

# Die CityGML EnergyADE

Joachim Benner

Institut für angewandte Informatik



# Gliederung

1. Einführung und Motivation
2. Energiesimulationen auf Gebäude- und Stadtebene
3. CityGML – Virtuelles 3D Stadtmodell
4. CityGML EnergyADE
5. Zusammenfassung

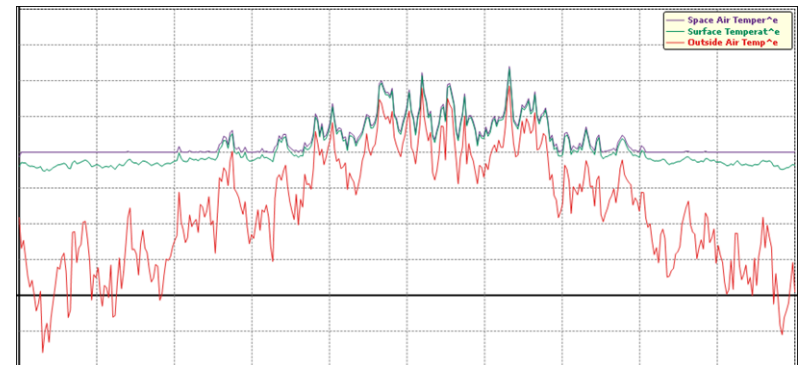


# Projektziele

- Entwicklung eines Datenmodells zur Unterstützung von Energiebedarfsabschätzungen und Simulationen auf Gebäude- und Stadtebene
- Neutrales, standardisiertes Austauschformat zwischen Modellierungs- und Simulationssystemen
- Repräsentation aller energierelevanter Eingabedaten sowie der Simulationsergebnisse

## Simulationsergebnisse

Name: (1:Geb. 445)  
Geschoßfläche: 3917.97 m<sup>2</sup>  
Volumen: 11176.1 m<sup>3</sup>  
Heizbedarf: 319512 kWh im Referenzjahr  
Max. Heizlast: 172066 W im Referenzjahr  
 $\triangleq 43.917 \text{ W/m}^2$  im Referenzjahr





# Projektdurchführung

- Projektbeginn **May 2014**
- Projektteam: **~20 Institutionen aus 7 Europäischen Ländern**
- **18 aktive Teilnehmer** bei der Modellentwicklung
- Bis jetzt **5 Workshops** in verschiedenen Ländern
- Organisatorische Informationen: <http://en.wiki.energy.sig3d.org/>
- Technische Informationen: <https://github.com/cstb/citygml-energy/>





# Nutzen von Energiebedarfsabschätzungen auf Stadtebene

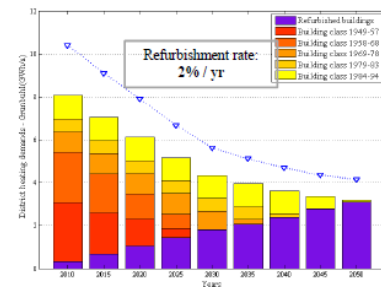
- Energetische Bewertung des Gebäudebestandes
  - Evaluation der Energie-Effizienz
  - Ableitung von Sanierungs-Strategien
- Stadtplanung
  - Energieeffiziente Planung neuer Gebäude oder Quartiere
- Unterstützung der Energiewende
  - Planung von “low-carbon” Szenarios



Grünbühl - Ludwigsburg



Solar atlas, City Berlin



**Benötigt Energieabschätzungen auf Jahresbasis**



# Nutzen von Energiebedarfssimulationen auf Stadtebene

- Detektion von unnötig verschwendeter Energie
  - Benötigt Abschätzungen/Simulationen auf **jahreszeitlicher** oder **monatlicher** Zeitskala

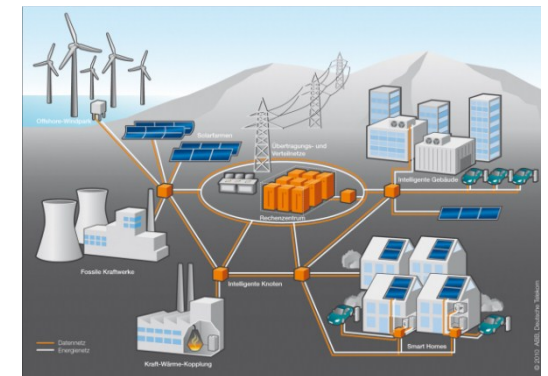


- Infrastruktur-Planung, z.B. Fernwärmenetze
  - Benötigt Simulationen auf **täglicher** Zeitskala



Source: DESMI

- Techniken zur aktiven Steuerung/Regelung der zeitlich fluktuierenden Energieerzeugung und des Energieverbrauchs ("Smart Grids")
  - Benötigt Simulationen auf **stündlicher** Zeitskala



