

Flächendeckende Heizwärmebedarfsberechnung für Städte auf Basis eines CityGML-Modells am Beispiel der Stadt Ludwigsburg

HABIBURRAHMAN DASTAGEERI¹, ROMAIN NOUVEL², MARYAM ZIRAK³, URSULA EICKER⁴ & VOLKER COORS⁵

Die Abteilung Geoinformatik und das Zentrum für nachhaltige Energietechnik der Hochschule für Technik Stuttgart entwickeln zusammen die neue urbane Simulationsumgebung SimStadt. Basierend auf CityGML kann SimStadt vielfältige Lösungen für die Energieanalyse einzelner Stadtquartiere, gesamter Städte und sogar Regionen realisieren. Hierfür verwendet SimStadt 3D Stadtmodelle in den folgenden Level of Details (LOD): LOD 1 für simple, rechteckige Gebäudeblocks und LOD2 für Modelle mit Berücksichtigung der Dachform. Eine Einzelgebäudebetrachtung ist auf Basis von LOD3-Modellen möglich, die zudem auch die Fensterpositionierung berücksichtigen. Das Verfahren wird hier am Beispiel einer Wärmebedarfssimulation des gesamten Stadtgebiets Ludwigsburg vorgestellt und erläutert.

1 Einleitung

In den letzten Jahren findet das große Potenzial virtueller 3D-Stadtmodelle immer häufiger Beachtung und Anwendung. Insbesondere werden die geometrischen und semantischen Modelle in den Bereichen Stadtplanung, Umwelt und Energie vermehrt eingesetzt.

Die eigens entwickelte Simulationsumgebung SimStadt bietet die Möglichkeit den Heizwärmebedarf gesamter Städte zu simulieren und frühzeitig Prognosen zu erstellen, die in die Stadtplanung mit einfließen können. In dem Beitrag wird das Ergebnis einer Heizwärmeberechnung für die gesamte Stadt Ludwigsburg vorgestellt. Anhand des Evaluationsgebiets Ludwigsburg - Grünbühl, wofür auch Verbrauchsdaten vorliegen, wurde das Verfahren schon validiert. Vorangegangener Studien (1, 2), die im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte (EnEffStadt Ludwigsburg und Klimaneutrale Kommune) ein LoD1-Modell nutzen, dienten als Basis der Simulation. Der aktuellen Studie liegt ein LoD2 Stadtmodell zugrunde, über das die Stadt Ludwigsburg seit 2013 verfügt. Dieses 3D-Stadtmodell wurde für die Wärmebedarfssimulation auch mit Zensusdaten angereichert, so dass für die Simulation notwendige Attribute, wie Baujahr, nahezu flächendeckend für Wohngebäude im Modell vorliegen.

1) Habiburrahman Dastageeri, Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart; E-Mail: habiburrahman.dastageeri@hft-stuttgart.de

2) Romain Nouvel, Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart; E-Mail: romain.nouvel@hft-stuttgart.de

3) Maryam Zirak, Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

4) Ursula Eicker, Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart; E-Mail: ursula.eicker@hft-stuttgart.de

5) Volker Coors, Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart; E-Mail: volker.coors@hft-stuttgart.de

2 Problemstellung

Ökologisch und ökonomisch betrachtet ist die Reduzierung des Energieverbrauchs wichtig und erstrebenswert. In Deutschland hat der Gebäudebestand beim Wärmeverbrauch das höchste Einspar- und somit CO₂- Reduktionspotenzial. Hierzu werden innovative Sanierungskonzepte benötigt. Idealerweise sollte auf Stadtebene Szenarien zur Heizwärmebedarfsberechnung simuliert und analysiert werden können. Ziel dieser Arbeit war es diesen Anforderungen gerecht zu werden und eine Heizwärmebedarfsberechnung, basierend auf ein 3D Stadtmodell, gebäudegenau für die komplette Stadt Ludwigsburg nach der standardisierten DIN 18599 (Monatsbilanzverfahren (3)) zu simulieren.

