MONITORING DES WÄRMEVERBRAUCHS IN WOHNGEBÄUDEN ZUR ANALYSE DES NUTZERVERHALTENS IM SCHARNHAUSER PARK

Aneta Strzalka[1], Martin Huber, Dirk Pietruschka und Ursula Eicker
Hochschule für Technik Stuttgart, Zentrum für Eingewandte Energietechnik zafh.net,
Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart, Deutschland
[1]E-mail: aneta.strzalka@hft-stuttgart.de

KURZFASSUNG

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde im Rahmen des EU-Projektes POLYCITY durchgeführt. Dieses von der Hochschule für Technik in Stuttgart koordinierte Projekt hat die nachhaltige Entwicklung von großen Siedlungen zum Ziel. Ziel der hier präsentierten Arbeit ist die Entwicklung einer praxisorientierten Methode für die Wärmebedarfsberechnung der Wohngebäude und auch ganzer Siedlungen, welche auch die Möglichkeit zur Untersuchung des Nutzereinflusses geben wird. Es wurden dabei zwei Modelle für die Wärmebedarfsberechung zunächst an einem Testraum getestet um später diese für ein konkretes Gebäude und dann für alle Gebäude der Siedlung anzuwenden. Eine anschließende Visualisierung der Ergebnisse mittels eines Geoinformationssystems soll die Einsparpotenziale sichtbar machen und eine Handlungsorientierung geben.

ABSTRACT

The research work hereby presented is part of a research European Union project named POLYCITY. The goal of this project, which is coordinated by the Stuttgart University of Applied Sciences, is the sustainable communal energy management of residential areas. The purpose of the research work presented here, is the development of a method to predict the heating energy demand of urban quarters, which will also give a possibility to analyze the user behavior. To achieve this goal, two models to predict the heating energy demand are developed and first tested on a test room to use it later for all buildings of the analyzed area. The additional visualization and publication of the results via a geo-information system should serve to make residents aware of the sustainable development in their city.

EINLEITUNG

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde im Rahmen des EU-Projektes POLYCITY durchgeführt. Dieses an der Hochschule für Technik in Stuttgart koordinierte Projekt hat die nachhaltige Entwicklung von großen Siedlungen zum Ziel.

Die hier untersuchte Siedlung Scharnhauser Park (SHP) liegt in der Nähe von Stuttgart, Deutschland. Es ist ein ehemaliges Militärgelände, mit ca. 180 ha Wohnfläche und mit ca. 10.000 Einwohnern.

Infolge der Klimaschutz-Verpflichtungen der Bundesrepublik Deutschland entsteht die Notwendigkeit, den bundesdeutschen Energieverbrauch im Gebäudebereich bis zum Jahr 2050 um ca. 80% zu reduzieren [Everding, 2007]. Um Energieeinsparpotenziale zu erzielen bilden sich 3 Wege. Zu einem die Verbesserung der Effizienz der Energieumwandlung hin zur Nutzenergie, zum anderen das Energiesparen und die Nutzung regenerativer Energien.

Ein langfristiger Erfolg eines kommunalen Energiemanagementsystems benötigt das systematische Erfassen und Evaluieren von Energieverbräuchen was zur Etablierung strategischer Konzepte für eine effiziente Gebäudebewirtschaftung notwendig ist [Kreiblich, 2002]. Auch die Prognose des Energieverbrauchs spielt eine beutende Rolle um Energieeinsparungen zu erzielen. Es gibt verschiedenen Methoden zur Bestimmung des Wärmebedarfs von Siedlungsgebieten. Alle Verfahren jedoch, beruhen auf einer Aggregation des Wärmebedarfs von Einzelgebäuden [Blesl, 2002]. Für die Ermittlung regionaler Nah- und Fernwärmepotenziale wird eine gebäudescharfe Ermittlung des Raumwärmebedarfs benötigt. Hier liegt der Fokus auf der flächendeckenden Verfügbarkeit der Datenquellen [Sester, 2002]. Hierzu kommen Datenquellen zum Einsatz, wie Laserscannerdaten, Automatische Liegenschaftskarten (ALK) und photogrammetrische Bilder, welche ermöglichen das Gebäudevolumen automatisch oder zumindest semi-automatisch zu ermitteln. Diese Daten können dann später als Input für die Simulationsmodelle zur Berechnung des Wärmebedarfs dienen. Es gibt schon viele sehr detaillierte Gebäudesimulationsmodelle am Markt, welche sehr genaue Ergebnisse des Wärmebedarfs liefern. Die Modelle benötigen aber sehr detaillierte Gebäudeparameter, was im Fall der Berechnung des Wärmebedarfs für eine ganze Siedlung von Nachteil ist. Die einfachen Methoden, wie z.B. die Siedungstypmethode, beschrieben in Blesl, 2002,