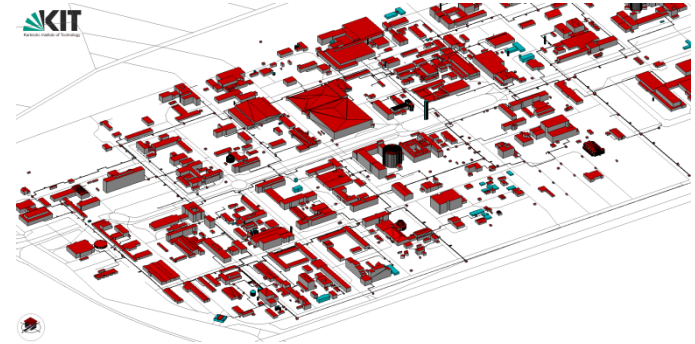
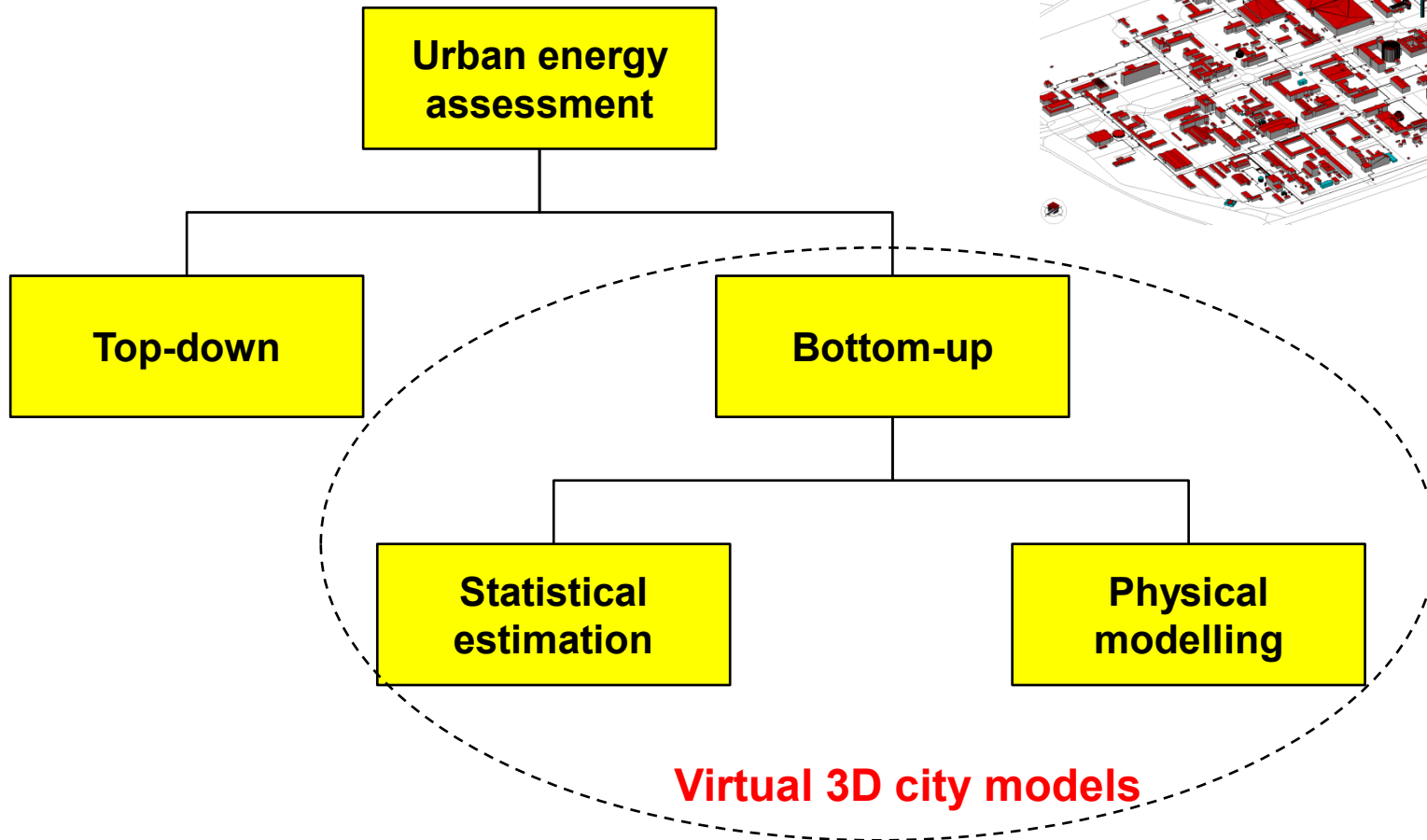


# Energieverbrauch auf Stadtebene

- Raumheizung und -Kühlung
- Warmwasserbereitung
- Belüftung
- Beleuchtung
- Elektrische Geräte und Anlagen im Gebäude
- ~~■ Verkehr~~
- ~~■ Industrielle Prozesse~~



# Techniken für Energiebedarfsabschätzungen auf Stadtebene





# Techniken für Energiebedarfsabschätzungen auf Gebäudeebene

- Grobe **Abschätzungen** auf Basis ausgewählter Parameter und statistischer Daten
- National standardisierte **Bewertungsverfahren** (e.g. DIN 4108) auf Basis der realen (generalisierten) Gebäudegeometrie und Daten zum Wandaufbau
- Numerische **Simulation** der thermodynamischen Gleichungen, unter Berücksichtigung des raum- und zeitabhängigen Verhaltens der Bewohner sowie dynamischer Wetterdaten (e.g. DIN 18599)



# Energie-Abschätzungen

## Basisparameter

- Gebäudevolumen
- Flächeninhalt der Gebäudehülle
- Gebäudehöhe
- Gebädefunktion (e.g. “Wohnen”)
- Baujahr
- Geographische Lage

Building Type	S/V	number of accommodation
EFH	0.6 - 1.1	≤ 2 accommodation units
RDH	0.4 - 0.8	≤ 2 accommodation units
KMFH	0.3 - 0.8	3 - 6 accommodation units
GMFH	0.25 - 0.55	> 6 accommodation units

**Table 3.2:** *Building Types and their relevant classification*

## Abgeleitete Parameter

- Brutto / Netto Geschossfläche
- Gebäudetypologie (e.g. Einfamilienhaus)

