

Vom statischen 3D-Stadtmodell zum dynamischen Stadtsystemmodell

Prof. Dr. Thomas H. Kolbe

Lehrstuhl für Geoinformatik
Technische Universität München
thomas.kolbe@tum.de

18. September 2014

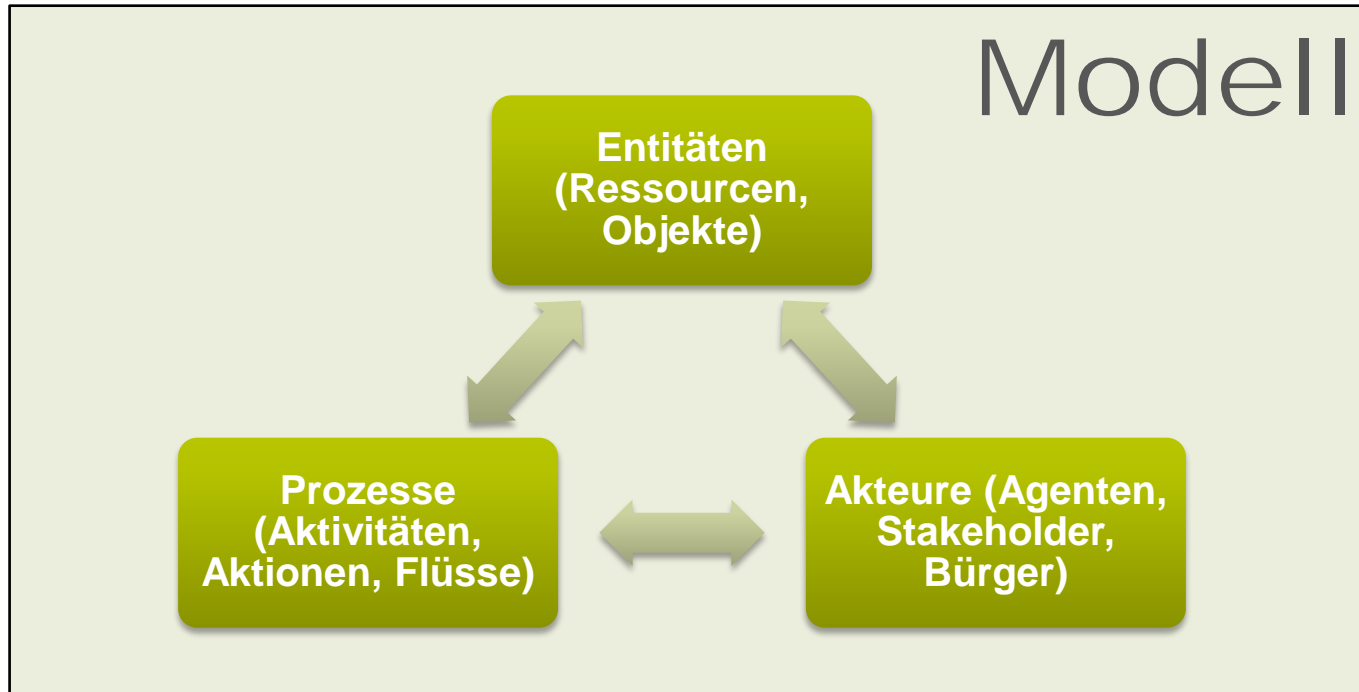
14. Seminar GIS & Internet, UniBW München



Stadtsystemmodellierung – Motivation

- ▶ Stadtentwicklung musste immer schon **zahlreiche verschiedene Aspekte** berücksichtigen, u.a.
 - ökonomische
 - ökologische
 - energetische
 - verkehrstechnische
 - städtebauliche
 - architektonische
 - rechtliche
 - soziologische
 - sicherheitliche
- ▶ **integrierte Planung** ist aufgrund der vielen beteiligten Disziplinen sowie der unterschiedlichen Vorgehensweisen und Informationsbedarfe **sehr schwierig**
- ▶ „**Smart City**“-Initiativen: Verbesserung durch übergreifende Informationsbereitstellung und Prozessmodellierung
 - Versprechen / Hypothese: informationstechnische Harmonisierung und Kopplung schafft die Grundlage für die **integrierte und gut informierte Planung und Betrieb von Städten**

