

ENTWICKLUNG EINES GEBÄUDEINFORMATIONSSYSTEMS MIT EINEM BOTTOM-UP-MODELL ZUR BERECHNUNG DES ENERGIEBEDARFS VON STADTQUARTIEREN

André Isele¹, Gerrit Höfker¹, Heinz-Jürgen Przybilla², Rebecca Müller-Siebert²

¹Institut für Bauphysik, Baustoffe und Konstruktion, Hochschule Bochum, Bochum

²Labor für Photogrammetrie, Hochschule Bochum, Bochum, Deutschland

KURZFASSUNG

Der Wohngebäudebestand bietet großes Potential zur Energieeinsparung, insbesondere im Bereich des Energieverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasser. Zur übersichtlichen Darstellung und Analyse verschiedener Instandsetzungsmaßnahmen von Gebäuden soll daher ein Gebäudeinformationssystem entwickelt werden, das als Entscheidungswerkzeug in Prozessen der Gebäuderevision dient. Innerhalb eines datenbankbasierten, intranetgestützten Systems wird PHP zur Aufbereitung von Abfrageergebnissen verwendet, welche thematisch aufgearbeitet an 3D-Modellen in Google Earth visualisiert werden. Mit Hilfe eines Schätzverfahrens werden innerhalb des Informationssystems nicht vorhandene bauphysikalische Gebäudedaten, wie etwa die Flächen der thermischen Gebäudehülle, die Wärmedurchgangskoeffizienten der Baukonstruktion oder die Energieeffizienz der Anlagentechnik ermittelt. Hieraus lässt sich zusätzlich der Nutz-, End- und Primärenergiebedarf einzelner Gebäude oder einer Selektion eines Gebäudebestandes überschlagen. Die Möglichkeiten eines solchen Entscheidungswerkzeuges für großflächige Untersuchungen sind etwa für Immobilienunternehmen, Energieversorgungsunternehmen, Städte und Gemeinden oder Wissenschaftler gleichermaßen von Interesse.

ABSTRACT

There is considerable potential for implementing energy conservation measures in the residential housing stock, particularly those which affect room heating and domestic hot water use. A new information system is presented here which offers a descriptive illustration and quantitative analysis of various refurbishment measures. This database-supported system uses PHP for processing the results of database queries, which can be mapped to 3D building objects according to geographical location in Google Earth. Unknown variables including the area of the building envelope, the U-value of building elements and the energy efficiency of the heating system can be estimated using only a few parameters. Additionally, the net, final and primary energy demand can be estimated for a single building or a selection of the building stock. The ability to perform large-scale analyses could support decision making

for targeted energy reduction measures and would be of particular interest to the real estate and energy industries, local councils as well as research organisations.

EINLEITUNG

Ziel des Projektes GEKIS an der Hochschule Bochum ist die Entwicklung eines Gebäudeinformationssystems zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung von bauphysikalischen Gebäudedaten. Als Plattform für den Aufbau des zu entwickelnden internetbasierten Gebäudeinformationssystems dient das global verfügbare System Google Earth. Mittels Visualisierung einzelner Gebäude bis hin zu städtischen Szenarien, sollen dabei differenzierte Informationen zur Baukonstruktion, der Qualität der thermischen Gebäudehülle und der eingesetzten Anlagentechnik nutzbar gemacht werden. Das zu entwickelnde Werkzeug soll allen, an Prozessen zur Gebäuderevision und -instandsetzung Beteiligten, eine fundierte Datenbasis liefern. Darüber hinaus soll ein Entscheidungswerkzeug entstehen, mit dem verschiedene Instandsetzungsmaßnahmen innerhalb eines ganzen Stadtquartiers oder innerhalb gezielt ausgewählter Gebäude eines Bestandes untersucht werden können. Im Zuge wachsender bauphysikalischer Anforderungen an Gebäude sind diese Funktionen beispielsweise für Immobilienunternehmen mit großen Gebäudebeständen von Interesse. Die Entwicklung des Gebäudeinformationssystems wird beispielhaft an einem Siedlungsgebiet mit etwa 160 Gebäuden vorangetrieben. Bei der Auswahl der Wohnsiedlung ist auf eine möglichst inhomogene Zusammensetzung des Gebäudebestandes geachtet worden. Bei Wohnhäusern mit vier bis hin zu 43 Wohneinheiten handelt es sich um kleine Mehrfamilienhäuser aber auch Hochhäuser, die zwischen 1950 und 1970 errichtet wurden. Durch den Projektpartner Immeo Wohnen GmbH wurden für die einzelnen Gebäude Informationen zur Geometrie, Baukonstruktion, Anlagentechnik und der Qualität eventuell durchgeführter Instandsetzungsarbeiten zur Verfügung gestellt. Zunächst werden in dem Gebäudeinformationssystem lediglich Wohngebäude erfasst. Erweiterungen des Informationssystems auf den Nichtwohngebäudebestand sollen innerhalb des Projektes ebenso überprüft werden, wie die Anwendung als Nachhaltigkeitsinformationssystem.