Construction year class	space heating demand $\left[\frac{kWh}{m^2a}\right]$			
	EFH	RDH	KMFH	GMFH
bis 1918	250	251	178	169
1919 - 1948	282	201	224	170
1949 - 1957	203	203	169	149
1958 - 1968	197	147	186	161
1969 - 1977	142	112	135	130
1978 - 1984	105	74	106	93
1985 - 1995	98	71	96	96
1996 - 2000	93	67	84	-
2001 - today	91	69	67	-

**Table 3.3:** *Example of a building typology. Source: [44]*



# Energetische Bewertung – DIN 4108

Energieberater PLUS

Programm Druck Programmkonstanten Dienste Datenverwaltung Hilfe

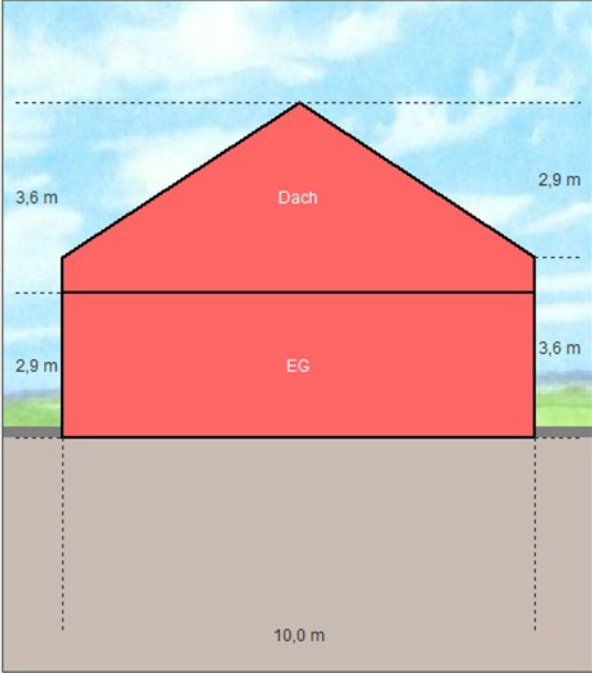
**ENERGIEBERATER**

FZK-Haus nach 4108 DIN 4108-6/4701-10 - Wohngebäude ☐ EnEV ☒ Frei


☐ DIN 18599




Projekt Geometrie Gebäude Anlagentechnik Ergebnisse **Ist-Zustand** ▶ Ist-Zustand ▶ Variante

Übersicht Grundriss Ausrichtung Hausdaten Glas W Glas D Ergebnisse





**Gebäudedaten**

**Dach** Dachform 

Neigung °   Drenpelhöhe (Kniestock)  m 


☒ beheizt ☒ komplett ☐ Geschoss

☐ Dachgauben

**Korpus** Geschosse   lichte Raumhöhe\*  m 

**Keller** ☐ beheizt ☒ ohne

**Wohnfläche**



beheizbare Wohnfläche  m² 

Nutzfläche  $A_n$  ( = 0.32  $V_e$  )  m²

beheiztes Volumen  $V_e$   m³

\* Geschosshöhe = lichte Raumhöhe + 0,20 m

Lizenz: Forschungszentrum Karlsruhe -KNr.14147-

 weiter 

HOTTGENROTH SOFTWARE



# Energetische Bewertung – DIN 4108

Energieberater PLUS

Programm Druck Programmkonstanten Dienste Datenverwaltung Hilfe

**ENERGIEBERATER**

FZK-Haus nach 4108 DIN 4108-6/4701-10 - Wohngebäude ☐ EnEV ☒ Frei

☐ DIN 18599

Projekt Geometrie **Gebäude** Anlagentechnik Ergebnisse **Ist-Zustand** ▶ Ist-Zustand  
▶ Variante

U-Werte Parameter Ergebnisse Hüllflächentabelle

Standard-U-Werte aus Typologie Deutschland -EnEV-

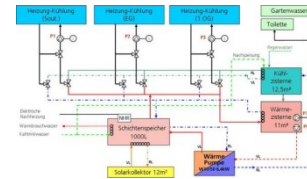
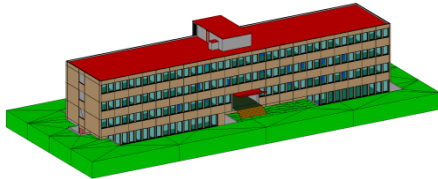
	Fläche	U-Werte	Schichtaufbau	vorhandene Dämmung		Ist-Zustand U-Werte
				Fläche	Dicke WLZ 040	
<b>Dach</b>	132,56 m²	▶ <b>0,60</b> W/m²K		132,56 m²	<b>10</b> cm	<b>0,24</b> W/m²K
<b>Oberste Geschossdecke</b>	0,00 m²	<b>0,60</b> W/m²K		<input type="checkbox"/> Dämmung vorhanden		<b>0,60</b> W/m²K
<b>Außenwand</b>	153,95 m²	<b>1,00</b> W/m²K		<input type="checkbox"/> Dämmung vorhanden		<b>1,00</b> W/m²K
<b>Kellerdecke/Bodenplatte</b>	120,00 m²	<b>1,00</b> W/m²K		<input type="checkbox"/> Dämmung vorhanden		<b>1,00</b> W/m²K
<b>Fenster</b>	0,00 m²	<b>5,00</b> W/m²K	Einfachverglasung			<b>5,00</b> W/m²K
	38,00 m²	<b>2,70</b> W/m²K	Doppelverglasung			<b>2,70</b> W/m²K
	0,00 m²	<b>1,30</b> W/m²K	Wärmeschutzverglasung			<b>1,30</b> W/m²K

**Heizwärmebedarf** für 19,0 °C Raumtemp. **26320 kWh/a** = **137 kWh/m²a**  
**Heizleistung** für -12,0 °C Außentemp. **14,2 kW**

