, Koch / FH Kufstein / AT).....	9
Planungsunterstützende Lebenszykluskostenanalyse für nachhaltige Gebäude (Hofer / e7 Energie Markt Analyse GmbH / AT) (Herzog / M.O.O.CON GmbH / AT).....	17
Genormte Nachhaltigkeit? (Passer, Kreiner, Cresnik, Maydl / TU Graz / AT).....	25
Green Building – Nachhaltiges Bauen (Kranzl / Dr. Pfeiler ZT GmbH / AT).....	35
Integrale Lebenszyklusplanung samt Nachhaltigkeitszertifikat: ÖGNI/DGNB (Merl / PE CEE GmbH / AT).....	41
TQB - Der österreichische Gebäudebewertungsstandard für nachhaltige Gebäude (Lipp, Fellner / IBO / AT) (Lechner / Österreichisches Ökologie-Institut / AT).....	49
Using Simulation for Optimized Building Operation (Zucker, Hettfleisch / AIT - Austrian Institute of Technology / AT).....	57
Vereinfachte thermische Modelle - Grundlage für Lastverschiebung bei Gebäuden (Pollhammer, Kupzog / TU Wien / AT).....	63
Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden durch adaptive Regloptimierung (Heiser, Miehe, Volkmar / Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften / DE).....	71
Innovative Fassadensysteme (Gollner / FH JOANNEUM Gesellschaft mbH / AT).....	79
PCM integrated in building walls: experiments and numerical modelling (Kuznik / Thermal Sciences Center of Lyon / FR).....	93



Energetische Einsparpotentiale durch Gebäudekühlung mit Phase Change Materials (PCM)s <i>(Schmid / Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. / DE)</i>	101
Einsatz von Latentspeichern in Heizungs- und Solaranlagen <i>(Streicher / Universität Innsbruck / AT)</i> <i>(Heinz, Schranzhofer / TU Graz / AT)</i>	113
Impact of the proportion of glazing surface on energy efficiency of prefabricated timber-frame houses <i>(Žegarac Leskovar, Premrov / University of Maribor / SI)</i>	121
Small and simple is enough and beautiful, building service engineering in a Passivhaus <i>(Bretzke / Hochschule Biberach / DE)</i>	129
Energy Monitoring of HVAC- Systems in Elementary school <i>(Pustayová, Petráš, Mišči / The Slovak University of Technology / SK)</i>	137
Monitoring and Management of a renewable energy system with hydrogen using a Building Automation System <i>(Baumann, Boggasch / Ostfalia University of Applied Sciences / DE)</i>	143
Life Cycle Assessment von Gebäudehüllen während der Planungsphase <i>(Wartha / FHS Burgenland GmbH / AT)</i>	153
Assessment of Building and Construction (ABC)-Disposal - Masszahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung <i>(Mötzl, Lipp / Österreichisches Institut für Baubiologie / AT)</i> <i>(Pladerer / Österreichisches Ökologie-Institut / AT)</i>	157
Vergleichende Lebenszyklusanalyse unterschiedlicher Haustechniksysteme mittels Excel-Tool und GEMIS® <i>(Holzer / Donau-Universität Krems / AT)</i>	165
Energieeffizienter Industriebau als integrales Konzept <i>(Kovacic / TU Wien / AT)</i>	175
ECR Energy City Graz-Reininghaus <i>(Ernst, Hofbauer, Mach / TU Graz / AT)</i>	183
Evaluation of thermal environment in offices operated by low-exergy systems <i>(Đurišová, Petráš / The Slovak University of Technology / SK)</i>	189



101	Evaluation of Solar Cooling with Absorption Chillers & Radiant Cooling (Ashkan Babaie / Sharif University of Technology / IR) (Amir Falahatkar / Islamic Azad University / IR).....	193
113	Building Energy Efficiency & Urban Texture: A Case Study of Dhaka City (Moushumi Ahmed / ENstudio / BD) (Tarek Haider / Department of Architecture / BD).....	197
121	Evaluating Milestones of Energy Efficiency in Traditional Iranian Buildings (Mahdavi Tabatabaei Fard, Nassehzadeh Tabriz, Mahdavi Tabatabaei / Tabriz / IR).....	201
129	Nachhaltigkeit für umweltfreundliche Veränderung in der Gebäudewirtschaft (Gall, Gall / effizientmitgebäude OG / AT).....	207
137	Qualitätsoptimierung durch Nutzerzufriedenheit (Leindecker / FH OÖ Studienbetriebs GmbH / AT).....	215
153	Kostentreiber – Instandhaltung: eine empirische Analyse von Instandhaltungskosten (Koch, Stocker, Schrag / FH Kufstein Tirol / AT).....	221
165	Evaluating Sustainable Ventilation Elements in Traditional Iranian Buildings (Nassehzadeh Tabriz, Mahdavi Tabatabaei Fard, Hassani Mehr / Islamic Azad University / IR).....	225