BESTEHENDE INFORMATIONSSYSTEME

Aufgrund der komfortablen Möglichkeit, Daten zu erfassen, verwalten und zu analysieren, werden Geoinformationssysteme vermehrt auch im Gebäudesektor eingesetzt. Zur Standardanwendung sind Geoinformationssysteme beispielsweise im Bereich des Facility Management bei großen Immobilien geworden. Darüber hinaus werden in zunehmendem Maße Anwendungen entwickelt, die eine computergestützte Verwaltung von bauphysikalischen Daten ermöglicht. Dabei kann, wie beispielsweise bei Rylatt et al. 2001 oder Müller-Siebert 2012, die Nutzung der Sonnenenergie durch solarthermische Anlagen oder Photovoltaikanlagen auf Dachflächen von Gebäuden im Fokus des Informationssystems stehen. Luftaufnahmen und Fernerkundungsdaten können auf verfügbare Flächen, Azimutwinkel und Dachneigung überprüft werden, um die Eignung von Gebäuden zur Nutzung von Solarenergie zu bewerten. Beispiele für bauphysikalische Informationssysteme zielen auf eine Verfügbarmachung von Daten zur Geometrie und Baukonstruktion und insbesondere des Energiebedarfes bzw. des Energieverbrauches. Je nach Zielgruppe von Anwendern unterscheiden sich diese Gebäudeinformationssysteme erheblich in den erforderlichen Ein- und Ausgabeparametern, einer möglichen Analysefunktion sowie in der Genauigkeit der verarbeiteten Informationen. Mit dem Ziel, den Energiebedarf von Stadtgebieten zu kartieren, werden bei dem von Dorfner 2011 entwickelten Geoinformationssystem als Inputparameter lediglich die Gebäudegrundfläche und die Gebäudehöhe verwendet. Anhand des Baualters und der Nutzung wird einem Gebäude dann ein typischer Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser zugeordnet. Mit einer Auflösung von $200 \cdot 200 \text{ m}^2$ werden die akkumulierten Energiebedarfe innerhalb eines Stadtgebietes dargestellt. Hieraus lassen sich Gebiete mit hohem Energiebedarf ermitteln, Aussagen zum energetischen Stand einzelner Gebäude oder des Stadtquartieres können jedoch nicht getroffen werden. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Blesl et al. 2010 bei ihrem Entwurf einer digitalen Wärmebedarfskarte. Mit Hilfe von Daten aus der Laserphotogrammetrie wird automatisiert die Geometrie von Gebäuden inklusive aller Außenwandflächen und deren Typologie abgeschätzt. Der wärmeübertragenden Umfassungsfläche werden dann durchschnittliche Wärmedurchgangskoeffizienten zugeordnet, die bei Vorliegen von Thermografieaufnahmen angepasst werden können. Als Ergebnis kann der Jahresheizwärmebedarf eines einzelnen Gebäudes oder einer ganzen Stadt angezeigt werden. Versorgungsunternehmen oder Netzbetreiber als potentielle Anwender des Informationssystems haben außerdem die Möglichkeit, die

Auswirkungen von energetischen Instandsetzungsmaßnahmen an der Gebäudehülle zu analysieren. Kaden et al. 2012 wollen auf vergleichbare Weise das bestehende 3D-Stadtmodell von Berlin für energetische Fragestellungen nutzbar machen. Auch hier wird der Jahresheizenergiebedarf von Gebäuden mittels vorhandener Daten zur Geometrie, Nutzung und zum Baujahr mit Hilfe von sogenannten typischen Verbrauchswert-Faktoren ermittelt. Strzalka et al. 2011 verwenden ebenfalls ein automatisiertes Verfahren zur Generierung von Daten zur Gebäudegeometrie aus dreidimensionalen Stadtmodellen. Nach Implementierung von zwei unterschiedlichen Berechnungsmethoden für Jahresheizenergiebedarf zeigt sich eine gute Übereinstimmung des Modells bei der Validierung an gemessenen Verbrauchsdaten. Eine detailliertere Methode zur Berechnung des Energiebedarfs innerhalb eines Gebäudeinformationssystems wird von Ramos et al. 2004 aufgezeigt. Hier sollen Gebäudemodelle des Informationssystems mit der Software Energy+ zur thermischen Gebäudesimulation verknüpft werden. Während Dorfner 2011 und Blesl et al. 2010 sich bei der Visualisierung der Ergebnisse ihrer Analysewerkzeuge auf den zweidimensionalen Raum beschränken, wurde bei Kaden et al. 2012, Strzalka et al. 2011 und Ramos et al. 2004 eine dreidimensionale Darstellung der Ergebnisse umgesetzt.

Die hier diskutierten Beispiele für bauphysikalische Informationssysteme bilden mit ihrer Fähigkeit den Heizenergiebedarf verschiedener Gebäude abschätzen zu können, Simulationswerkzeuge zur Prognose des Energiebedarfes von Wohnvierteln bis hin zu Großstädten. Dabei handelt es sich im einzelnen um Bottom-Up-Modelle, bei denen zunächst der Energiebedarf der einzelnen Gebäude bestimmt und anschließend durch Aufsummieren der Ergebnisse auf den Energiebedarf von größeren Gebieten geschlossen wird. Gemäß Swan und Ugursal 2009 bilden Bottom-Up-Modelle im Vergleich zu Top-Down-Modellen die einzige Möglichkeit, die Auswirkung des Einsatzes neuer Technologien oder Instandsetzungsmaßnahmen zu analysieren. Allerdings ist dazu in Abhängigkeit der gewünschten Genauigkeit einer Prognose auch eine detailliertere Informationstiefe der Eingabeparameter erforderlich. Nachteilig ist darüber hinaus auch, dass Bottom-Up-Modelle nicht in der Lage sind, das Nutzerverhalten bei der Prognose des Energieverbrauches zu simulieren. Der Energiebedarf kann lediglich anhand von standardisierten Rand- und Nutzungsbedingungen ermittelt werden.

