

## **3D-Informationssysteme für die Bauphysik: Ein alternativer Ansatz der Gebäudemodellierung**

**REBECCA MÜLLER-SIEGERT<sup>1</sup> & HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA<sup>2</sup>**

*Zusammenfassung: Die umfangreichen Anforderungen der Bauphysik an ein flächenübergreifendes 3D-Gebäudeinformationssystem stellt Geowissenschaftler und Informatiker vor neuen Herausforderungen:*

*Zur Darstellung hochkomplexer energetischer Gebäudeinformationen von Siedlungsflächen ist eine Abkehr von den bisher verwendeten Standards und Techniken der 3D-Gebäudemodellierung erforderlich. Im Zuge dessen werden innerhalb eines Projektes der Hochschule Bochum Methoden zur Analyse, Weiterentwicklung und Visualisierung von bauklimatischen Informationen entwickelt. Das zu generierende Informationssystem basiert auf vektorbasierten Gebäudemodellen, die einen innovativen Ansatz in der Modellierung und Datenverarbeitung bieten. Als Basis für dieses Informationssystem wird ein Google Earth Plugin verwendet.*

### **1 Vorstellung des GEKIS-Projektes**

Innerhalb des GEKIS-Projektes (Bauklimatisches Informationssystem auf Basis von Google Earth) arbeiten Bauingenieure und Geoinformatiker mit Immobilienunternehmen zusammen, um ein dynamisches Informationssystem auf Basis von Google Earth zu entwickeln.

Dieses Informationssystem soll dazu beitragen, die Bestände von Immobilienunternehmen effektiver zu verwalten. Ein besonderer Schwerpunkt bei dieser Verwaltung soll dabei auf den bauphysikalischen, bauklimatischen und energetischen Parameter gelegt werden. Bauklimatik bedeutet hier die Berücksichtigung aller äußeren und inneren Einflüsse auf ein Gebäudeobjekt und die entsprechende Energiebilanz. Diese Einflüsse liegen teils in der Exposition, teils in der Gebäudekonstruktion und teils durch die Objekte in der Umgebung des Gebäudes begründet. Einen wesentlichen Einfluss üben darüber hinaus das verwendete Heizungssystem, die lokale Wärmedämmung und die örtlichen Witterungsverhältnisse aus.

Innerhalb des Informationssystems werden 3D-Gebäudemodelle mit bauphysikalischen Parametern verknüpft und auf Basis von Google Earth dargestellt. Die Erstellung dieses System erfordert die enge Zusammenarbeit von Geoinformatikern, Geodäten und Bauingenieuren.

Das GEKIS-Informationssystem ist dadurch ein Produkt der interdisziplinären Zusammenarbeit der Labore Photogrammetrie und Bauphysik der Hochschule Bochum. Während das Labor für Bauphysik für die Berechnung und Analyse der relevanten Einflüsse auf das Energieprofil eines Gebäudes verantwortlich ist, erstellt und entwickelt das Labor für Photogrammetrie das Informationssystem.

---

<sup>1</sup> Rebecca Müller-Siegert, Labor für Photogrammetrie, Hochschule Bochum, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum, E-Mail: [rebecca.mueller-siegert@hs-bochum.de](mailto:rebecca.mueller-siegert@hs-bochum.de)

<sup>2</sup> Heinz-Jürgen Przybilla, Labor für Photogrammetrie, Hochschule Bochum, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum, E-Mail: [heinz-juergen.przybilla@hs-bochum.de](mailto:heinz-juergen.przybilla@hs-bochum.de)

Ein weiterer wesentlicher Projektpartner ist ein Oberhausener Immobilienunternehmen, welches für die notwendigen Untersuchungen dem Projekt ein Untersuchungsgebiet im Norden des Ruhrgebietes zur Verfügung stellte. Dieses Untersuchungsgebiet zeichnet sich durch mehrere architektonisch und bauphysikalisch unterschiedliche Gebäudetypen aus. Insgesamt gibt es bis zu 10 Haupttypen, denen jeweils mehrere Untertypen angehören. Diese Haupttypen weisen eine hohe Heterogenität bezüglich der durchgeführten energetischen Sanierungsmaßnahmen auf und bieten daher der Untersuchung eine ausreichende Forschungsgrundlage.