geben nicht viel Spielraum, wenn es um die Analyse der einzelnen Parameter, wie z.B. die nutzerrelevanten Parameter geht. Bei dieser Methode wird der Wärmebedarf nicht gebäudescharf, sondern für einzelne Siedlungsgebiete ermittelt.

Um Energieeinsparung in modernen Siedlungen, in welchen die Gebäude mit einem hohen Wärmestandard gebaut sind zu erzielen, spielt das Nutzerverhalten eine wichtige Rolle. Hier können die statistischen Nutzermodelle für Anwesenheit, Fensterlüftung, Sonnenschutz, Beleuchtung und Geräte (Stromvebrauch) die thermische Gebäudesimulation genauer machen [Herkel, 2008].

Um ein Modell für die Wärmebedarfsberechung der Siedlung SHP zu entwickeln wurden zwei Modelle mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad an einem Testraum getestet. Der Schwerpunkt war dabei, ein möglichst einfaches Modell zu erstellen, welches sehr genaue Ergebnisse liefert. Das Modell soll einerseits einfach sein um es für alle Gebäude der analysierten Siedlung anwenden zu können. Auf der anderen Seite soll das Modell auch die Möglichkeit haben die nutzerrelevanten Parameter zu variieren um die Energieeinsparpotenziale bestimmen zu können.
Um dieses Ziel zu erreichen wurde zunächst ein Testraum verwendet, in welchem die Genauigkeit der Modelle getestet werden konnte. Zusätzlich wurde eine Datenerfassung mit Fernübertragung der Wärmeverbrauchsdaten in einem Mehrfamilienhaus des SHPs installiert um die Ergebnisse des Gebäudesimulationsmodells mit den realen Gebäudewärmeverbrauchswerten vergleichen zu können. Durch die in dem Mehrfamilienhaus installierte Datenerfassung können die Tagesprofile einzelner Haushalte erstellt werden, welche später als Basis für die Analyse des Nutzerverhaltens dienen werden.
Anschließend wird das ermittelte Einsparpotenzial in die schon existierende Visualisierung der Wärmeverbrauchsdaten aller Gebäude mittels des Geoinformationssystems (GIS) integriert. Dies wird dann auch auf der POLYCITY Webseite publiziert um die Einsparpotenziale für die Bewohner der Siedlung sichtbar zu machen und eine Handlungsorientierung zu geben.

EXPERIMENT

Testraum der HfT Stuttgart

Zunächst wurde ein Testraum der HfT Stuttgart eingerichtet, in dem kontrolliert interne und externe Lasten eingebracht und nutzerabhängige Einflüsse ausgeschlossen werden können. Mit den Testraummessungen können die verwendeten Simulationsmodelle validiert werden.

Dieser Raum mit den Abmessungen von 2.31 x 5.84 x 2.08 m (Breite x Länge x Höhe) befindet sich im Zentrum von Stuttgart. Das Fenster des Raumes ist Süd-Süd-Ost (154,5° von Norden) orientiert.

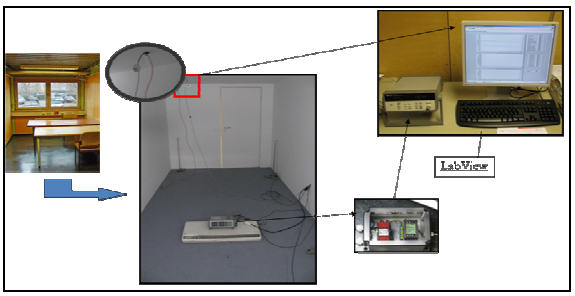

Abbildung 1: Messausstattung des Testraums

Der Testraum wurde mit folgenden Geräten, wie in obiger Abbildung zu sehen ist, ausgestattet:

- Elektroheizlüfter mit 2000 W
- Temperatursensoren im Testraum und in den Nachbarräumen, sowie einem Außentemperatursensor
- Pegelwandler zur Messung der Stromleistung des Elektroheizlüfters
- Programm LabView für die Akquisition der Messdaten

Die Messung wurde mit einem Zeitschritt von 5 Minuten durchgeführt. Die Messung im Zeitraum vom 23-30.03.2009 wurde mit einer Nachtabschaltung der Heizung (16:00 bis 9:00) durchgeführt. Ein Beispiel für zwei Tage ist in Diagramm 1 zu sehen:

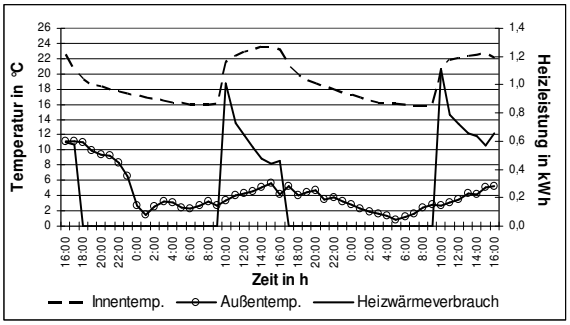

Diagramm 1: Messung im Testraum mit Nachtabschaltung

Die zweite Messreihe für die Zeiträume 8-12.02.2010 und 15-18.02.2010 wurde ohne Nachtabschaltung durchgeführt. Ein Beispiel hierfür ist in Diagramm 2 zu sehen:

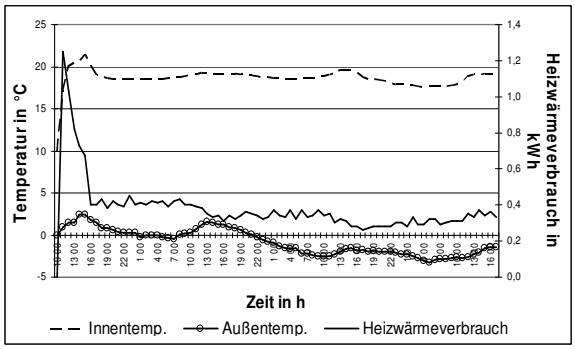

Diagramm 2: Messung im Testraum ohne Nachtabschaltung

Mehrfamilienhaus im SHP

Das Monitoring des Wärmeverbrauchs bei realen Bedingungen (mit Nutzereinfluss) wurde an einem repräsentativen Wohngebäude des Scharnhauser Parks durchgeführt. Das betrachtete Gebäude ist ein 6-geschossiges Mehrfamilienhaus mit 12 Eigentumswohnungen, welches im Jahr 2005 für die Nutzung zur Verfügung gestellt wurde.

Die Erhebung der Messdaten erfolgte anfangs mittels eines M-Bus Datenloggers der Firma Relay GmbH mit einem einstündigen Messintervall im Zeitraum von April 2008 bis Juli 2009. Danach wurde es durch ein TIXI GSM-Modem mit M-Bus Schnittstelle und integriertem Datenlogger ersetzt. Sämtliche Wärmemengenzähler des Gebäudes sind über M-Bus Schnittstellen mit dem TIXI GSM-Modem verbunden. Das TIXI GSM-Modem ermöglicht mittels Interneteinwahl über das Mobilfunknetz die automatisierte Fernübertragung der gemessenen Daten per E-mail an den zafh.net Server der HfT Stuttgart. Die GSM-Technik erlaubt eine einfache und zuverlässige Übertragung von Messdaten bei Messobjekten bei welchen vor Ort keine Internetanbindung vorhanden ist. Auch die Konfiguration des TIXI GSM-Modems kann über das Mobilfunknetz erfolgen, so dass aufwendige vor Ort Termine nach der erstmaligen Einrichtung der Datenerfassung entfallen. Der Verlauf der Fernübertragung der Daten ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt:

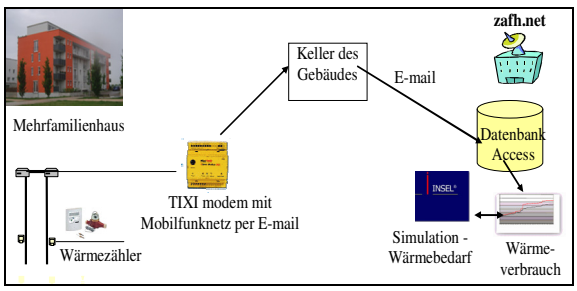

Abbildung 2: Schema der Fernübertragung der Wärmeverbrauchsdaten

Diagramm 3 zeigt jahreszeitliche Stundenprofile für das gesamte Gebäude.