ENTWICKLUNGSMETHODEN FÜR DAS GEBÄUDEINFORMATIONSSYSTEM

Einige bauphysikalische Informationssysteme haben den primären Zweck, den Endenergiebedarf von städtischen Gebieten zu kartografieren bzw. zu prognostizieren. Da diese Systeme auf Versorgungsbetriebe und Netzbetreiber als mögliche Anwender abzielen, ist eine primärenergetische Bewertung in der Regel nicht vorgesehen. Somit findet hier die Energieeffizienz der vorhandenen Anlagentechnik keine Berücksichtigung. Zum Teil sind die vorhandenen Informationssysteme in ihrer Darstellung statisch und können auf veränderte Bedingungen nur mit erheblichem Aufwand angepasst werden.

Im Gegensatz dazu soll im Forschungsprojekt GEKIS ein dynamisches Gebäudeinformationssystem entstehen, das bauphysikalische Daten großer Gebäudebestände verwalten kann. Mit den Kenntnissen zur Gebäudegeometrie, Baukonstruktion, Qualität von möglichen Instandsetzungsmaßnahmen und der vorhandenen Anlagentechnik ist darüber hinaus auch eine primärenergetische Bewertung des Endenergiebedarfs möglich. Neben der Erfassung und Verwaltung von Gebäudedaten soll das zu entwickelnde Informationssystem daher die Möglichkeit bieten, durch eine energetische Bilanzierung einzelner Gebäude verschiedene Instandsetzungsmaßnahmen energetisch zu überprüfen. Mit einer attributiven Auswahl der Gebäude sollen unterschiedliche Instandsetzungsmaßnahmen auch an einer beliebigen Selektion des Gebäudebestandes untersucht werden können. Dazu ist eine dynamische Analysefunktion des Informationssystems erforderlich. Zur Sicherstellung einer Verwendungsmöglichkeit durch Nichtfachleute wird eine leicht verständliche, dreidimensionale Visualisierung, wie beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt, angestrebt.



Abbildung 1: Beispiel für die dreidimensionale Darstellung einer Gebäudelandschaft innerhalb des Gebäudeinformationssystems auf der Oberfläche von Google Earth

Aus Sicht der Informatik basiert das GEKIS-Informationssystem auf einer webgestützten Systemarchitektur, welche nach Projektabschluss in einer Intranet-Umgebung betrieben werden soll. Serverseitig erfolgt bei dem GEKIS-System die Datenverwaltung in einer PostgreSQL-Datenbank mit PostGIS-Erweiterung. Diese Erweiterung ermöglicht gemäß Obe und Hsu 2011 das Ausführen räumlicher Operationen, das Arbeiten mit Geodaten und, wie von Brinkhoff 2008 erläutert, das Agieren in einem dreidimensionalen Raum. In der Datenbank befinden sich die Geometriedaten der 3D-Gebäudemodelle im Vektorformat, welche, wie von Müller-Siebert und Przybilla 2012 beschrieben, als Darstellungsgrundlage für die dem System zugehörigen bauphysikalischen Berechnungen dienen. Ebenfalls verwaltet sie die Attribut-Datensätze der einzelnen Häuser und speichert auf Wunsch des Nutzers etwaige Simulationsergebnisse ab.

Clientseitig besteht die Anwendung aus einer browsergestützten HTML-Oberfläche mit diversen Auswahl- und Analysetools sowie ein als Visualisierungsplattform dienendes Google Earth Plugin. Die Eingaben des Anwenders innerhalb dieser Oberfläche werden mittels JavaScript und AJAX an ein PHP-Skript übergeben. Dieses Skript generiert eine SQL-Query zur Abfrage der vom Anwender gewünschten Werte. Innerhalb eines weiteren PHP-Skriptes werden diese Werte in die Google Earth-konforme XML-Auszeichnungssprache Keyhole Markup Language (KML) umgewandelt. Über eine JavaScript-basierte API (Application Programming Interface = Schnittstelle) von Google erfolgt die Darstellung der Daten innerhalb des Google Earth Plugin. Die Systemarchitektur ist in Abbildung 2 dargestellt.

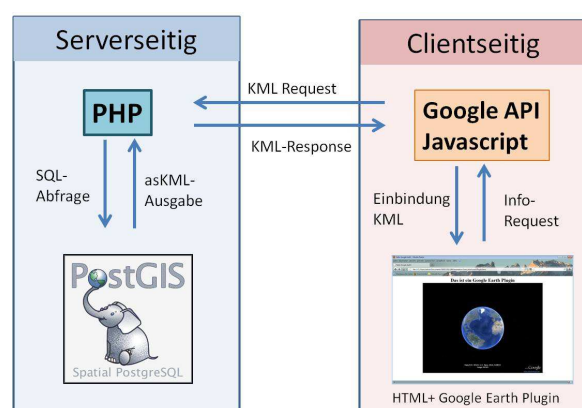


Abbildung 2: Systemarchitektur des im Forschungsprojekt GEKIS entwickelten Gebäudeinformationssystems zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung bauphysikalischer Gebäudedaten

Neben den Darstellungs- und Analysefunktionalitäten steht dem Anwender eine Datenverwaltungsfunktion zur Neuanlage und Pflege von Beständen zur

Verfügung. Zusätzlich ermöglicht eine Zeichnen-Funktion das Erstellen eigener 3D-Modelle zur späteren Verwendung im System.

