

# Spannungsfeld Stadtsystemmodellierung

Thomas H. Kolbe

Lehrstuhl für Geoinformatik  
Technische Universität München

[thomas.kolbe@tum.de](mailto:thomas.kolbe@tum.de)

11. Juli 2013

Antrittsvorlesung an der TU München



# Motivation: Stadtplanung der Zukunft

- ▶ Stadtentwicklung musste immer schon **zahlreiche verschiedene Aspekte** berücksichtigen, u.a.
  - ökonomische
  - ökologische
  - energetische
  - verkehrstechnische
  - städtebauliche
  - architektonische
  - rechtliche
  - soziologische
  - medizinische
- ▶ **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**

# Der gemeinsame Nenner

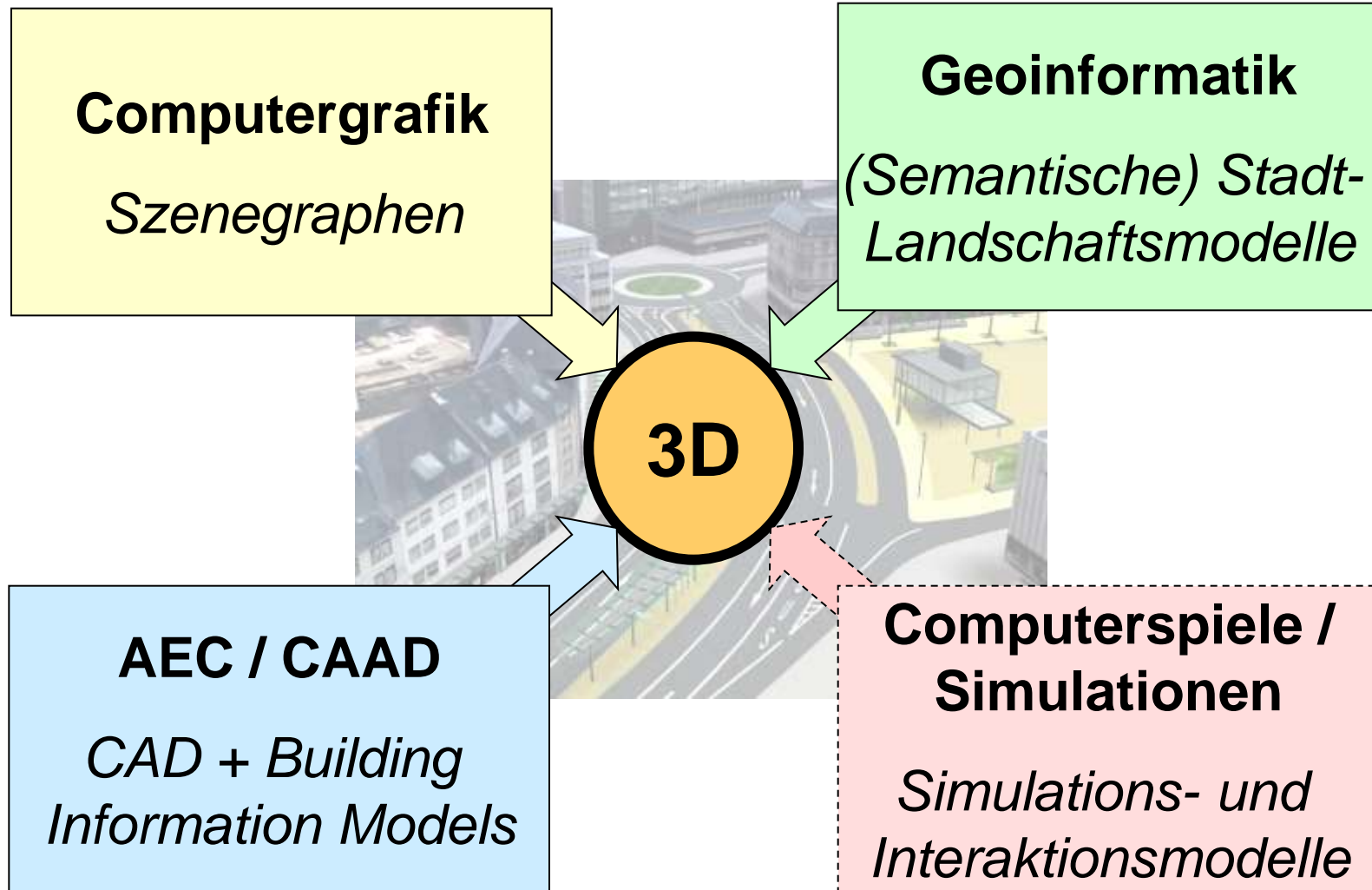
- ▶ Die vielen Aspekte der Stadtentwicklung werden von **unterschiedlichen Fachdisziplinen** bearbeitet / beforscht
  - Stadtplanung, Landschaftsplanung, Architektur, Städtebau, Bauingenieurwesen, Ökonomie, Umweltingenieurwesen, Verkehrsplanung, Klimatologie, Stadtsoziologie, Geodäsie usw.
- ▶ **Aber:** gemeinsamer Untersuchungsgegenstand: **die Stadt**
  - mit ihrer **physischen Ausprägung**,
  - den sich darin aufhaltenden **Menschen** und
  - den dazwischen bestehenden **Relationen** + ablaufenden **Prozessen**
- ▶ Was ist allen Disziplinen gemein?
  - ihre **Aspekte beziehen sich auf den gleichen Raum**
    - Raumbezug spielt eine große, oftmals entscheidende Rolle
    - die **meisten Aspekte und viele Relationen beziehen sich** nicht auf Koordinaten sondern **auf physische Objekte** der Stadt