Vereinfachte thermische Modelle - Grundlage für Lastverschiebung bei Gebäuden

K. Pollhammer, F. Kupzog

Institut für Computertechnik - TU Wien, 1040 Wien, Österreich

ABSTRACT: The integration of renewable energy sources lead to structural changes of the power grids from strongly hierarchical to a more distributed form through the integration of renewables. The tendency of renewables to have strong fluctuations in their generation footprint implies the need of storing energy to guarantee and increase the stability of the power grid. Due to the difficulties in effectively storing electrical energy various solutions can be investigated. The technique of so-called Demand-Side-Storages implies the activation of a great number of different objects that are able to store an amount of energy. One possibility to implement Demand-Side-Storages is by using the mechanisms of load reduction and load shifting. Functional buildings like office buildings with installed building automation systems for controlling the heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) devices are one possibility to implement Demand-Side-Storages. By switching off the HVAC devices of a building the electric demand of the building can be reduced. The idea is that the users of the buildings do not mention the intervention. By using the buildings inside thermal capacity (in insulated buildings the temperature tends to stay constant) it is possible to store energy by altering the points of time for activation and deactivation. The project BED (Balancing Energy Demand with Buildings) researches the possibilities how a building can be activated as Demand-Side-Storage for the power grid. The main requirement is to ensure the continuous comfort of the users. Therefore the building automation system has to be able to decide if the building can be used as storage in a specific situation or not. For this decision the building automation system needs a model of the thermal situation inside the building and an idea how the building will behave in the future. With this model and measured values for inside and outside temperature the building automation system should be able to predict development of the inside temperature and dependent on this simulation a decision can be made. Conventional thermal simulations for buildings are time-consuming and of high computational complexity and therefore simpler models have to be found. One possibility for implementing a behavioral model of the building is by using an analogy of electrical engineering. Following this approach the different temperature values, thermal capacities and resistances are translated into the electrical domain. Based on this analogy it is possible to derive a less complex system of linear differential equations. Although less accurate, these equations can be used for a short-time prognosis of the temperature values. The model can not only be used for modeling the building-structure but also for including active temperature sources like HVAC devices. In addition to the ability of building automation systems to activate the devices inside a building and communicate with the outside, the simplified model helps to activate functional buildings as thermal storages for the power grid.

KURZFASSUNG: Zweckbauten können in Zukunft eine wichtige Rolle als aktive Knoten für die Energienetze übernehmen. Die Aktivierung der thermischen Kapazität großvolumiger Bauten kann neue Möglichkeiten zur Verschiebung von Verbrauchslasten ermöglichen. Eine besondere Rolle spielt dabei die in funktionalen Gebäuden meist vorhandene Gebäudeautomation. Damit ist es möglich, das Verschiebepotential dieser verbrauchsintensiveren Komponenten zu aktivieren. Dazu ist es jedoch für das Gebäudemanagementsystem notwendig, einschätzen zu können, ob eine Lastverschiebung ohne einen Komfortverlust möglich ist. Da thermische Simulationsmodelle auf Grund ihrer Komplexität für eine schnelle Entscheidungsfindung un-

geeignet sind, wurde im Projekt BED (Balancing Energy Demand with Buildings) ein vereinfachtes thermisches Modell entwickelt. Damit ist eine Prognose des thermischen Verhaltens des Gebäudes in einem kurzen Zeitrahmen möglich. Darauf basierend wird entschieden, ob die thermische Kapazität des Gebäudes als Speicher zur Verfügung gestellt werden kann.