Zusätzlich zur übersichtlichen Verwaltung von bauphysikalischen Gebäudedaten sollen innerhalb des Informationssystems Berechnungen des Energiebedarfes für Heizung und Warmwasser durchgeführt werden können. Die Ergebnisse aus diesen Energiebedarfsberechnungen für den Gebäudebestand liefern entscheidende Eingabedaten für das Informationssystem. Neben dem Nutz-, End- und Primärenergiebedarf der Gebäude geben insbesondere Zwischenergebnisse, wie etwa der spezifische Transmissionswärmeverlust, die Anteile einzelner Bauteile an den Transmissionswärmeverlusten oder die Energieeffizienz der Anlagentechnik, Aufschluss über geeignete Instandsetzungsmaßnahmen. Eine detaillierte Berechnung des Energiebedarfes gemäß den Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV 2009 ist für eine Implementierung in das Informationssystem besonders wegen der Notwendigkeit, zusätzliche Softwarepakete zu verwenden und aufgrund der Komplexität der Berechnungen ungeeignet. Ständiges Aktualisieren der Gebäudedaten ist angesichts des Aufwandes und der Fehleranfälligkeit bei der Übertragung der Daten nicht praktikabel. Daher werden auf der Basis des von Loga et al. 2005 entwickelten vereinfachten Verfahrens bauphysikalische Gebäudedaten generiert und der Energiebedarf anhand weniger, im Datenbestand von Immobilienunternehmen stets vorhandener Informationen abgeschätzt. Die wesentlichen Vorteile dieses Verfahrens liegen in der geringen Anzahl von Eingabeparametern und einer vergleichsweise einfachen Programmierung innerhalb des Informationssystems selbst, sodass zusätzliche Software überflüssig wird. Darüber hinaus bietet die Eingabeprozedur der Gebäudedaten die Möglichkeit einer übersichtlichen und anwenderfreundlichen Verwaltung ohnehin vorhandener Informationen zu Baukonstruktion, Anzahl der Wohneinheiten, Geometrie, Energieträger für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung, Art der Wärmeversorgung und anderen.

Das von Loga et al. 2005 entwickelte Kurzverfahren verfolgt das Ziel, Vereinfachungen in der Datenaufnahme zu realisieren und somit den Aufwand energetischer Bilanzierungen und Klassifizierungen größerer Gebäudebestände zu reduzieren. Es gliedert sich in drei Teilbereiche der Datenaufnahme, die jeweils Ergebnisse für die notwendigen Inputparameter von Energiebedarfsberechnungen liefern. Diese sind ein Schätzverfahren für die Ermittlung von Flächen der thermischen Gebäudehülle, die Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten einzelner Bauteile sowie die Bestimmung der Gesamtenergiedurchlassgrade von

Verglasungen und die Erhebung von Daten zur Energieeffizienz der Anlagentechnik. Die Zielsetzungen dieses Projektes decken sich in wesentlichen Punkten mit den Zielsetzungen des Forschungsprojektes GEKIS, sodass bei der Weiterentwicklung des Kurzverfahrens nur geringe Änderungen, wie etwa eine detailliertere Darstellung der Wärmeversorgung durch Fernwärme oder die Berechnung des beheizten Luftvolumens von Gebäuden, erforderlich sind. Eine Notwendigkeit dieser Änderungen ergibt sich schlicht aus den außergewöhnlichen Bedingungen des vorhandenen Testgebietes. Bei der Generierung der Gebäudedaten wurde insbesondere Wert darauf gelegt, dass eine aufwändige Begehung von Gebäuden zur Datenaufnahme nicht erforderlich ist.

Im ersten Schritt werden aus zwei geometrischen Daten eines Gebäudes, der beheizten Wohnfläche und der Anzahl der Vollgeschosse, Flächen der thermischen Gebäudehülle abgeschätzt. Zur Korrektur dieser ersten Abschätzung sind zusätzlich Angaben zum Grad der Beheizung von Keller und Dachgeschoss erforderlich. Im Falle eines beheizten oder teilweise beheizten Dachgeschosses wird außerdem ein Zuschlag für vorhandene Dachgauben vergeben. Gestreckte oder verwinkelte Grundrisse von Gebäuden, bei denen der Umfang gegenüber einem Quadrat mehr als 120% beträgt, werden mit einer vergrößerten Außenwandfläche berücksichtigt. Schließlich fließt die Anbausituation eines Gebäudes in die Flächenschätzung mit ein. Dabei wird zwischen freistehend, einseitig oder zweiseitig angebaut unterschieden. Mit Hilfe dieser generellen Daten, die ohne detaillierte Kenntnisse über ein Gebäude angegeben werden können, lassen sich schließlich Flächen für den unteren und oberen Gebäudeabschluss, die Außenwandflächen und die Fenster generieren. Das Verfahren ist anhand eines Datenbestandes von über 4000 Bauwerken mit repräsentativen Anteilen verschiedener Gebäudetypologien entwickelt worden. Die Standardabweichung des Flächenschätzverfahrens weist gemäß Loga et al. 2005 einen Wert von $\sigma = 14,7\%$ auf.