# Räumlich-semantische Modellierung der Welt

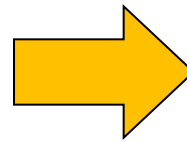
- ▶ viele relevante Entitäten sind physische Objekte
- ▶ physische Objekte belegen Raum in der realen Welt
  - Partitionierung des belegten realen Raums → diskrete Objekte
  - Kriterien für Unterteilung: thematische Klassifikation in verschiedene topographische Elemente wie Gebäude, Straßen, Bäume etc.
- ▶ **räumlich-semantische Repräsentation** der relevanten Geoinformationen
  - Modellierung der Stadt & ihrer Bestandteile
  - klassifizierte Objekte mit thematischen Daten
  - räumliche Aspekte: Ort, Form, Ausdehnung
- ▶ verschiedene Skalen (Levels of Details)
- ▶ reale Welt ist 3D → semantische 3D-Stadtmodelle



# Ansätze zur 3D-Stadt- / Landschaftsmodellierung



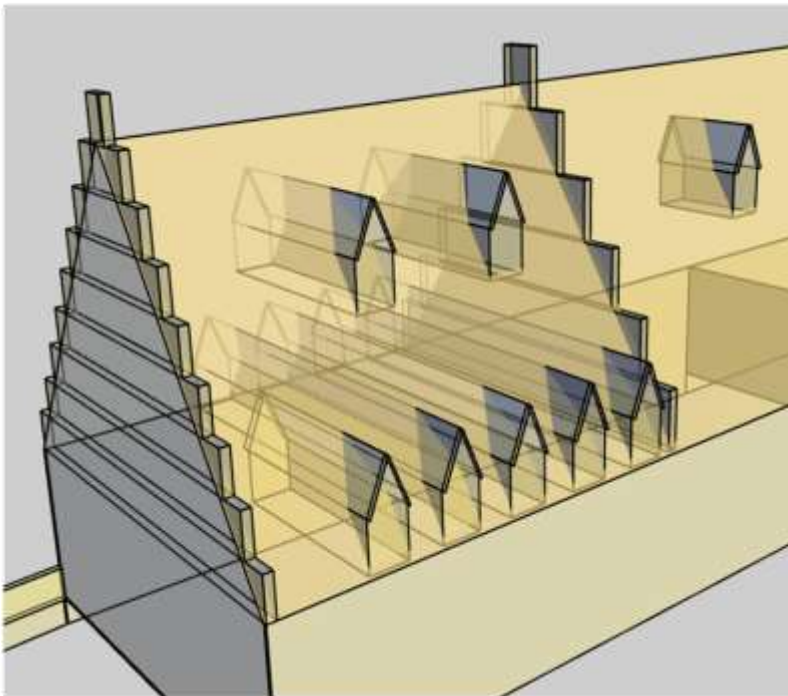
# Ansatz der Computergrafik



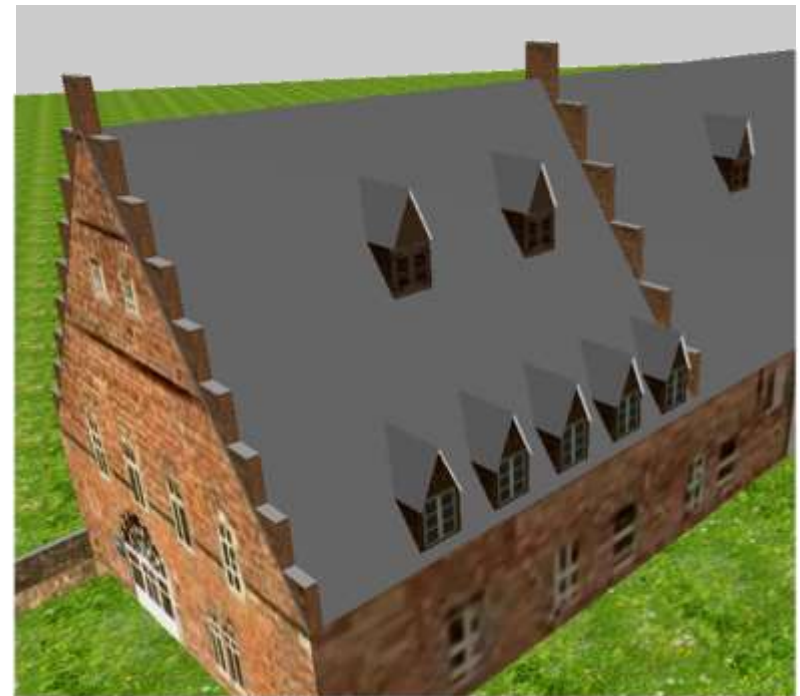
- ▶ **reale Welt → Abstraktion bzgl. visueller Charakteristika → 3D-Modell**
- ▶ nur sichtbare Elemente und Objekteigenschaften sind relevant  
→ Beschränkung auf Geometrie und grafische Erscheinung
  - effiziente Visualisierung; Modellierung graphischer Charakteristika
  - Szenegraph-Modelle (Boundary Representation + Primitive Instancing)
  - typischerweise keine Berücksichtigung semantischer Informationen