Lizenz: Forschungszentrum Karlsruhe -KNr.14147-



# Energiesimulation



Building and component  
information

Weather data

Energy systems

Heat dissipation

Occupant behavior

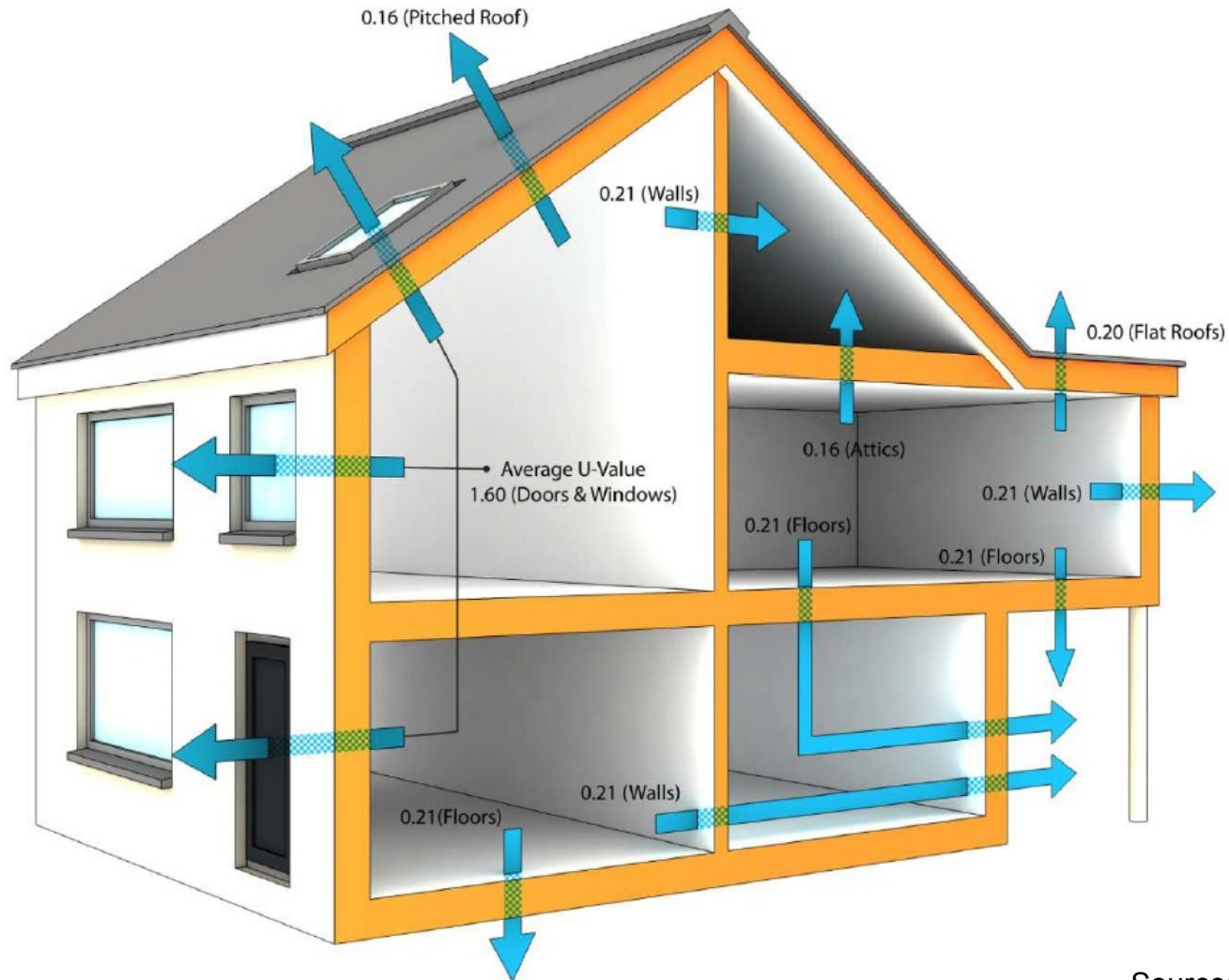
Simulation

Parameter

Results



# Thermisches Gebäudemodell

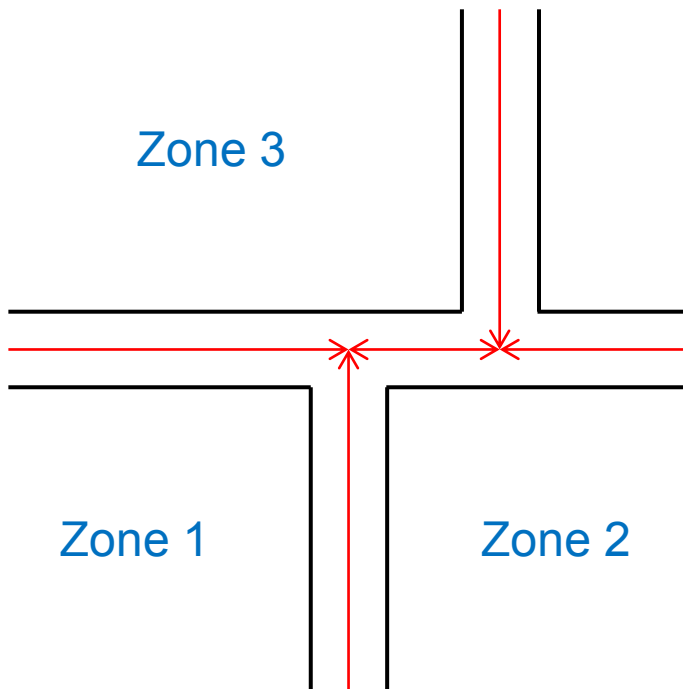


Source: SINERGIS

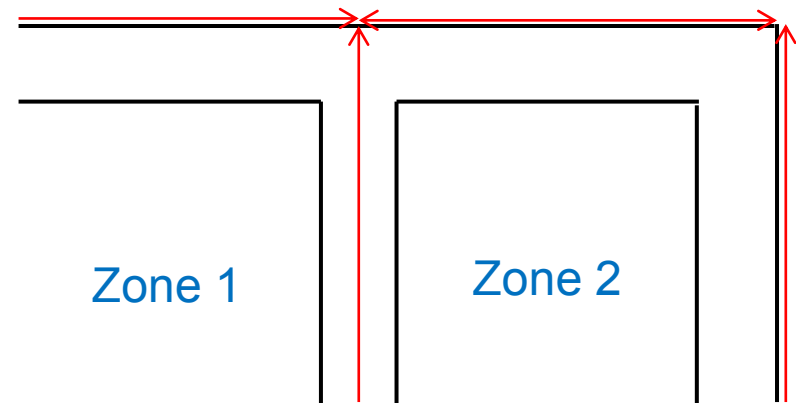


# Thermische Grenzflächen

## Innere thermische Grenzflächen



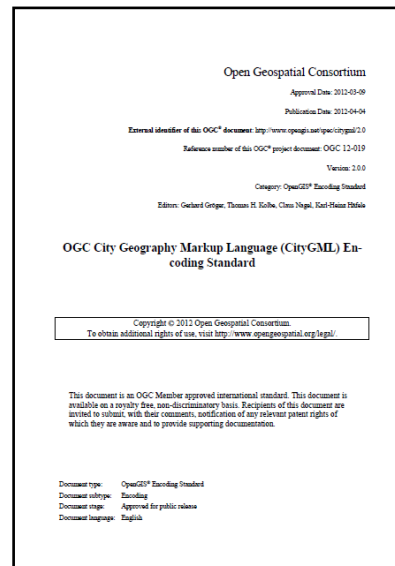
## Äußere Thermische Grenzflächen





# City Geographic Markup Language - CityGML

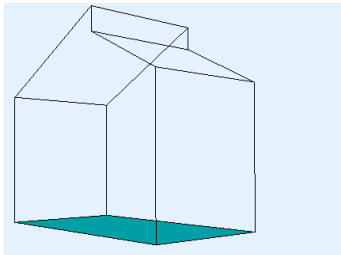
- Internationaler Standard des Open Geospatial Consortium (OGC)
- Datenaustauschformat basierend auf GML / XML
- Stadtobjekte (speziell **Gebäude**) können mit 3D Geometrie, semantischer Klassifikation, attributiven Daten sowie Darstellungsinformationen repräsentiert werden
- Inhärenter Erweiterungsmechanismus für spezielle Applikationen (Application Domain Extension – ADE)





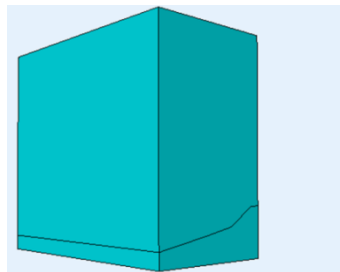
# Levels of Detail (LoD)

**Horizontal  
Surface**



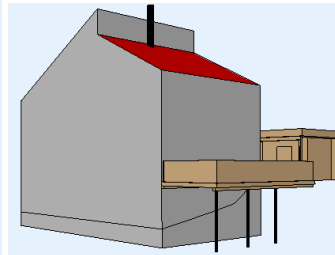
**CityGML LoD 0**

**Prismatic  
Block-Model**