Den generierten Hüllflächen sollen im nächsten Schritt die für energetische Bilanzierung eines Gebäudes notwendigen Wärmedurchgangskoeffizienten zugeordnet werden. Wesentliche Eingangsgrößen zur Bestimmung dieser bauphysikalischen Parameter sind das Baujahr des Gebäudes bzw. dessen Baualtersklasse und die Art der Baukonstruktion. Bei der Art der Baukonstruktion ist die Unterscheidung zwischen Massiv- und Holzbauweise ausreichend, um den Bauteilen entsprechend ihres Alters einen typischen Wärmedurchgangskoeffizienten zuzuschreiben. Nachträglich aufgebraachte Dämmschichten werden mit Hilfe einer Modifikation der ursprünglichen

Wärmedurchgangskoeffizienten berücksichtigt. Für die Definition bauphysikalischer Eigenschaften der Fenster sind zusätzliche Angaben erforderlich. Hierbei ist insbesondere die Art der Verglasung ein entscheidender Einflussfaktor. Eine Kategorisierung in Einfach- oder Doppelverglasungen ist für die thermische Qualität substantiell. Anhand der Verglasungsart und dessen Einbaujahres ist zusätzlich eine Abschätzung des Gesamtenergiedurchlassgrades möglich. Über die Informationen zur Verglasung hinaus, ist die Kenntnis über das Material des Fensterrahmens erforderlich. Dabei wird zwischen Holz-, Metall- und Kunststoffrahmen unterschieden.

Das von Loga et al. 2005 entwickelte Verfahren zur Bestimmung bauphysikalischer Eigenschaften kann allerdings die neueren Entwicklungen in der Gesetzgebung zur Energieeffizienz von Gebäuden nicht abbilden. Für das Informationssystem ist es daher erforderlich, weitere Baualtersklassen einzuführen. In Anlehnung an Pauschalwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten im Nichtwohngebäudebestand gemäß Thiel und Riedel 2011 werden dazu die Baualtersklassen von 2002 bis 2006 und von 2007 bis zum aktuellen Zeitpunkt verwendet. Auch wurden die Werte für die pauschalen Wärmedurchgangskoeffizienten für den Nichtwohngebäudebestand gemäß Thiel und Riedel 2011 im Gebäudeinformationssystem verwendet und somit auf Wohngebäude übertragen. Obwohl sich die Baukonstruktionen von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden häufig unterscheiden, sind die Anforderungen an Außenwände, Dächer, Wände gegen Erdreich und Fenster bei Nachweis mit dem Referenzgebäudeverfahren gemäß EnEV 2009 identisch. Mögliche Abweichungen werden daher als gering eingeschätzt.

Für eine energetische Bilanzierung eines Gebäudes ist über die geometrischen und bauphysikalischen Informationen hinaus noch die Bewertung der vorhandenen Anlagentechnik notwendig. Ziel des von Loga et al. 2005 vorgestellten Verfahrens zur Beurteilung der Energieeffizienz der Heizwärme- und Trinkwarmwasserversorgung ist es, Aussagen über Bestandsgebäude ohne Begehung einzelner Häuser und Wohnungen durchführen zu können. Dabei geht es nicht um eine detaillierte Beurteilung der Qualität der Anlagentechnik, sondern um die Ermittlung typischer Effizienzwerte eines entsprechenden Anlagensystems. Für die Berechnung sowohl der Wärmeverluste bei der Verteilung und Speicherung als auch der notwendigen Hilfsenergie für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser und Raumwärme werden Repräsentanten benannt, deren nach DIN V 4701 ermittelten Berechnungsergebnisse auf alle Gebäude entsprechender Gebäudekategorien übertragen wird. Gleiches gilt für die Wärmeerzeuger. Hier wird die Anlagenaufwandszahl entsprechend des Anlagentalers und der Erzeugerart

abgestuft nach Ein- und Mehrfamilienhaus angegeben.

Mit Hilfe der generierten geometrischen, bauphysikalischen und anlagentechnischen Daten kann eine energetische Bilanzierung zur Ermittlung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfes einzelner Gebäude durchgeführt werden. Da die ermittelten Informationen aufgrund verschiedener Schätzvorgänge Unsicherheiten aufweisen, ist es nicht sinnvoll, zur energetischen Bilanzierung Berechnungsverfahren hoher Genauigkeit anzuwenden. Aus diesem Grund wird im Gebäudeinformationssystem die vereinfachte Berechnung des Energiebedarfes mit dem Heizperiodenbilanzverfahren gemäß DIN V 4108-6: 2003 implementiert. Dabei handelt es sich um eine Bilanzierung der Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle, der Lüftungswärmeverluste, der internen Wärmegewinne und der passiven solaren Wärmegewinne über verglaste Flächen. Anhand der Heizperiodenlänge wird mittels Gradtagzahl der Nutzenergiebedarf bestimmt. Die vereinfachten Anlagenkennwerte werden dazu verwendet, End- und Primärenergiebedarf eines Gebäudes für Heizung und Trinkwarmwasser zu ermitteln.