Stadtsystemmodellierung



repräsentiert durch



Stadtsystem

Heute: Separate Modellierung in Sektoren



Energie

- Gemeinschaft
- Modelle
- Indikatoren
- Evaluierung
- Planung



Mobilität

- Gemeinschaft
- Modelle
- Indikatoren
- Evaluierung
- Planung



Ökologie

- Gemeinschaft
- Modelle
- Indikatoren
- Evaluierung
- Planung

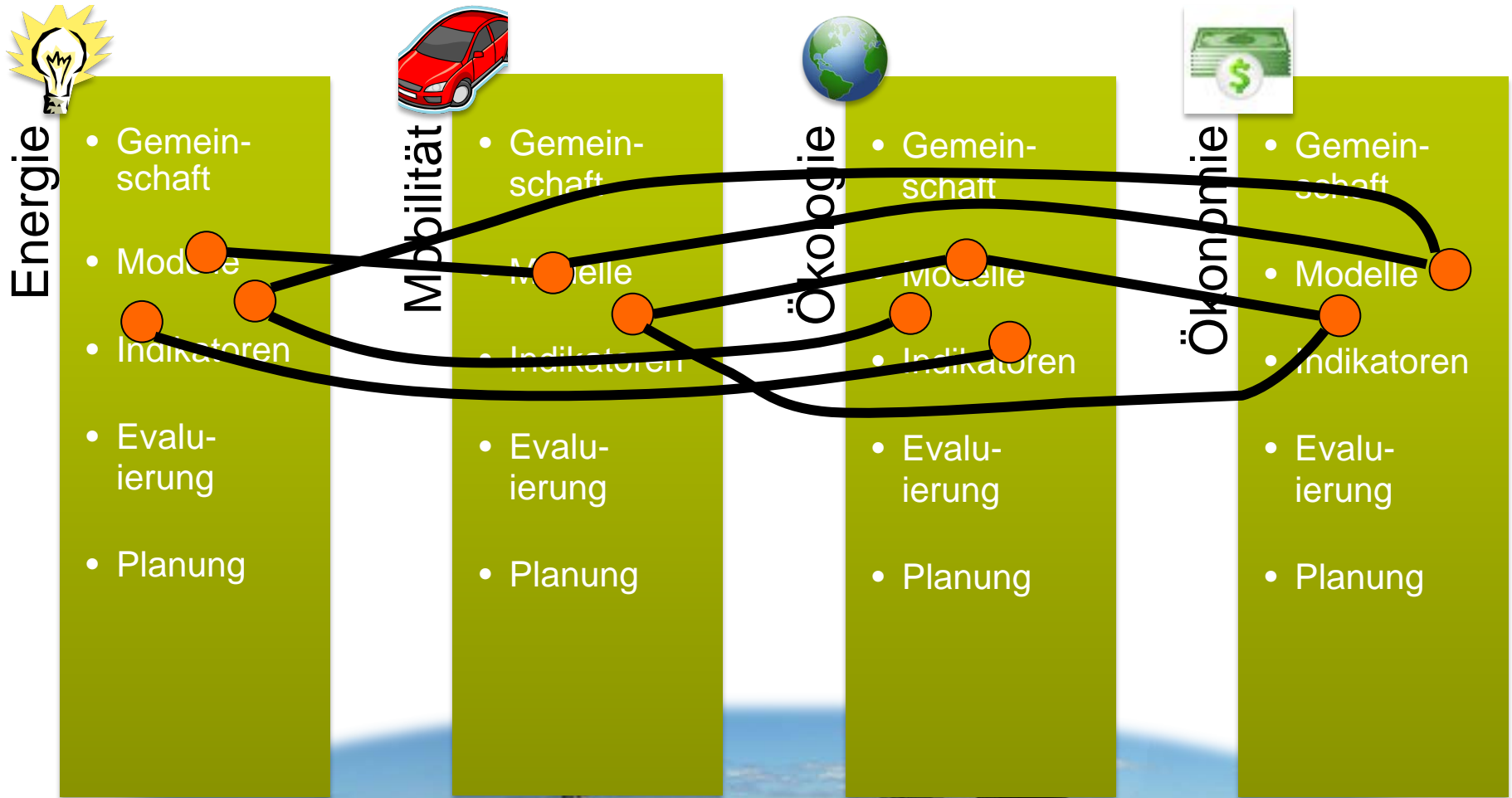


Ökonomie

- Gemeinschaft
- Modelle
- Indikatoren
- Evaluierung
- Planung

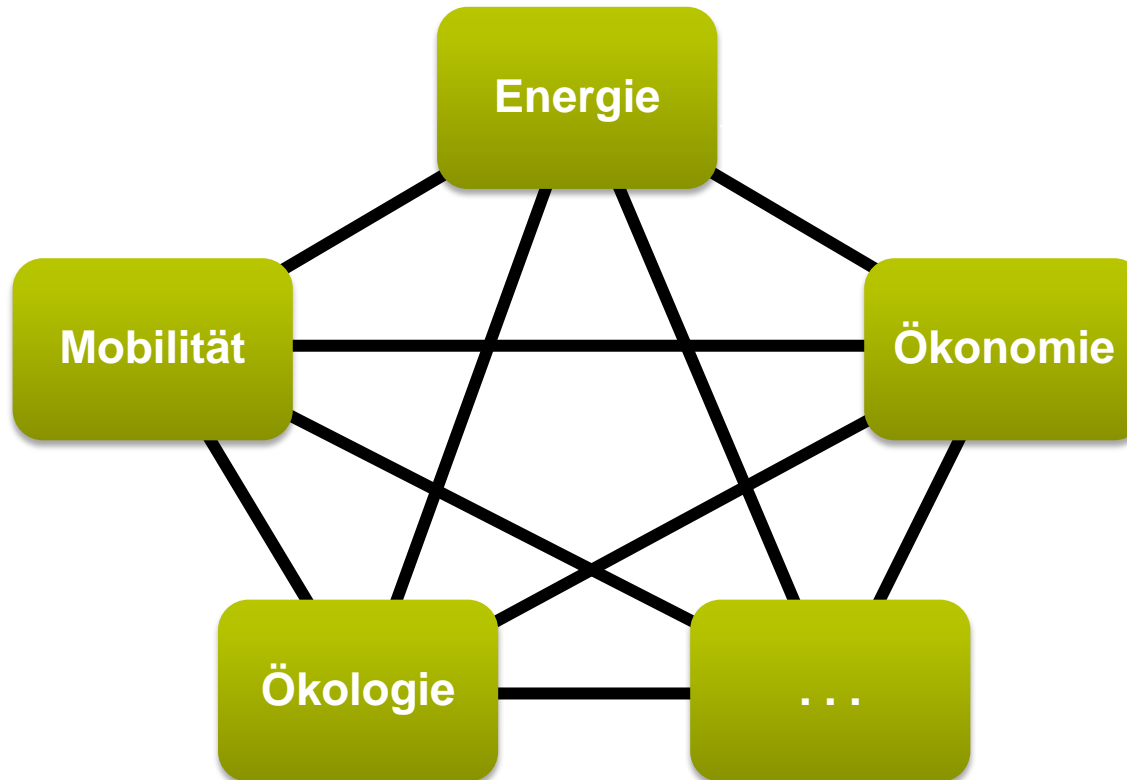
Stadtsystem

Kopplung von Sektoren erzeugt Modellverband



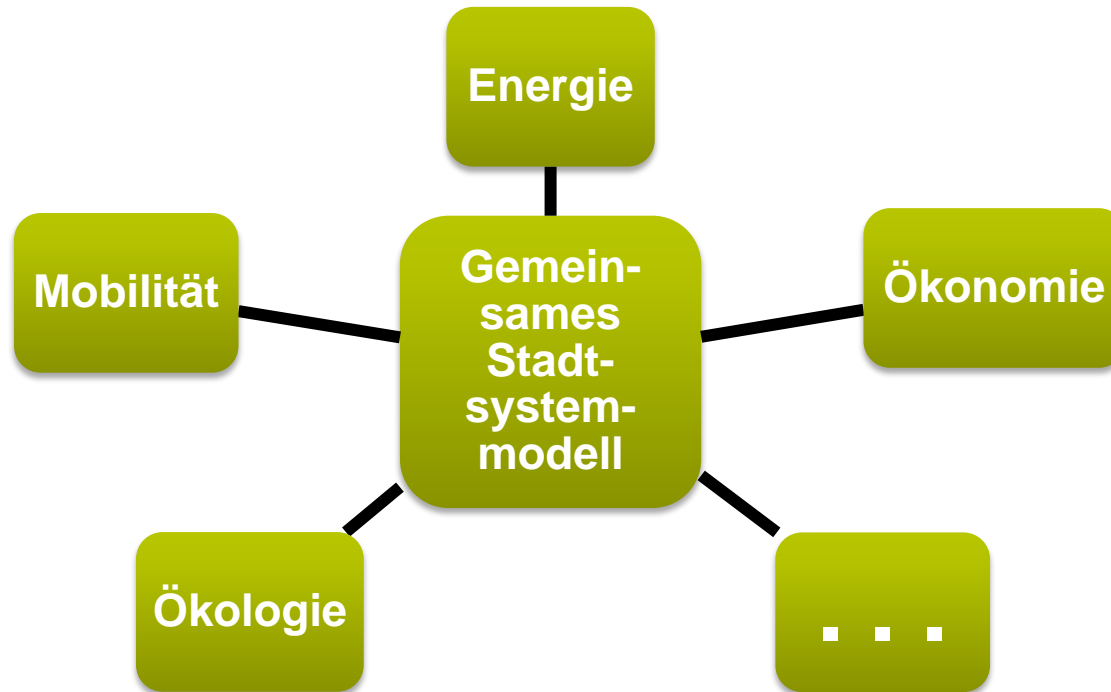
Stadtsystem

Verband von Sektormodellen



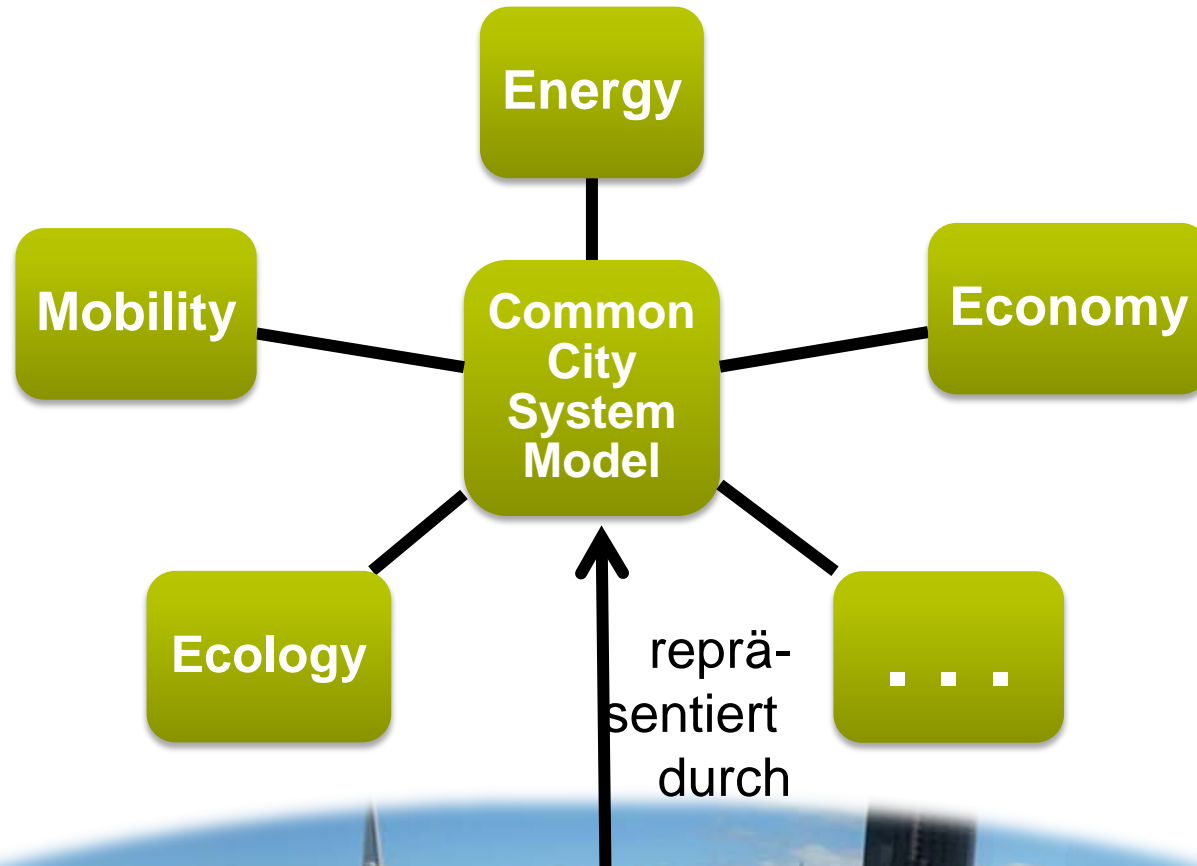
- ▶ n Sektoren → **potentiell n^2 Verbindungen!**
- ▶ komplexe Modellierung; Konsistenzwahrung schwierig

Was wäre, wenn wir Sektoren über ein *Gemeinsames Modell* verknüpfen könnten?



- ▶ n Sektoren → **n Verbindungen!**
- ▶ Sektormodelle sind über das *Gemeinsame Modell* verknüpft
- ▶ Sektormodelle müssen zu dem *Gemeinsamen Stadtsystemmodell* passen → **semantische Kohärenz erforderlich**

Gibt es so ein integratives Modell? Kandidaten?



Stadtsystem

3D-Aufgliederung des städtischen Raumes

- ▶ Stadt wird aufgegliedert in sinnvolle Objekte mit klarer Semantik (Bedeutung) und definierten räumlichen und thematischen Eigenschaften
 - u.a. Gebäude, Straßen, Gewässer, Vegetation, Versorgungsnetze
 - Gebäude sind u.U. weiter zerlegt in einzelne Geschosse (und ggf. noch weiter detailliert in Wohnungen und einzelne Räume)
 - Fachdaten sind den Objekten als Sachattribute beigefügt

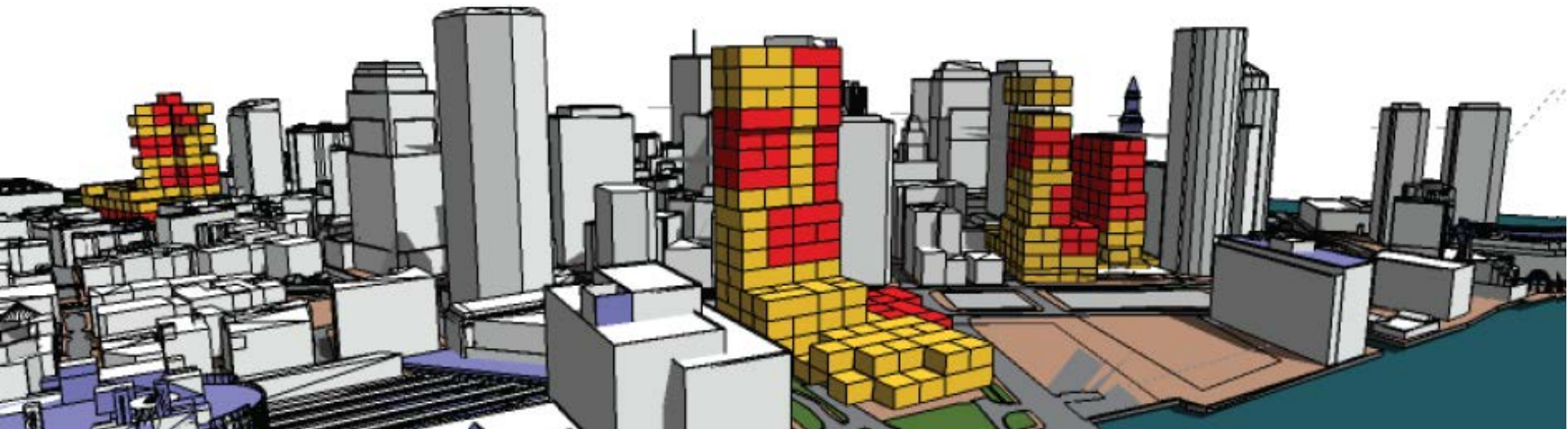


Abbildung: Paul Cote, Harvard Graduate School of Design

City Geography Markup Language

Fachneutrales Topographisches Informationsmodell

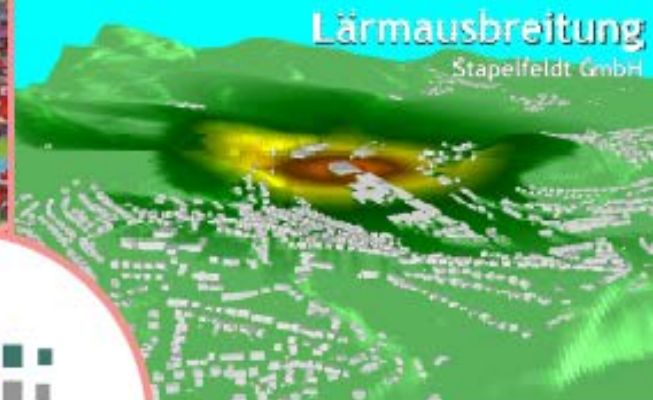
für semantische 3D-Stadt- und Landschaftsmodelle

- ▶ umfasst **verschiedene thematische Bereiche** (Gebäude, Vegetation, Relief, Gewässer, Verkehr, Tunnel, Brücken etc.)
- ▶ Internat. Standard des **Open Geospatial Consortiums**
 - aktuelle **Version 2.0** wurde im März 2012 verabschiedet
- ▶ **Datenmodell (UML) + Austauschformat (GML3-basierend)**



CityGML repräsentiert

- ▶ 3D-Geometrie, 3D-Topologie, Semantik und Erscheinung
- ▶ in 5 diskreten Skalenebenen (Levels of Detail, LOD)



Zwischenfazit – Wo stehen wir heute?

- ▶ Konzepte und Daten zur (statischen) **semantischen 3D-Modellierung** von Städten zunehmend **etabliert**
 - Internationaler Standard CityGML (gemeinsame Ontologie) und
 - flächendeckende und nachhaltige Bereitstellung von 3D-Stadtmodellen an vielen Orten
 - sehr gute Basis für ein sektorübergreifendes gemeinsames Modell

- ▶ **These: starke Kohärenz von CityGML-Modellen mit den inhaltlichen Strukturen der Sektormodelle**
 - gleiche oder ähnliche Objektklassifikationen und -zerlegungen
 - viele Indikatoren der Sektormodelle haben einen direkten (und eindeutigen) Bezug zu Objekten und Attributen des 3D-Stadtmodells;
 - viele Indikatoren lassen sich sogar auf der Basis des Stadtmodells oder verknüpfter Daten direkt berechnen / schätzen

Anwendungsbeispiel

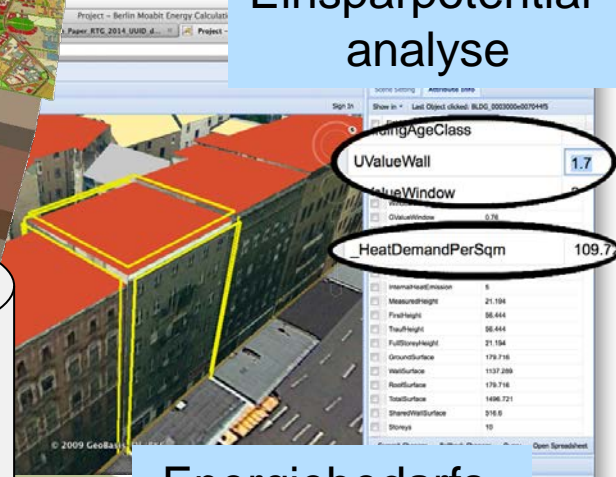
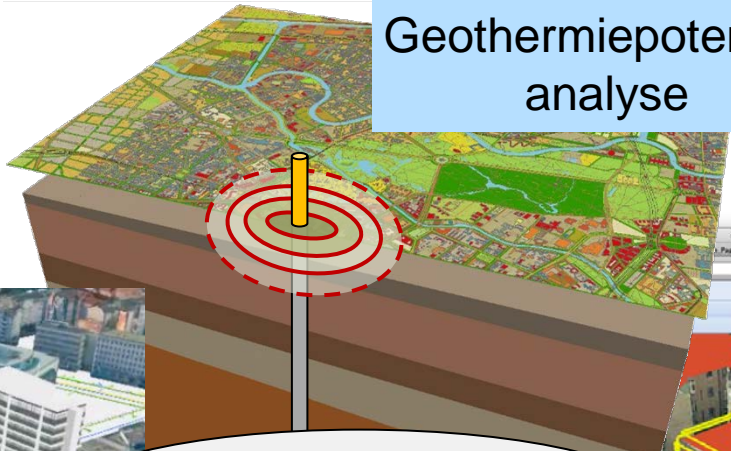
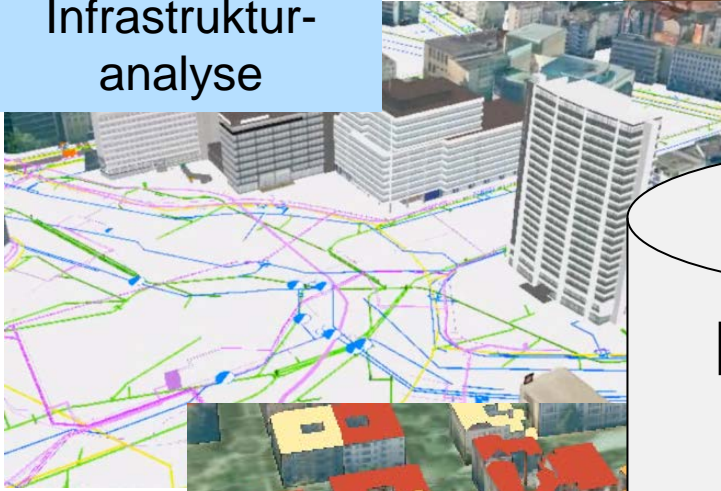
Strategische Energieplanung (Energieatlas Berlin)