Die reinen Geometriedaten sollen im Zuge dieses Systems nicht nur als Visualisierungsgrundlage dienen, sondern auch dynamisch die Veränderungen des Energiebedarfes anzeigen. Dadurch erhält der Anbieter nicht nur ein reines Visualisierungstool, sondern auch eine graphische Oberfläche zur anschaulichen Präsentation von sanierungsbedingten Wärmebilanzverbesserungen. Als Grundlage für die Informationsplattform dient ein in eine HTML-Oberfläche eingebundenes Google Earth Plugin.

## 2 Problemstellung

In der Bauphysik verwendete Gebäudemodelle zur Berechnung des Energiebedarfs beruhen vorwiegend auf 2D-Faltmodellen, die als Eingabehilfe dienen. Abb. 1 zeigt ein solches Faltmodell. 3D-Modelle kommen vereinzelt als Visualisierungsbasis in Form von CAD-Zeichnungen zum Einsatz. Die Verwendung einer dreidimensionalen Grundlage zur Darstellung von Informationen findet daher innerhalb der Bauphysik wenig Verwendung. Innerhalb der Geoinformatik ist dieses Gebiet zwar weitestgehend erforscht, jedoch stellen die Erwartungen der Bauphysik an die Darstellung und Verwendung von Gebäudemodellen die Geoinformatik vor neue Herausforderungen. Neben der Einteilung in unterschiedliche Zonen ist ein Gebäude nicht nur durch seine Geometrie, sondern auch durch die Summe seiner bauphysikalischen Parameter bestimmt.

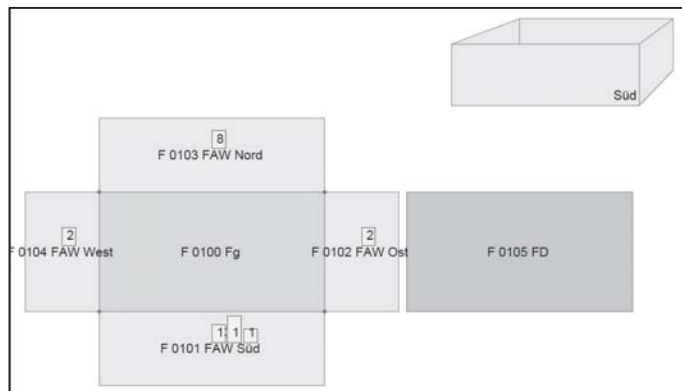


Abb. 1: In der Bauphysik verwendetes Faltmodell zur Berechnung des Energieprofils.

Für das GEKIS-Informationssystem ist daher die Darstellung der Gebäude als massives Objekt weniger wichtig als dessen Unterteilung in unterschiedliche Komponenten. Diese sollen dynamisch, je nach Eingabe des Nutzers, ihre jeweiligen Attribute verändern und so neue Berechnungsgrundlagen für die Visualisierung schaffen. Diese Attribute sollen entsprechend der EnEV 2009, der Energieeinsparverordnung für Gebäude, aufgearbeitet sein. Neue Daten sollen darüber hinaus schnell mit dem bisherigen Bestand verknüpft und die Ladezeit wesentlich reduziert werden. Zur Darstellung komplexer energetischer Gebäudeinformationen, entsprechend eines LOD 4-5 nach

LÜBKE et al. 2003 und STREICH 2011 von Siedlungsflächen, ist daher eine Abkehr von den bisher verwendeten Standards und Techniken der 3D-Gebäudemodellierung erforderlich.