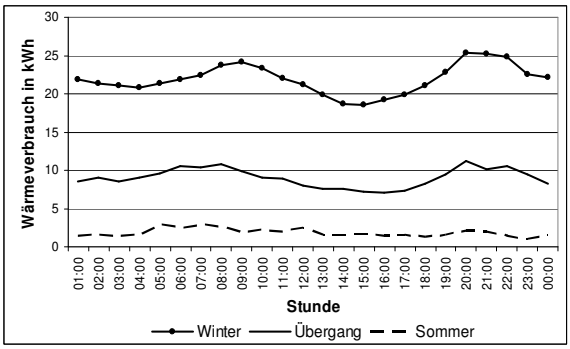

Diagramm 3: Stundenprofile des Mehrfamilienhauses

SIMULATION

Ziel der hier beschriebenen Forschungsarbeit war es eine Methode für die Wärmebedarfsberechung, welche auch die Möglichkeit zur Untersuchung des Nutzereinflusses beinhaltet, zu entwickeln. Dieses Modell soll es ermöglichen die Wärmebedarfsberechnung nicht nur für ein einzelnes Gebäude sondern für die ganze Siedlung durchzuführen. Deshalb lag der Schwerpunkt dabei ein möglichst einfaches Modell zu entwickeln, welches aber gleichzeitig die Realität präzise abbildet.

Um diese Aufgabe zu erfüllen wurden zwei Modelle zunächst an einem Testraum und dann anhand von dem oben beschriebenen Mehrfamilienhaus getestet und validiert.

Transmissionsmodell

Das erste Modell berücksichtigt nur die Transmissionswärmeverluste über die Gebäudeaußenhülle. Die Transmissionsverluste wurden aus der Größe der Außenflächen der Gebäude und dem Aufbau der Flächen mit ihren Wärmedurchgangskoeffizienten und zusätzlich der inneren und äußeren Lufttemperatur berechnet. Das Modell basiert auf die folgende Gleichung:

$$Q_H = A * U * \Delta T \qquad (1)$$

Wobei:

Q_H - Heizwärmebedarf [kWh]

A - Fläche der Gebäudeaußenhülle [m²]

ΔT - Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen

Bilanzverfahrenmodell

Das zweite Modell basiert auf dem Berechnungsverfahren der EU-Norm DIN V 18599. Hier wird die gesamte Energiebilanz des Gebäudes betrachtet. Dieses Berechnungsverfahren wurde in der Simulationssoftware INSEL (www.insel.eu) implementiert, so dass der Wärmeverbrauch in verschiedenen Zeitschritten simuliert werden konnte. Die Struktur des Modells ist in unterer Abbildung zu sehen:

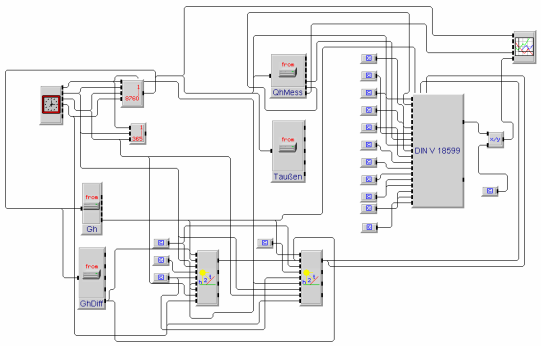

Abbildung 3: Struktur des Modells in INSEL software

Das Gebäudesimulationsmodell wurde zunächst an oben beschriebenem Testraum getestet, in welchem alle nutzerabhängigen Einflüsse ausgeschlossen werden konnten. In einem nächsten Schritt wurde dieses Modell für die Wärmebedarfsberechnung des Beispielsmehrfamilienhauses verwendet.