Energieatlas

Geothermiepotentialanalyse

Einsparpotentialanalyse

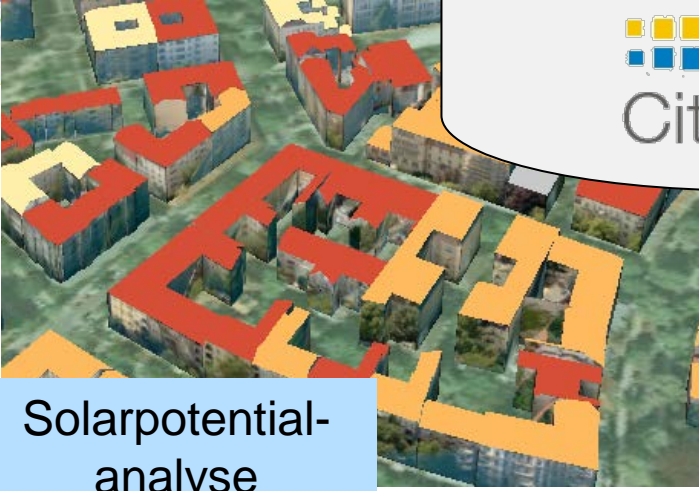
Infrastrukturanalyse



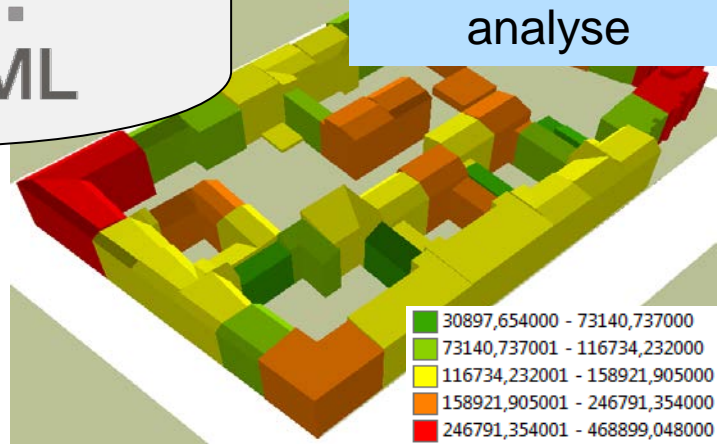
Energieatlas

CityGML

Energiebedarfsanalyse



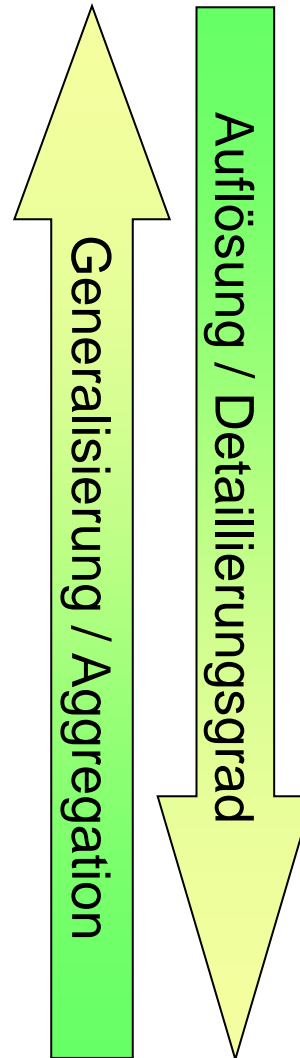
Solarpotentialanalyse



- 30897,654000 - 73140,737000
- 73140,737001 - 116734,232000
- 116734,232001 - 158921,905000
- 158921,905001 - 246791,354000
- 246791,354001 - 468899,048000

Skalenbereiche des Energieatlas

- ▶ **Stadt**
- ▶ **Stadtteil**
- ▶ **Quartier / Block**
- ▶ **Gebäude / Straße**
- ▶ **Wohnung**
- ▶ **Raum**

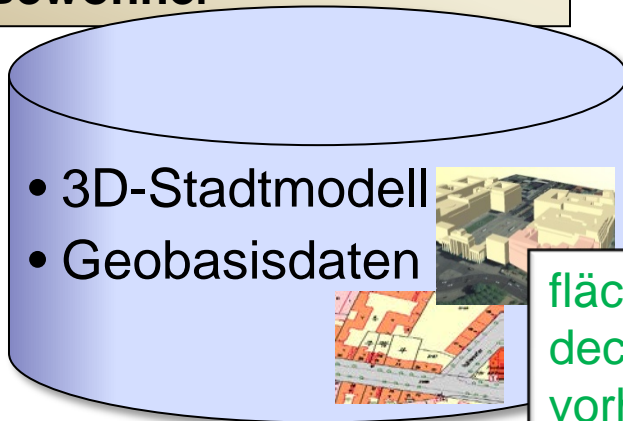


Korrelation: Verbrauch - Gebäudeparameter

Gebäudeinformation



- überbautes Volumen [m³]
- Nutzfläche [m²]
- Gebäudetyp
- Gebäudenutzung
- Baujahr / Baualtersklasse
- (Sanierungszustand)
- Bewohner

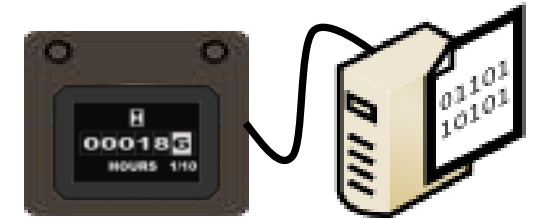


- 3D-Stadtmodell
- Geobasisdaten



flächen-
deckend
vorhanden !

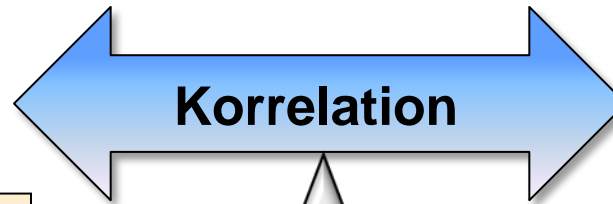
Verbrauchsinformation



- Stromverbrauch
- Wasserverbrauch
- Gasverbrauch
- (Fern-)Wärmeverbrauch



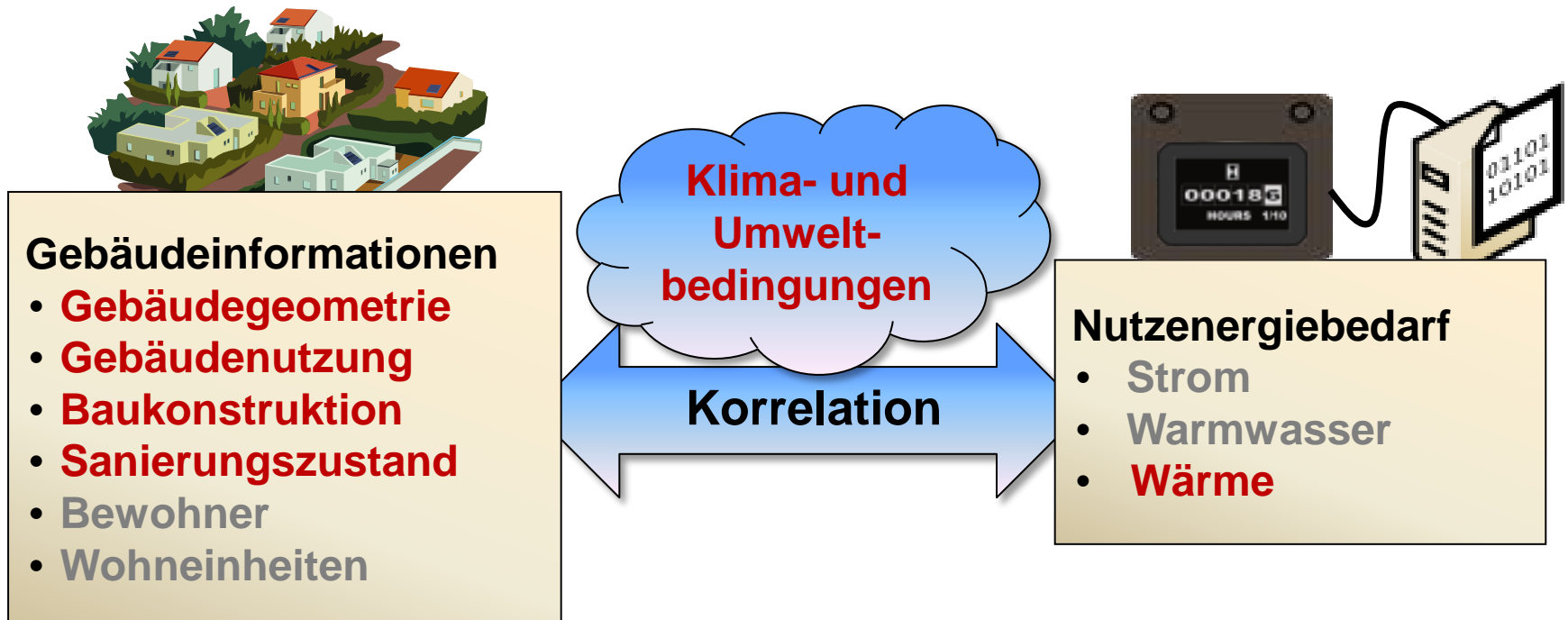
nur für einen kleinen Teil
der Gebäude bekannt !



Wie hängen der
Verbrauch /
Bedarf mit den
Gebäude-
eigenschaften
zusammen?

Abschätzung des Wärmeenergiebedarfes

- ▶ Wärmebedarfsabschätzung nach „**Energiepass Heizung / Warmwasser**“ des *Instituts Wohnen und Umwelt (IWU)*; standardisiert in DIN 18599



Ermittlung der Eingangswerte (I)

► Klima und Umweltbedingungen:

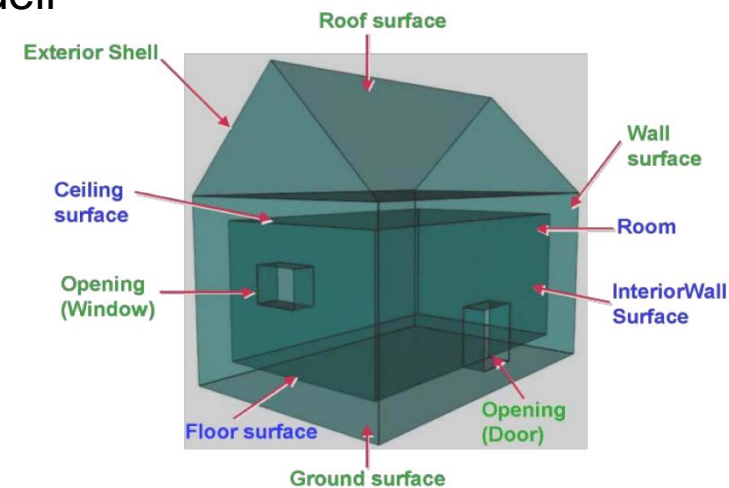
- Gradtagzahl für einen Ort und Länge der Heizzeit: Berechnet nach VDI 2067
- Globalstrahlung: Pauschalwerte aus der IWU-Dokumentation

► Gebäudegeometrie

- Energiebezugsfläche: berechnet aus Stadtmodell
- Gebäudevolumen: berechnet aus Stadtmodell
- Hüllflächenzahlen der Bauteile: berechnet aus Stadtmodell
- Anzahl der Vollgeschosse: berechnet aus Stadtmodell

► Gebäudenutzung

- Nutzungsart: Entnommen aus Stadtmodell (Geobasisdaten)



Aus dem Dissertationsvorhaben
von Robert Kaden

Ermittlung der Eingangswerte (II)

► Baukonstruktion

- U-Werte der Bauteile: Ermittelt über die Baualtersklasse und den Gebäudetyp aus dem Stadtmodell
- g-Werte der Fenster: Ermittelt über die Baualtersklasse und den Gebäudetyp aus dem Stadtmodell

► Sanierungszustand

- Unbekannt! Durchschnittliche Zustandswerte in Form der U-Werte etc. werden pro Altersklasse definiert.