1. EINLEITUNG

Die stärkere Verbreitung von verteilter Energieerzeugung durch erneuerbare Energiequellen einerseits und dem stetig anwachsenden Energieverbrauch andererseits führt auf Seiten der Energieerzeugung und -verteilung zu neuen Herausforderungen. Das Energienetz, als streng hierarchische, baumartige Einheit zur Energieverteilung von zentralen Erzeugern zu verteilten Verbrauchern geplant, muss mit der gänzlich neuartigen Situation umzugehen lernen, dass nun verteilte Erzeugungseinheiten an beinahe jeder Stelle einspeisen können. Der bisherige Ansatz der Energieversorgung bei einer Überlastung zu reagieren beinhaltete rein die Beeinflussung auf der Erzeugerseite. Auf Grund dieser Situation musste zur Garantierung der Stabilität stets dafür gesorgt werden, dass die erzeugte elektrische Energie zu jedem Zeitpunkt dem Verbrauch entsprach. Die sehr eingeschränkte Realisierbarkeit von elektrischen Energiespeichern trug ebenfalls zu keinerlei Vereinfachung bei, da dadurch nur sehr eingeschränkt Reserven angelegt werden können.

Eine wichtige Rolle zur Vereinfachung der Koordination und der Steuerung der Erzeugungseinheiten in der Energieinfrastruktur spielt die Miteinbeziehung von Kommunikationsverbindungen über die Mess- und Kontrolldaten ausgetauscht werden können. Erst durch die Miteinbeziehung der IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) in die Energieinfrastruktur werden neuartige Konzepte zur Erhaltung der Versorgungsstabilität und Sicherheit erst möglich. Dabei ist die Kommunikation allerdings nicht auf die Erzeugerseite beschränkt, sondern es ist möglich auch die Seite der Energieverbraucher mit einzubeziehen, wodurch neue Freiheiten in der Stabilitäts- und Sicherheitserhaltung entstehen. Mit diesen neuen Freiheiten ist beispielsweise die direkte Beeinflussung der Verbraucherseite, das so genannte „Demand-Side-Management“, möglich, wodurch auf einen Energieengpass nicht nur durch eine Erhöhung der Erzeugung, sondern eine Verringerung des Verbrauchs reagiert werden kann.

Auch bisher schwer zu realisierende Konzepte wie die Energiespeicherung lassen sich durch die Einbeziehung der Verbraucherseite auf neuartige Weise realisieren. Im Projekt BED (Balancing Energy Demand with Buildings) soll ein Ansatz entwickelt werden, wie speziell großvolumige, funktionale Gebäude als kurzzeitige Energiespeicher für das Energienetz fungieren können. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die, in Gebäuden dieser Art weitgehend vorhandene, Gewerke aus dem Bereich der Heizung-, Lüftung- und Klimatechnik.

2. GEBÄUDE ALS THERMISCHE SPEICHER

Speicherung von elektrischer Energie erfolgt, auch bei etablierten Konzepten, vor allem dadurch, dass überschüssige elektrische Energie mit einer möglichst hohen Effizienz in eine andere Energieform umgewandelt wird in der sie möglichst verlustarm gespeichert werden kann um bei Gebrauch wieder rückgewandelt zu werden. Die Speicherformen unterscheiden sich wie die verwendeten Energieformen und reichen von Pumpspeicherkraftwerken (potentielle Energie) über Schwungräder (kinetische Energie) zu Konzepten welche Akkumulatoren und die Aufspaltung von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff (Speicherung in chemischen Prozessen) vorsehen.

Aber auch die Speicherung in thermischen Prozessen ist durchaus vorstellbar. Kupzog (2008) widmet sich der Umsetzung einer Frequenzregelung mit Hilfe von Lastmanagement durch die Einführung verteilter Speicher. Bei diesem Konzept werden die (im Vergleich zum elektri-



schen Netz) sehr hohen thermischen Zeitkonstanten innerhalb von verschiedenen Objekten ausgenutzt. Wichtig um für die Verwendung als elektrischer Energiespeicher geeignet zu sein ist, dass einerseits die Temperatur innerhalb des Objektes mit Hilfe eines elektrischen Verbrauchers (Heizung, Klimaanlage, Wärmepumpe) beeinflussbar ist und andererseits, dass die innerhalb des Objektes hervorgerufene Temperatur einige Zeit über gehalten werden kann, auch wenn keinerlei Beeinflussung stattfindet, die Abgrenzung zur Umgebung also eine isolierende Wirkung aufweist. Zusätzlich zu diesen Eigenschaften muss ein Objekt, das als thermischer Speicher genutzt werden soll, auch die Fähigkeit aufweisen, dass Signale zur Steuerung und Kontrolle der Speicherfähigkeit von der Außenwelt aufgenommen werden können. Erst durch die Fähigkeit zur Kommunikation (zumindest in unidirektionaler Weise) können die thermischen Fähigkeiten unterschiedlicher Objekte als Demand-Side-Speicher genutzt werden können. Laut (Stadler, 2004) beläuft sich die mögliche Speicherleistung durch so genannte virtuelle Energiespeicher für Deutschland auf 38,43 GWh, wobei alleine 26,3 GWh durch Kreislaufpumpen (5 GWh) bzw. Ventilation (21,3 GWh) in Gebäuden erreichbar ist.