3 Vorgehensweise

Als Grundlage der Berechnung dient ein 3D Stadtmodell. Hierzu wurden im Vorfeld die Daten mittels Laserscanbefliegung (Stand: April 2012) gesammelt. Gemeinsam mit den Gebäudegrundrissdaten aus dem Kataster Ludwigsburg (Stand: September 2011) und den Gebäudehöhen aus der Lärmkartierung 2002 (Stand: März 2011) konnte ein 3D Stadtmodell LOD2 generiert werden. Das Modell wurde darauf von der Hochschule für Technik Stuttgart validiert. Damit waren die Voraussetzungen gegeben und in der ersten der drei Projektphasen wurden im Datenaufbereitungsschritt Gebäudevolumen, an Nachbargebäude angrenzende Wandflächen, A/V-Verhältnis und weitere geometrische Parameter für die eigentliche Gebäudesimulation berechnet. In der zweiten Phase wurden die Daten durch Sachdaten angereichert. Diese bilden die Eingangsdaten für eine Wärmebedarfsberechnung, die in der dritten Phase mit dem Simulationssystem INSEL gebäudegenau durchgeführt wurde.

Mit Hilfe der hier vorgestellten Vorgehensweise ist die Berechnung einer Wärmebedarfsberechnung sowohl auf Basis von LoD1 als auch von LoD2 möglich. Notwendige Voraussetzung ist neben der Gebäudegeometrie auch zumindest die Kenntnis über das Baujahr bzw. den Sanierungsstand der Gebäude. Jede zusätzliche Information (Wandtyp, eventuelle Sanierungsmaßnahmen, Haushaltstyp und Einwohnerzahl) verfeinert das Modell und verbessert die Genauigkeit der Ergebnisse. Neben dem aktuellen Wärmebedarf können auch Sanierungsszenarien gerechnet werden, wie beispielsweise der Effekt einer Sanierungsrate von jährlich 2% des Gebäudebestands. Unter Verwendung weiterer Attributdaten, wie Heizungstyp, können darüber hinaus auch die Reduktion von CO₂-Emissionen bewertet werden.

3.1 Geometrische Datenaufbereitung

Das 3D Stadtmodell für die gesamte Stadt Ludwigsburg liegt im LOD2 vor. Allerdings verfügt das Modell noch nicht über die notwendigen Parameter zur Berechnung einer Heizwärmebedarfssimulation. Hierfür wurde eigens die Software SimStadtPreProc implementiert. SimStadtPreProc liest das 3D Stadtmodell ein und berechnet alle notwendigen geometrischen Parameter.