Bau- alters- klasse	Zeitraum	Durchschn. U-Wert Wand [W/(m ² K)]	Durchschn. U-Wert Fenster [W/(m ² K)]	Durch- schnittl. g-Wert Fenster	Durchsch. n. U-Wert Dach [W/(m ² K)]	Durchschn. U-Wert Kellerdecke [W/(m ² K)]	Fenster- Wand- Flächen- verhältnisse	mittleres Fenster-Wand- Flächen- verhältnis
1	bis 1918	1,70	2,7	0,76	1,50	1,20	0,25 – 0,34	0,30
2	1919 – 1945	1,70	2,7	0,76	1,50	1,20	0,20 – 0,35	0,25
3	1946 – 1961	1,40	2,7	0,76	1,30	1,00	0,20 – 0,31	0,23
4	1962 – 1974	1,20	2,7	0,76	1,10	0,84	0,20 – 0,42	0,28
5	1975 – 1993	0,80*	2,7	0,76	0,45	0,60	0,20 – 0,40	0,33
6	1994 – 2012	0,40*	1,7	0,72	0,30	0,40	0,30 – 0,50	0,35

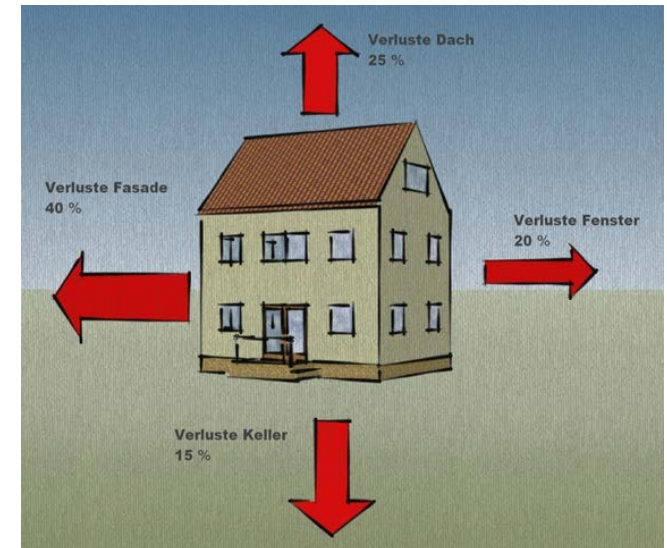
Berechnung des Wärmeenergiebedarfes

- ▶ Der Nutzenergiebedarf Q_H eines Gebäudes wird aus der **Differenz der Wärmeverluste und Wärmegewinne** berechnet:

$$Q_H = Q_V - Q_G \quad [\text{kWh/a}]$$

Q_V Wärmeverluste [kWh/a]
 Q_G nutzbare Wärmegewinne [kWh/a]

- ▶ Berechnung der Wärmeverluste
 - durch die Hüllflächen
 - durch regelmäßiges Lüften
- ▶ Berechnung der Wärmegewinne
 - durch Sonneneinstrahlung
 - durch innere Wärmequellen



[<http://www.lambdaplus.de>]

Bildschirmkopie des Energieatlas-Webclients

Google Earth Viewer

Project ▾ Help ▾ Tiling Manager ▾ NetworkLink Manager ▾ Extensions ▾ Selection Pan Draw Sign Out

Scene Setting | Attribute Info

Show in ▾ Last clicked Object: BLDG_0003000b002ea1a7

Fieldname	Value
RoofOrCeilingInsulation	0
_____ESTIMATED_____	__HEAT_DEMAND__
Jan_kwh	17647
Feb_kwh	14959
Mar_kwh	12199
Apr_kwh	6158
May_kwh	2143
Jun_kwh	525
Jul_kwh	0
Aug_kwh	9
Sep_kwh	2301
Oct_kwh	7365
Nov_kwh	13987
Dec_kwh	18370
Year_kwh	95667
Year_m2_kwh	176
_____REFURBISHMENT_____	__COSTS__

Commit Changes Rollback Changes Query ▾ Open Spr

Object Selection | Hidden Objects

Clear Selected Objects Aggregation ▾ Appearance ▾ Hid

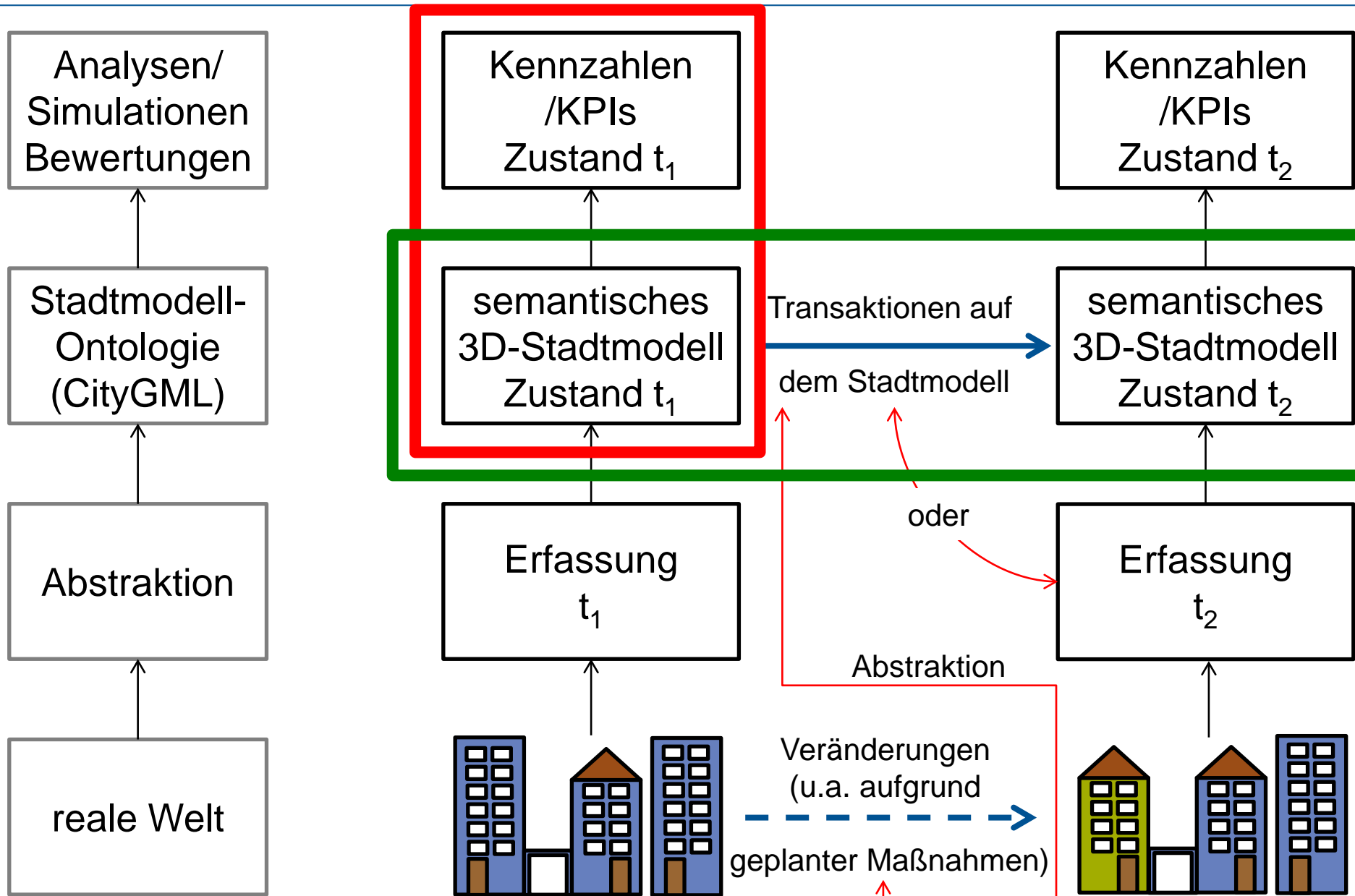
Object ID

BLDG_0003000b002ea1a7

© 2009 GeoBasis-DE/BKG

Stadtsystemmodellierung – Was fehlt?

- ▶ Repräsentation von Akteuren (hier nicht weiter behandelt)
- ▶ **Rahmenwerk für modellbasierte anwendungsspezifische Evaluierungen** auf der Basis von 3D-Stadtmodellen
- ▶ Berücksichtigung von **Dynamik in 3D-Stadtmodellen**
 - dynamische Objekte und Attribute → **CityGML 3.0**
 - **Modellierung von Veränderungen / Prozessen**
- ▶ Integration aller Modelle in ein **Gesamtrahmenwerk**



UML-basierte Modellierung von (Schlüssel-)Indikatoren

Softwaretechnische Modellintegration

▶ ISO 191xx-Normenreihe

- Regeln für Anwendungsschemata; General Feature Model
- ISO 19109- bzw. GML-basierte Geodatenmodelle (CityGML, INSPIRE Datenthemen, ALKIS-ATKIS-AFIS)

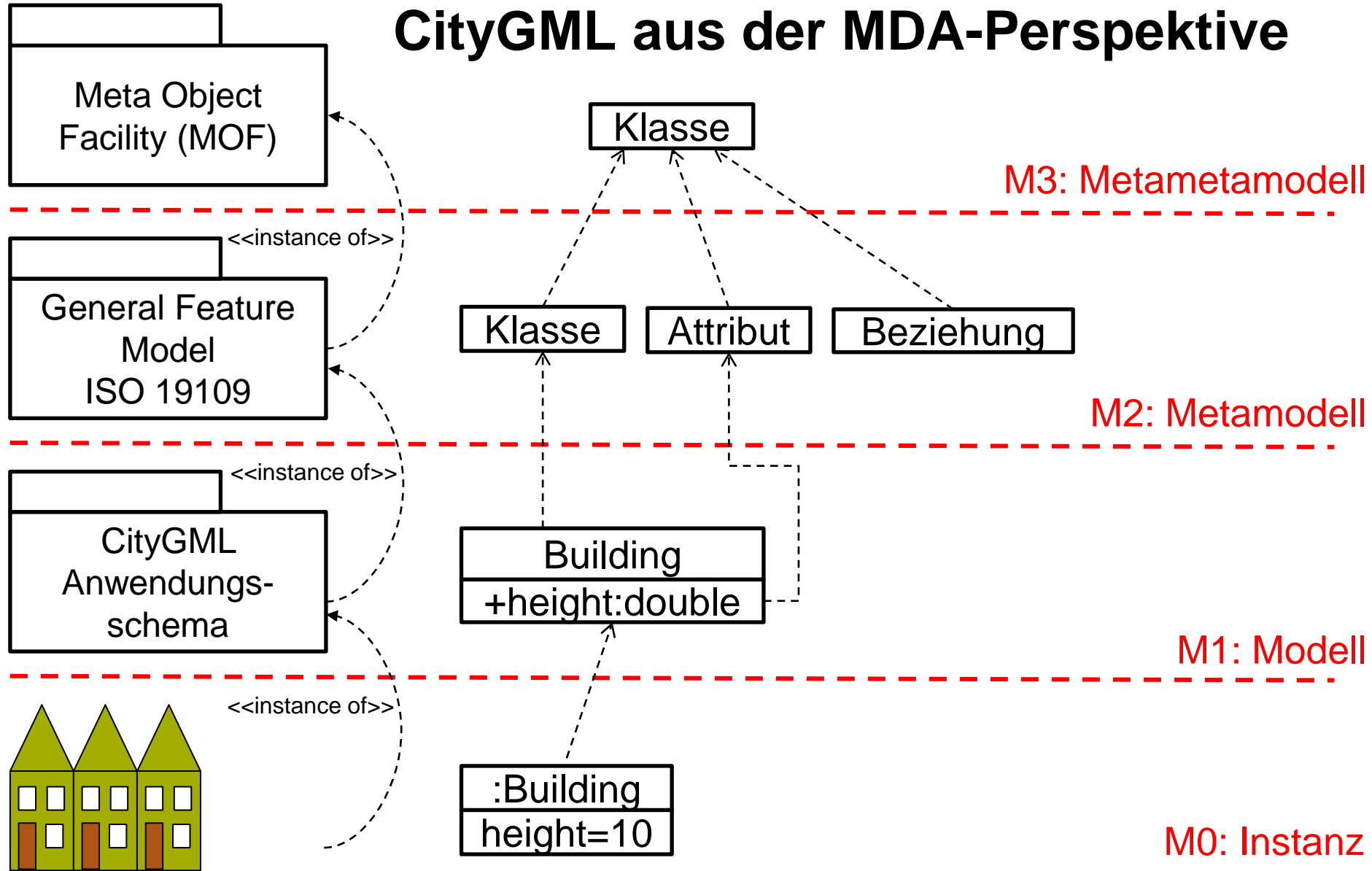
▶ **Model Driven Architecture** [Object Management Group]