## **2.1 Bisherige Modellierungsmethoden**

Die für die Darstellung innerhalb Google Earths verwendeten Modelle basieren auf XML-Strukturen, die entweder den Verweis auf ein, in einer separaten Datei enthaltenes, Geometriemodell selbst oder die Koordinaten der einzelnen Flächen als String beinhalten. Alternativ werden auch über XML-Anweisungen Gebäudeumrisse extrudiert, um den Anschein eines massiven Objektes zu vermitteln (Google 2012).

OGC-standarisiert unter diesen XML-basierten Modellen sind nach SALMINEN & TOMPA 2011 die Auszeichnungssprachen Keyhole Markup Language (KML) und die nach STADLER et al. 2009 auf einem GML-Anwendungsschema basierende City Geography Markup Language (CityGML).

Beide Ansätze bieten durch den hohen Detaillierungsgrad in der Darstellung vielversprechende Möglichkeiten für ein Informationssystem und sind besonders für die effiziente und umfangreiche Darstellung von kompletten Stadtlandschaften geeignet. Besonders die auf CityGML basierenden semantischen Gebäudemodelle (KOLBE 2009) sind Standard. Allerdings bieten diese massiven Gebäudemodelle oder extrudierten Flächen wenige Ansätze, einzelne Bauteile differenziert darzustellen. Zudem ist bei den erwähnten Methoden bereits die Style-Information bzw. die Textur vorgegeben. Eine dynamische Änderung der Darstellung anhand bestimmter Attribute bedeutet hier eine umfangreiche Aufarbeitung der Modelle für das System und eine Inflexibilität in der Darstellung.

## **2.2 Alternativer Ansatz der GEKIS-Projektes**

Für das GEKIS-Informationssystem soll diese Inflexibilität in der Darstellung vermieden werden. Dafür ist eine detaillierte und in mehrere Komponenten untergliederte Darstellung der Gebäudemodelle notwendig. Diese Einzelteile sollen darüber hinaus anhand eindeutig identifizierbarer Attribute mit Sachinformationen verknüpft werden. Attributiv gespeicherte Informationen sollen sich dynamisch anhand von Nutzereingaben verändern. Die veränderten Attribute beeinflussen wiederum die visuelle Darstellung der Gebäude.

Um diese Kriterien zu erfüllen, erfolgte bei der Erstellung des Informationssystems eine Orientierung an bisher verbreiteten GIS-Systemen, wie ArcGIS oder QGIS, verbunden mit einer Abwendung von den massiven Stadtmodellen. Zu diesem Zweck wurde die Methode Linien und Polygone als Koordinatenstrings in eine KML einzubinden für die Darstellung kompletter Gebäude optimiert. Die Modellierung innerhalb des GEKIS-Projektes nutzt demzufolge Vektordaten. Diese bestehen aus Polygonen, deren räumliche Anordnung den Flächen eines Gebäudes nachempfunden wurde. In der späteren Darstellung dieser Daten in Google Earth sind die so entstandenen Gebäudeobjekte nicht visuell von denen der mit herkömmlichen Methoden erstellten Modelle zu unterscheiden.

### 3 Technischer Hintergrund

#### 3.1 Datenmodellierung

Die Vektordateien werden anhand von Bauzeichnungen oder Laserscans unter Verwendung von AutoCAD als geschlossene Polylinien modelliert. Die so erstellten Daten werden zu einer Shapefile konvertiert und innerhalb von ArcGIS als Polygone interpretiert. Diese werden mit Basisinformationen, wie Adresse oder Bauteilbezeichnung, versehen. Zudem erhalten die Daten eine vorläufige Standard-Farbinformation, welche der jeweiligen Farbe des realen Objektes nachempfunden ist. Die Adresse und die Bauteilbezeichnung dienen dabei als eindeutiges Identifizierungsmerkmal, um ein explizites Objekt innerhalb eines bestimmten Gebäudes zu kennzeichnen.