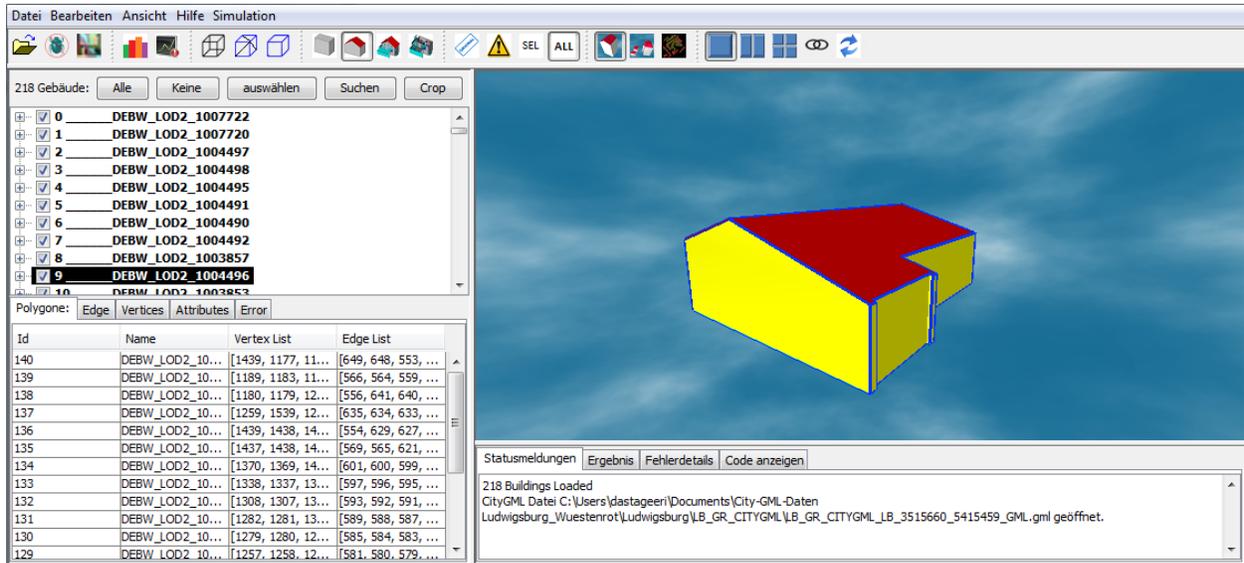


Abb. 1: Benutzeroberfläche der Software SimStadtPreProc

Damit ist es möglich alle relevanten geometrischen Kennwerte automatisiert zu ermitteln. Hierzu zählen Gebäudevolumen, Flächenangaben für jede Teilfassade und Dachfläche, der Normalenvektor, die Ausrichtung nach Norden (Azimuth) sowie die Neigung. Auch Beziehungen zwischen den Gebäuden werden analysiert. Hierbei wird überprüft, ob Fassaden bzw. Flächenanteile oder Dachflächen frei stehen, oder von einem benachbarten Gebäude angrenzt werden. Neben LOD2 können auch LOD1 Modelle eingelesen und entsprechend aufbereitet werden. SimStadtPreProc erlaubt zudem die visuelle Darstellung einzelner Gebäude oder gesamter Städte. Abbildung 1 stellt die Benutzeroberfläche von SimStadtPreProc dar.

3.2 Anreicherung der Gebäudeattribute

Das 3D CityGML Stadtmodell von Ludwigsburg enthält die Gebädefunktionen nach der Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) Klassifizierung. Die Kenntnis dieser Gebädefunktionen erlaubt die für die Heizwärmebedarfsberechnung notwendigen Parameter (Soll-Temperatur, hygienischer Luftwechsel, tägliche Heizbetriebsstundenanzahl etc.) zu ermitteln. Die Bibliothek der Standardwerte pro Einzel-Gebäudenutzung ist in der Norm 18599-10 verfügbar. Allerdings müssen die gemischten ALKIS-Gebädefunktionen (Wohn- und Geschäftshaus, Wohn- und Verwaltungsgebäude) mit Einzel-Gebäudenutzung gesondert berücksichtigt werden.

Im nächsten Schritt wurde das 3D Stadtmodell um Sachdaten angereichert. Hierfür wurden die Zensusdaten für die gesamte Stadt Ludwigsburg zur Verfügung gestellt. Die Daten umfassen Gebäude-ID, Adresse, Gebäudetypbauweise (gereihtes Haus, freistehendes Haus, Doppelhaushälfte, anderer Gebäudetyp), klassifizierte Anzahl der Wohnungen (1, 3-6, 7-12, 13 und mehr Wohnungen) und Baualter (vor 1919, 1919-1949, 1950-1959, 1960-1969, 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2005, 2006 und später). Aus den gegebenen Daten sowie dem berechneten A/V-Verhältnis und Gebäudehöhe konnte nach den IWU Referenz-Gebäudetypen (4) die Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Reihenhause, Mehrfamilienhaus, Großfamilienhaus,

Hochhaus) definiert werden. Zudem wurden Gebäudealtersklassen der Zensusdaten der IWU Referenz-Gebäudealtersklassen angeglichen. Die Gebäudealtersklasse ist zwingend notwendig für die Heizwärmebedarfsberechnung. In den folgenden Schritten wurden nur noch Gebäude berücksichtigt, denen Zensusdaten zugrunde lagen. Das entspricht 84% aller beheizten Gebäude und 92% aller Wohngebäude in Ludwigsburg.

3.3 Aufbereitung der thermischen Gebäudemerkmale

Mittels Gebäudenutzung, -typ und -alter konnten bauphysikalische Daten, wie U-Werte, Wärmebrücke und Infiltrationsrate ermittelt werden. Zudem ermöglichten die Informationen aus der 3D Modellanalyse zur Gebäudegeometrie und den Fassadenflächen den gesamten Wärmedurchgangskoeffizienten zu berechnen. Die weiteren notwendigen Gebäudenutzungsparameter (Soll-Innentemperatur, interne Gewinne, hygienischer Luftwechsel, tägliche Heizbetriebsstundenanzahl, Heizbetriebstagesanzahl pro Jahr) wurden auf Basis der DIN 18599-10 erstellt.

4 Wärmebedarfsberechnung

Alle bislang ermittelten Daten dienen als Eingangsdaten für den Gebäudeheizwärmebedarf, das nach dem Monatsbilanzverfahren nach DIN 18599 pro Gebäude berechnet wurde. Hierzu wurde eine Bilanz von den folgenden Wärmequellen und -senken ermittelt: Transmissions-, Lüftungswärmesenke, Interne Wärmequellen, Wärmesenken durch Abstrahlungsverluste und Wärmequellen aufgrund solarer Einstrahlung. Hierbei waren folgende Aspekte zu berücksichtigen: - die Wärmespeicherfähigkeit und der spezifische Transmissions- und Lüftungswärmeoeffizienten, die Gebäudezone über der Auskühlzeitkonstante, das Verhältnis von Wärmequellen zu Wärmesenken innerhalb des Berechnungszeitraumes, der Berechnungszeitraum und die vom Nutzer tolerierte Schwankung der Innentemperatur. Die Berechnung erfolgte mittels der Software INSEL, wobei lokale Wetterdaten (Außen-, Himmelstemperatur, Solarstrahlung pro Orientierung) verwendet wurden.

4.1.1 Visualisierung der Ergebnisse

Insgesamt wurde der Heizwärmebedarf von mehr als 14.000 Gebäuden (5,7 Millionen m² Wohnfläche) berechnet. Zur einfachen Auswertung der Ergebnisse wurden die Daten visuell dargestellt. Gebäude ohne Zensusdaten oder nicht beheizte Gebäude wurden nicht berücksichtigt und sind in der Abbildung in grauer Farbe dargestellt. Die übrigen 51% der Gebäude wurden nach spezifischem Heizwärmebedarf eingefärbt, von dunkelgrün für die effizientesten Gebäude mit einem spezifischen Heizwärmebedarf unter 50 kWh/m².a bis hin zu dunkelrot für Gebäude mit einem Wert über 250 kWh/m².a. Aus Datenschutzgründen stellt die folgende Abbildung 2 eine auf Modellrechnung basierte, unvollständige und zusammengefasste Ansicht des Heizwärmebedarfs für Ludwigsburg Mitte dar. Aktuelle Sanierungen oder Ähnliches wurden hier nicht berücksichtigt.

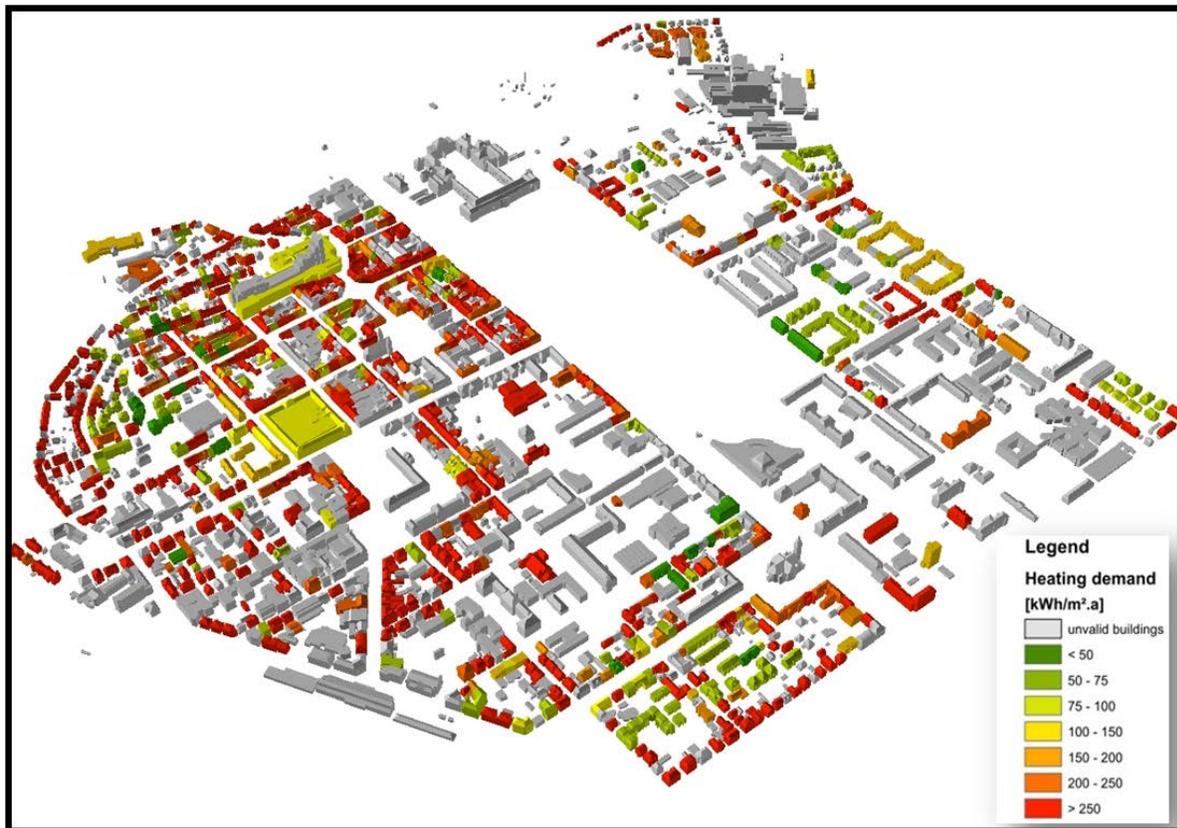


Abb. 2: Heizwärmebedarf für Ludwigsburg Mitte (Modellrechnung)

Für diese Gebäude, die 92% aller Wohngebäude ausmachen, erreicht der gesamte Heizwärmebedarf 954 GigaWattStunden pro Jahr (GWh/a). Das heißt der Heizwärmebedarf beträgt 167 kWh/m².a, normiert auf die gesamten beheizten Geschossflächen und liegt damit nah am bundesdeutschen Durchschnitt (160 kWh/m².a).

Auf dem folgenden Diagramm unten wird ersichtlich, dass der spezifische Heizwärmebedarf in Ludwigsburg eine statistische Normalverteilung (zentriert auf ca. 160 kWh/m².a) darstellt, mit einer bedeutenden Erhöhung für die Gebäudekategorie mit 50-75 kWh/m².a. Diese entspricht der neuen Gebäudekonstruktion (nach EnEV) sowie und den kürzlich ausgeführten Gebäudesanierungen.

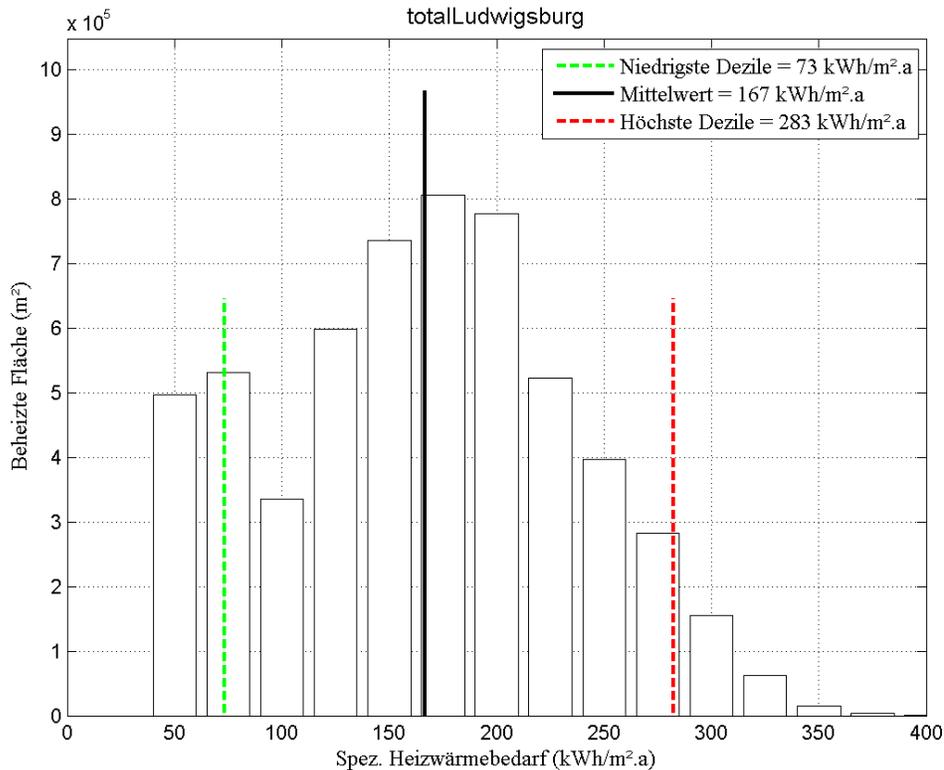


Abb. 3: Histogramm vom spezifischen Heizwärmebedarf in Ludwigsburg

4.1.2 Auswertung der Ergebnisse

Die Eingangsdaten der Heizwärmebedarfsberechnung umfassten die Gebäudegeometrie, Gebäudefunktionen und die verfügbaren Zensusdaten. Weitere bauphysikalische und nutzerabhängige Parameter wurden rechnerisch und mittels Gebäudebibliotheken und Standards ermittelt. Jedoch sind für die Reduzierung von Abschätzungsfehler detailliertere Informationen, wie z.B. die Geschosshöhe wünschenswert. Hier wurde zur Definition der Geschosshöhe die Gebäudehöhe durch eine von der Gebäudetypologie abhängige statistische Geschosshöhe, entsprechend der IWU Gebäudetypologie Bibliothek, dividiert.

Tab 1: Ausschnitt aus der IWU Gebäudetypologie Bibliothek

Kürzel für die Datenbank	EFH_A	EFH_B
Gebäudetyp	EFH	EFH
Baujahr	vor 1918	vor 1918
beheizte Wohnfläche [m ²]	199	128,9
mittlere lichte Raumhöhe [m]	2,3	2,6
beheiztes Gebäudevolumen nach EnEV [m ³]	767,6	595,0
Anzahl Vollgeschosse	2	2
Anzahl Wohneinheiten	1	1

Zu berücksichtigen wäre allerdings, dass für manche Gebäude, insbesondere Gebäude mit geneigtem Dach, es zu Fehler kommen kann. Weitere erstrebenswerte Informationen wären Details zur Verteilung des Volumenanteils von Wohnung und z.B. Büro bei Einzel-Gebäuden, die privat und gewerblich genutzt werden. Obwohl Vollsanierungsjahre in der Baualtersklassendefinition berücksichtigt werden, wären Details zu den Dämmungsmaßnahmen oder ggf. erreichte Energiestandards, insbesondere bei teilweise sanierten Gebäude, von Vorteil.

5 Fazit

Basierend auf das 3D Stadtmodell konnte der Heizwärmebedarf von 92% aller Wohngebäude d.h. 14.000 Gebäude nach DIN 18599 berechnet werden. Der Heizwärmebedarf wurde für die gesamte Stadt zur einfacheren Auswertung visuell dargestellt. Mit Leichtigkeit können nun für Stadtgebiete Prognosen für den zukünftigen Heizwärmebedarf bei bestimmter Sanierungsrate gerechnet werden, wie beispielsweise der Wärmebedarf für eine gesamte Stadt bei fortlaufender Sanierungsrate von 2% für das Jahr 2030. Die entwickelte Heizwärmebedarfsberechnung konnte zudem für die Diagnose und Kalibrierung des 3D Energiemodells dienen und zeigte die Möglichkeiten dieses innovativen Verfahrens. Zur Verbesserung der Ergebnisse und Reduzierung der Abschätzungsfehler sind zudem genauere Sachdaten erstrebenswert. Eine Möglichkeit, Daten in der notwendigen Genauigkeit zu ermitteln, wäre z.B. eine Online Crowdsourcing-Plattform. Im Austausch zu einer Heizwärmebedarfsanalyse würden die Bewohner motiviert werden können, die relevanten Informationen zur Auswertung zur Verfügung zu stellen.

Danksagung: Die Autoren danken der Stadt Ludwigsburg für die entgegenkommende und freundliche Zusammenarbeit im Rahmen des Projektes SimStadt. Weiterhin gilt der Dank dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) für die Unterstützung und Förderung des Forschungsprojekts SimStadt.

6 Literaturverzeichnis

- NOUVEL, R.; SCHULTE, C.; EICKER, U.; PIETRUSCHKA, D.; & COORS, V., 2013: CityGML-based 3D City Model for energy diagnostics and urban energy policy support. IBPSA World 2013, (1)
- NOUVEL, R.; SCHULTE, C.; EICKER, U.; SCHUMACHER, J.; & COORS, V., 2012: 3d-Stadtmodelle für die Wärmebedarfberechnung. BauSIM 2012, (2)
- DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: DIN V 15899-2, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin August 2005 (3)
- IWU DARMSTADT: Wohnen und Umwelt (IWU), Deutsche Gebäudetypologie, Systematik und Datensätze, 2003 (4)

6.1.1 Weitere Referenzen

- KADEN, R.; KOLBE, T. H., 2013: City-Wide Total Energy Demand Estimation of Buildings using Semantic 3D City Models and Statistical Data. 3D GeoInfo 2013