- M0 – Instanz-Ebene
- M1 – Modell-Ebene
- M2 – Metamodell-Ebene
- M3 – Metametamodell-Ebene
- Gesamtintegration aller beteiligten Modelle (auf Ebenen M3 oder M2)

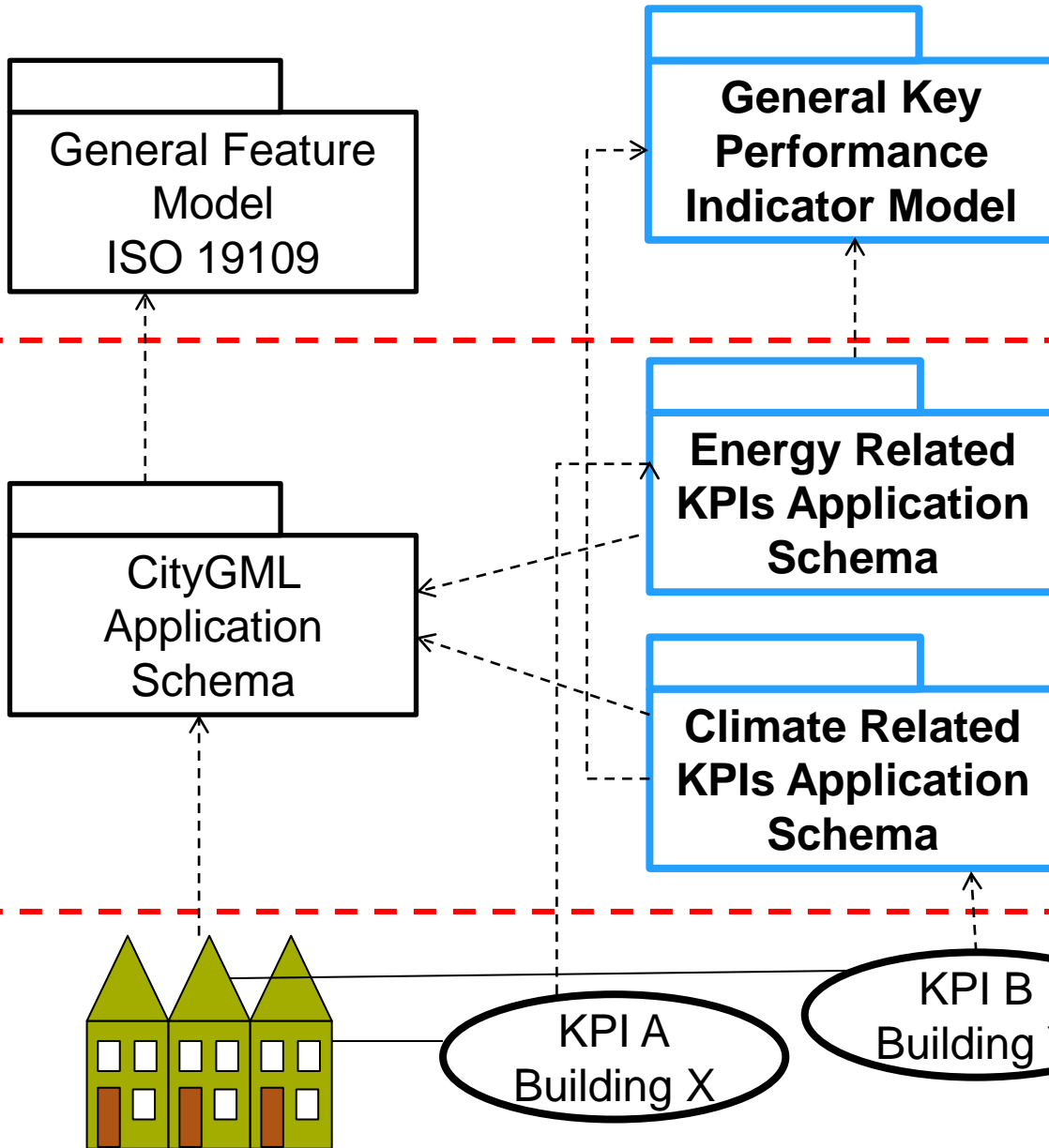
▶ **Model Driven Engineering** [OMG]

- Verknüpfung von Modellen verschiedener Domänen mittels *Model Weaving*

CityGML aus der MDA-Perspektive



Modellierung von (Schlüssel-) Indikatoren (KPIs)

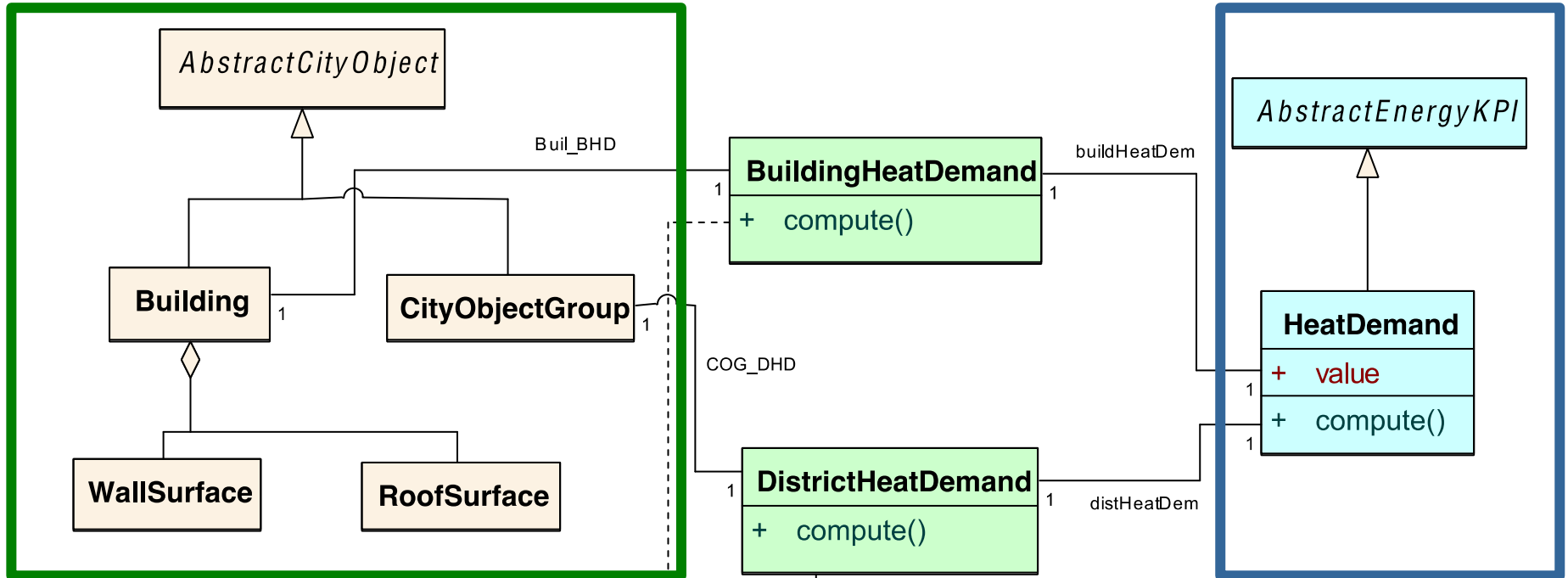


M2: Metamodell

M1: Modell

M0: Instanz

Modellintegration mittels *Model Weaving* + OCL



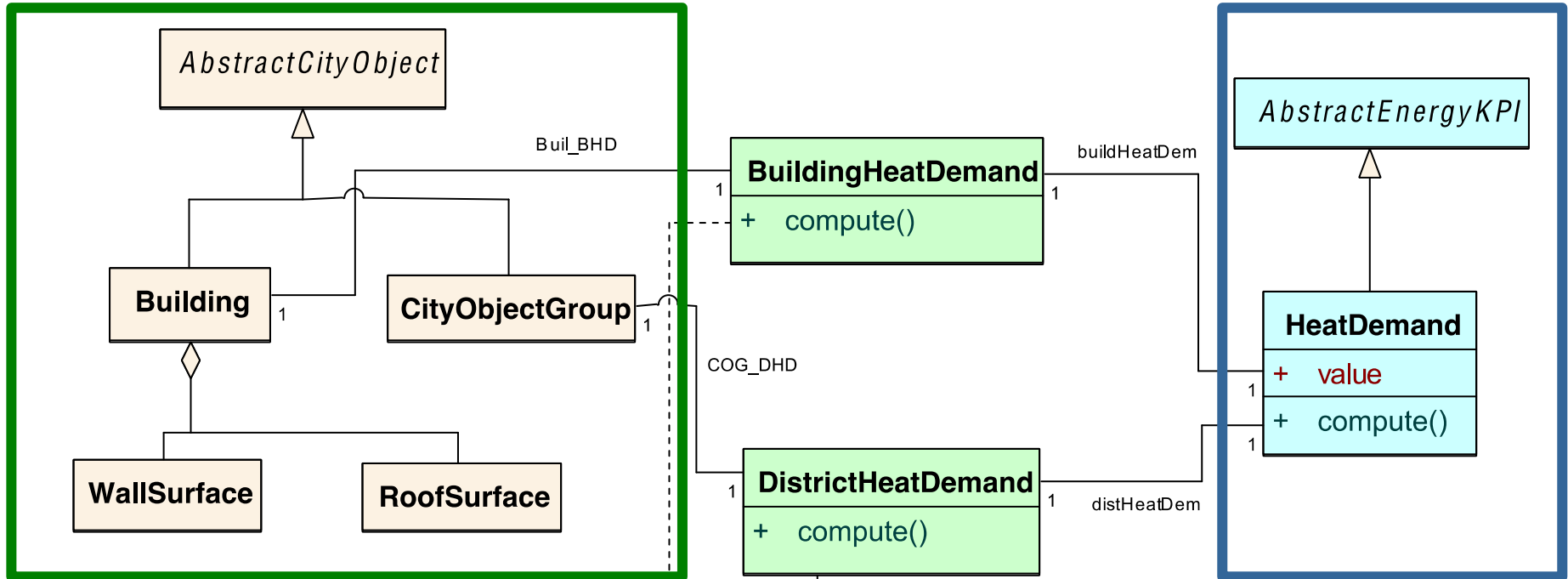
CityGML

**Energie-
Indikator-
modell**

```
context BuildingHeartDemand inv:
buildHeatDem.value =
Buil_BHD.boundedBy.lod2.Multisurface.area()
* Buil_BHD.numStoreysAboveGround / 0.92
* 80
```

```
context DistrictHeatDemand inv:
distHeatDem.value =
...
```

Modellintegration mittels *Model Weaving* + OCL



CityGML

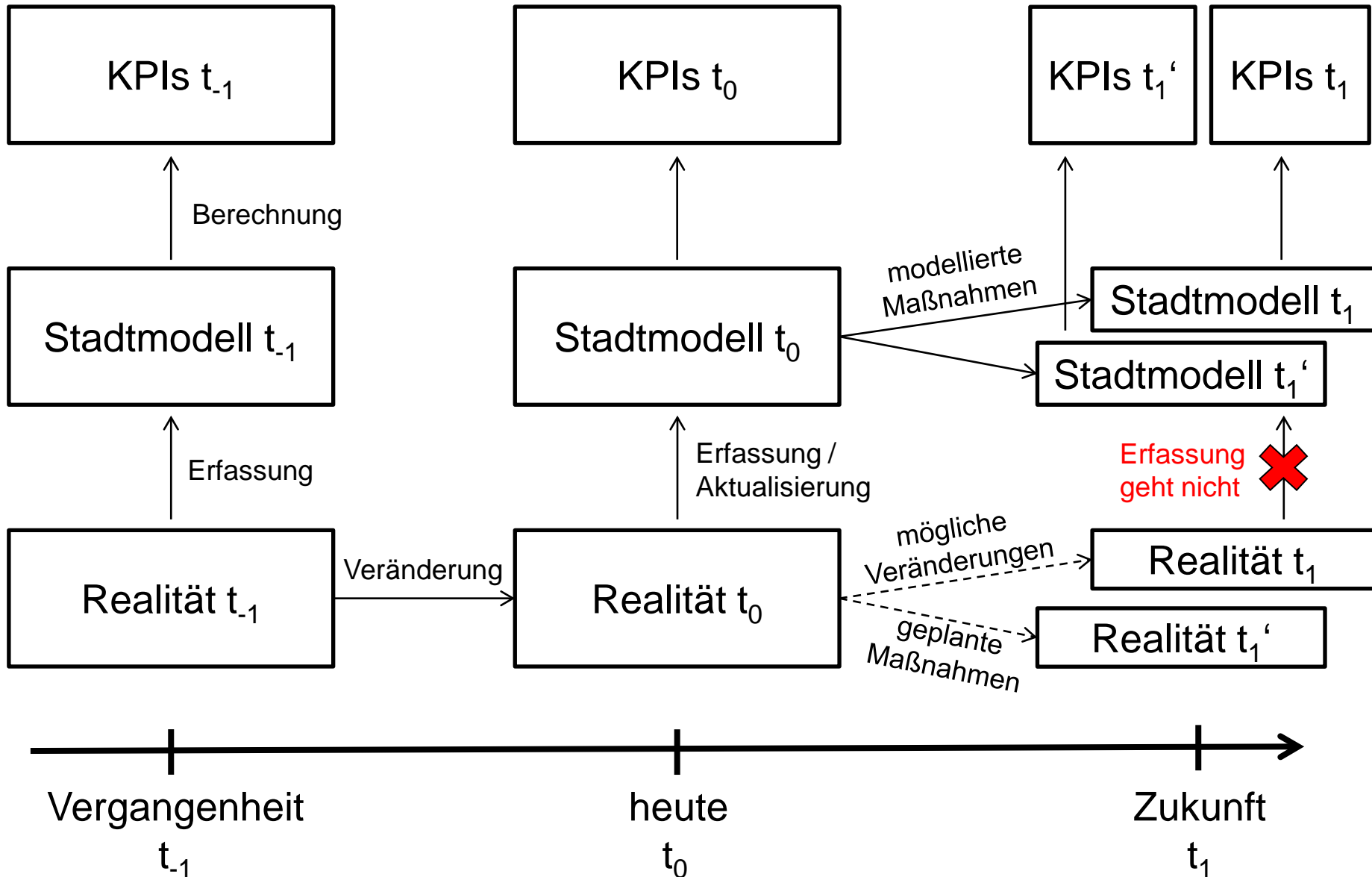
Energie-Indikatormodell

```
context BuildingHeartDemand inv:
buildHeatDem.value =
Buil_BHD.boundedBy.lod2.Multisurface.area()
* Buil_BHD.numStoreysAboveGround / 0.92
* 80
```