DISKUSSION UND ERGEBNISANALYSE

Analyse des Testraums

Der Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Tageswerten (auf Stundenbasis) für den Testraum kann aus dem Diagramm 4 entnommen werden.

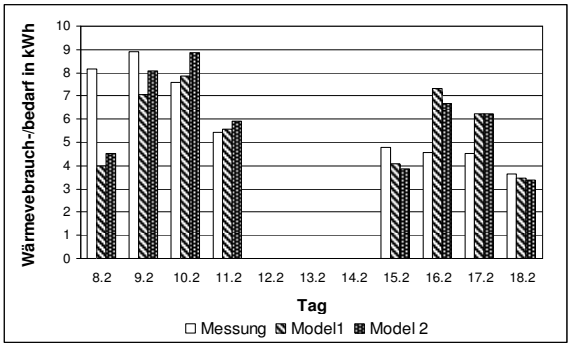

Diagramm 4: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Tageswerten für Testraum

In beiden Modellen wurden die gemessenen Innentemperaturen sowie Außentemperaturen als Input verwendet. Die Simulation basiert auf Stundenwerten, daher sind einige Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Werten zu sehen. Die Abweichungen können wie folgend erklärt werden:

- das Modell 2 berücksichtigt keine Aufheizleistung, was für eine intermittierende Beheizung nötig wäre. Die Ursache ist die sehr große Abweichung zwischen Messung und Simulation am 08.02 (*Diagramm 4*). Dieser Tag ist der erste Tag an welchem nach einer langen Pause der Testraum beheizt wurde.
- das Modell 2 ist ein statisches Modell, welches keine Wärmespeicherkapazität der Wände berücksichtigt. Der Verlauf der simulierten Werte in Diagramm 5 zeigt, dass trotz Abschaltung der Heizung der Wärmebedarf berechnet wurde.

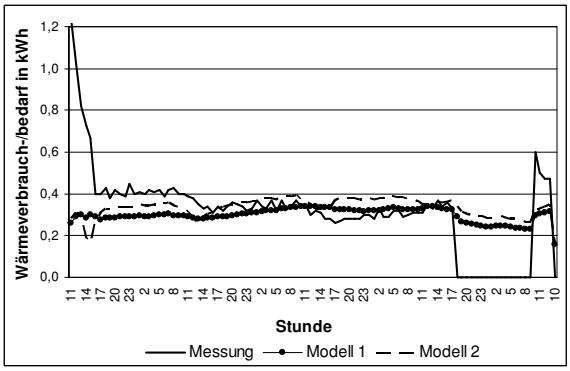

Diagramm 5: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Stundenwerten für beide Modelle

- die Werte der solaren Einstrahlung wurden nicht gemessen sondern aus den Messwerten der nahe liegenden Wetterstation übernommen. Aus der Horizontalstrahlung wurden dann Strahlungswerte auf die geneigte Fläche generiert. Der Sonnenschutz wurde bei diesem Modell nicht berücksichtigt.

Diagramm 6 zeigt zwei Varianten der Berechnung mit Modell 2. Die erste Variante, bei welcher die Sonneneinstrahlung nicht berücksichtigt ist (ohne Fenster) entspricht der Berechnung mit Modell 1, bei welchem nur die Transmissionswärmeverluste berücksichtigt wurden. Bei der zweiten Variante von Modell 2 wird die Sonneneinstrahlung berücksichtigt. Da die Werte der Sonneneinstrahlung nicht gemessen wurden, wie schon oben erwähnt, kommt es zu deutlichen Abweichungen zwischen Messung und Simulation.

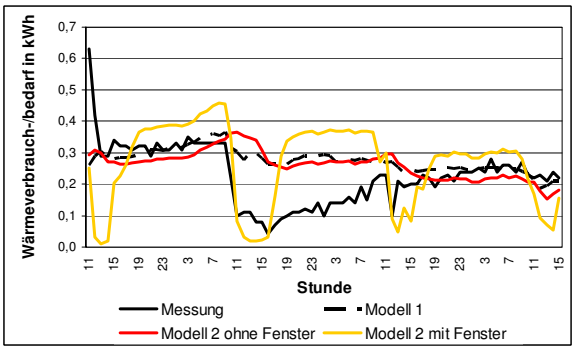

Diagramm 6: Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Simulation

Beide Modelle sind vereinfachte Modelle, was zu den Abweichungen zwischen simulierten und gemessenen Stunden- und auch Tageswerten führt. Es wäre daher sinnvoll ein detailliertes dynamisches Modell zu entwickeln und zu testen.