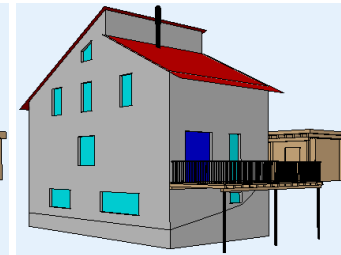
**CityGML LoD 1**

**Generalized  
Exterior Shell**



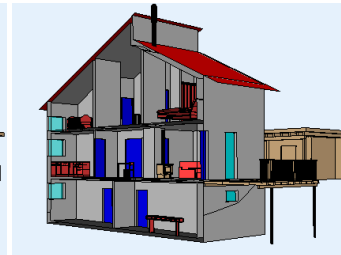
**CityGML LoD 2**

**Detailed  
Exterior Shell**



**CityGML LoD 3**

**Building  
Interior**



**CityGML LoD 4**

**Data  
Availability**

++

++

+

-

--

**Data  
Suitability**

--

-

o

+

++



# Nicht-geometrische Gebäudeinformation

- Prinzipiell in CityGML verfügbar sind Informationen zu
  - Baujahr (häufig nicht erhoben)
  - Aktuelle Gebäudefunktion
  - Gebäudehöhe
  - Anzahl der oberirdischen und unterirdischen Stockwerke (meist fehlend)
- Nicht repräsentierbar sind in CityGML Informationen zu
  - Thermischen Zonen und Thermischen Grenzflächen
  - Verwendeten Materialien und Schichtaufbauten
  - Energiesystem (Erzeugung, Umwandlung, Verteilung, Speicherung)
  - Nutzern des Gebäudes und ihrem Verhalten
  - Zeitreihen von Wetter- oder Klimadaten
  - Simulationsergebnisse



# CityGML Energy ADE

## ■ Funktionale Bestandteile

- Attributive Erweiterungen von CityGML Basisklassen
- ADE Kern– Mehrzonenmodell
- Materialien und Schichtaufbauten
- Nutzerverhalten
- Energiesystem
- Zeitreihen

