

Energieeffiziente Stadt – Prognose von Energiebedarf auf Basis von 3D- Stadtmodellen

Prof. Dr. Volker Coors, HFT Stuttgart

8. GeoForum MV

GIS schafft Energie – Geoinformationsbeiträge zur Energiewende

16./17. April 2012

Rostock-Warnemünde

Motivation

Der Gebäudesektor ist mit 40 % des Gesamtenergieverbrauchs und 36 % der CO₂-Emissionen der größte Energieverbraucher in der EU

(Quelle: [ICT for a low carbon economy – Smart Buildings](#))

Laut statistischem Bundesamt gibt es in Deutschland ca. 18 Millionen Wohngebäude und ca. 1,5 Millionen Nichtwohngebäude. (<https://www-genesis.destatis.de/>)

75 Prozent davon sind vor der ersten Wärmeschutzverordnung (1. November 1977) errichtet worden und vielfach unsaniert.

Durch innovative Sanierungskonzepte bei Altbauten könnten jedoch bis zu 80 Prozent des Primärenergieverbrauchs eingespart werden

→ Übersicht über aktuellen Wärmebedarf (IST-Zustand) sowie effiziente Möglichkeit zur Berechnung und Visualisierung von Sanierungsszenarien notwendig

Motivation

Baualterklasse			EFH	RH	MFH	GMH	HH
A	vor 1918	Fachwerk	EFH_A 		MFH_A 		
B	vor 1918		EFH_B 	RH_B 	MFH_B 	GMH_B 	
C	1919-1948						
D	1949-1957						
E	1958-1968						
F	1969-1978						
G	1979-1983						
H	1984-1994						
I	1995-2001		EFH_I 	RH_I 	MFH_I 		
J	nach 2002		EFH_J 	RH_J 	MFH_J 		



Gebäudeart	Mehrfamilienhaus
Baujahr	1969-1978
überbaute Fläche (GRZ)	0,3
Zahl der Vollgeschosse	II-III
A/V-Verhältnis	0,5
beheizte Wohnfläche in m ²	500
Heizwärmebedarf (kwh/m ² a)	170
CO ₂ -Emissionen (g/m ² a)	249

S. Kölmel: Klimagerechter Stadtumbau, Master Thesis, 2008

Suchen

Anfliegen Branchen Route

Anfliegen Bsp: Baumwall, Harburg

Orte

- Inhalt hinzufügen
- Stadtkreisgrenze, Logo
 - internet_master_1-2.kml
 - internet_master_3-8.kml
 - internet_master_4-9-1...
 - internet_master_5-6-7...
 - Stadtmessungsamt
 - Stuttgart 21 - Das neue...
 - Café Cassis
Created with Google SketchUp
6.0.515
 - Temporäre Orte
 - Stuttgart3D_KML_Internet.kml

Ebenen

- Primäre Datenbank
- Geografie im Web
- Straßen
- 3D-Gebäude
- Street View
- Grenzen und Beschriftungen
- Wetter
- Galerie
- Globales Denken
- Interessante Orte
- Mehr
- Gelände



48°46'48.99" N 9°10'21.86" E

Höhe 257 m

22 Sep. 2006

Sichthöhe 570 m

3D-Stadtmodell zur Wärmebedarfsabschätzung

Benötigte Daten:

- Volumen aus Gebäudegeometrie
- A/V-Verhältnis aus Gebäudegeometrie
- Baujahr
- Nutzungsart
- Gebäudetypologie (in der Regel nicht vorhanden)

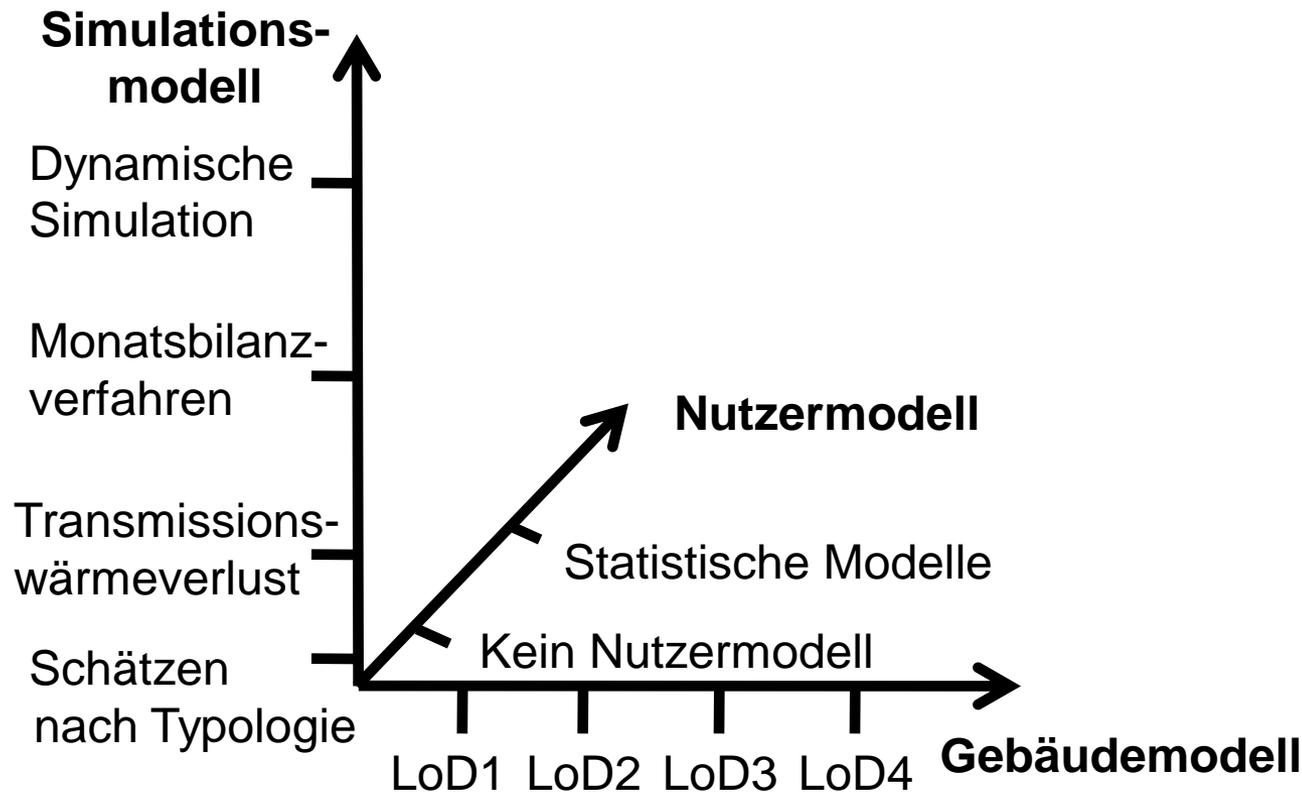
Zusätzlich Vorhanden:

- Exakte Ausrichtung von Fassaden und Dächern
- Ggf. Fassadentexturen

ZIEL:

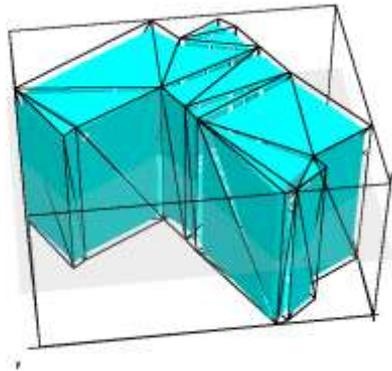
**VOLLSTÄNDIG AUTOMATISIERTE
WÄRMEBEDARFSPROGNOSE EINER STADT**

Einflussfaktoren Wärmebedarfsprognose



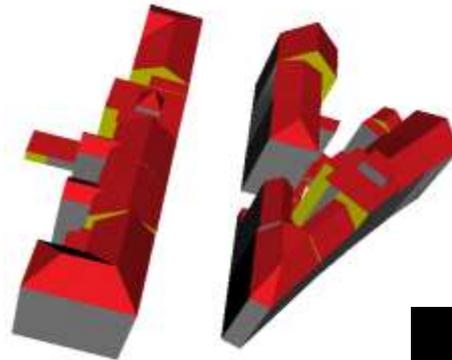
Datenaufbereitung

Volumen

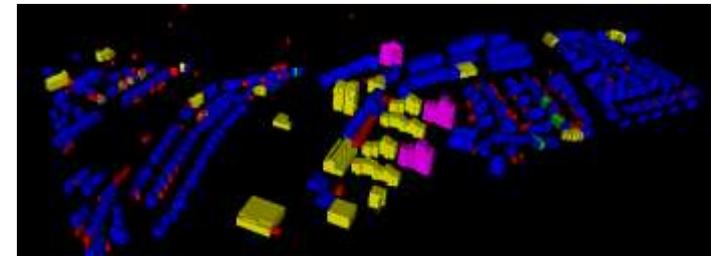
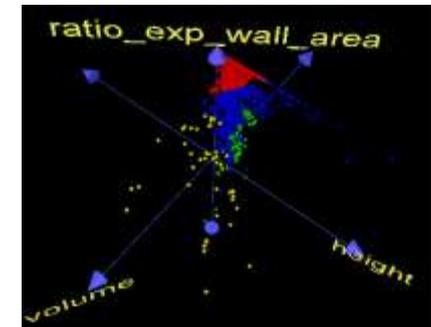


$$V = \sum_{i=1}^n \frac{|\det(a_i - b_i, b_i - c_i, c_i - d_i)|}{6}$$

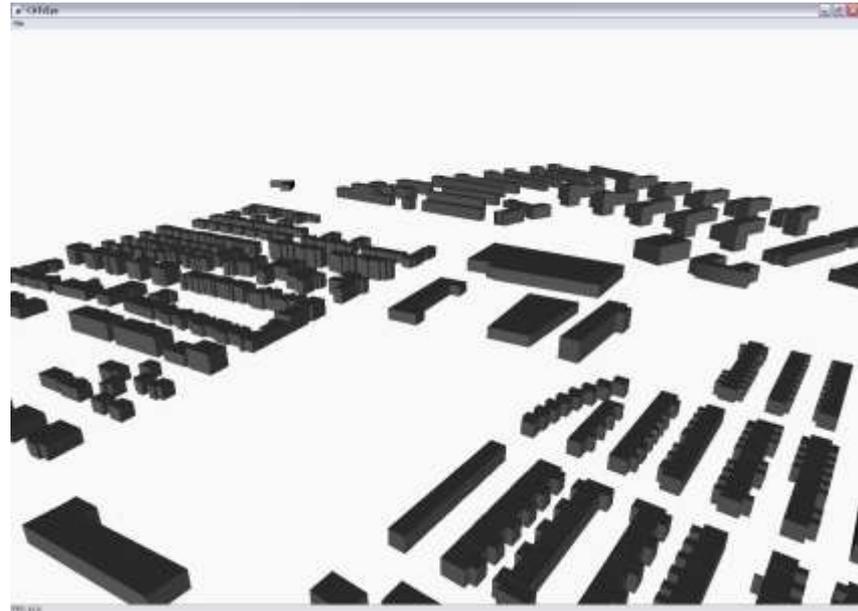
Außenwände



Gebäudetypologie
(Clustering, k-means)



Fallstudie 1: Scharnhauser Park



Aneta Strzalka, Jürgen Bogdahn, Volker Coors, Ursula Eicker,
3D City MODELING for Urban Scale Heating Energy Demand Forecasting,
ASHRAE HVAC&R
Research Journal on "Indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings"

Fallstudie 1: Scharnhauser Park

- Neubaugebiet, ca. 7.000 Einwohner
- 80% Energiebedarf lokal durch Biomasse
- Verbrauchsdaten auf Tagesbasis 2008 - 2010 liegen vor

Average U-values for the buildings constructed between 2000 -2008.				
Building element	Outer wall	Roof	Floor	Window
Building category	Row houses			
<i>Avg U-Value [W/m²K]</i>	0.22	0.165	0.21	1.3
Building category	Multi-family houses			
<i>Avg U-Value [W/m²K]</i>	0.241	0.214	0.556	1.2

Simulationsmodell

- Modell 1:

Wärmebedarfsermittlung durch Transmissions-Wärmeverlust-Koeffizient und der täglichen Aussentemperatur

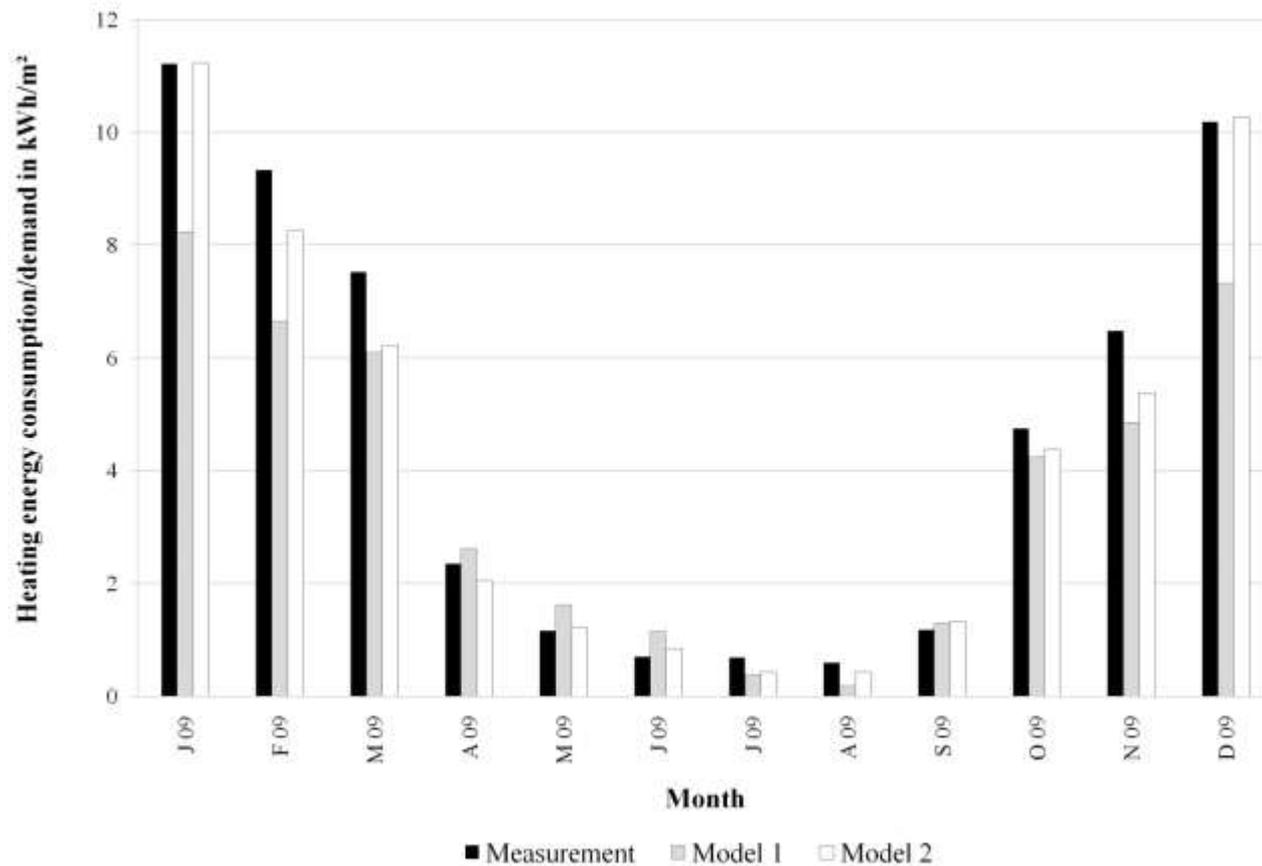
- Modell 2:

Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599 unter Berücksichtigung interner und externer Wärmegewinne und -verluste (Lüftung, Transmissionsverluste, solare Einstrahlung)

Betrachtung Mehrfamilienhaus



Verbrauch vs. Prognose

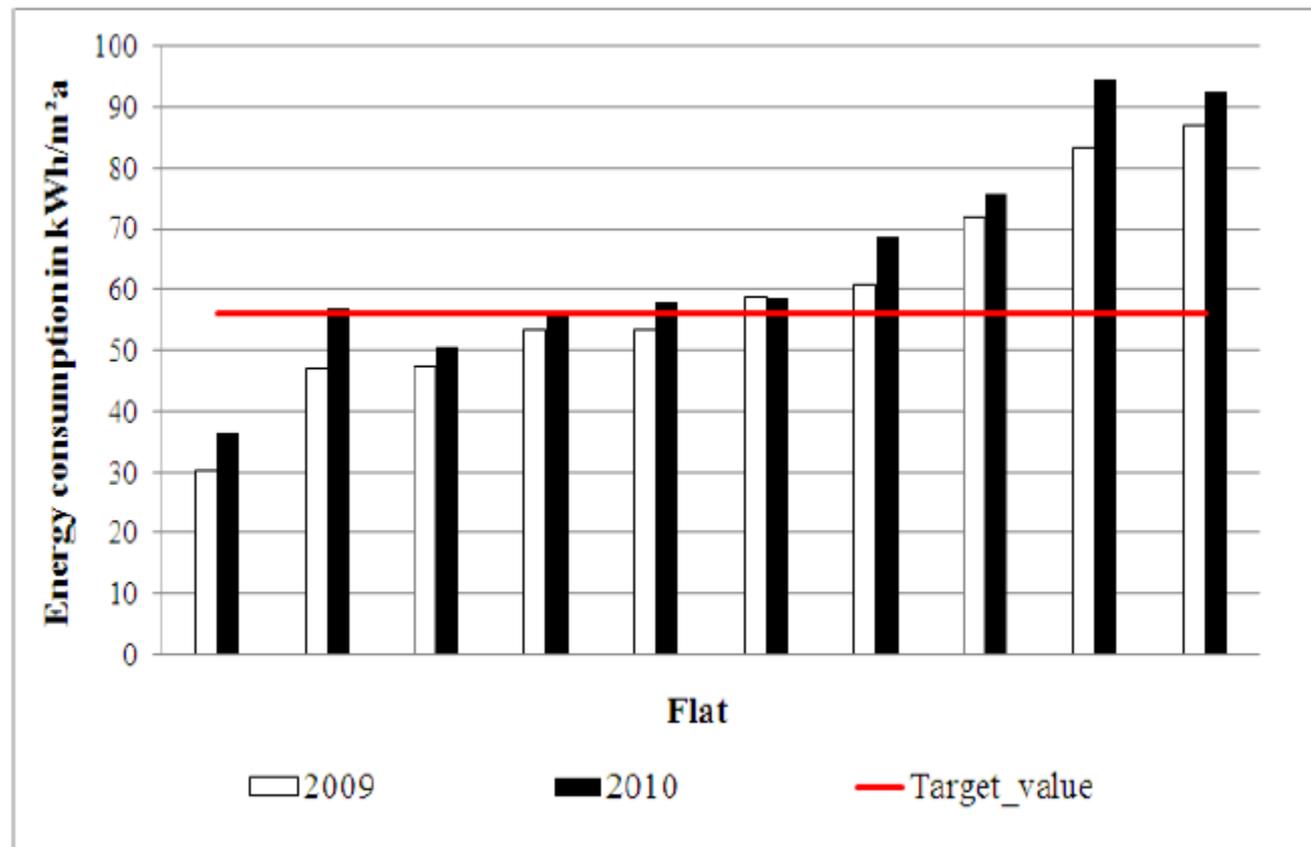


Einfluss Gebäudegeometrie



Errors in demand calculation as a function of geometry and U-value precision					
Year		2009		2010	
Nr	Calculation procedure	Deviation Model 1 [%]	Deviation Model 2 [%]	Deviation Model 1 [%]	Deviation Model 2 [%]
1	LoD 1-Modell, Standard u-Werte	39	22	34	10
2	LoD 1-Modell, tatsächliche u-Werte	29	13	23	1
3	LoD 3-Modell, Standard u-Werte	29	19	23	5
4	LoD 3-Modell, tatsächliche u-Werte	20	10	13	5

Einfluss Nutzungsverhalten



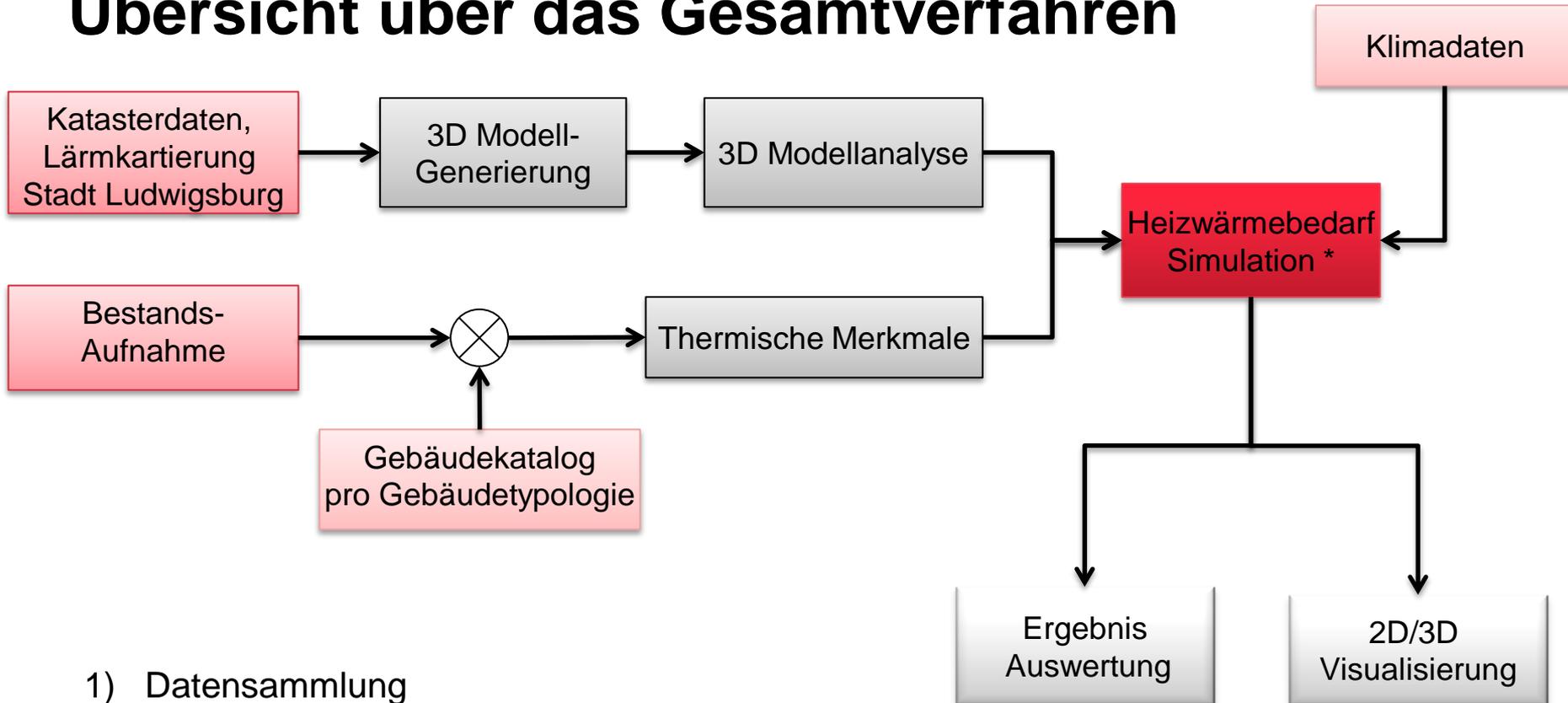
Fallstudie 2: Ludwigsburg - Grünbühl

Monatsbilanzverfahren nach DIN 18599 auf Basis von 3D Stadtmodellen (LoD1)

- Der Stadtteil Grünbühl liegt im Südwesten von Ludwigsburg
- ca. 254 Gebäude (ca 124 Wohngebäude, 10 Mischnutzung)
- Hoher Anteil an sanierungsbedürftigem Gebäudebestand



Fallstudie 2: Übersicht über das Gesamtverfahren



- 1) Datensammlung
- 2) Datenvorbereitung
- 3) HeizwärmebedarfssSimulation
- 4) Analyse

* nach DIN 18599 (Monatsbilanzverfahren)

Fallstudie 2: Datenaufbereitung für die Heizwärmebedarf Simulation - Thermische Parameter

Sachdaten

Gebäudetyp

Bauälter

Statische U-werte
Je Gebäudeklasse ⁽¹⁾

	EFH	RH	MFH	GMH
A				
B		...		
C				
D				
E				

Gebäudekatalog
(IWU)

Ursprüngliche U-werte

- U-wand
- U-dach/OGdecke
- U-kellerdecke
- U-fenster
- U-wärmebrücke

Sanierungsmaßnahmen

Isolierungszusatz (e_{isol} , λ_{isol} , Ebene)

Fenster Austausch

Wärmebrücke Handlung

$$R_+ = e_{isol} / \lambda_{isol}$$

U-fenster_{neu}

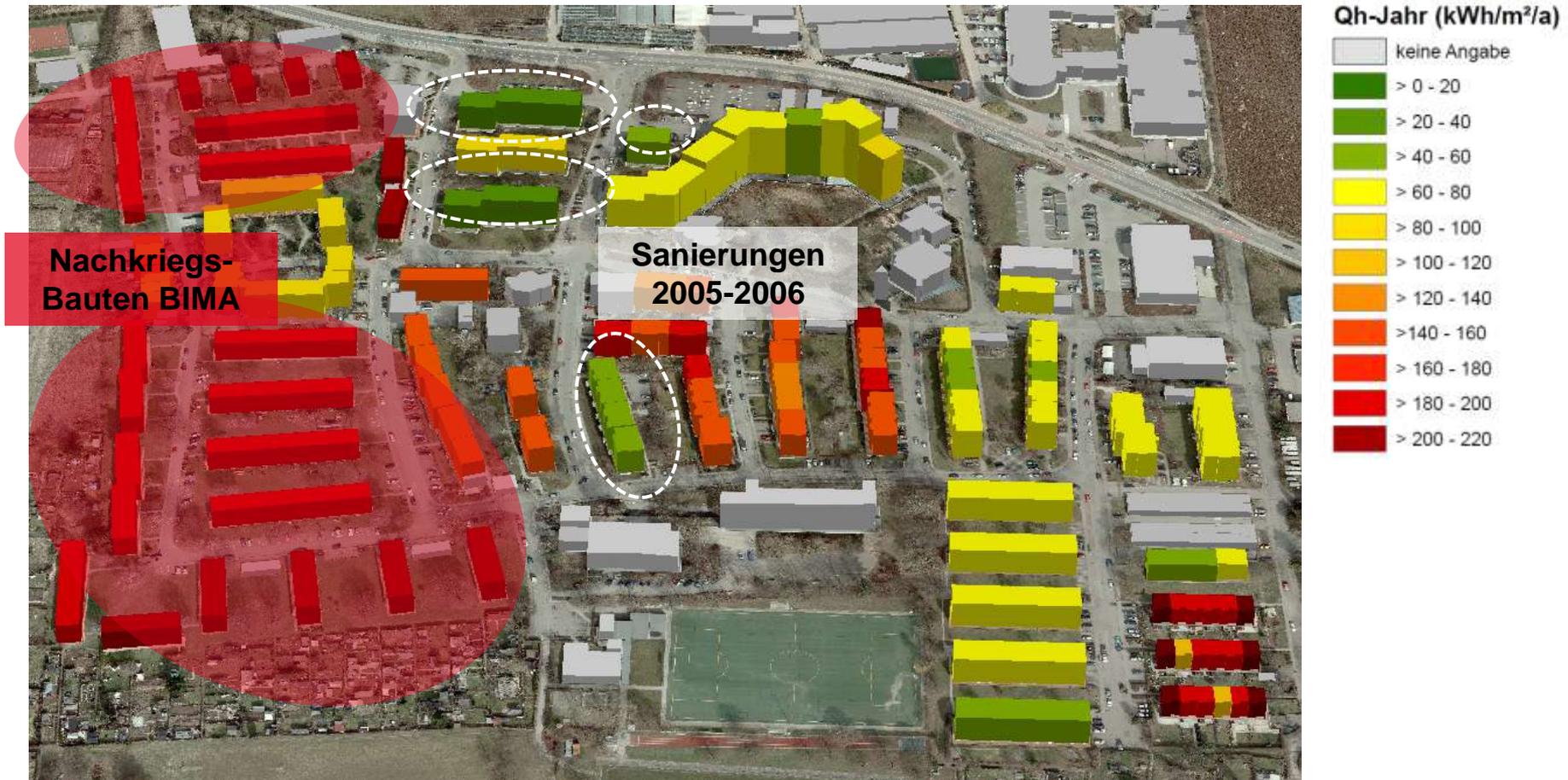
U-wärmebrücke_{neu}

Aktualisierter Gebäudezustand
nach Vor-ort Begehung

Aktualisierte U-werte

- U-wand ⁽²⁾
- U-dach/OGdecke ⁽²⁾
- U-kellerdecke ⁽²⁾
- U-fenster
- U-wärmebrücke

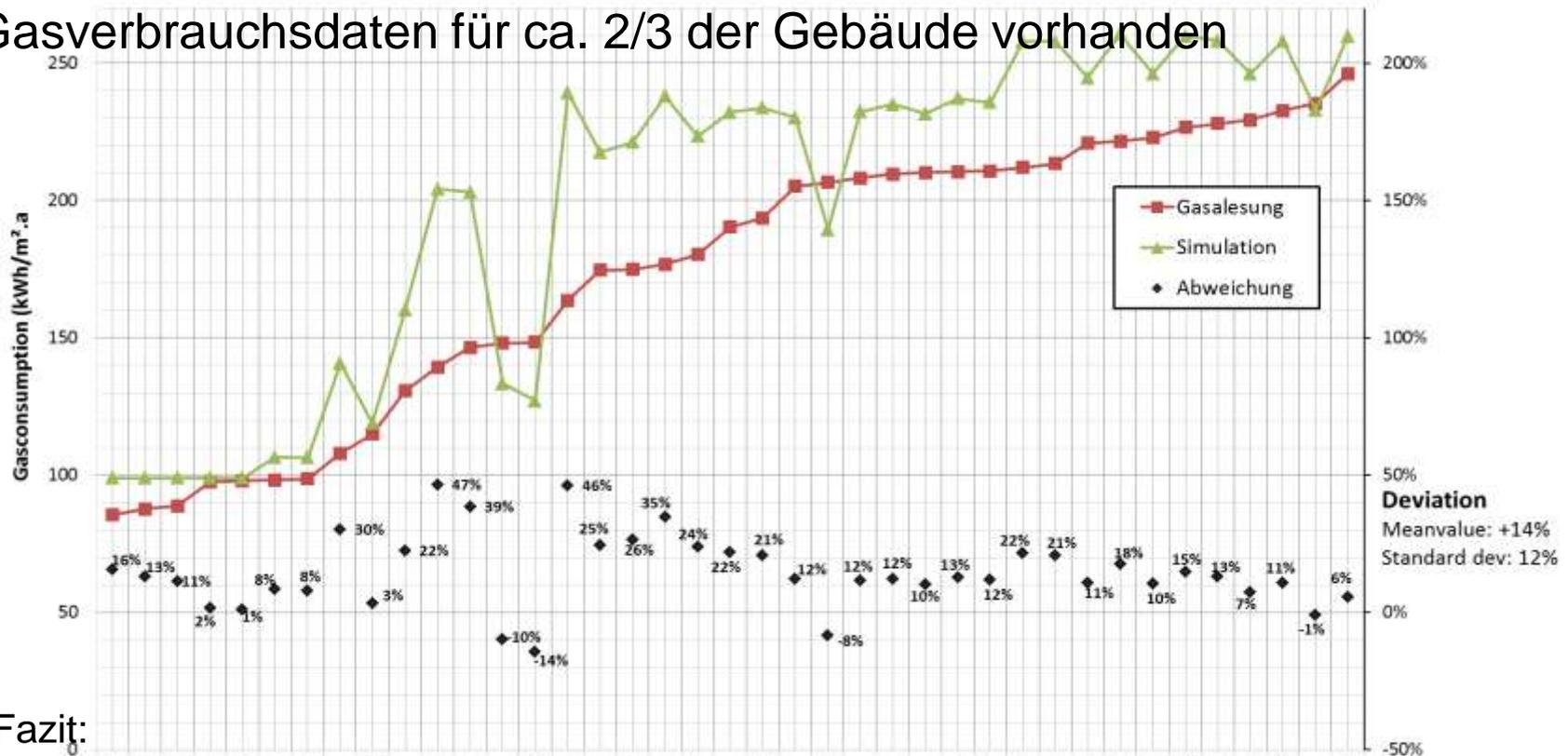
Fallstudie 2: Ergebnis der Heizwärmebedarf Simulation



Wärmbilanzberechnung auf Basis von 3D Gebäudemodell LOD1 (ausschließlich Wohngebäude)

Fallstudie 2: Validierung – Vergleich Gasablesung / Simulation

Gasverbrauchsdaten für ca. 2/3 der Gebäude vorhanden



Fazit:

Simulationsergebnisse sind im Durchschnitt 14% höher als Gasverbrauchsdaten

→ gutes Ergebnis (unter 20% wird als gut betrachtet)

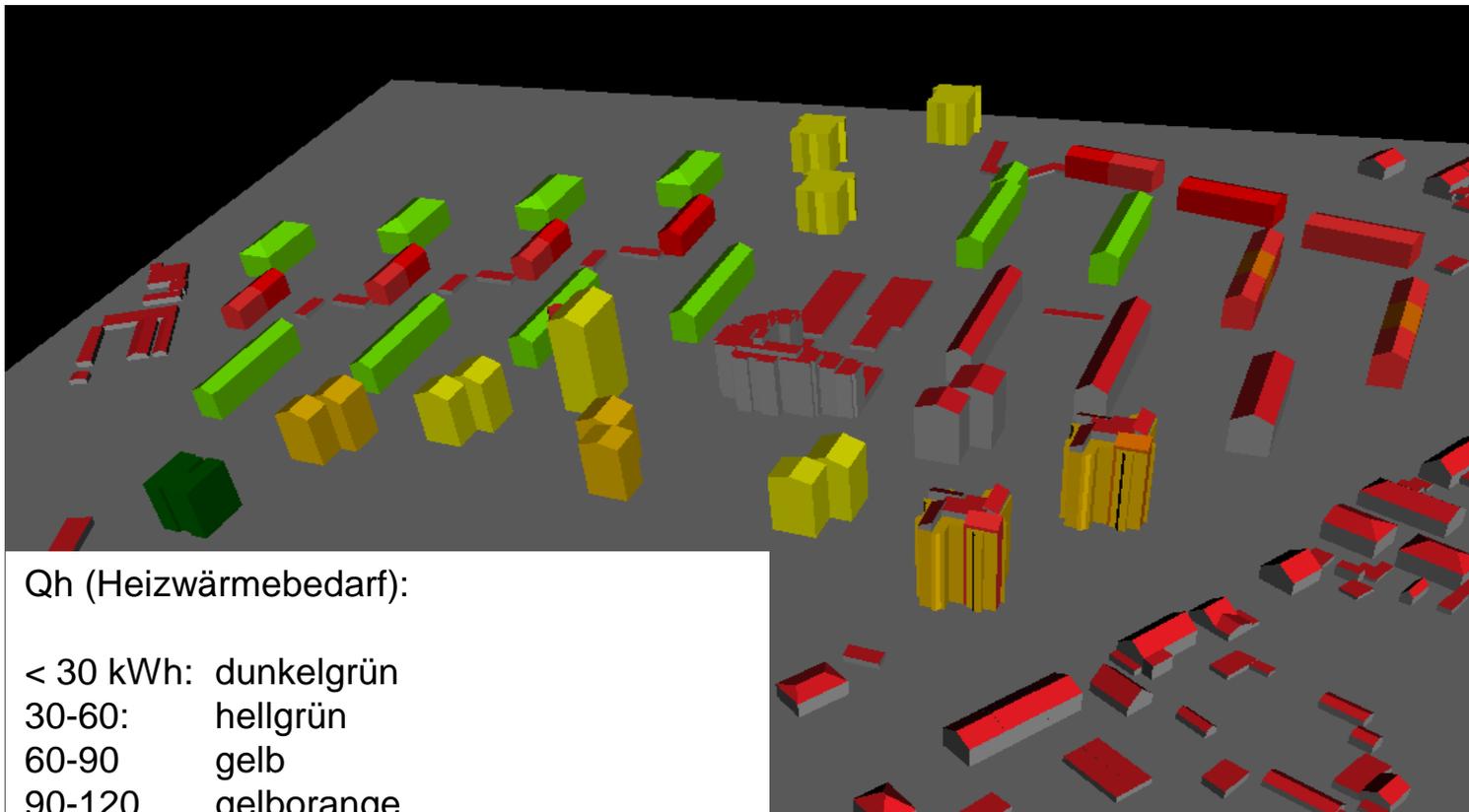
Extremwerte müssen im Detail betrachtet

Fallstudie 2: Ausblick – KLIMA-SEK II

- Im Rahmen des Projekts KLIMA-SEK Phase 2, gefördert durch das Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg und die Stadt Ludwigsburg wird das Verfahren auf Gesamt Ludwigsburg angewendet
- Auf Basis einer aktuellen Laserscanbefliegung wird ein 3D Stadtmodell im LOD2 erstellt und auf dessen Basis eine Wärmebedarfssimulation für das gesamte Stadtgebiet durchgeführt
- Das Ergebnis bietet eine gute Grundlage für die Entwicklung von Sanierungs- und Energieversorgungsstrategien

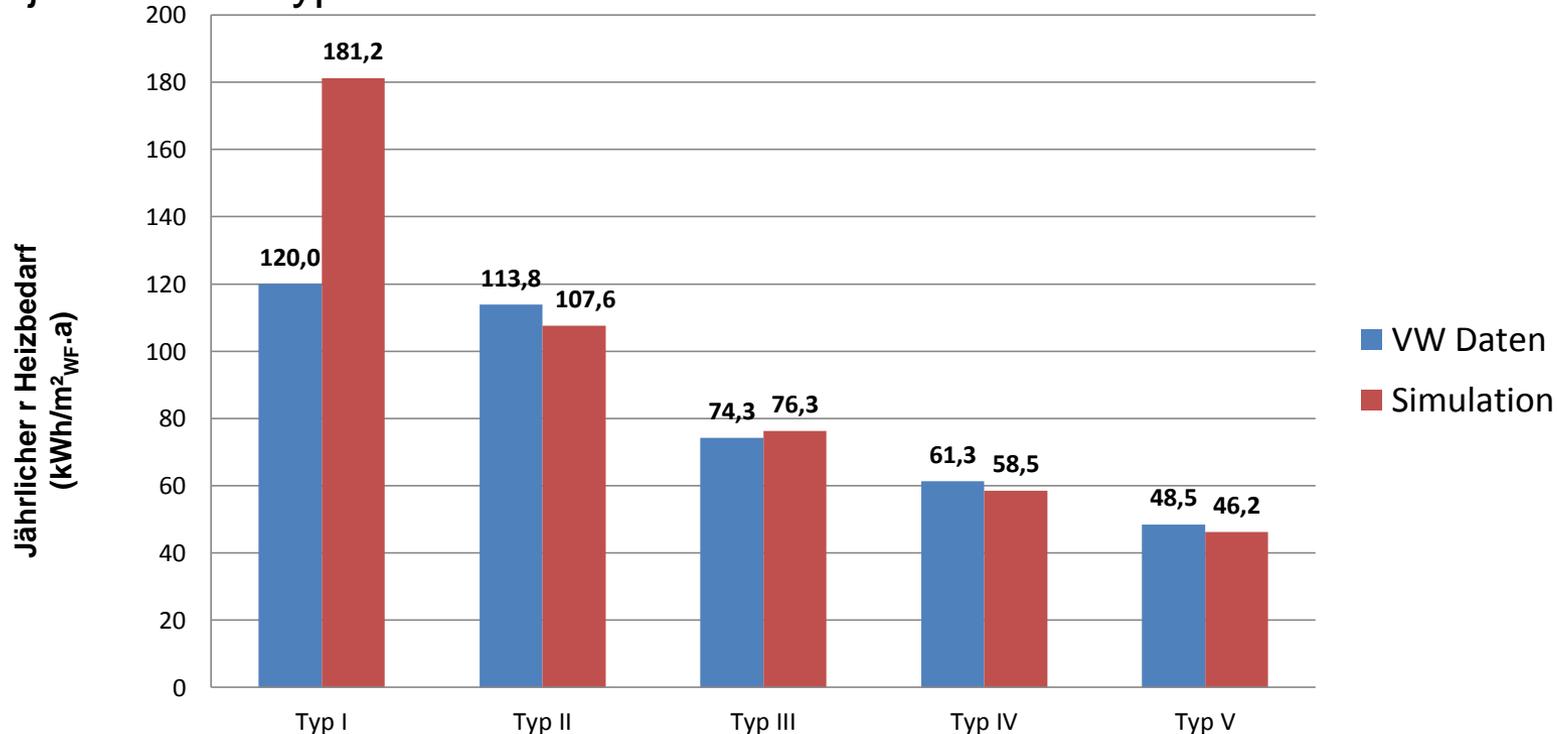
Fallstudie 3: Karlsruhe - Rintheim

Monatsbilanzverfahren nach DIN 18599 auf Basis von 3D
Stadtmodellen (LOD 2)



Fallstudie 3: Ergebnisse

je Gebäudetyp



Typ III, IV, V : Abweichung VW Daten/Simulation < **5%** !

Typ II : Abweichung VW Daten/Simulation = **10%**

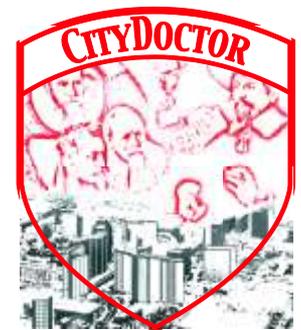
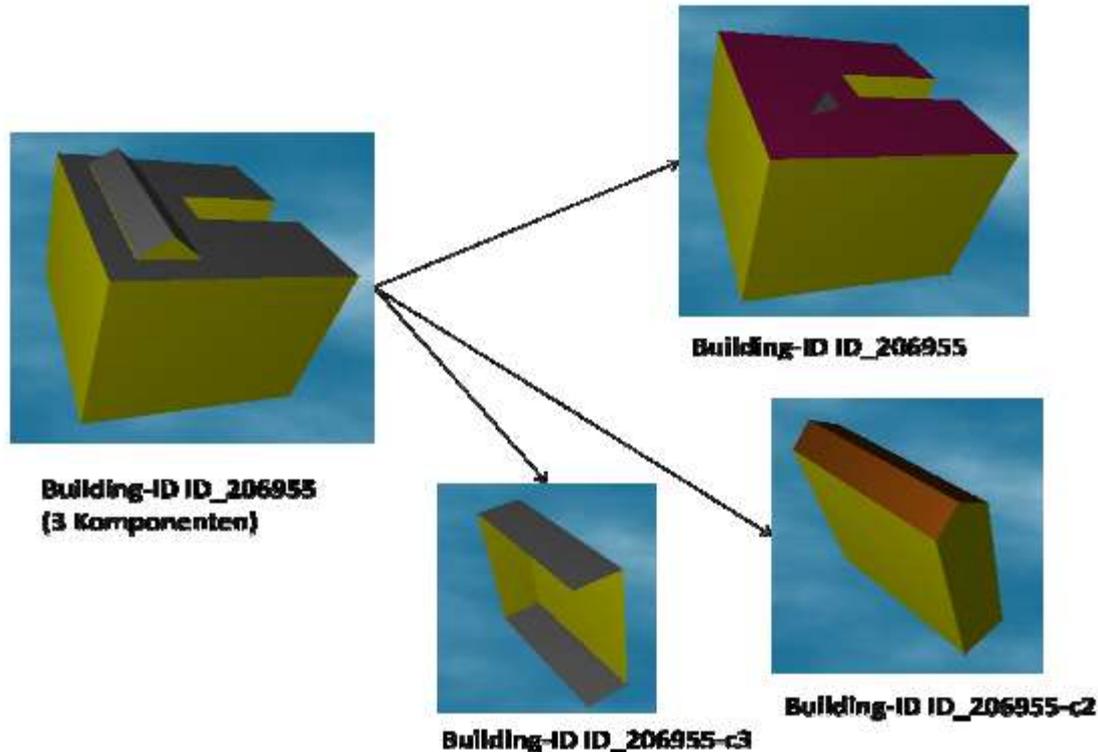
➤ (5% ohne Gebäudemodell mit Geometriefehler)

Typ I : Abweichung VW Daten/Simulation = **50%** !

Zusammenfassung

- Wärmebedarf von Stadtquartieren kann mit guter Genauigkeit mit 3D Modellen berechnet werden
- Grundinformationen über Gebäudealter (Bauteileigenschaften) und Nutzung sind erforderlich
- Bei Einzelgebäuden führt variables Nutzerverhalten zu größeren Abweichungen zwischen gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf
- Bei detaillierteren Gebäudekennwerten kann auch bei individuellen Gebäuden der Fehler auf 10% reduziert werden.
- Erneuerbare Energiepotentiale können ermittelt und Szenarien für erneuerbare Eigenversorgung analysiert werden
- 3D Datenmodell Grundlage für Smart City Konzepte der Zukunft (Anpassung Verbrauch – Erzeugung, Lastmanagement, Visualisierung der Energieströme)

Prüfung Datenqualität ist wichtig!



Ausblick

- Bewertung von Planungsszenarien/Sanierungskonzepten
- Bedarfsorientierter Energieausweis
 - Pilotprojekt BedPV (Förderung: DBU)
- 3D-Stadtmodell als Integrationsplattform
 - Simulation von Versorgungsnetzen
 - Erzeuger: PV-Potential, ...
- Potential energieneutrale Stadtquartiere
 - Potential lokale Energiegewinne \geq Bedarf ?

Danksagung

- BW Stiftung, Projekt Energieeffiziente Stadt
- EU-Projekt POLYCITY (TREN/05FP6EN/S07.43964/513481/)
- Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg und Stadt Ludwigsburg
- Prof. Dr. Ursula Eicker & Mitarbeiter ZAFH.net HFT Stuttgart
- Jürgen Bogdahn, Claudia Schulte, Zentrum für Geodäsie und angewandte Informatik, HFT Stuttgart

Mir
kreist der
Hut!

Mein
Gehirn
käst!

Meins ist völlig
verdunstet!