#### 3.2 Datenverwaltung

Die Verwaltung der Daten erfolgt in einer PostgreSQL-Datenbank mit einer Postgis-Erweiterung, welche dieser erlaubt, räumliche Operationen auszuführen (BRINKHOFF 2009). Diese Erweiterung ermöglicht PostgreSQL geographische Funktionen auszuführen und Geometrien zu verwalten. So werden die aktuellen Daten sowohl als relationale Tabelle wie auch als Geometrie gespeichert. Zusätzlich zu den Geometrien werden in der Datenbank weitere bauphysikalische Sachinformationen verwaltet. Dazu gehören, neben Daten über die energetische Qualität der Wärmedämmung, Aussagen über bauphysikalische Parameter oder über die Anlagentechnik. Über die Adresse als Primärschlüssel erfolgt die Verknüpfung von Geometrien und Sachdaten. Abb. 2 stellt diese

Verknüpfung und die jeweiligen Arbeitsschritte bis zu diesem Punkt dar, an dem die Forschungsergebnisse der Bauphysik und der Geoinformatik zusammen fließen.

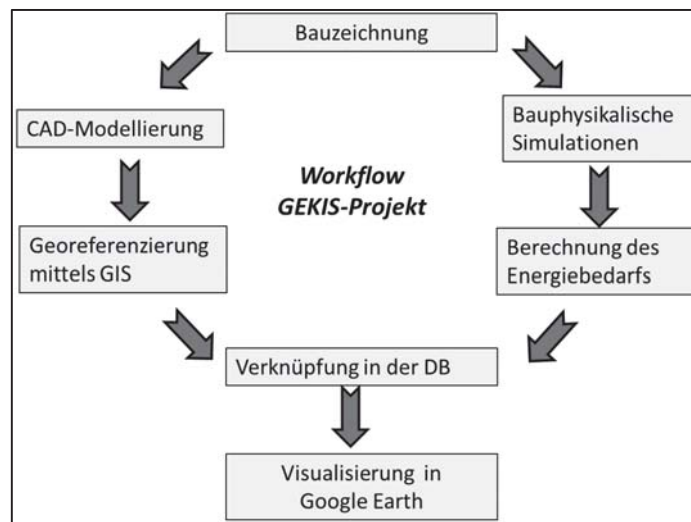


Abb. 2: Workflow des GEKIS-Projektes: Die Verknüpfung geodätischer und bauphysikalischer Informationen resultiert in einer Darstellung innerhalb von Google Earth

#### 3.3 Systemaufbau

Serverseitig wird, neben einer PostgreSQL-Datenbank und einem Apache-Server, PHP verwendet. Dieses stellt die Schnittstelle zwischen der Datenbank und der Visualisierungsebene dar. Dabei wird innerhalb des PHP-Skriptes die Datenbankausgabe in ein KML-Format umgewandelt und mit den entsprechenden Style-Informationen versehen. Die Art der übermittelten Informationen sowie deren Darstellung werden durch JavaScript-Parameter

definiert. Dieses JavaScript interagiert mit dem in die HTML-Oberfläche integrierten Google Earth Plugin. Dieses Plugin ist Teil eines 3D-Viewers. Eine von Google eigens für die Interaktion mit dem Plugin erstellte API ermöglicht neben der Weitergabe von Funktionen deren Visualisierung. Der Nutzer verwendet einen Werkzeugkasten zur Festlegung der Ansichtparameter. Die Modelldarstellung wird diesen Parametern angepasst. Das Plugin selbst ist ein voll funktionsfähiger Earth Globus, welcher die Verknüpfung eigener Funktionen mit der proprietären Software von Google Earth ermöglicht. Darüber hinaus beinhaltet das System neben dem beschriebenen 3D-Viewer eine 2D-Darstellung weiterer Daten, wie einem Baumkataster, welche als separates Informationstool dient. Die in der Abb. 3 ersichtliche Systemarchitektur des GEKIS-Systems gibt einen Überblick über diese grundsätzlichen Systemkomponenten.