Eine wichtige Anmerkung in Bezug auf thermische Demand-Side-Speicher ist, dass ihr Einsatz immer nur für kurze Zeitperioden rund um einen internen Arbeitspunkt geeignet ist und andererseits durch ihren Einsatz in erster Näherung keine Energieersparnis möglich ist. Durch die Demand-Side-Speicherung kann kurzzeitig der Zeitpunkt des Energieverbrauchs verschoben werden, entweder durch verfrühtes Einschalten des Verbrauchers oder durch die Verzögerung des Einschaltens. Da der zur Speicherung genutzte interne Systemparameter (meist die Innentemperatur) sich nicht zu weit von seinem eigentlichen Arbeitspunkt entfernen sollte können thermische Demand-Side-Speicher vor allem zur kurzzeitigen Pufferung genutzt werden.

Dadurch, dass Demand-Side-Speicher eine zeitlich eingeschränkte Speicherfähigkeit haben, ist es für den Einsatz notwendig, dass mehrerer Speichereinheiten koordiniert Verwendung finden. Dadurch ist es möglich durch gleichzeitiges Aktivieren aller Speicher entweder kurzzeitig eine sehr hohe Speicherleistung zu erlangen oder durch sequentielle Aktivierung der Speicher eine kleinere Speicherleistung auf längere Zeit zu erhalten. Eine übersichtliche Arbeit zu verteilten Speichern und in welcher Aktivierungssequenzen umsetzbar sind bietet (Kupzog et al. 2007).

3. VEREINFACHTE GEBÄUDEMODELLE ZUR ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

Wie bereits erwähnt eignen sich verschiedene Objekte zum Einsatz als thermischer Demand-Side-Speicher, wobei eines der Grundprobleme die Kommunikation ist. Verschiedene Konzepte wurden bereits vorgestellt, so wird in (Kupzog 2008) ein Ansatz vorgestellt, wie Kühl-schränke als Demand-Side-Speicher eingesetzt werden können. Das Projekt BED versucht diese Konzepte auf eine neue Ebene zu bringen. Dabei soll untersucht werden inwieweit es möglich ist Gebäude als thermische Energiespeicher zu verwenden. Eine Schlüsselrolle bei diesem Ansatz spielen bereits vorhandene Systeme zur Beeinflussung der thermischen Eigenschaften des Gebäudes, genaugenommen unterschiedliche Gebäudeautomationssysteme und Systeme aus dem Bereich Heizung-, Lüftung und Klimatechnik. (Kupzog & Pollhammer 2009) gibt einen Überblick über die, von verschiedenen Systemen zur Gebäudeautomation bereits umgesetzten Funktionalitäten, welche Energie-Verbrauchs-Management der verbundenen Knoten ermöglichen können.

Gängige Gebäudeautomationssysteme bieten zusätzlich zu ihren primären Funktionen wie das steuern und überwachen einzelnen Gewerke auch die Möglichkeit der Kommunikation mit der Außenwelt. Dadurch können diese Systeme als Schnittstelle zwischen den Gewerken innerhalb des Gebäudes und einer zentralen Kontroll- oder Informationseinheit, die beispielsweise Informationen über die momentanen Anforderungen an verteilte Speicher aussenden könnte. Für das Projekt BED wird davon ausgegangen, dass diese Informationen zur Verfü-



gung gestellt werden, wobei nebensächlich ist wie dies genau spezifiziert ist. Wichtig ist, dass davon ausgegangen wird, dass die zu entwickelte Methodik für verschiedene Systeme umsetzbar ist. Frühere Ansätze zur Umsetzung von Demand-Side-Speichern gingen davon aus, dass eine zentrale Einheit mit vielen kleinen Einheiten wie beispielsweise Kühlschränke kommuniziert und diese dann entweder als Speicher aktiviert oder nicht. Der Ansatz mit dem Gebäudeautomationssystem würde auf Grund der im System vorhandenen Rechenleistung ermöglichen, dass relativ komplexe Anweisungen ermöglicht werden, ohne dass die für die Energieinfrastruktur vorhandenen Stellen sich um die konkrete Implementation der dazu notwendigen Maßnahmen kümmern zu müssen. Das Gebäudeautomationssystem fungiert in diesem Szenario als abstrakte Kommunikationsebene zwischen den einzelnen Geräten und dem Stromnetz.