Nach Übertragung der Gebäudedaten in das Informationssystem können diese Angaben nicht nur auf übersichtliche Weise verwaltet werden. Vielmehr bietet sich die Möglichkeit, nach verschiedenen Attributen, wie etwa dem Baujahr der Häuser, der energetischen Qualität der Fenster, dem spezifischen Transmissionswärmeverlust und zahlreichen weiteren Eigenschaften zu selektieren und die Ergebnisse der Abfrage durch den Internetbrowser auf der Oberfläche von Google Earth zu visualisieren. Beispiele für die Darstellung verschiedener bauphysikalischer Eigenschaften von einzelnen Bauteilen oder Gebäuden sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 aufgeführt. Wegen des implementierten Berechnungsverfahrens können Analysen von verschiedenen Instandsetzungsmaßnahmen und deren Auswirkungen auf den Energiebedarf der gesamten Selektion und somit bis hin zu gesamten Stadtquartieren durchgeführt werden. Somit stellt das entwickelte Informationssystem ein Bottom-Up-Modell zur Simulation ganzer Wohnsiedlungen bis hin zu Gemeinden und Städten dar.

Wesentlich für die Beurteilung des entwickelten Berechnungs- und Entscheidungswerkzeuges ist eine Validierung der Ergebnisse. Da für das Testgebiet Energieverbrauchskennwerte für etwa 50% des Gebäudebestands vorhanden sind, sollen die Ergebnisse aus der Abschätzung des Energiebedarfs mit Hilfe des Gebäudeinformationssystems sowohl mit den Energieverbrauchskennwerten als auch mit detailliert berechneten Energiebedarfskennwerten verglichen werden. Während der Energiebedarf eine



Abbildung 3: Beispiel für die Darstellung des Jahres-Primärenergiebedarfs verschiedener Gebäude eines Wohnviertels innerhalb des Gebäudeinformationssystems



Abbildung 4: Beispiel für die Darstellung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Fenster verschiedener Gebäude eines Wohnviertels innerhalb des Gebäudeinformationssystems

Rechengröße darstellt, die für ein Gebäude unter standardisierten Randbedingungen für klimatische Verhältnisse und Nutzergewohnheiten ermittelt wird, handelt es sich beim Energieverbrauch um von den Bewohnern tatsächlich genutzte Energieeinheiten. Gemäß Hertl et al. 2005 kann es zwischen den berechneten Energiebedarfskennwerten und den tatsächlichen Energieverbrauchskennwerten insbesondere bei kleineren Wohneinheiten zu erheblichen Abweichungen kommen. Diese Differenz wird bei größeren Mehrfamilienhäusern bei Betrachtung des Gesamtgebäudes zwar kleiner, allerdings kann gemäß Hertl et al. 2005 von einem bekannten realen Verbrauch nicht auf einen nutzerunabhängigen Bedarf geschlossen werden. Ein Verbraucher kann somit unter anderem aufgrund des unterschiedlichen Nutzerverhaltens weder mit Hilfe des Energiebedarfes noch des Energieverbrauches die persönlichen künftigen Energiekosten verlässlich abschätzen. Darüber hinaus eignet sich der Energieverbrauchskennwert gemäß DENA 2011 nur bedingt, um auf die energetische Qualität eines Gebäudes zu schließen. Allerdings zeigt sich gemäß BMVBS 2011 bei einer Evaluierung von ausgestellten Energieausweisen für Wohngebäude, dass die Fehleranfälligkeit bei der komplexen Berechnung des Energiebedarfes größer als bei der Ermittlung des tatsächlichen Energieverbrauches ist. Dies ist unter anderem in der Verwendung unterschiedlicher Software-Programme und in Annahmen für die

Energieeffizienz der Heizungsanlage sowie für die Wärmedurchgangskoeffizienten der Baukonstruktion, die aus fehlerhaften Informationen resultieren, begründet. Dennoch sind gemäß DENA 2011 Energiebedarfskennwerte zur Beurteilung möglicher Einsparpotenziale für Gebäude sehr wertvoll. Darüber hinaus kann gemäß BMVBS 2011 die Fehleranfälligkeit beim als höherwertig geltenden Energiebedarfsausweis durch Vereinfachungen reduziert und dessen Reliabilität verbessert werden. Um die Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung einordnen zu können, sind für die Gebäude, bei denen Energieverbrauchsausweise vorliegen, Energiebedarf und Energieverbrauch miteinander verglichen worden. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Bauwerke in Anlehnung an die energetische Qualität der thermischen Gebäudehülle und der Anzahl der Geschosse in Gebäudetypen klassifiziert. Unabhängig vom Gebäudetyp ist das Baujahr der einzelnen Häuser zwischen 1950 und 1960.

- Unter Typ 1 sind Gebäude zusammengefasst, die eine nachträgliche Dämmung der Außenwand in Form eines Wärmedämmverbundsystems mit einer Dämmstoffdicke von 8 cm und eine Dämmung der obersten Geschosdecke mit einer Dämmstoffdicke von 10 cm erhalten haben. Die dreigeschossigen Häuser bieten Raum für sechs Wohnungen.
- Gebäude des Typs 2 weisen die gleichen Konstruktionen der Bauteile wie Gebäudetyp 1 auf, hier finden sich jedoch vier Geschosse und somit acht Wohnungen wieder.
- Typ 3 bezeichnet dreigeschossige Gebäude, die nur eine nachträglich aufgebrachte Dämmung der Außenwände aufweisen.
- Bei Bauwerken des Typs 4 sind bisher keine energetischen Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt worden. Es handelt sich hierbei um 1,5-geschossige Häuser mit vier Wohnungen.