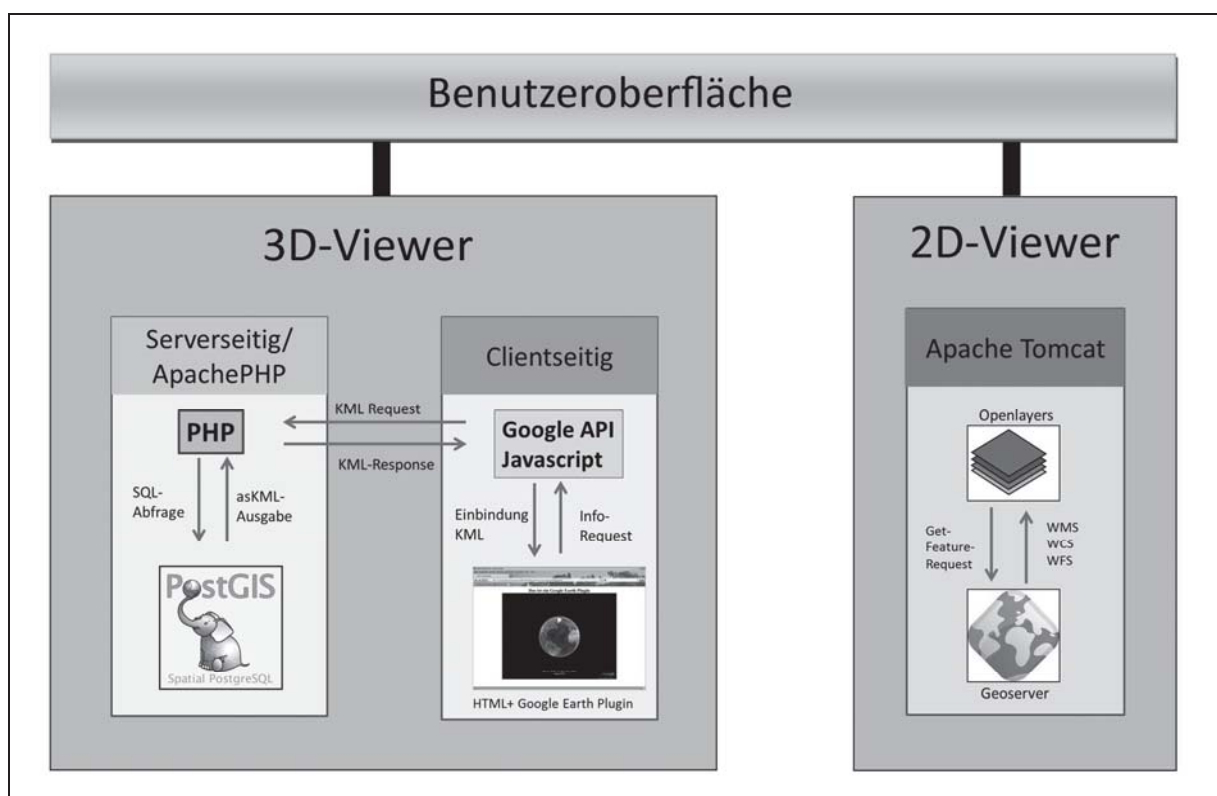


Abb. 3: Systemarchitektur des GEKIS-Informationssystems, bestehend aus einem 3D- und einem 2D-Viewer.