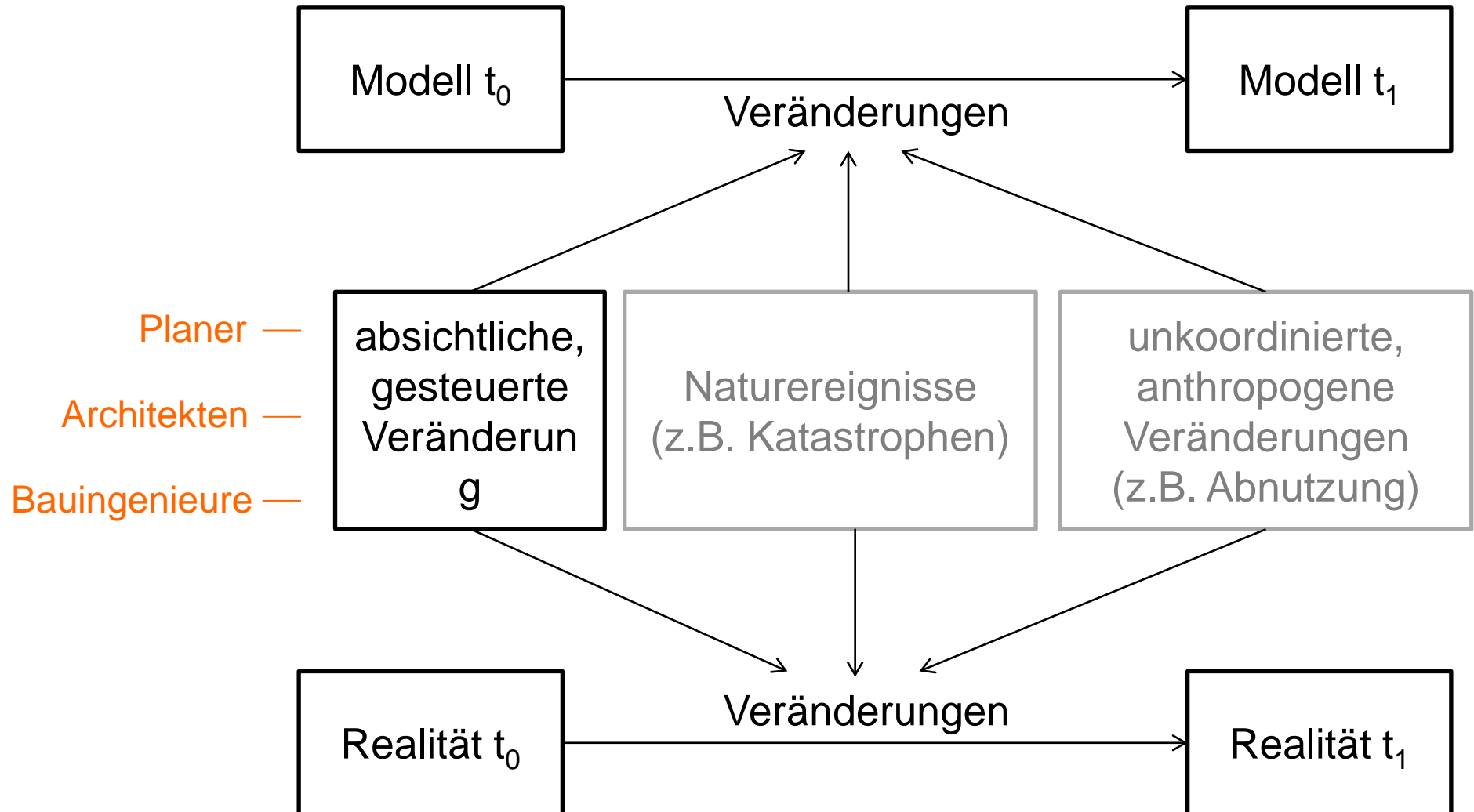
```
context DistrictHeatDemand
inv:
distHeatDem
...
```

Berechnungsformel für Indikatorwerte in OCL

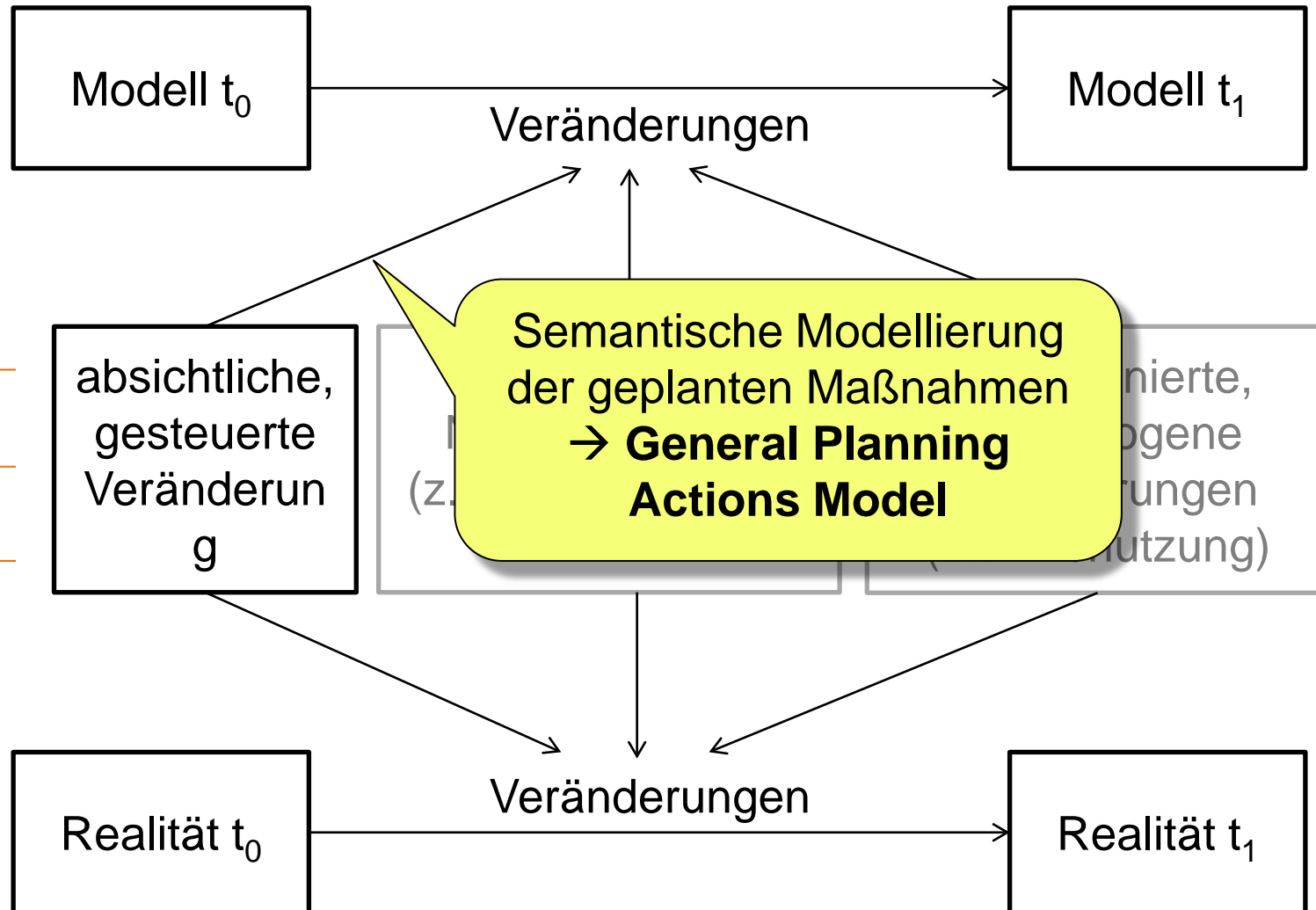
Semantische Modellierung von Transaktionen



Arten von Veränderungen und ihre Gründe



Arten von Veränderungen und ihre Gründe



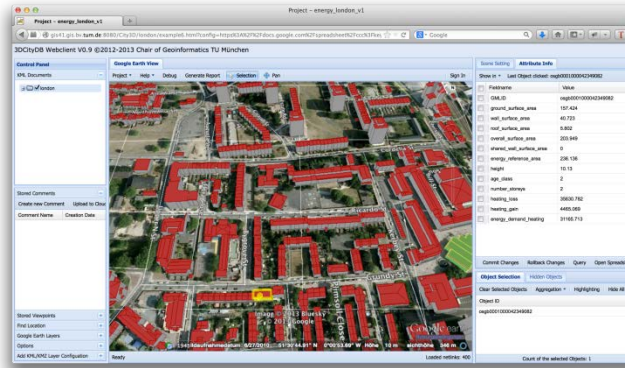
Vollzug geplanter Maßnahmen im Stadtmodell

Beispiel: energetische Sanierung

Soweit bei **beheizten oder gekühlten** Räumen **Außenwände** ... **erneuert** werden ... sind die jeweiligen Höchstwerte der **Wärmedurchgangskoeffizienten** nach Tabelle 1 Zeile 1 einzuhalten. Bei einer Kerndämmung von **mehrschaligem Mauerwerk** gemäß Buchstabe c gilt die Anforderung als erfüllt,

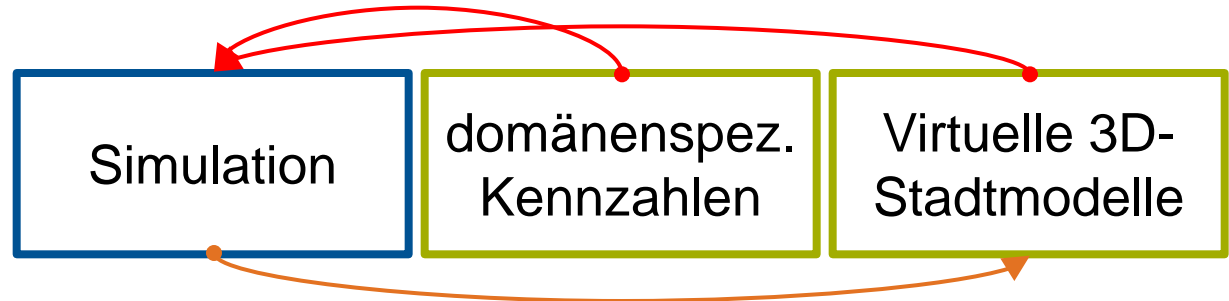
Politische Vorgaben ...