Auf Grund dieser Vorgabe wird innerhalb des Projektes BED der Fokus auf großvolumige funktionale Nichtwohn-Gebäude gelegt, da in diesen durch ihre Größe, eine sehr hohe thermische Speicherfähigkeit und Trägheit vorhanden ist. Andererseits ist gerade in funktionalen Gebäuden eine hohe Verbreitung von zentralen oder verteilten Systemen zur Steuerung der unterschiedlichen Gewerke zu finden.

Als physikalische Größe, deren Eigenschaft zur Speicherung genutzt werden soll, soll die Innenraumtemperatur des Gebäudes genutzt werden. Diese wird normalerweise in großen Zweckbauten wie Bürogebäuden während der Arbeitszeit durch eine Kombination aus Heiz-, Kühl- und Lüftungselementen auf ein bestimmtes Niveau geregelt. Dieses Niveau muss laut Deutscher Industrie Norm zur Lüftung von Nichtwohngebäuden (DIN EN 13779) unabhängig von weiteren Einflussgrößen zwischen 22 und 26 °C reguliert werden um einen Bereich größter Komforts für Arbeitsplätze einhalten zu können. Eine zusätzliche Vorgabe ist, dass die relative Luftfeuchtigkeit in einem Arbeitsbereich immer zwischen 35 und 70% liegen muss. Innerhalb dieser Grenzen ist allerdings keinerlei Vorgabe festgelegt, es ist also Bewegungsspielraum vorhanden. Zusätzlich kann auch die Aussage getroffen werden, dass sehr kleine Temperaturänderungen von den Benutzern des Gebäudes nicht wahrgenommen werden, ein wichtiger Punkt, denn der Komfort der Benutzer soll durch die getroffenen Maßnahmen in keiner Weise beeinträchtigt werden.

Dieser Spielraum soll nun genutzt werden um Gebäude als Demand-Side-Speicher zu aktivieren, Wärmepumpen als primäre Einheiten des Systems sind energieintensive Geräte und daher prädestiniert für diese Zwecke. Um das zu ermöglichen muss das Steuerungssystem (welcher Art auch immer) eine Einschätzung darüber treffen können ob eine Ab- oder Zuschaltung des Systems möglich ist. Konkret ist die Entscheidung zu treffen ob sich die Innentemperatur des Gebäudes auch durch eine Abschaltung beispielsweise der Heizung im Winter auch weiterhin innerhalb der spezifizierten Grenzen befindet. Dafür ist die Fähigkeit den weiteren Verlauf vorherzusagen zu können notwendig.

Diese Prognosefähigkeit für Gebäudeautomationssysteme zu ermöglichen ist eine Kernaufgabe des Projektes BED. Dabei ist die Frage wie sich auf möglichst effiziente Art und Weise Vorhersagen über systeminterne Parameter wie die Innentemperatur abhängig von möglichst einfachen Messwerten realisierbar ist. Dies ist notwendig da detaillierte thermische Simulationen von Gebäuden zum Beispiel mittels spezieller Systeme wie TRNSYS innerhalb eines Gebäudeautomationssystems auf Grund ihrer Rechner nicht realisierbar sind. Zur Entwicklung vorhandene Parameter sind Informationen über Außentemperatur und Sonneneinstrahlung, verschiedene Innentemperaturwerte und Messwerte zu Stromverbrauch der einzelnen Verbraucher und der Luftfeuchtigkeit innerhalb eines Passivhaus-Bürogebäudes.

Der innerhalb des Projektes beschrittene Weg beinhaltet einen Ansatz, welcher auf einem vereinfachten physikalischen Modell des Gebäudes basiert. Dabei werden die einzelnen Größen und Eigenschaften in ein physikalisches Ersatzmodell aus der Elektrotechnik übertragen. Innerhalb dieses Modells werden die thermischen Kapazitäten der Räume als Kondensatoren aufgefasst, während die Temperaturübergänge innerhalb von Wänden als Widerstände aufgefasst werden. Die verschiedenen beeinflussenden Temperaturwerte sind als Spannungs-

quellen dargestellt. Ähnliche Ansätze zur vereinfachten Modellbildung werden in (Su et al. 2009) und (Hube 2004) vorgestellt.