### 3.4 Visualisierung und Funktionen

Die Art der Darstellung der Gebäudeobjekte unterscheidet sich in bereits vordefinierten und in vom Nutzer beeinflussten Ansichten. Innerhalb der vordefinierten Ansicht werden die Gebäudeobjekte in ihrer Standardeinstellung farblich ihren realen Vorbildern angepasst. Zusätzlich liegen bereits vordefinierte Farbschemata und Klassifikationskriterien vor, die der Nutzer auf Wunsch direkt aufrufen kann. Ein Beispiel für ein farblich vorgegebenes Objekt zeigt die Abb. 4, welche einen Ausschnitt der in realen Farben dargestellten Gebäudemodelle darstellt. Je nach Abfrage des Nutzers verändert sich darüber hinaus die Darstellung der Modelle. So ist es

diesem möglich sich z.B. nur einzelne Objekte anzusehen, oder auch den Farbcode der Darstellung anhand eines bestimmten Kriteriums zu verändern.

Beispielhaft soll dies an der Toolbox Solarpotenzial erläutert werden:

Diese Toolbox ermöglicht die dynamische Abfrage und farbcodierte Aufarbeitung der Gebäudeobjekte. Anhand von aktuellen Standards wird hier die Farbe der Dachfläche dem Abfragekriterium angepasst. Neben der Abfrage nach bereits vorklassifizierten Merkmalen ist der Nutzer in der Lage, sich selektiv bestimmte Dachflächen anzeigen zu lassen. Die Anzeige erfolgt anhand von Merkmalen wie Azimut und Neigung. Diese Art der Abfrage hat den Vorteil, dass Veränderungen in der Gesetzgebung oder der Solartechnik mit geringem Zeitaufwand innerhalb des Systems umgesetzt werden.