Der Vergleich des Jahres-Endenergiebedarfes für Heizwärme und des tatsächlich gemessenen Jahres-Endenergieverbrauches der vier Gebäudetypen ist in Abbildung 5 grafisch dargestellt. Für die untersuchten Gebäude ist eine hohe Korrelation zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf bei allen Typen erkennbar. Die größten Abweichungen finden sich bei Gebäudetyp 4 wieder. Bezogen auf den Energiebedarf beträgt die Differenz zwischen Verbrauch und Bedarf 12%. Nach Fertigstellung des Gebäudeinformationssystems lässt sich das vereinfachte Verfahren zur Abschätzung des Energiebedarfes mit den vorhandenen Verbrauchs- und Bedarfsdaten validieren.

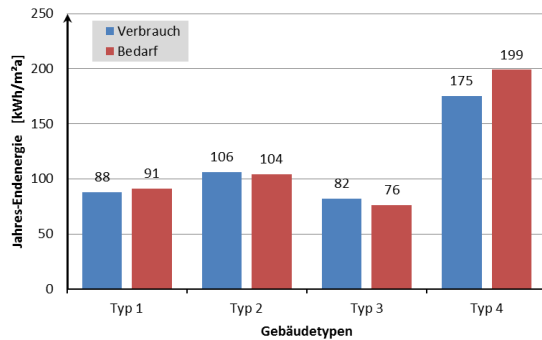


Abbildung 5: Vergleich von Energieverbrauch und Energiebedarf zur Validierung des im Gebäudeinformationssystem verwendeten Schätzverfahrens des Energiebedarfs

DISKUSSION ÜBER DAS ERSTELLTE GEBÄUDEINFORMATIONSSYSTEM

Innerhalb des GEKIS-Forschungsprojektes konnte ein Gebäudeinformationssystem erstellt werden, mit dem bauphysikalische Gebäudedaten in übersichtlicher Art und Weise erfasst und verwaltet werden können. Darüber hinaus ist eine Generierung fehlender Angaben zu Flächen der thermischen Gebäudehülle, Wärmedurchgangskoeffizienten oder Energieeffizienzkennwerten der Anlagentechnik aus wenigen stets vorhandenen Daten möglich. Die anschauliche Darstellungsweise der Informationen in Form von farbcodierten Bauteilen oder ganzer Häuser ermöglicht auch fachfremden Nutzern eine verständliche Analysemöglichkeit einzelner Gebäude oder größerer Wohnsiedlungen. Eine zusätzliche Abschätzung des Energiebedarfs für Heizung und Trinkwarmwasser liefert die Grundlagen eines Entscheidungswerkzeuges, mit dem verschiedene Instandsetzungsmaßnahmen auf einfache und anschauliche Weise verglichen und deren Auswirkungen auf den Energiebedarf bewertet werden können. Aufgrund der vielfältigen Abfrage- und Selektionsmöglichkeiten können mit dem Informationssystem energetische Simulationen für städtische Gebiete durchgeführt werden. Obwohl die erforderliche Datenmenge im Verhältnis zu einer detaillierten Energiebedarfsberechnung gemäß EnEV 2009 gering ist, führt die angestrebte Genauigkeit in den Berechnungsergebnissen dennoch zur Notwendigkeit einer, im Vergleich zu bestehenden Informationssystemen, aufwändigen Datenaufnahme bzw. Datenübertragung, wenn große Siedlungsgebiete als Ganzes untersucht werden sollen. Da das Hauptaugenmerk der Verwendung in der Verwaltung ohnehin vorhandener Daten liegt, stellt diese Einschränkung jedoch keine Anwendungsgrenze dar. Im Vergleich zu sonstigen bauphysikalischen Informationssystemen zeichnet sich das vorgestellte System durch ein hohes Maß an dynamischer Analysefähigkeiten aus, während andere Systeme

teilweise nur den aktuellen Stand der energetischen Qualität von Gebäuden wiedergeben können.

Für das beispielhaft herangezogene Testgebiet steht eine umfassende Datengrundlage in Form von Energiebedarfs- und Energieverbrauchskennwerten zur Verfügung. Somit ist nach Fertigstellung des Informationssystems eine Validierung dieser Neuentwicklung möglich, sodass eine sinnvolle Nutzung der Analysefunktion sichergestellt werden kann.

Der vorgestellte Prototyp des neuen Gebäudeinformationssystems bietet über die Abschätzung des Energiebedarfs hinaus das Potential für verschiedene sinnvolle Erweiterungen. Insbesondere aus der Sicht von Immobilienunternehmen sollen verschiedene Instandsetzungsmaßnahmen und der Verbrauch unterschiedlicher Energieträger mit Kosten versehen werden, sodass über die energetische Bewertung auch eine schnelle überschlägige Kosten-Nutzen-Analyse und die Ermittlung von Gesamtkosten von Instandsetzungsarbeiten innerhalb ganzer Stadtquartiere möglich wird. Da sich die Berechnungsmöglichkeiten derzeit auf den Sektor der Wohngebäude beschränken, ist eine Erweiterung des Informationssystems für eine Anwendung im Nichtwohngebäudebestand anvisiert. Mit Blick auf die wachsenden Anforderungen an Gebäude ist auch ein Ausbau zum Nachhaltigkeits-Informationssystem denkbar.