In Abbildung 1 ist dargestellt wie ein Beispielgebäude in das entsprechende Ersatzmodell umgewandelt werden kann. Auch Systeme wie Heizungen oder Speicherelemente lassen sich auf diese Art und Weise in das Modell integrieren. Heizungen sind zusätzliche Spannungsquellen - Kühlaggregate wären ebenso zu interpretieren. Speicherelemente können als zuschaltbare Kondensatoren ebenfalls in das Modell aufgenommen werden. Das im Folgenden umgesetzte Modell geht von einem rein passiven Gebäude ohne aktive Elemente aus. Als zusätzliche Vereinfachungen wird im vorgestellten Beispiel davon ausgegangen, dass es nur zwei Typen von Wänden (Innen- und Außenwände) gibt und die Sonneneinstrahlung nur die südseitigen Räumen beeinflusst.

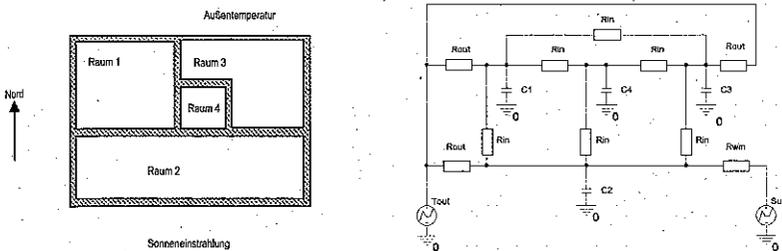


Abb. 1: Beispiel Für Umsetzung der Gebäudephysik in ein elektrisches Ersatzmodell

Durch die Umsetzung in das Ersatzmodell kann ein lineares Differentialgleichungssystem ersten Grades abgeleitet werden. Dieses besteht aus genau so vielen Gleichungen, wie das Modell Räume (oder aktive Elemente) enthält. Die Anzahl der Einflussparameter auf jede dieser Größen hängt von der Struktur des Gebäudes ab. Grundsätzlich ist zu sagen, dass die maximalen Dimensionen des Gleichungssystems die folgenden sind: Die Anzahl der maximalen Gleichungen entspricht den Raum-Innentemperaturen, welche zu betrachten sind. Die Anzahl der Einflussparameter entspricht der Anzahl der Räume zuzüglich weiterer in das System aufzunehmender Parameter wie die Außentemperatur oder Sonneneinstrahlung. Das in Abbildung 1 abgebildete System kann in folgendes Gleichungssystem umgesetzt werden:

$$\begin{aligned}
 C_1 \cdot \dot{T}_1 &= - \left(\frac{1}{R_{out}} + \frac{3}{R_{in}} \right) \cdot T_1 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_2 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_3 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_4 + \frac{1}{R_{out}} \cdot T_{out} \\
 C_2 \cdot \dot{T}_2 &= \frac{1}{R_{in}} \cdot T_1 - \left(\frac{1}{R_{out}} + \frac{3}{R_{in}} + \frac{1}{R_{win}} \right) \cdot T_2 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_3 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_4 + \frac{1}{R_{out}} \cdot T_{out} + \frac{1}{R_{win}} \cdot T_{sun} \\
 C_3 \cdot \dot{T}_3 &= \frac{1}{R_{in}} \cdot T_1 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_2 - \left(\frac{1}{R_{out}} + \frac{3}{R_{in}} \right) \cdot T_3 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_4 + \frac{1}{R_{out}} \cdot T_{out} \\
 C_4 \cdot \dot{T}_4 &= \frac{1}{R_{in}} \cdot T_1 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_2 + \frac{1}{R_{in}} \cdot T_3 - \left(\frac{3}{R_{in}} \right) \cdot T_4
 \end{aligned}$$

Zu erkennen ist, dass die einzelnen Faktoren konstant sind. Als alternative Darstellungsform kann eine Parametermatrix für das Gleichungssystem erstellt werden, welche die Faktoren für jede der möglichen Einflussgrößen in einer Spalte der Matrix ablegt. Gibt es keinen direkten Einfluss kann ist die jeweilige Spalte 0, so wäre z.B. im angegebenen Modell die Einflussgröße „Außentemperatur“ für die Raum 4 irrelevant und der entsprechende Faktor 0. Erste

Versuche zeigen, dass das vorgestellte Modell tendenziell ein Tiefpassverhalten aufweist und auf Änderung der Einflussgrößen (Außentemperaturen) mit einer verzögerten Anpassung der Innentemperaturen reagiert. Damit entspricht das Verhalten dem bei Gebäuden beobachtbaren bzw. simulierbaren Verhalten.