## ■ Aktuelle Version: 0.6.0

- Version 0.7.0 ist technisch verabschiedet und wird Anfang Juli 2016 freigegeben



# Erweiterung der CityGML Basisklassen

## ■ Building

- Gebäudeklassifikationen (Typ, Bauweise)
- Verschiedene Höhenwerte
- Volumen (Brutto, Netto, ...)
- Geschossfläche (Brutto, Netto, ...)
- Angaben zu energetischen Klassifizierungen (z. B. Effizienzklasse)
- Angaben zu Sanierungsmaßnahmen

## ■ \_BoundarySurface

- Schichtaufbau
- Sonneneinstrahlung
- Angaben zu Sanierungsmaßnahmen

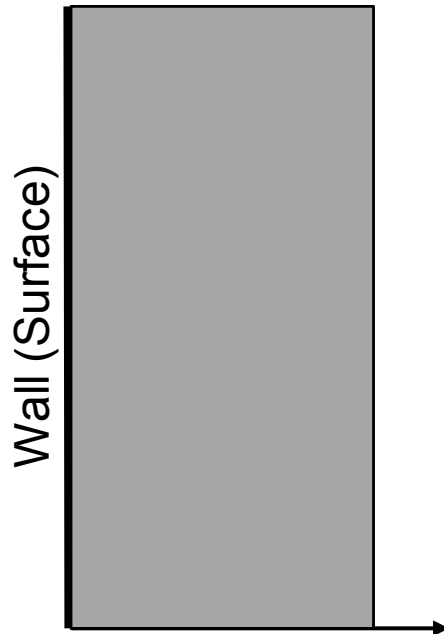
## ■ \_Opening

- Schichtaufbau
- Beschattung (intern, extern)



# Material und Schichtaufbau – 1

## Einschichtiger Aufbau

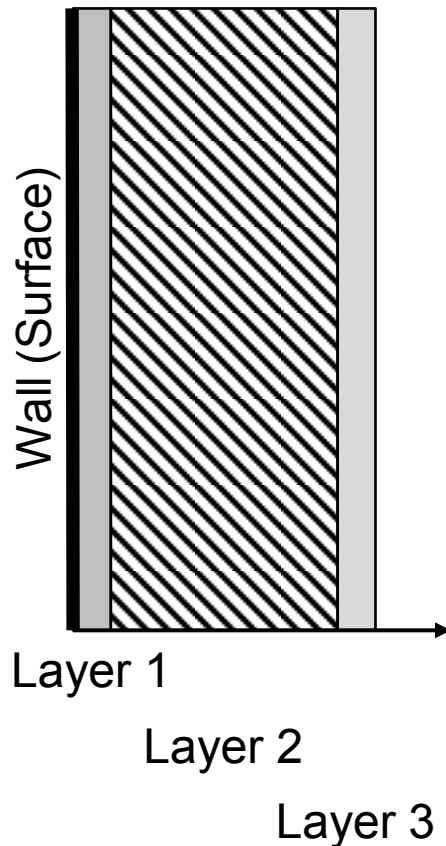


- Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)
- Optische Eigenschaften (Emissions-, Reflexions- und Durchgangsgrad für verschiedene Wellenlängen)
- Glas-Anteil



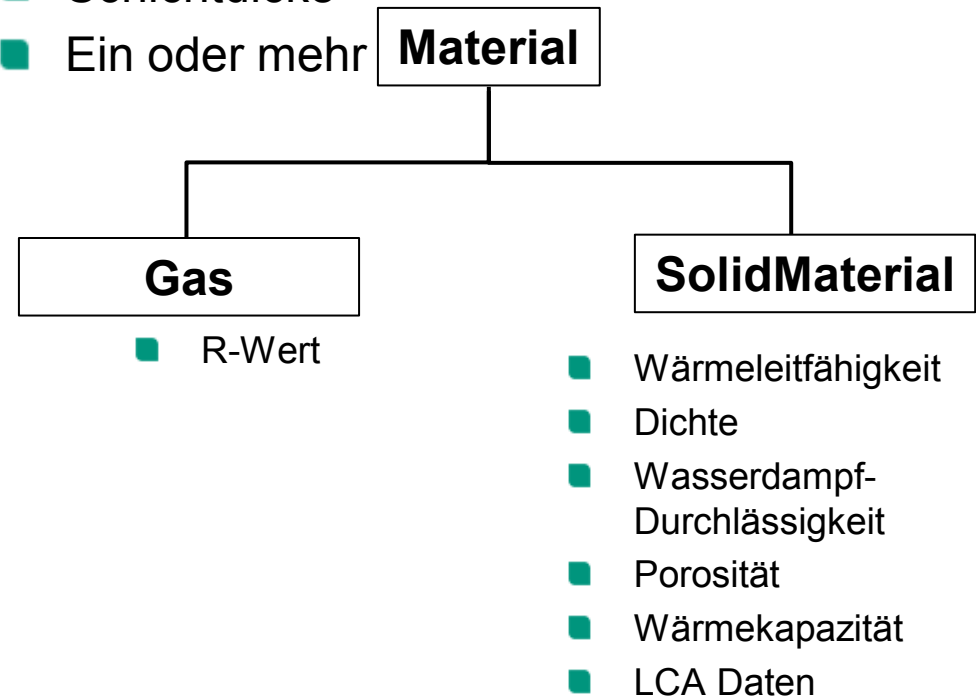
# Material und Schichtaufbau – 2

## Mehrschichtiger Aufbau



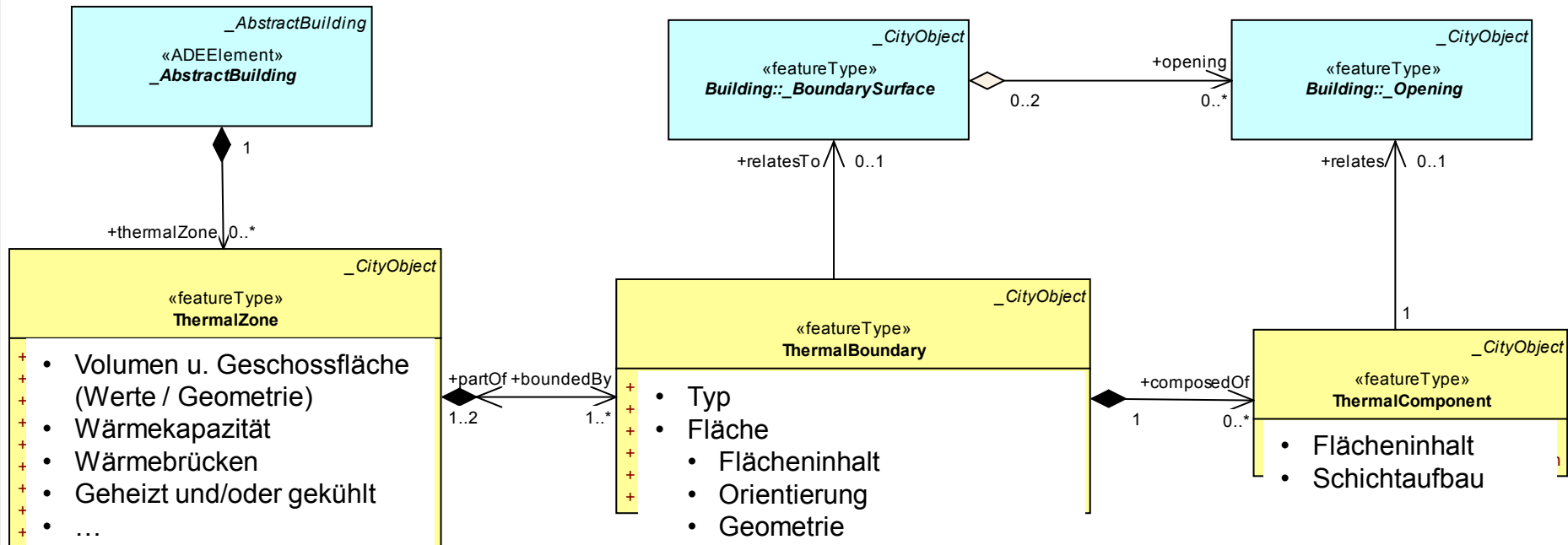
### ■ Layer

- Schichtdicke
- Ein oder mehr

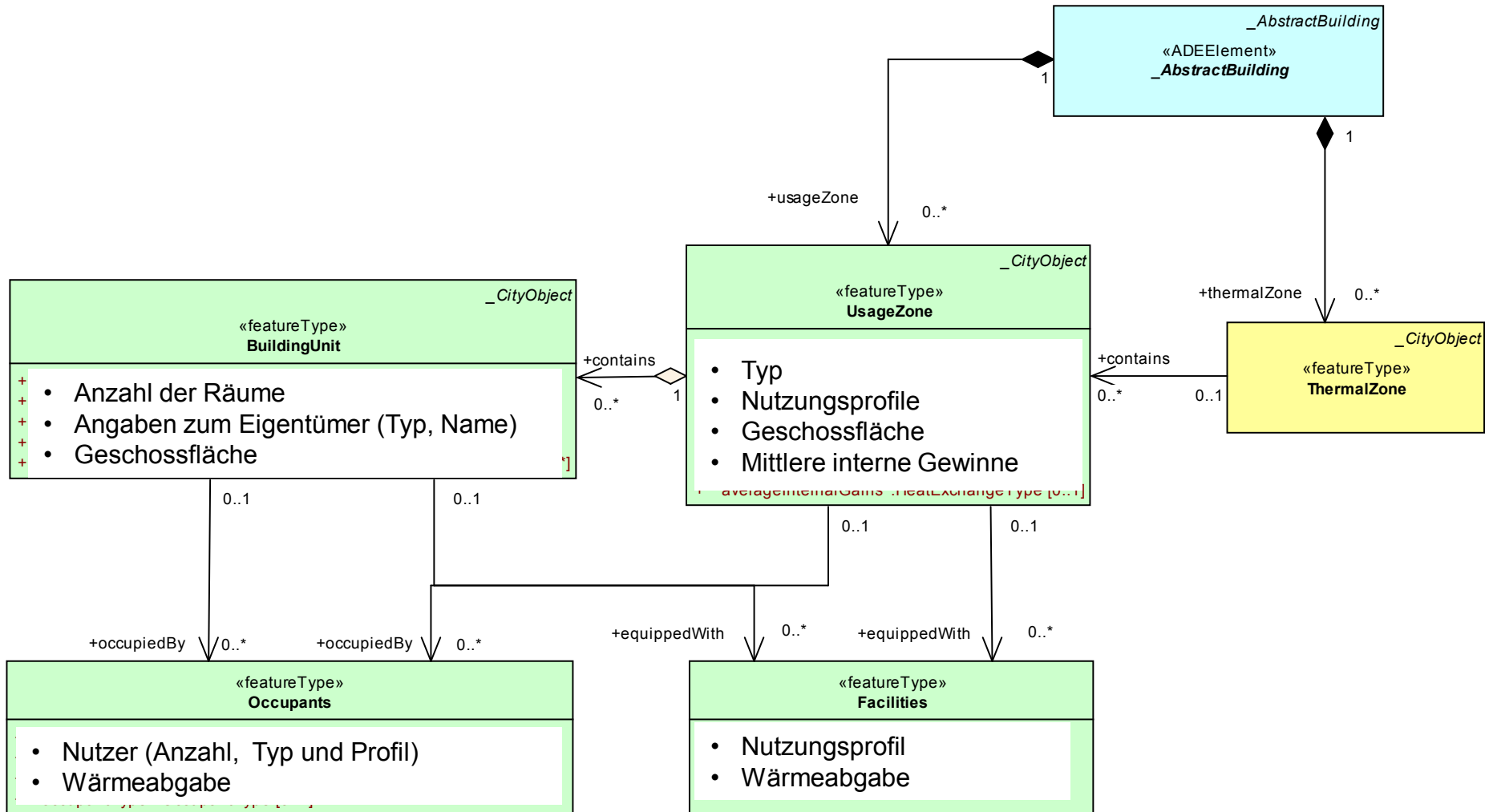




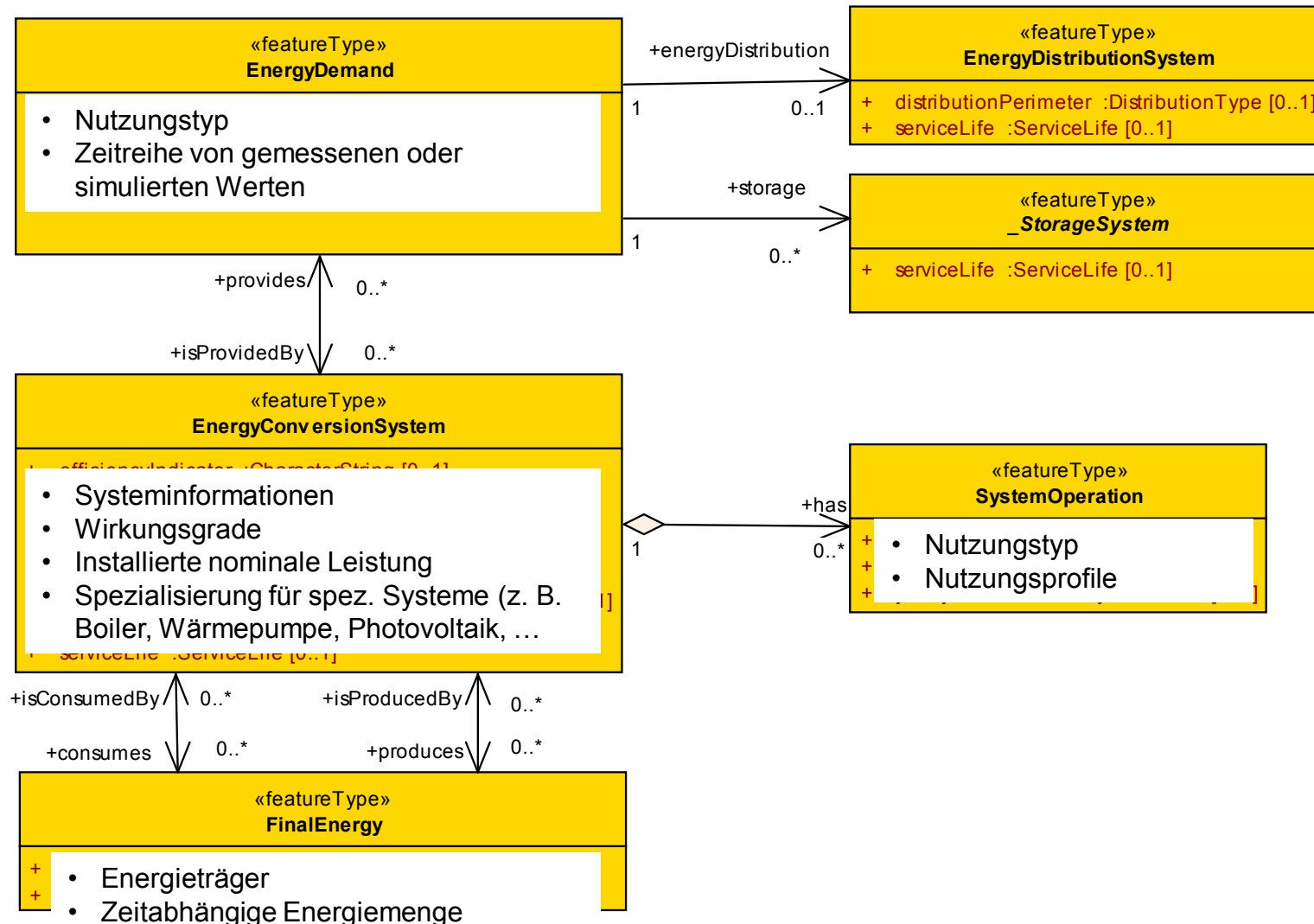
# Mehrzonenmodell













# Zusammenfassung

- Energiebedarfs-Abschätzungen oder -Simulationen sind wichtige Hilfsmittel, um die Energieeffizienz auf Gebäudeebene zu verbessern
- Zugehörige Eingabedaten sind teilweise aus virtuellen 3D Stadtmodellen im CityGML-Format ableitbar
- Derzeit wird eine spezifische Erweiterung “EnergyADE“ des CityGML Standards entwickelt, die zukünftig als herstellerunabhängiges Austauschformat zwischen Modellierungs- und Simulationssystemen dienen soll
- Die EnergyADE soll alle energierelevanten Gebäudedaten sowie die Ergebnisse von Energiesimulationen repräsentieren können
- Neben einer Vervollständigung der Spezifikation ist es eine zentrale zukünftige Aufgabe, das Datenformat im Zusammenspiel mit existierenden Simulationssystemen zu implementieren und zu testen