Planung

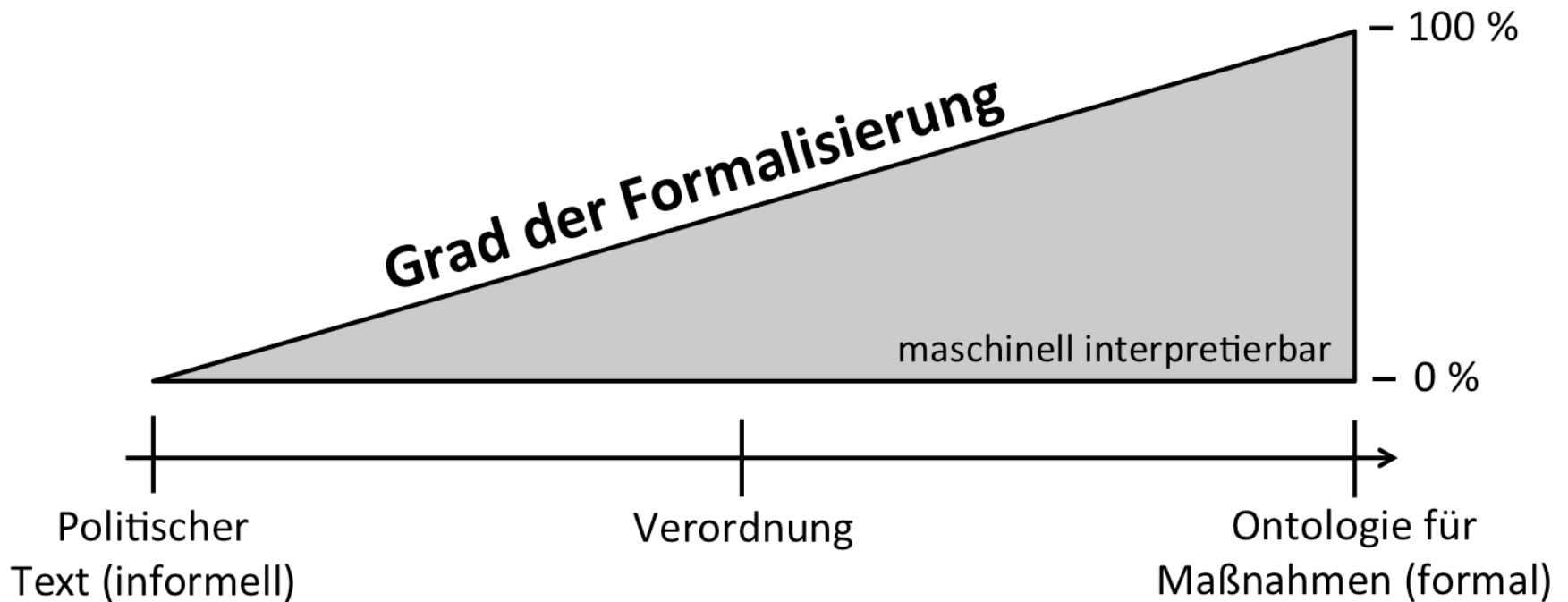


Wie können Vorgaben so formuliert werden, dass sie von den Tools „verstanden“ werden?

Werkzeuge

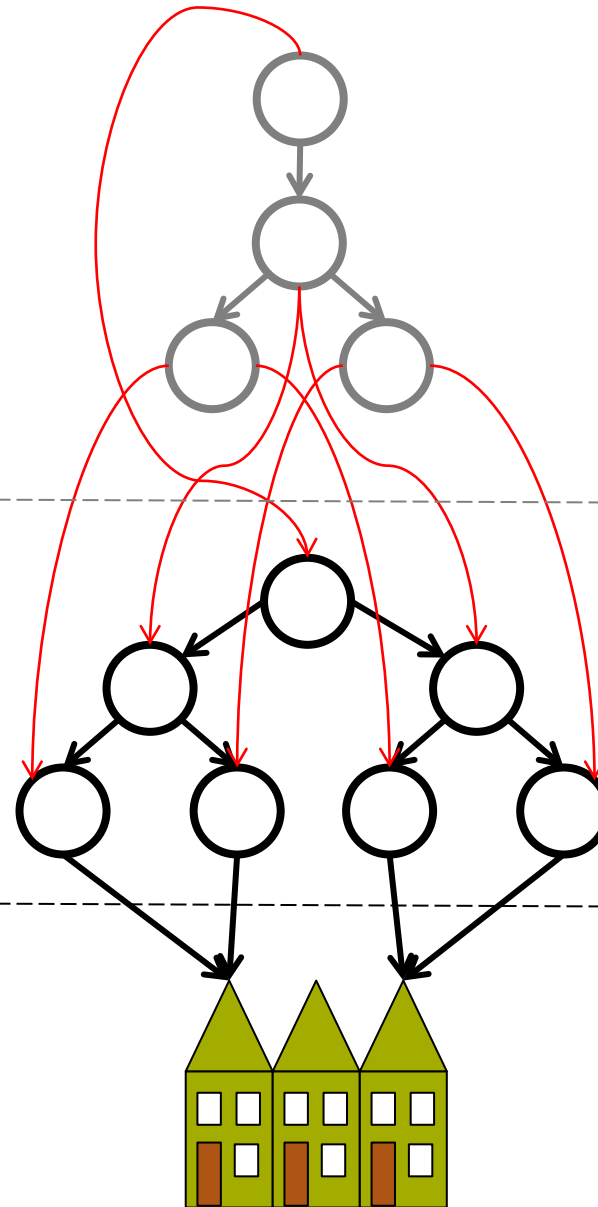


maschinell auswertbare Planungsmaßnahmen



Prototypische Maßnahmen

Spezifische Maßnahmen



Rahmen

Instanz

Parameter

3D-Stadtmodelle

Beispiel aus EnEV (2009)

- **Energetische Sanierung (M):** Politikmaßnahme (1 Mrd. Euro)
- **Teilmaßnahme (TM):** Sanierung des Bauwerks
- **Fassadensanierung (Fa):** Dämmung der Wandflächen führt zu Veränderung der U-Werte
- **Fenstersanierung (Fe):** Der Austausch von Fenstern führt zur Veränderung der U-Werte

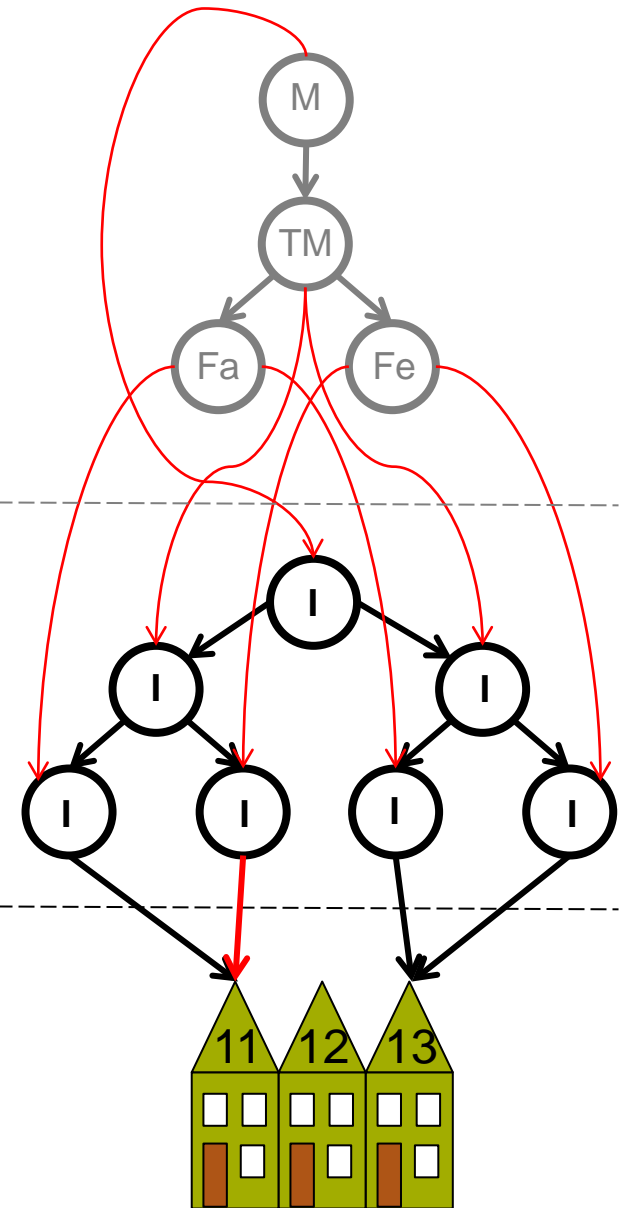
ENEV 2009 (2014)

- **(M):** Politische Förderung (0,2 Mrd. Euro für München - Schwabing)
- **(TM):** Sanierung in der Lindenstraße in München-Schw.
- **(Fa) und (Fe):** Dämmung aller Gebäude mit Mauerziegel (24cm) U-Wert > 0,8 und Doppelfenster mit U-Wert > 3,0

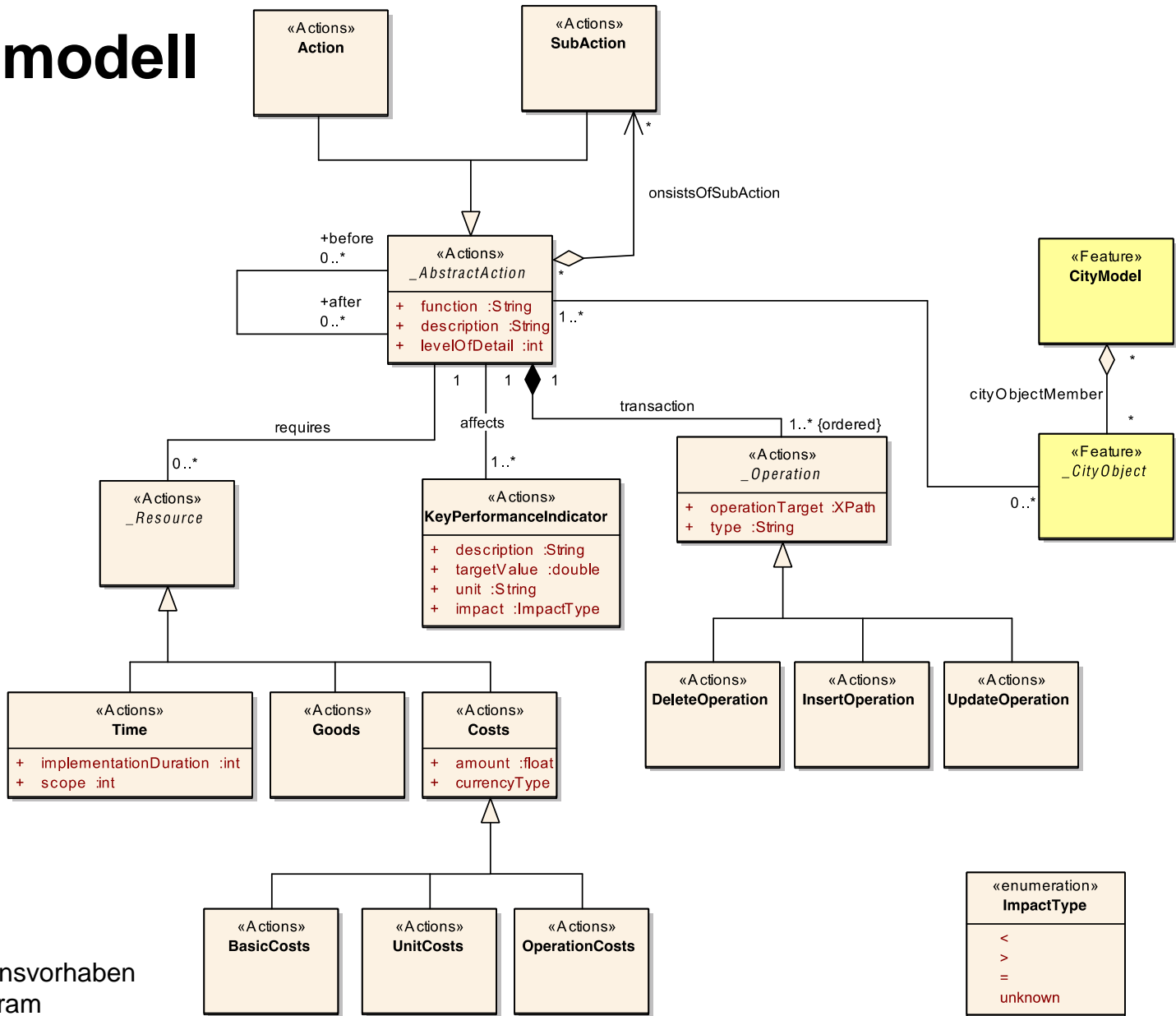
Lindenstr. 11 und 12

- **Lindenstraße 11:** U-Wert = 1,2 und U-Wert(Fe) = 2,0
 - **Lindenstraße 12:** Denkmalschutz, da Baujahr 1860
 - **Lindenstraße 13:** U-Wert = 1,8 und U-Wert(Fe) = 3,9
- 11 Teilsanierung / 12 keine Sanierung / 13 Vollsanierung