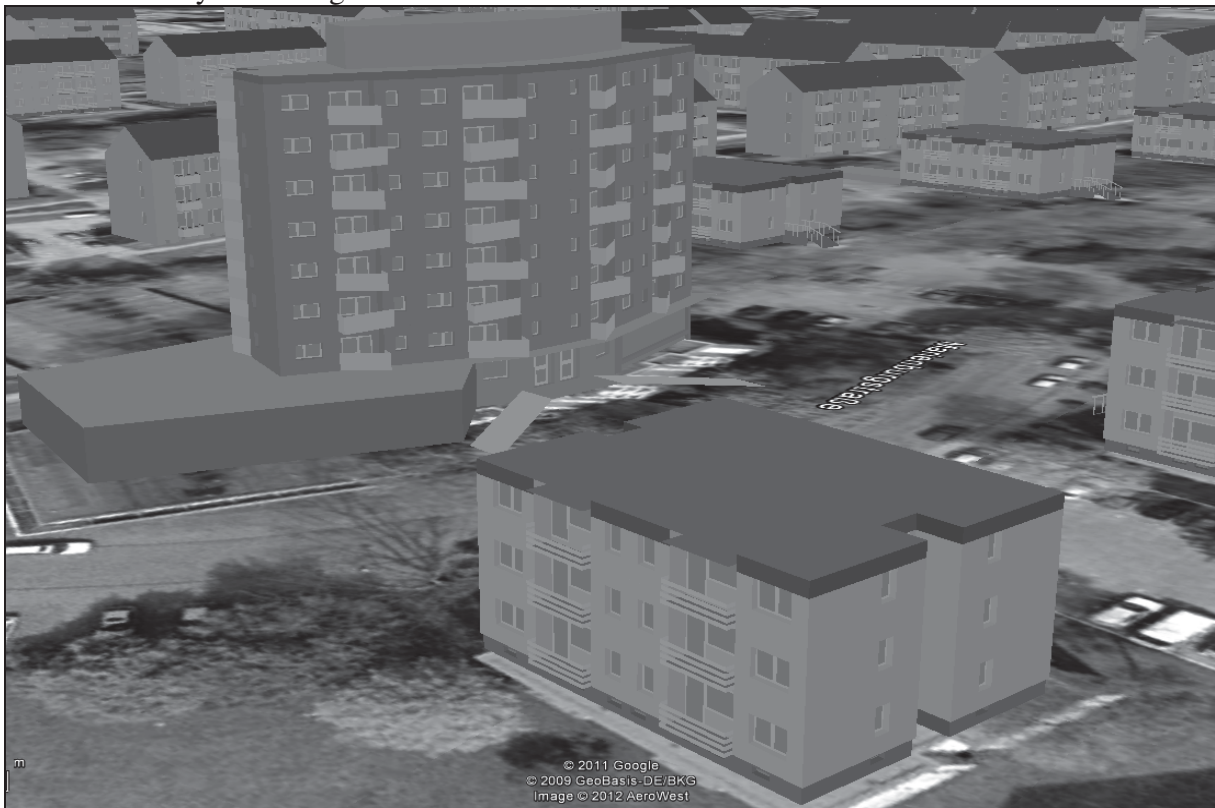


Abb. 4: Vektorbasierte Hausmodelle in Google Earth. Ausschnitt aus dem Informationssystem.

Neben der rein visuellen Darstellung von abgefragten Attributen oder Wertespanssen bietet das System darüber hinaus die Möglichkeit, Berechnungen für das individuelle Energieprofil der Gebäude durchführen zu lassen. Über eine Eingabemaske kann der Nutzer Werte in die Datenbank eingeben, die bei der nächsten Abfrage direkt in die Darstellung mit einfließen. Zusätzlich kann der Nutzer Einfluss auf Berechnungsvariablen nehmen. So zeigt das System beispielsweise eine mögliche Verringerung des Transmissionswärmeverlustes eines Gebäudes durch die Verwendung einer dickeren Wärmedämmung an.

## 4 Bewertung des vektorbasierten Ansatzes

Im Gegensatz zu den bisher in der 3D-Modellierung verwendete Methoden bietet der Ansatz einer vektorbasierten Darstellung dem Anwender die Möglichkeit innerhalb eines detaillierten, auf kleinere Stadtteile angepassten Rahmens arbeiten zu können. Die dargestellten Komponenten sind nicht vordefiniert, sondern können in ihrer Darstellung vom Nutzer beeinflusst werden. Zudem bedeutet der Verzicht auf jede Art von Textur eine wesentlich kürzere Ladezeit bei der Darstellung hochkomplexer kleinräumlicher Modelle. Darüber hinaus können sowohl die Objekte selbst, wie auch die mit ihnen verknüpften Daten mit geringem Aufwand vom Nutzer verändert werden.

Für ein Immobilienunternehmen bedeutet dies nicht nur eine verbesserte Pflege des eigenen Datenbestandes, sondern auch eine relativ schnelle und kosteneffiziente Methode, Sanierungsauswirkungen auf ein Gebäude oder eine Siedlung bereits im Vorfeld einer Maßnahme abschätzen zu können. So kann der Einfluss einer neuen Gebäudedämmung auf den Energieverbrauch relativ schnell veranschaulicht werden. Zudem können bereits im Vorfeld erstellte Klassifikationen, wie die bereits erwähnte Eignung für Solarpotenzial, auf einfache Art und Weise aktuellen Richtlinien angepasst werden. Dieser Tatbestand verhindert eine Überalterung des Datenbestandes und bedeutet für das System ein Zugewinn an Resilienz. Zudem reduzieren sich Fehlerquellen, die durch eine manuelle Klassifikation einzelner Flächen auftreten könnten. Dem Mehrwert an diesem alternativen Modellierungsansatz geht aber eine umfangreiche Datenaufbereitung voraus. Erschwerend wirkt zudem der Einfluss von Google Earth als Darstellungsplattform, welches als proprietäre Software wenig Aufschluss über im Hintergrund ablaufende Prozesse gibt. Abzuwarten wäre daher die Entwicklung eines vergleichbaren Open-Source-Plugins und dessen Vor- oder Nachteile für das verwendete System.

Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass dieser Ansatz sich hervorragend für die Darstellung einzelner Gebäudeobjekte oder kleinere Stadtteile, aber weniger für einen großräumigen Ansatz eignet. Für größere Gebiete, mit weniger dynamischen Auswertungskriterien, eignen sich eher die bewährten Methoden.

## 5 Zusammenfassung

Die von Immobilienunternehmen und Bauingenieuren benötigten Gebäudeinformationssysteme erfordern einen alternativen Ansatz in der Gebäudemodellierung. Daher werden innerhalb des GEKIS-Informationssystems vektorbasierte Modelle verwendet. Diese sind für den kleinräumlichen Einsatz und für eine hochdynamische Darstellung optimiert. Die Verwaltung dieser Modelle erfolgt in einer PostgreSQL/Postgis-Datenbank. Als Visualisierungsplattform dient ein Google Earth Plugin. Diese Art der Datenhaltung wurde speziell für die detaillierte, hochdynamische Visualisierung von bauphysikalischen Informationen ausgewählt. So ermöglicht sie eine größere Informationsdichte als bei gebräuchlichen Darstellungen in der Bauphysik. Zudem erleichtert diese Modellform die Verknüpfung und Visualisierung von Sachinformationen mit Gebäudegeometrien. Darüber hinaus ermöglicht sie dem Anwender eine

unkomplizierte Veränderung und Pflege des Datenbestandes. Neue Datengrundlagen oder Sanierungen können bereits im Vorfeld in das Informationssystem eingepflegt und deren Auswirkungen dreidimensional dargestellt werden. Zudem können selektiv nur einzelne Aspekte der Gesamtszene von dem Anwender detailliert untersucht werden.

Die umfangreichen Analysemöglichkeiten kompensieren eine langwierige Datenaufbereitung und ermöglichen eine schnelle Verknüpfung mit neuen Datenbeständen. Der programmiertechnische Aufwand wurde so reduziert. Auch kann das System gesetzlichen und technischen Veränderungen in der Gebäudesanierung durch geringen programmiertechnischen Aufwand angepasst werden. Dadurch ist die vektorbasierte Darstellung durchaus als eine Alternative zu den bisherigen Ansätzen der 3D-Stadtmodellierung zu betrachten.

## 6 Literatur

- BRINKHOFF, T., 2008: Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis. 492 S., Wichmann Verlag, Oldenburg.
- EnEV, 2009, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung für Gebäude, nichtamtliche Fassung. Quelle: [http://www.enev-online.org/enev\\_2009\\_volltext/index.htm](http://www.enev-online.org/enev_2009_volltext/index.htm) (letzter Zugriff 19.01.2012).
- KOLBE, T., NAGEL, T. & STADLER, A., 2009: CityGML – OGC Standard for Photogrammetry? In: Photogrammetric Week (2009), S. 265-277.
- LUEBKE, D., REDDY, M., COHEN, J.D., VARSHNEY, A., WATSON, B. & R. HUEBNER, R., 2003: Level of Detail for 3D Graphics. 405 S., Elsevier Science, San Francisco.
- OBE, R. O. & HSU, L. S., 2011: PostGis in Action. 491 S., Manning Verlag, Greenwich.
- SALMINEN, A. & TOMPA, F., 2011: Communicating with XML. 237 S., Springer Verlag, London.
- STADLER, A., NAGEL, C., KÖNIG, G. & KOLBE, T., 2009: Making Interoperability Persistent: A 3D Geo Database Based on CityGML. In: LEE, J. & S. ZLATANOVA (Hrsg.), 3D GeoInformation Science. S. 175-192, Springer Verlag, Heidelberg.
- STREICH, B., 2011: Stadtplanung in der Wissensgesellschaft. 723 S., SV Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- WIESNER, W., 2007: Energetische Grundlagen solaren Bauens. In: EVERDING, D. (Hrsg.), 2007, Solarer Städtebau. Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, S. 101-124.