Analyse des gesamten Mehrfamilienhauses

Beide Modelle wurden auch verwendet um den Tageswärmebedarf des Mehrfamilienhauses zu berechnen. Die Berechnungen erfolgten mit folgenden Annahmen:

- beim Modell 1 - konstante Innentemperatur von 20°C, Heizgrenztemperatur von 15°C,
- beim Modell 2 – zusätzlich konstanter Luftwechsel von 0,5 1/h, konstante internen Gewinne von 5W/m².

Die Stundenwerte der Außentemperatur, die mittels der Wetterstation des Scharnhauser Parks gemessen wurde dienten als Input für diese Simulationsberechnungen.

Der Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Daten ist in Diagramm 7 zu sehen.

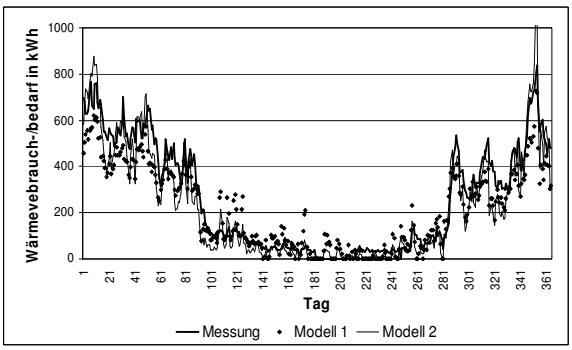

Diagramm 7: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Tageswerten für Mehrfamilienhaus

Die Abweichungen betragen an einzelnen Tagen bis zu 100%. Dies kann teilweise durch die Ungenauigkeit der Modelle, aber auch durch das Nutzerverhalten verursacht werden. Wird die gesamte Winter- oder Sommerperiode betrachtet, liegen die Abweichungen, wie in Tabelle 1 zu sehen ist, in einem vertretbaren Bereich.

Tabelle 1
Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten

Modell_Typ	**Modell 1**		**Modell 2**	
Periode	Winter	Sommer	Winter	Sommer
Abweichung in %	20	19	11	29

Diagramm 8 zeigt den Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Monatswerten des Mehrfamilienhauses. Hier sieht man besonders bei Modell 2 eine deutlich bessere Korrelation zwischen den gemessenen und berechneten Werten.

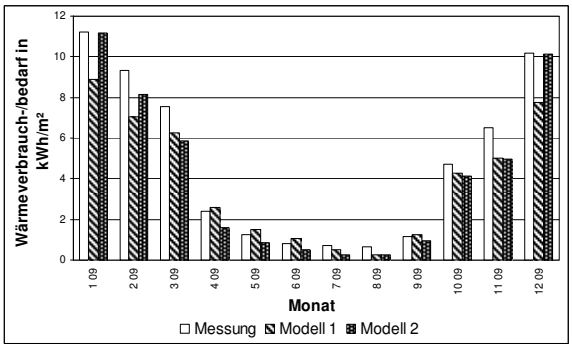

Diagramm 8: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Monatswerten für Mehrfamilienhaus

Analyse der einzelnen Wohnungen

Die Analyse der einzelnen ähnlichen Wohnungen bezüglich des Wärmeverbrauchs zeigte große Differenzen, was auf einen großen Einfluss des Nutzers und ein enormes Einsparpotenzial deutet. Hier konnten auch relativ große Differenzen zwischen den einzelnen Wohnungen und dem ganzen Gebäude beobachtet werden.

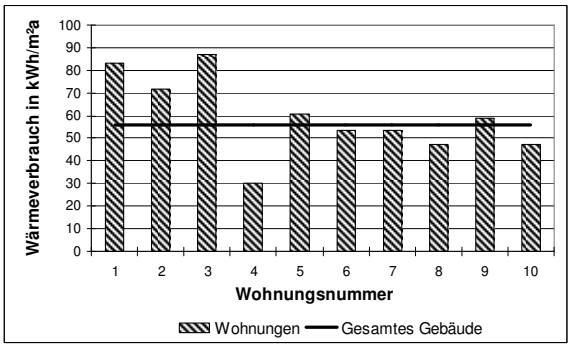

Diagramm 9: Jahreswärmeverbrauch 2009 einzelner Wohnungen des Mehrfamilienhauses

Diese Abbildung zeigt, dass der Nutzer einen sehr großen Einfluss auf den Wärmeverbrauch der Wohngebäude hat. Daher, sollen die einzelnen nutzerrelevanten Parameter zukünftig sehr detailliert untersucht werden. Die hier erstellten Modelle könnten für diese Aufgabe der erste Schritt sein. Bei

Modell 1 kann die Raumtemperatur sowie der intermittierende Betrieb der Heizung mittels Parameterstudien variiert werden und somit die gemessenen und simulierten Werte des Wärmeverbrauchs validiert werden. Modell 2 bietet zusätzlich die Möglichkeit die internen Wärmegewinne und den Luftwechsel zu variieren. Zunächst wird versucht diese Parameterstudie anhand von statistischen Werten durchzuführen.

Analyse der ganzen Siedlung

Das POLYCITY Projekt verfügt bei allen Gebäuden außer dem detailiert untersuchten Mehrfamilienhaus nur über die Jahreswärmeverbrauchsdaten der analysierten Siedlung und nicht über stündlich aufgelöste Daten. Aus diesem Grund beschränkt sich die Wärmebedarfsprognose aller anderen Gebäude der analysierten Siedlung nur auf die Jahreswerte.

Die Betrachtung der Jahreswerte des analysierten Mehrfamilienhauses zeigt eine relativ gute Übereinstimmung, was die Extrapolation dieses Modells auf alle Wohngebäude der analysierten Siedlung erlauben wird. Die Abweichungen zwischen den gemessenen (56 kWh/m²a) und berechneten Werten liegen bei ca. 15% bei beiden Modellen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die beschriebene Forschungsarbeit zeigt eine praxisorientierte Methode für die Wärmebedarfsberechnung der Wohngebäude und auch ganzer Siedlungen. Diese Arbeit zeigt auch die Abhängigkeit des Wärmeverbrauchs vom Nutzerverhalten. Es ist daher geplant, dieses Modell zu optimieren, so dass in diesem Modell die nutzerabhängigen Parameter validiert werden können. Dies wird ermöglichen das Einsparpotenzial des Wärmeverbrauchs bezüglich jedes einzelnen Parameters zu ermitteln. Eine anschließende Visualisierung der Ergebnisse mittels eines Geoinformationssystems kann die hohen Einsparpotenziale sichtbar machen und eine Handlungsorientierung geben.

DANKSAGUNG

Ein Dank für die Europäische Kommission, welche mittels des POLYCITY Projektes (REF EC: TREN/05FP6EN/S07.43964/513481/) die hier beschriebene Arbeit finanziert hat.

Speziellen Dank für Andreas Biesinger (wissenschaftlicher Mitarbeiter der HfT Stuttgart) und Siegfried Riedl (technischer Angestellter der HfT Stuttgart) für die Unterstützung bei der Messausstattung sowie Durchführung der Messungen im Testraum.

LITERATUR

Blesl, M., 2002. Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs. Dissertation der Universität Stuttgart.

Everding, D. 2007. Solarer Städtebau. Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Buch. Verlag W. Kohlhammer GmbH Stuttgart.

Hensen, J. 2003. Paper Preparation Guide and Submission Instruction for Building Simulation 2003 Conference, Eindhoven The Netherlands.

Herkel, S., 2008. NuMoSim Nutzermodelle für die thermische Simulation. Zwischenbericht anlässlich des Kolloquiums Umweltforschung und Umwelttechnik Baden-Württemberg.

Kreibich, R. 2002. Emissionsminderung durch neue Wege im kommunalen Energiemanagement. Endbericht. Technische Fachhoschule Berlin.

Sester, M., Brenner, C., Datenquellen und Methoden für eine automatische Bestimmung von Gebäude- und Siedlungsvolumen. Aus Forschung und Entwicklung - Mitteilungen der Forschungsstelle und des Forschungsbeirats der AGFW, Aktuelle Fragen der Kraft-Wärme-Kopplung und der Wärmeverteilung , vol. Heft 7 , p. 138-150.