Avatare der Gebäude (Lindenstr. 11,12 und 13) im semantischen Stadtmodell



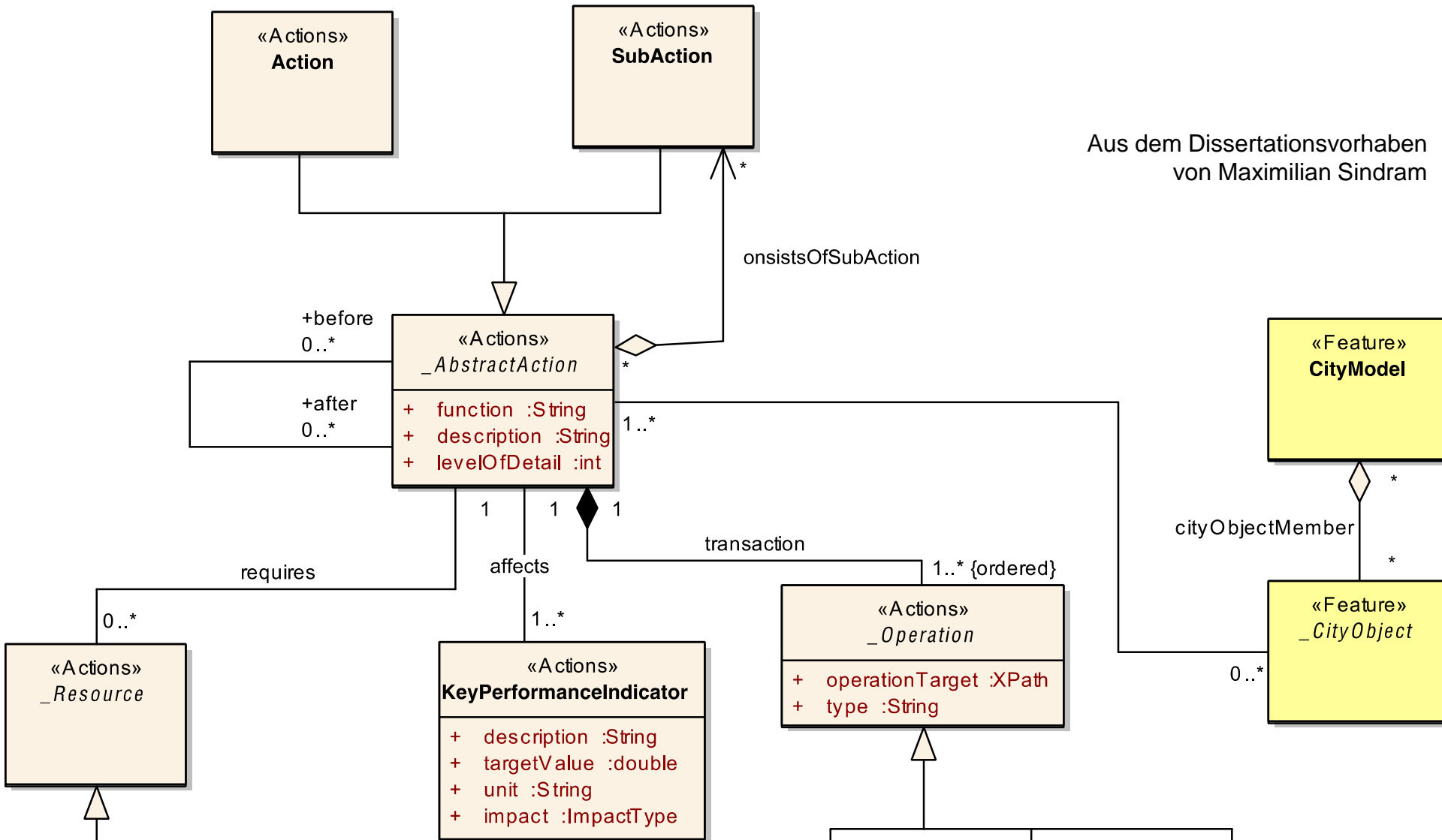
Datenmodell



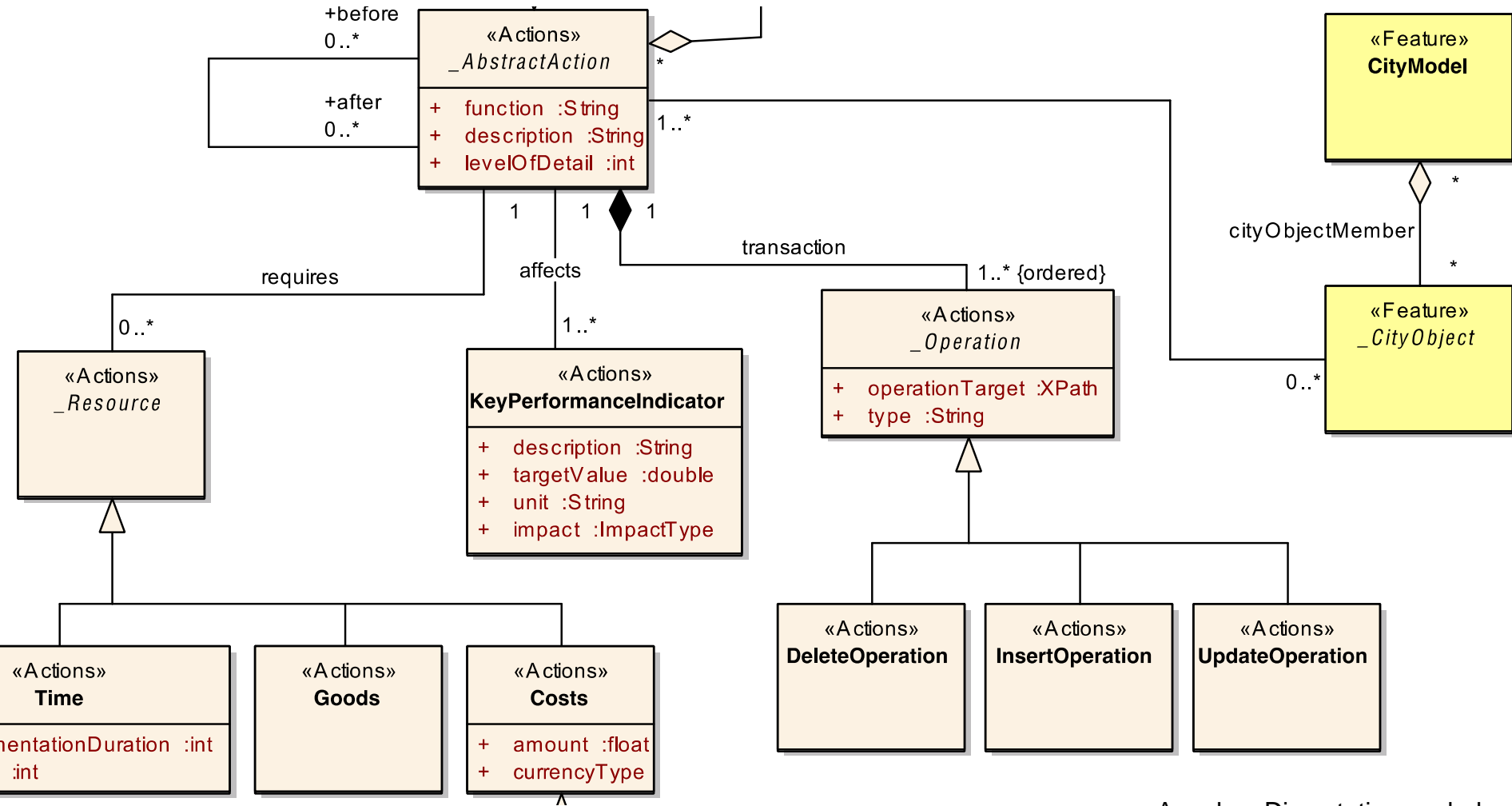
Aus dem Dissertationsvorhaben von Maximilian Sindram

General Planning Actions Model (Entwurf)

Aus dem Dissertationsvorhaben von Maximilian Sindram

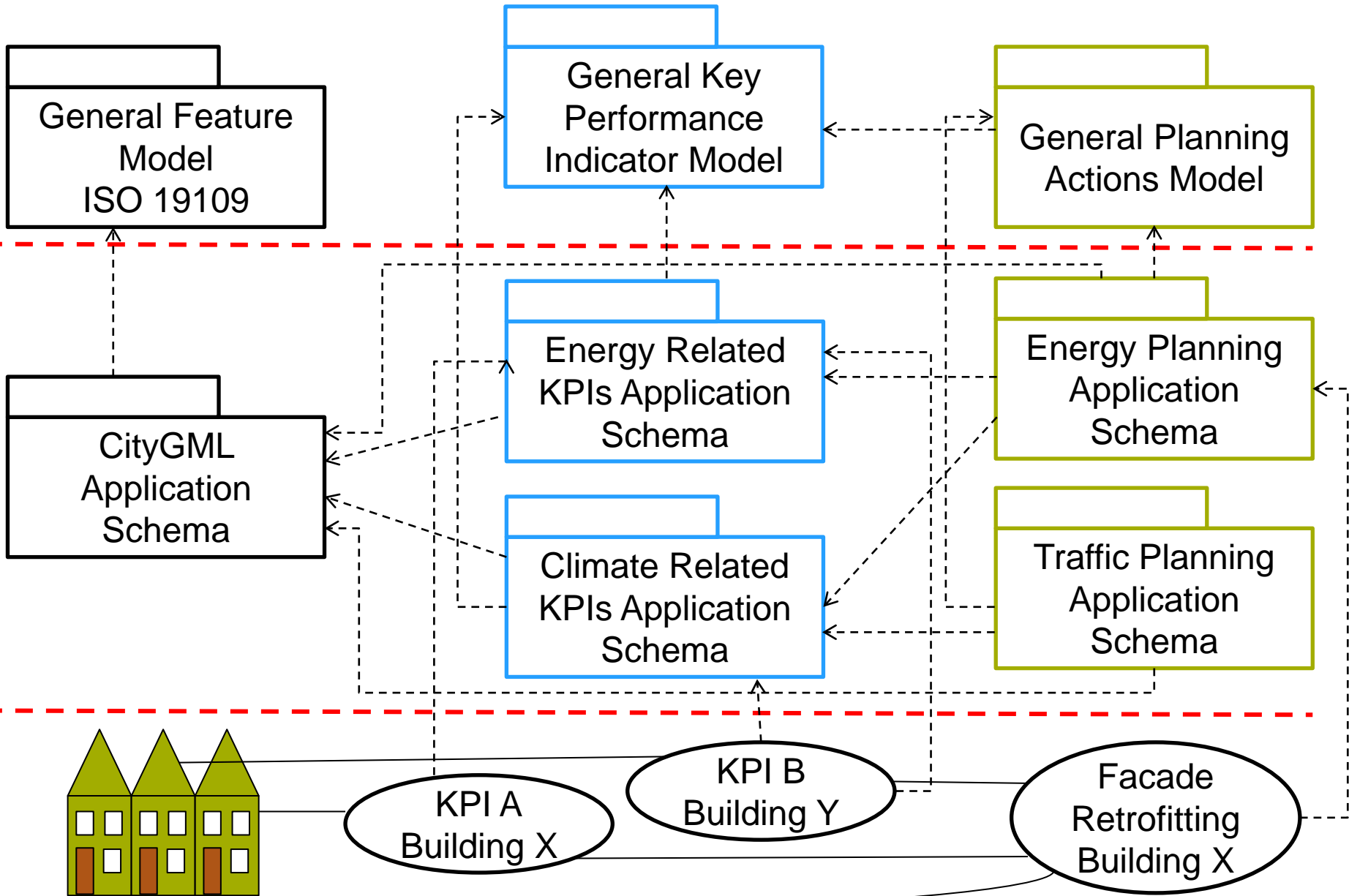


General Planning Actions Model (Entwurf)



Aus dem Dissertationsvorhaben von Maximilian Sindram

**Integration
in ein gemeinsames
softwaretechnisches
Rahmenwerk**



Zusammenfassung

- ▶ **Stadtsystemmodellierung** muss
 - Konzepte & Modelle verschiedener thematischer Sektoren integrieren
 - neben 3D-Stadtmodellen auch Akteure und Prozesse umfassen
- ▶ **Standardisierte semantische 3D-Stadtmodelle** sind eine gute Basis für die Verknüpfung unterschiedlicher Sektoren
 - n Sektoren $\rightarrow n$ Verknüpfungen (statt n^2)
- ▶ **Neue Rahmenwerke nach MDA-Prinzip** analog zu ISO 19109 (General Feature Model) + Anwendungsschemata
 - Modellierung von Indikatoren & ihre modellbasierte Berechnung
 - Semantische Modellierung von Transaktionen
- ▶ **Gesamtintegration nach MDE-Prinzip** mit *Model Weaving*
 - modellbasierte Ableitung der Berechnungsprogramme