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des Projektes GEKIS an der Hochschule Bochum ist die Entwicklung eines Gebäudeinformationssystems zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung von bauphysikalischen Gebäudedaten. Dieses System organisiert seine Daten dabei serverseitig in einer PostgreSQL-Datenbank mit PostGIS-Erweiterung, während die Anwendung clientseitig aus einer browsergestützten HTML-Oberfläche und einem Google Earth Plugin besteht. Nach Fertigstellung soll sie in einer Intranet-Umgebung betrieben werden. Dabei bietet die Systemarchitektur zahlreiche Darstellungs-, Datenverwaltungs- und Analysefunktionen, sodass ein Informationssystem mit einer hohen Dynamik entsteht. Innerhalb des Informationssystems können nicht nur große Datenbestände erfasst und verwaltet werden, vielmehr können mit Hilfe eines vereinfachten Verfahrens fehlende bauphysikalische Gebäudedaten abgeschätzt werden, die die Berechnung von Nutz-, End- und Primärenergiebedarf einzelner Gebäude bis hin zu Stadtquartieren möglich machen. Mit der dynamischen Analysefunktionalität können somit für beliebige Selektionen eines Gebäudebestandes Instandsetzungsmaßnahmen untersucht und bewertet werden. Damit bietet das Informationssystem ein hilfreiches Entscheidungswerkzeug für alle an Prozessen zur

Gebäuderevision und –instandsetzung beteiligten Personen. Da für die Entwicklung des Informationssystems ein bekanntes Testgebiet zur Verfügung steht, ist ein umfangreicher Datenbestand für eine Validierung der verwendeten Berechnungsgrundlagen vorhanden. Über die energetischen Fragestellungen hinaus wird eine Erweiterung des Systems, insbesondere um ökonomische Faktoren, angestrebt.

DANKSAGUNG

Das Forschungsprojekt GEKIS wird erst durch die finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung mit dem Förderkennzeichen 17032X10 realisierbar. Darüber hinaus gilt ein besonderer Dank dem Projektpartner Immeo Wohnen GmbH, die der Hochschule Bochum wertvolle Daten ihres Gebäudebestandes für das Projekt zur Verfügung stellt.

LITERATUR

- Blesl, M., Kempe, S., Huther, H. 2010. Erfassung des räumlich hoch aufgelösten Raumwärmebedarfs. EuroHeat & Power, 39. Jg. Heft 1, S. 28-33
- BMVBS (Hrsg.) 2011. Evaluierung ausgestellter Energieausweise für Wohngebäude nach EnEV 2007, BMVBS-Online-Publikation 01/2011
- Brinkhoff, T. 2008. Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis. 492 S., Wichmann Verlag, Oldenburg.
- DENA 2011. Für einen qualitätsgesicherten Energieausweis – ein Plädoyer, Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin
- DIN V 4108-6 2003. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- DIN V 4701. Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- Dorfner, J. 2011. GIS-based Mapping Tool of Urban Energy Demand for Room Heating and Hot Water. Urban Energy Conference, 13-14 October, Debrecen, Hungary
- EnEV 2009. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparenden Anlagentechnik bei Gebäuden.
- Hertl, H., Duscha, M., Eisenmann, L., Bliss, U. 2005. Verbrauchs- oder Bedarfspass? Anforderungen an den Energiepass für Wohngebäude aus Sicht privater Käufer und Mieter. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
- Kaden, R., Krüger, A., Kolbe, T.H. 2012. Intergratives Entscheidungswerkzeug für die ganzheitliche Planung in Städten auf der Basis von semantischen 3D-Stadtmodellen am Beispiel des Energieatlasses Berlin. 32. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 14-12.März 2012, Potsdam. S. 173-186.
- Loga, T., Diefenbach, N., Knissel, J., Born, R. 2005. Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden. Institut Wohnen und Umwelt GmbH
- Müller-Siegert, R., Przybilla, H.-J. 2012. 3D-Informationssysteme für die Bauphysik: Ein alternativer Ansatz der Gebäudemodellierung. In: Seyfert, E.: Erdblicke-Perspektiven für die Geowissenschaften. 32. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 14-12.März 2012, Potsdam. S. 187-194.
- Müller-Siegert, R. 2012. 3-D-Funktionalitäten energetischer Gebäudemodelle auf Basis von hochaufgelösten Fernerkundungsdaten. Masterarbeit Hochschule Anhalt, unveröffentlicht
- Obe, R.O., Hsu, L.S. 2011. PostGis in Action. Manning Verlag, Greenwich.
- Ramos, F., Siret, D., Musy, M. 2004. A 3D GIS for Managing Building Rehabilitation Process. Proc. 12th Int. Conf. on Geoinformatics, 7-9 June, Sweden
- Rylatt, M., Gadsden, S., Lomas, K. 2001. GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments. Computers, Environment and Urban Systems, 25, p. 579-603
- Strzalka, A., Bogdahn, J., Coors, V., Eicker, U. 2011. 3D City Modelling for Urban Scale Heating Energy Demand Forecasting. ASHRAE HVAC&R, 17(4), p. 526-539
- Swan, L.G., Ugursal, V.I. 2009. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, p. 1819-1835
- Thiel, D., Riedel, D. 2011. Typisierte Bauteil-aufbauten – Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart