

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

Prof. Dr. Volker Coors, HFT Stuttgart

SIG3D Plenum

31. August 2012, Bonn

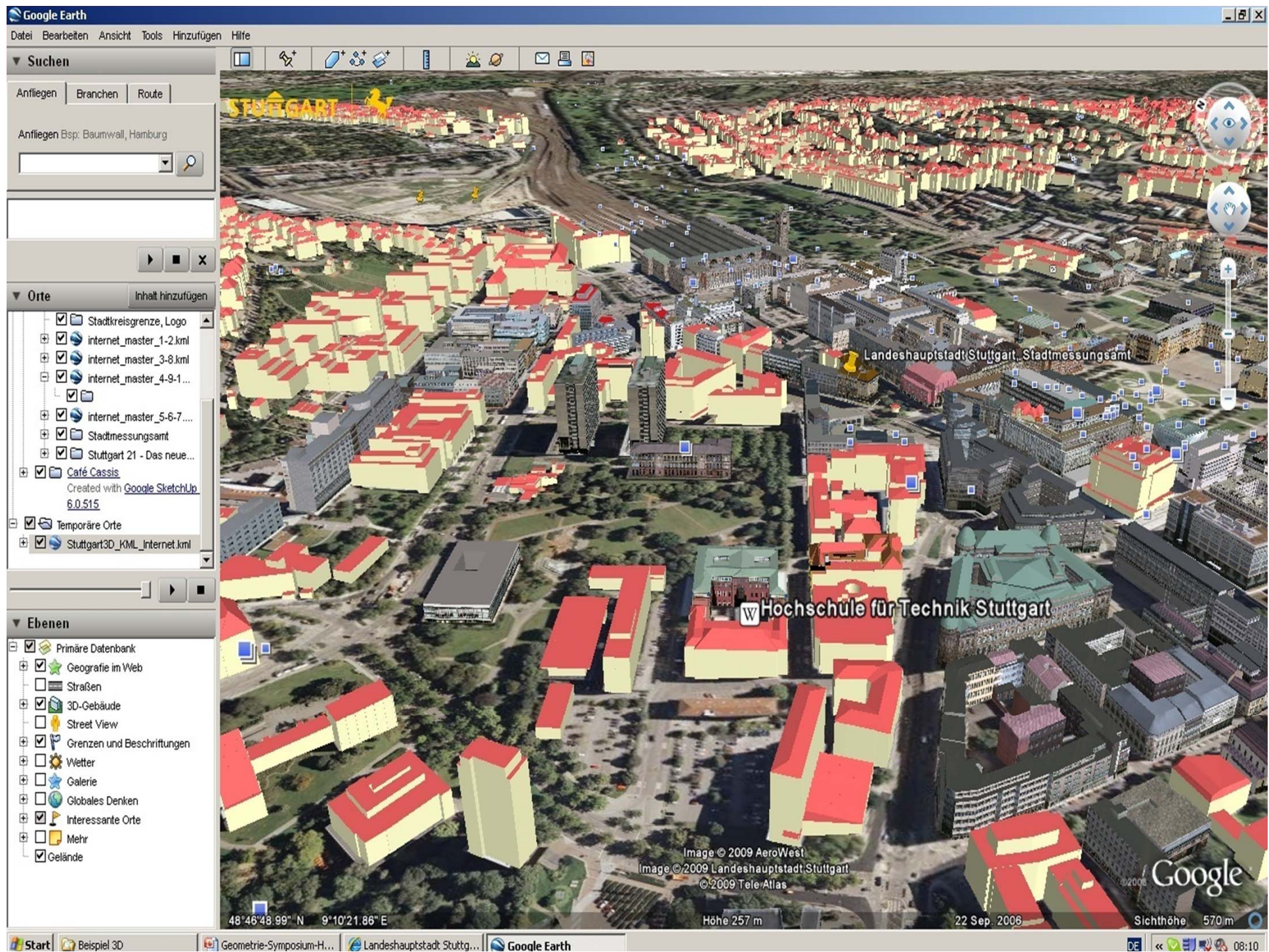
Motivation

Baualtersklasse		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 m²	500
Heizwärmebedarf (kwh/m² a)	170
CO ₂ -Emissionen (g/m² a)	249

S. Kölmel: Klimagerechter Stadtumbau, Master Thesis, 2008

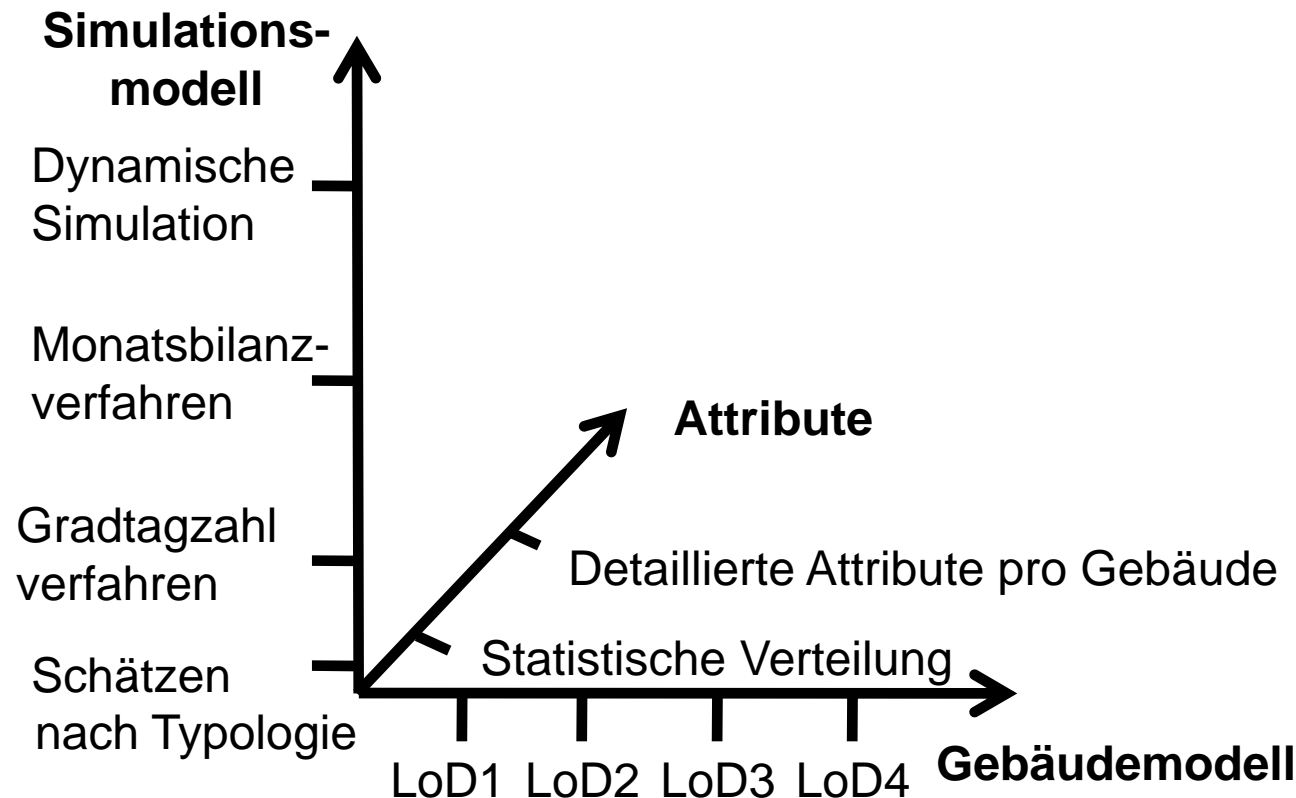
Institut Wohnen und Umwelt Gmbh (IWU) (2005): Deutsche Gebäudetypologie.



ZIEL:

**VOLLSTÄNDIG AUTOMATISIERTE
WÄRMEBEDARFSPROGNOSE EINER STADT**

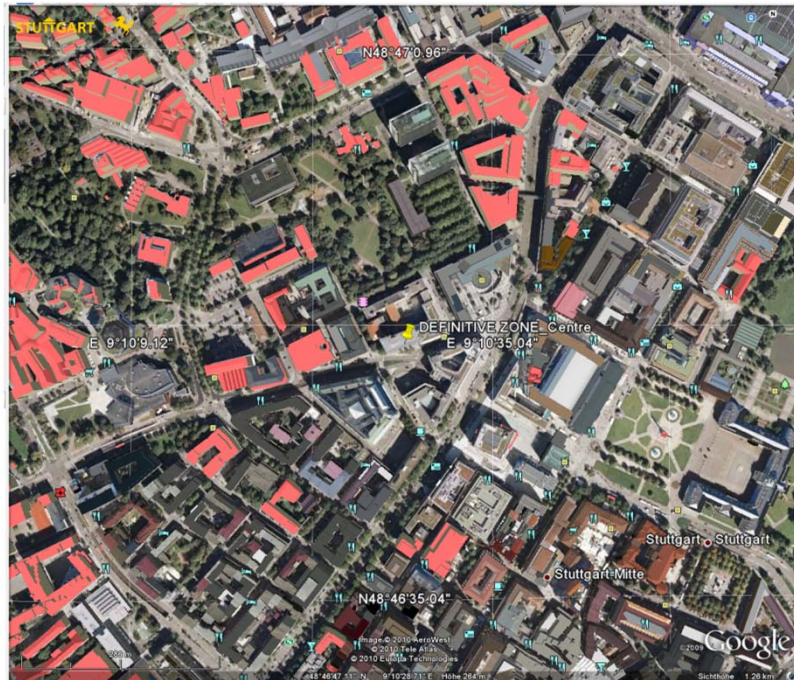
Einflussfaktoren Wärmebedarfsprognose



Phase 1: Machbarkeit (~2010)

- Ziel: Nutzung LoD2-Stadtmodelle
- Datenquelle: Stadtmessungsamt Stuttgart
- Klassifizierte Randfläche:
 - WallSurface, RoofSurface, GroundSurface
- Attribute:
 - Baujahr
 - Nutzungsart
 - (Anzahl Vollgeschosse)
- teilw. Dach- und Fassadentexturen

Gebiete



Stuttgart Innenstadt, 1 km x 1 km,
CityGML LoD2, texturiert



Stuttgart Süd, 1 km x 1 km,
CityGML LoD2

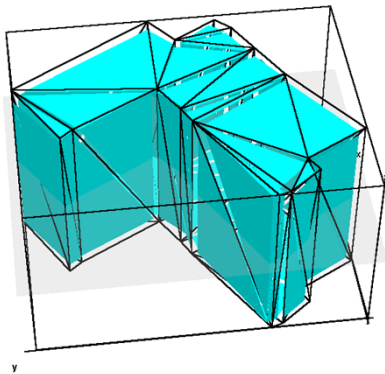


Eingangsdaten Simulation

- **Umbautes Volumen [m³]**
- Dachfläche [m²]
- Fläche Außenwände [m²] (sun / wind exposed)
- **Fläche Innenwände [m²] (zu Nachbargebäuden)**
- Fläche Grundriss [m²]
- Ausrichtung der Dach- / Wandfläche
- **Anteil Fensterfläche pro Wand [%]**
- **U-Werte für Gebäudehülle**

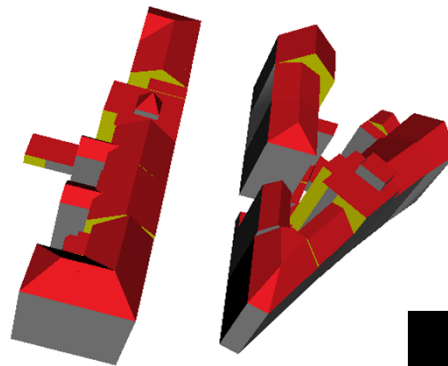
Datenaufbereitung

Volumen

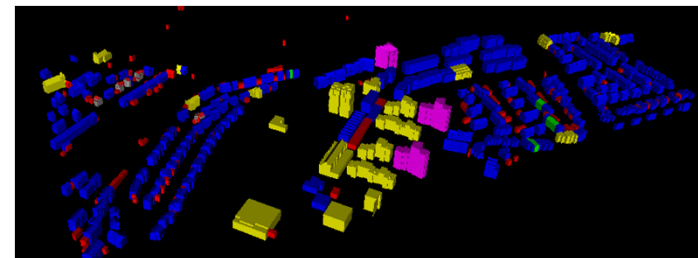
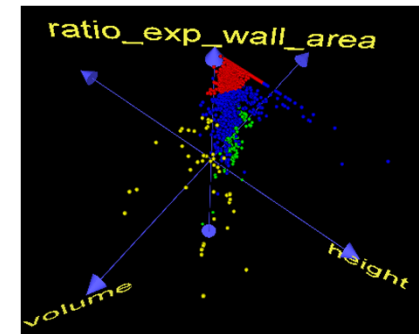


$$V = \sum_{i=1}^n \frac{|\det(a_i - b_i, b_i - c_i, c_i - d_i)|}{6}$$

Außenwände




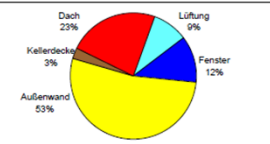
Gebäudetypologie
(Clustering, k-means)



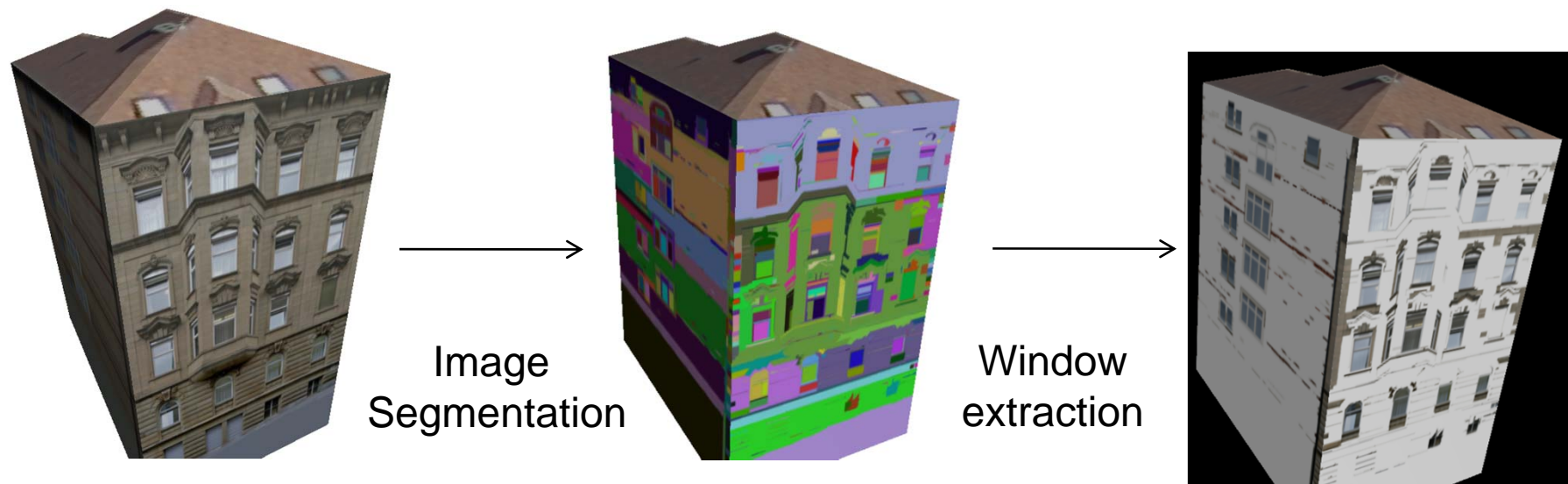
Zuweisung u-Werte

- Gebäudetypologie & Baujahr

Baualtersklasse			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		EFH_C	RH_C	MFH_C	GMH_C	
D	1949-1957		EFH_D	RH_D	MFH_D	GMH_D	
E	1958-1968		EFH_E	RH_E	MFH_E	GMH_E	HH_E
F	1969-1978		EFH_F	RH_F	MFH_F	GMH_F	HH_F
G	1979-1983		EFH_G	RH_G	MFH_G		
H	1984-1994		EFH_H	RH_H	MFH_H		
I	1995-2001		EFH_I	RH_I	MFH_I		
J	nach 2002		EFH_J	RH_J	MFH_J		

HAUSTYPOLOGIE STADT DÜSSELDORF		HAUSDATENBLATT I - BESTAND	
Hautstyp Baualter	A-EFH bis 1918		
EKW* in kWh/(m²a)	375		
Wohnfläche	141 m²		
Umbautes Volumen	384,24375 m³		
A/V-Verhältnis	0,91 1/m		
BAUTEIL	BESCHREIBUNG	U-WERT W/(m²K)	ANMERKUNGEN
Außenwand	12 bis 16 cm Fachwerkkonstruktion als Sichtfachwerk, Gefache aus Mauerziegel, zum großen Teil verputzt**	2,28 bis 2,61	überwiegend

Fensterfläche pro Fassade



Ergebnisse

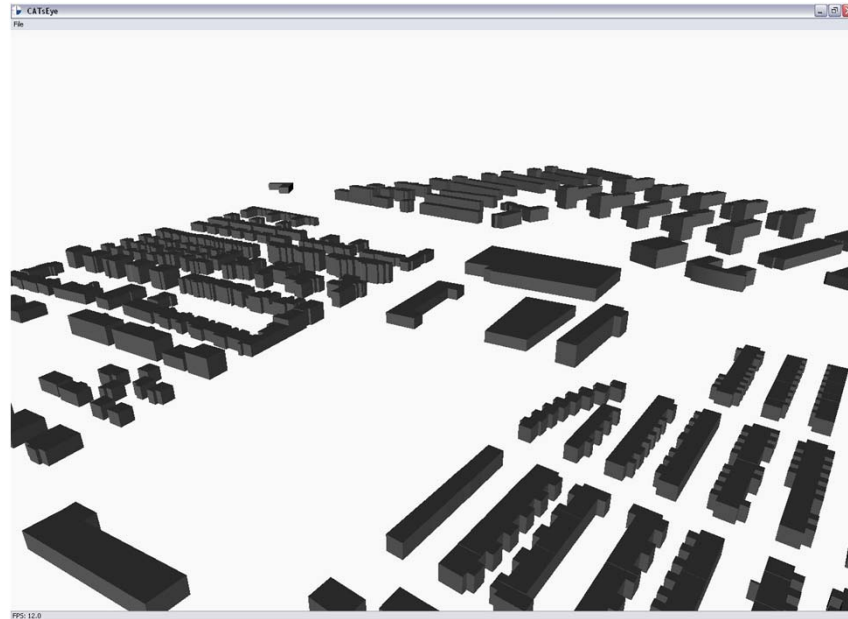


© European Institute for Energy Research, 3D-Druck Teller

PHASE 2 (2011 - 2012):

EVALUATION DER SIMULATIONSERGEBNISSE

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

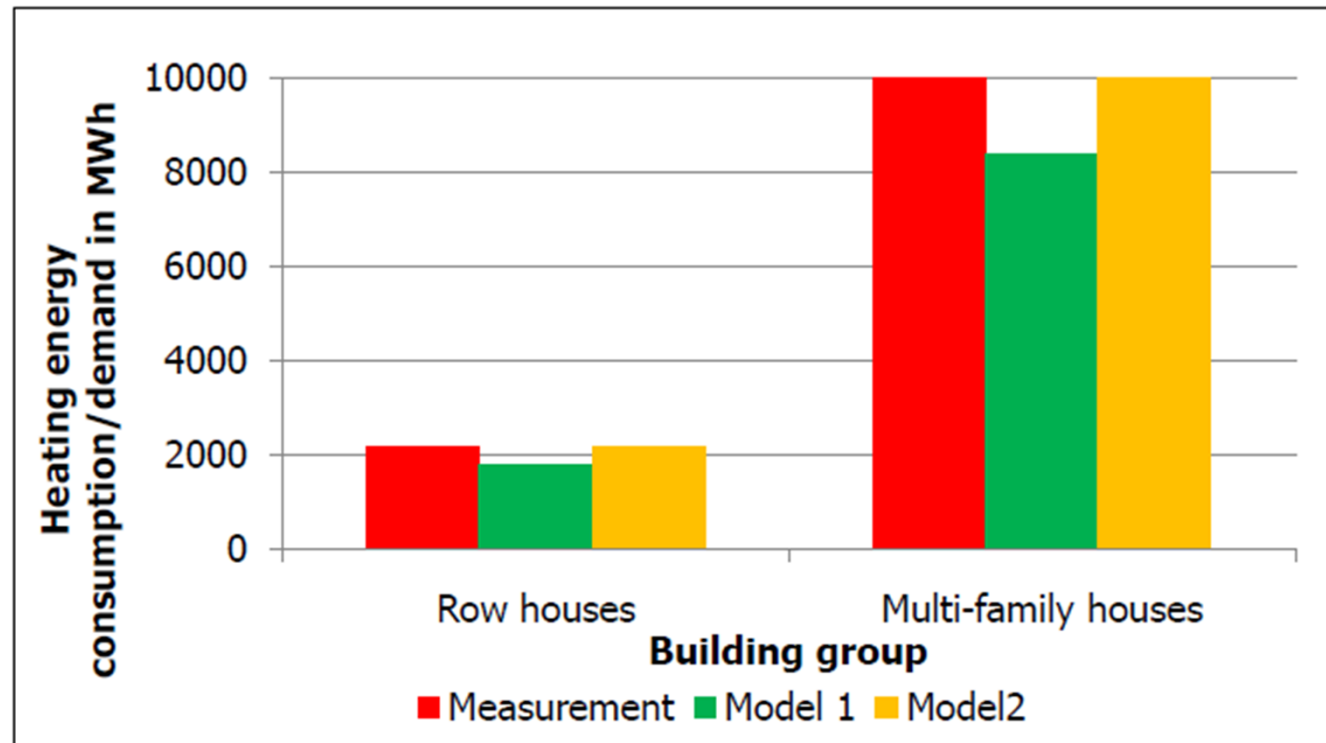
- Modell 1:

Wärmebedarfsermittlung durch Transmissions-Wärmeverlust-Koeffizient und der täglichen Aussentemperatur

- Modell 2:

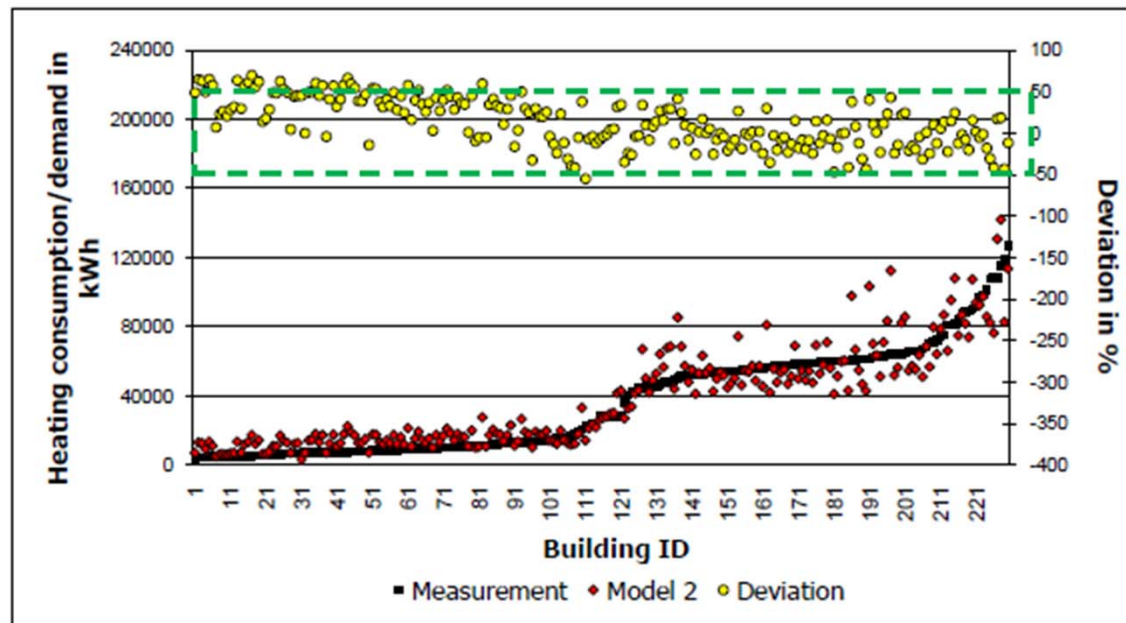
Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599 unter Berücksichtigung interner und externer Wärmegewinne und -verluste (Lüftung, Transmissionsverluste, solare Einstrahlung)

Ergebnis gesamt



Ergebnisse pro Gebäude

Average error between energy balance model and consumption data 26%



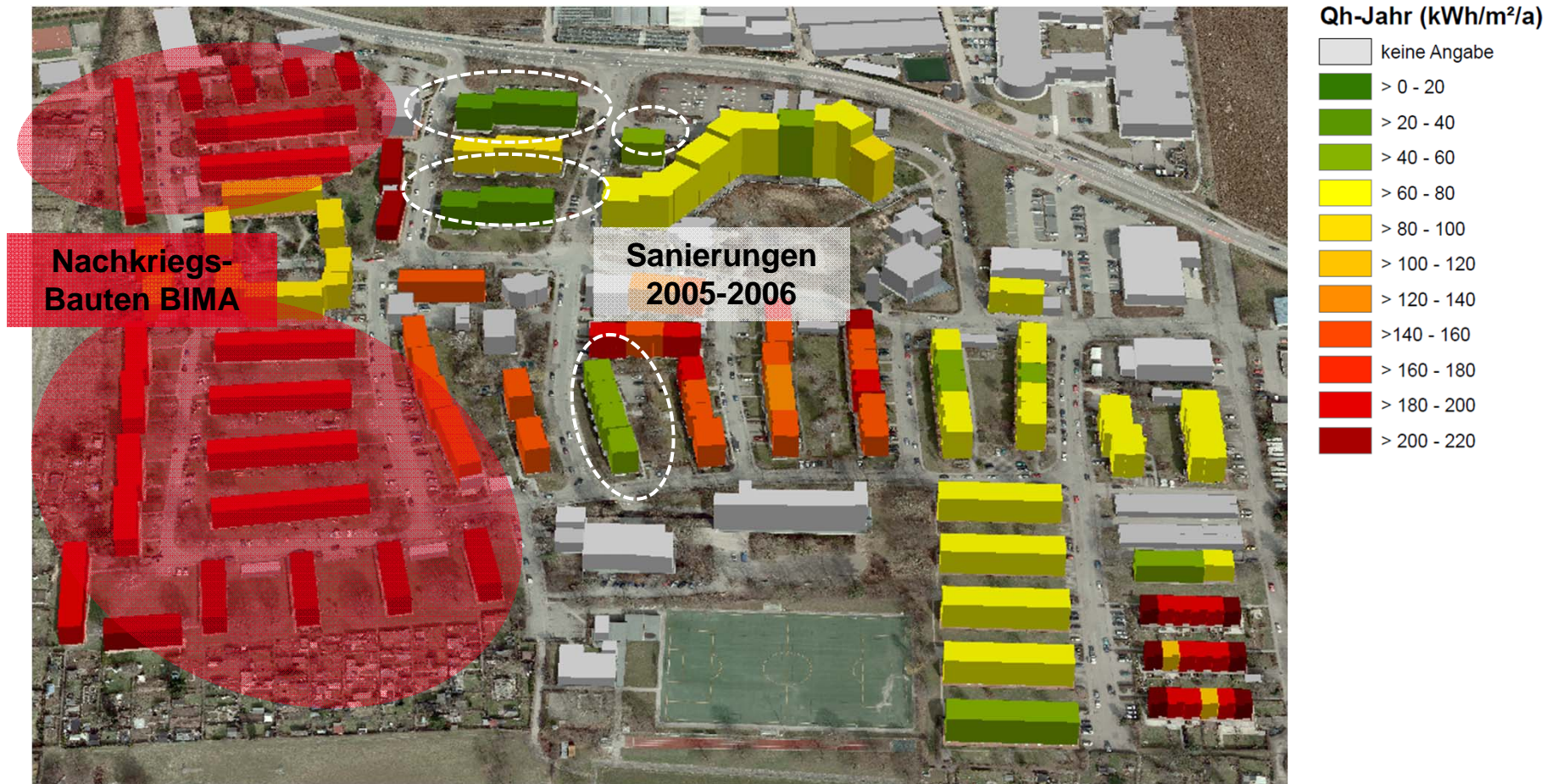
Fallstudie 2: Ludwigsburg - Grünbühl

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



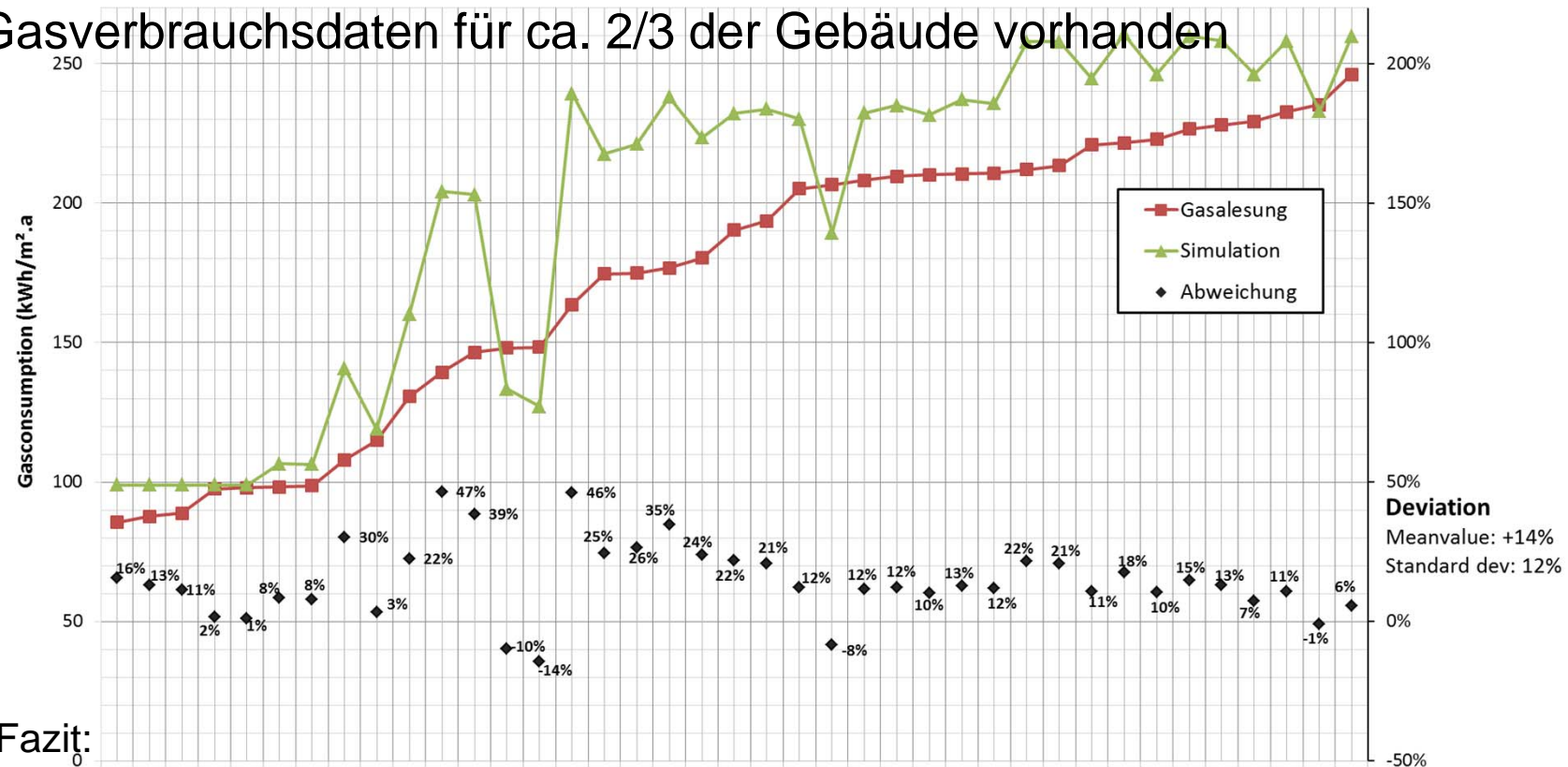
Fallstudie 2: Ergebnis der Heizwärmebedarf Simulation



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

Fallstudie 2: Validierung – Vergleich Gasablesung / Simulation

Gasverbrauchsdaten für ca. 2/3 der Gebäude vorhanden



Fazit:

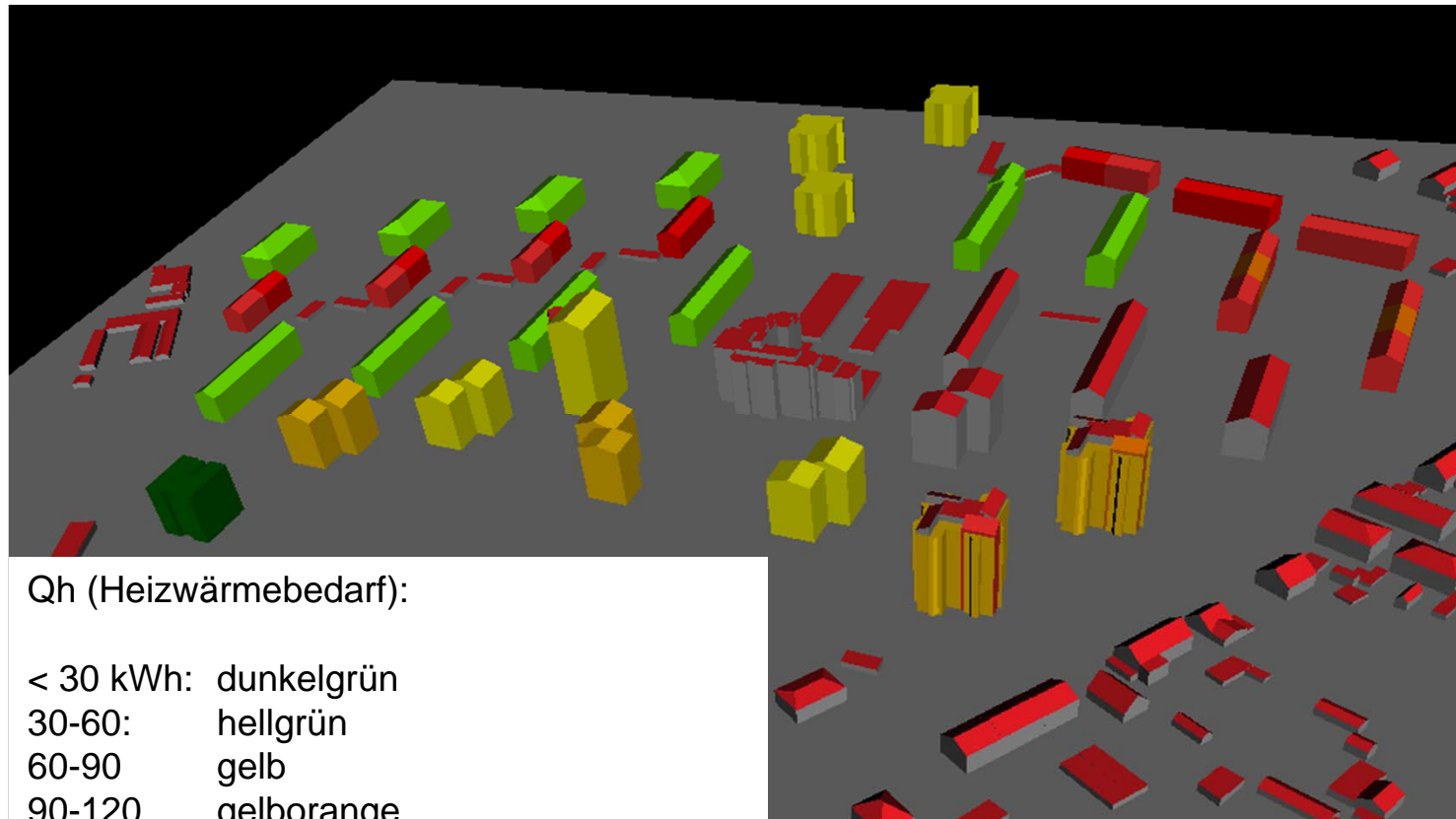
Simulationsergebnisse sind im Durchschnitt 14% höher als Gasverbrauchsdaten

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

Extremwerte müssen im Detail betrachtet

Fallstudie 3: Karlsruhe - Rintheim

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

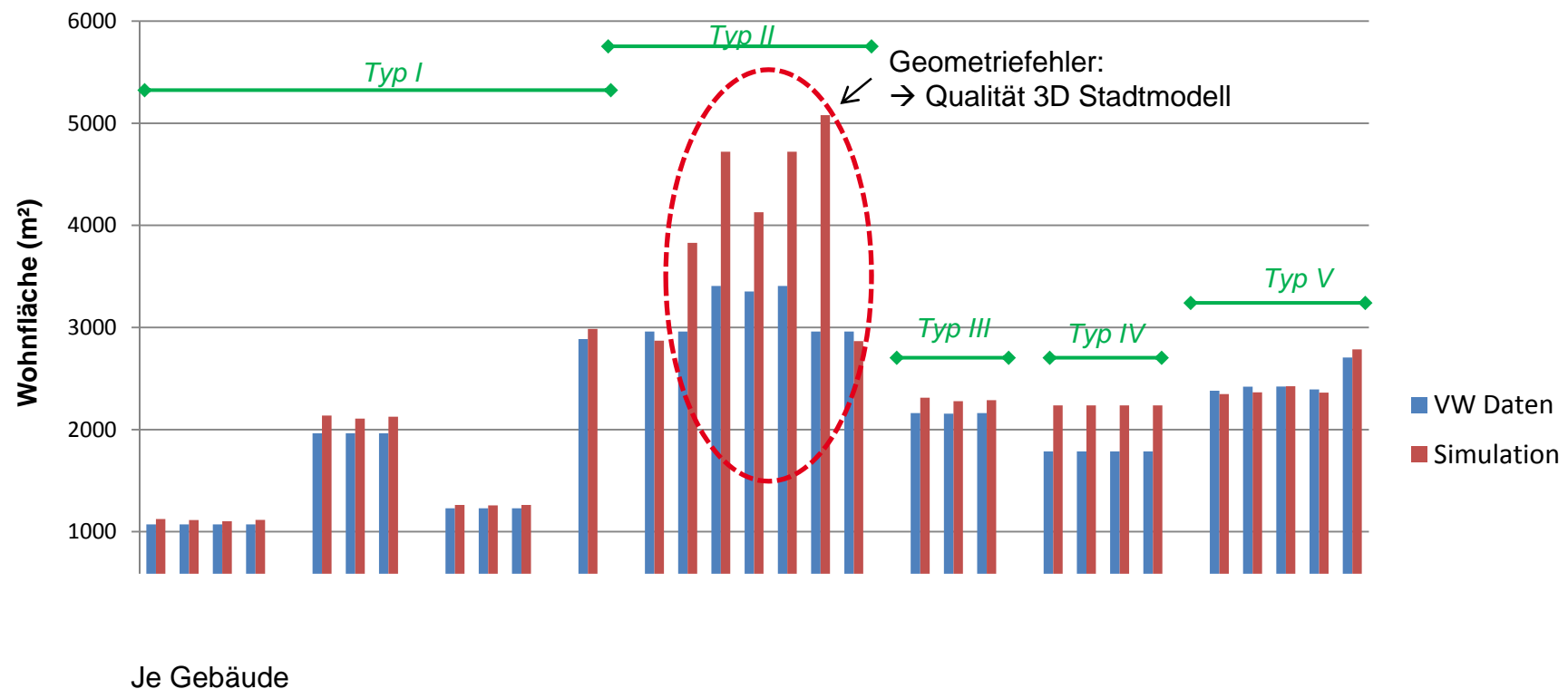


Qh (Heizwärmebedarf):

< 30 kWh:	dunkelgrün
30-60:	hellgrün
60-90	gelb
90-120	gelborange
120-150	orange
>150	rot

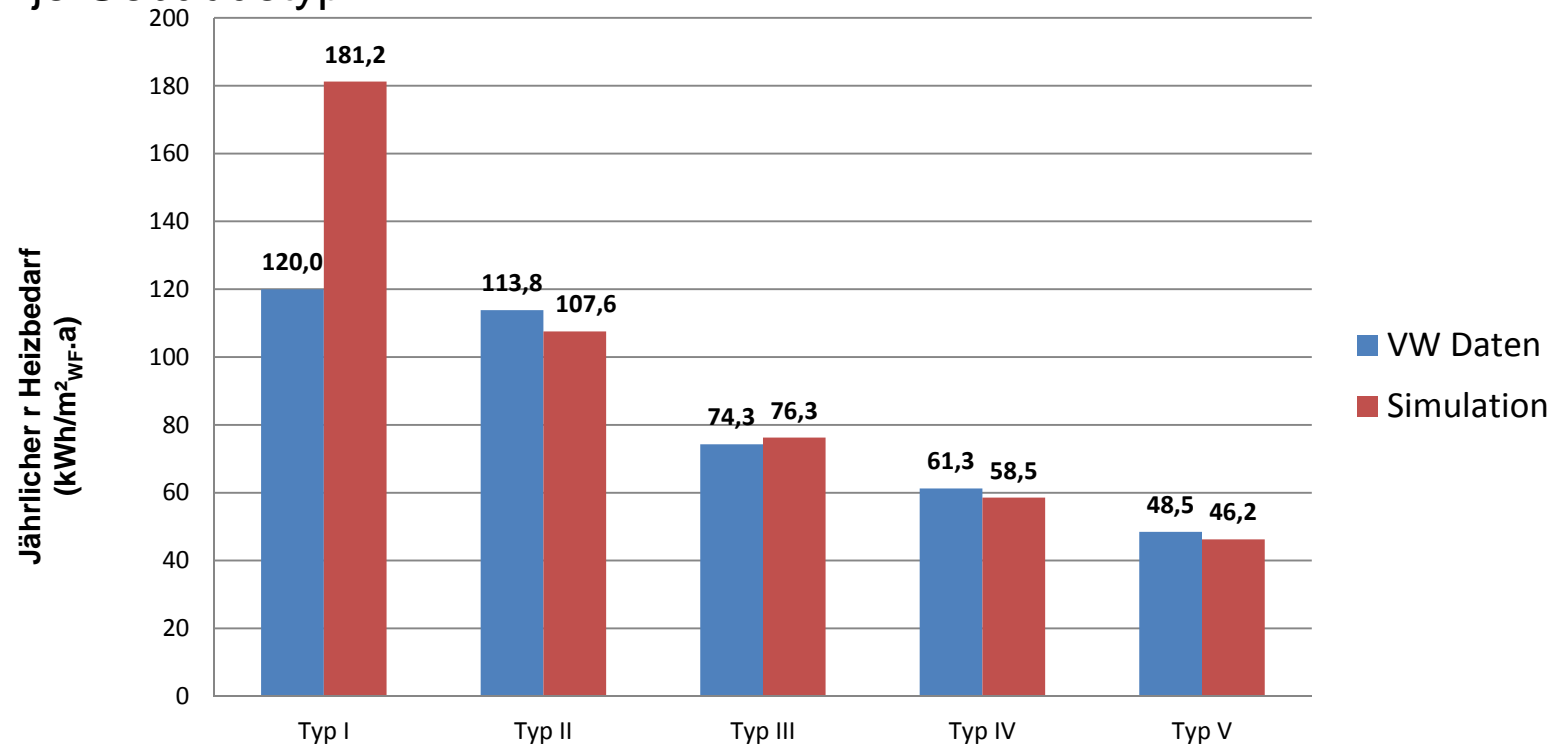
Fallstudie 3: Validierung 3D Stadtmodell durch Vergleich berechnete Wohnfläche mit Wfl aus VW Studie

$$A_{WF} = A_{GBF} * 80\% = A_{GF} * N_{\text{geschoss}} * 80\%$$



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% !

PHASE 3 (2012+):

**NUTZUNG 3D-STADTMODELL
BEI ENTWICKLUNG KOMMUNALER ENERGIEKONZEPTE**

KLIMA-SEK Phase II



LUDWIGSBURG

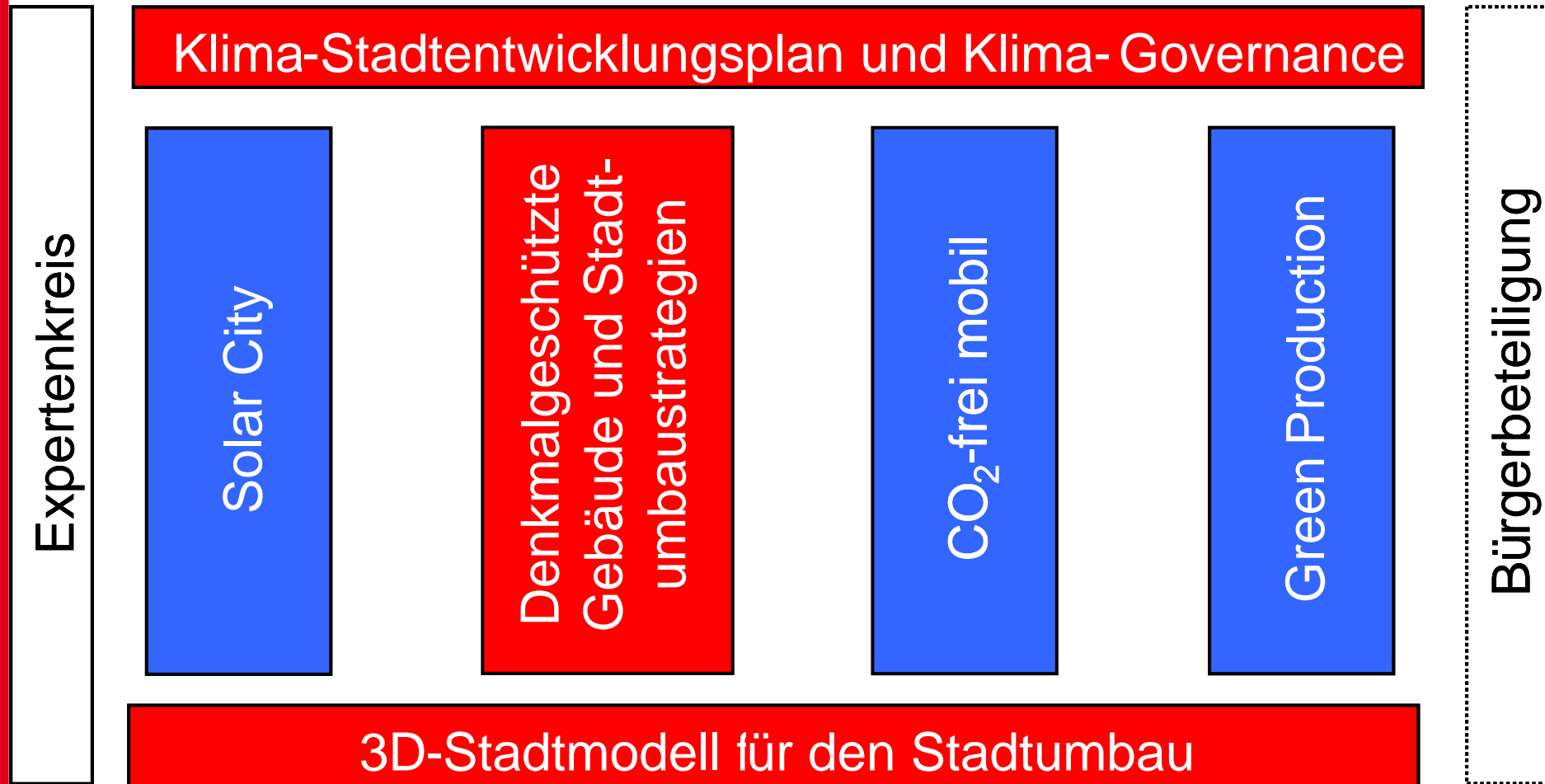


KLIMA-SEK II – Teilprojekt: Aufbau und Nutzung eines
3D Stadtmodells Ludwigsburg zur Wärmebedarfssimulation

Auftraggeber: Stadt Ludwigsburg
Geldgeber: Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr BW
Ausschreibung: Wettbewerb klimaneutrale Kommune
Laufzeit: 01.01.2013 – 31.12.2013

- Spezifikation 3D Stadtmodelle LOD2 Gesamt Ludwigsburg auf Basis des Modellierungshandbuchs der SIG3D AG Qualität
- (Erstellung 3D Stadtmodell LOD2 für Gesamt Ludwigsburg) → Extern
- Integration Fachdaten in 3D Stadtmodell als Basis für die Wärmebedarfsberechnung
- Berechnung Wärmebedarf auf Basis eines mit energetischen Kennwerten angereichertes 3D Stadtmodell LOD2 für Gesamt Ludwigsburg
- Eingebettet in Stadtentwicklungskonzept Ludwigsburg

Ludwigsburg: KLIMA-SEK II



EnViSaGe

EnViSaGe - Kommunale netzgebundene Energieversorgung - Vision 2020 am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot

Geldgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Ausschreibung: EnEff:Wärme und EnEff:Stadt
Partner: Gemeinde Wüstenrot,
Dispatch Energy Innovations GmbH,
ads-tec GmbH
Laufzeit: 01.07.2012 – 30.06.2016

- Ziel: Energieautonome Gemeinde
- Planungsgrundlage 3D-Stadtmodell inklusive Baumbestand

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



SIMSTADT



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SIMSTADT - Energiesimulation von Stadtquartieren

Geldgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Ausschreibung: EnEff:Stadt / En:Sys
Partner: M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH
GEF Ingenieur AG
Laufzeit: 01.12.2012 - 30.11.2015



- Simulationssoftware auf Basis 3D-Stadtmodelle
- Integration Netzsimulation
- Crowd sourcing insb. für Attribute (u-Werte)
- Entwicklung CityGML ADE Energie

Fazit

3D-Stadtmodell ist eine unverzichtbare Grundlage zur Planung der Energiewende auf kommunaler Ebene:

- Simulation von Wärmebedarf auf Quartiersebene
- Prognosen zur Wirksamkeit von Massnahmen (z.B. Sanierungsrate)
- Netzplanung bei dezentralen Erzeugern
- Beurteilung von Entwürfen nach energetischen Gesichtspunkten
- Datenqualität CityGML LoD2 beachten!

Bürgerbeteiligung durch Bereitstellung von Daten und Simulationswerkzeugen, aber auch zur Verfeinerung der Gebäudedaten (z.B. Sanierungsstand) durch Crowdsourcing



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