Wichtig für eine möglichst korrekte Vorhersage ist die Berechnung der Parameter mit Hilfe konkreter Messwerte. Diese Berechnung soll durch die Verwendung realer Messwerte für die Temperaturen erfolgen. Dabei werden die konkreten Temperaturwerte in die Gleichungen eingesetzt und die unbekannt Parameter bestimmt. Validiert soll diese Vorgangsweise durch einen Vergleich mit thermischen Simulationen des Gebäudes werden. Durch die komplexe thermische Parallelsimulation des zu untersuchenden Gebäudes soll im weiteren Verlauf des Projektes eine Abschätzung über die Qualität des Modells getroffen werden. Dabei soll untersucht werden, inwieweit die Vereinfachung möglich ist, wie weit die erhoffte Prognose möglich ist und wie das vorgestellte Konzept auch auf andere Gebäude angepasst werden kann.

4. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Es wurde gezeigt wie verhaltensgetreue Modelle der thermischen Eigenschaften eines Gebäudes zur Verhaltensmodellierung der thermischen Systemeigenschaften erstellt werden können. Mit Hilfe des vorgestellten Modells kann, verglichen mit komplexen Simulationen, auch innerhalb von Gebäudeautomationssystemen eine Abschätzung über die zu erwartenden Innentemperaturwerte getroffen werden. Dabei ist es wichtig, dass obwohl das Projekt BED speziell mit den Messdaten aus einem Passivhaus-Bürogebäude realisiert wird, auch eine Abschätzung darüber getroffen werden soll, wie die gewonnenen Ergebnisse auch auf andere Büro- und Zweckbauten übertragen werden können. Erst dadurch würde sich das wirkliche Potential der vorgestellten Lösung zeigen. Ein Schritt in diese Richtung soll durch ein Modulsystem realisiert werden. Die einzelnen Module wie Heiz- oder Kühlgeräte entsprechen im vorgestellten Modell zusätzlichen Zeilen und Spalten innerhalb der Parametermatrix. Mit Hilfe eines solchen Bausteinsystems soll es zukünftig ermöglicht werden die gewünschte Entscheidungseinheit für möglichst viele verschiedene Gebäudetypen umsetzen zu können. Wichtig hervorzuheben ist, dass auch Gebäude beachtet werden sollen, die definitiv nicht nach dem neuesten Standard gebaut wurde, sondern auch ältere Gebäude. Dadurch würde die Anzahl der schon vorhandenen Gebäude, welche als Demand-Side-Speicher aktivierbar sind drastisch erhöht.

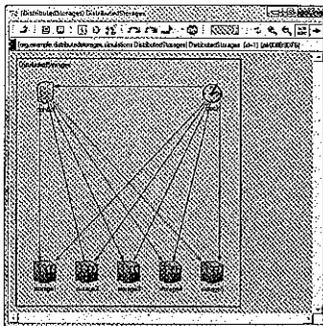


Abb 2: Screenshot aus der Simulationsumgebung Omnet++ mit verteilten Speicherknoten

Einen weiteren Schritt zur Evaluierung des Modells soll eine Simulation bilden, in der verschiedenen Strategien simuliert werden, nach denen (gleichartige oder verschiedene) Gebäudetypen im Verbund als Demand-Side-Speicher eingesetzt werden können. Dabei soll mit Hilfe der Simulationsumgebung Omnet++ die Kommunikation zwischen einem zentralen Controller und den einzelnen Speicherknoten simuliert werden. In diesen Speicherknoten sollen die Entscheidungen laut dem entwickelten Algorithmus getroffen werden. Durch dieses Setup soll zusätzlich eine Untersuchung über verschiedene Kommunikationswege und -formen ermöglicht werden. Ein Beispiel für dieses Setup kann Abbildung 2 entnommen werden.

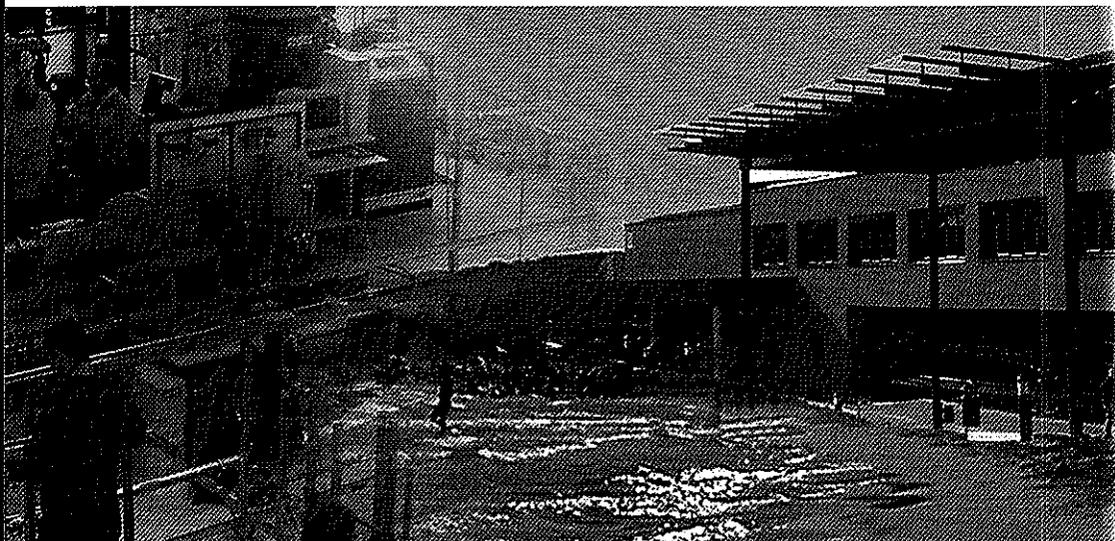
Es wurde in diesem Beitrag gezeigt wie man die komplexen thermischen Zusammenhänge innerhalb von Zweckbauten in ein verhaltensgetreues physikalisches Modell des Gebäudes umgesetzt werden können. Dieses Modell soll dabei helfen eine Entscheidungsfindungseinheit für Gebäudeautomationssysteme umzusetzen. Mit Hilfe dieser Einheiten soll die Nutzung des Gebäudes als so genannter thermischer Demand-Side-Speicher ermöglicht werden, welche in der Energieinfrastruktur der Zukunft eine wichtige Rolle zur Erhöhung der Netzstabilität und dadurch der Versorgungssicherheit spielen können.

5. DANKSAGUNG

Das Projekt BED („Balancing Energy Demand with Buildings“) wird finanziert mit Hilfe von Fördergeldern des BMVIT im Rahmen des Förderprogrammes „Haus der Zukunft Plus“ der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft. Die Autoren möchten sich dafür ganz herzlich an dieser Stelle bedanken.

LITERATUR

- DIN EN 13779:2007-09 Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme, Deutsche Fassung EN 13779:2007
- Hube W. (2004) Prädiktive Wärmeflussregelung solaroptimierter Wohngebäude mit neuartigen Verschattungs- und Speichersystemen, Dissertation Universität Kaiserslautern
- Kupzog, F., Rösener, C., Palensky, P. (2007) Konzepte zur koordinierten Nutzung verteilter Energiespeicher, 5. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien - (IEWT2007), 2007, pp. 219 - 230
- Kupzog, F. (2008) Frequency-responsive load management in electronic power grids, Dissertation Technische Universität Wien
- Kupzog, F., Polhammer, K. (2009) Automated Buildings as Active Energy Consumers, Proceedings of 8th IFAC International Conference on Fieldbuses and networks in Industrial and Embedded Systems (FeT 2009), 2009, S. 212 - 217
- Stadler, I., Burvić-Schäfer, A. S. (2004) Demand Side Management as a solution for the balancing problem of distributed energy sources, DER-Journal, 2004.
- Su, G., Tan, Z., Su, J. (2009) Improved lumped models for transient heat conduction in a slab with temperature-dependent thermal conductivity, Applied Mathematical Modelling, Volume 1 Number 1, 274-283



Fachhochschulstudiengänge Burgenland GmbH
Kernkompetenzbereich
Energie- Umweltmanagement
Steinamangerstraße 21, A-7423 Pinkafeld
Tel.: +43 (0)3357 45370-0
E-Mail: office.eum@fh-burgenland.at

gefördert durch:



bm 

ISBN 978-3-9502452-02-2



gedruckt nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“
des Österreichischen Umweltzeichens,
Gröbner Druck GmbH, UW-Nr. 832