## Unter der Oberfläche...

- Computergrafikmodelle werden hauptsächlich für die „schöne“ (oftmals realistische) und effiziente Visualisierung erzeugt  
→ nur sichtbare Teile sind verlässlich!



**Drahtgitter-Darstellung**  
Gauben sind durch das ganze Gebäude modelliert



**Texturierte Darstellung**  
Überlappung des Gebäudekörpers und der Gauben nicht erkennbar

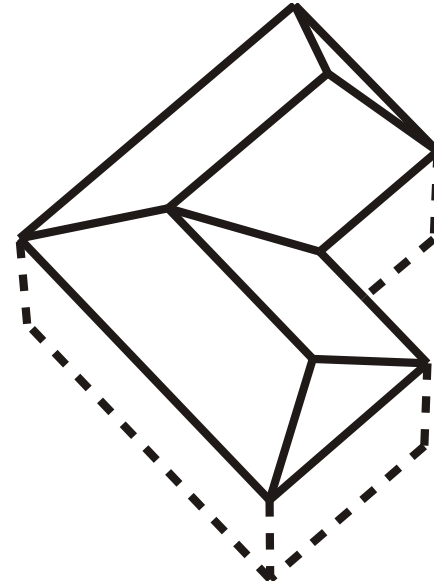
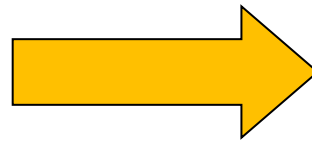
# Ansatz in Architektur & Bauingenieurwesen



- ▶ **Idee für Gebäude → Entwurfsmodell/-plan → reale Welt**
- ▶ Abbildung der konstruktiven Elemente  
→ komponentenbasierte, generative Modellierung:
  - Constructive Solid Geometry (CSG)
  - **Building Information Modeling**: Semantische Objekte mit räumlichen und thematischen Eigenschaften



# Ansatz der Geodäsie und Geoinformatik

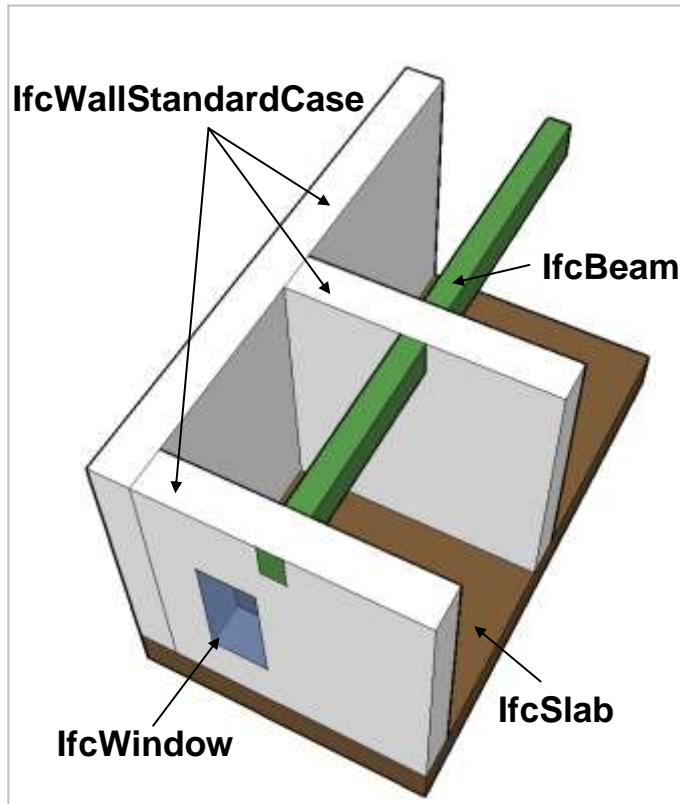


- ▶ **reale Welt → Vermessung → topographische Abstraktion**
- ▶ generell sind nur die Objektoberflächen beobachtbar:
  - Randflächendarstellung (Boundary Representation, B-Rep)
  - Punkte und Flächen werden mit Sensoren vermessen / aufgenommen
  - **Urban Information Modeling:** Semantische Objekte mit räumlichen und thematischen Eigenschaften

# Unterschiedliche Modellierungsparadigmen

## BIM (z.B. IFC)

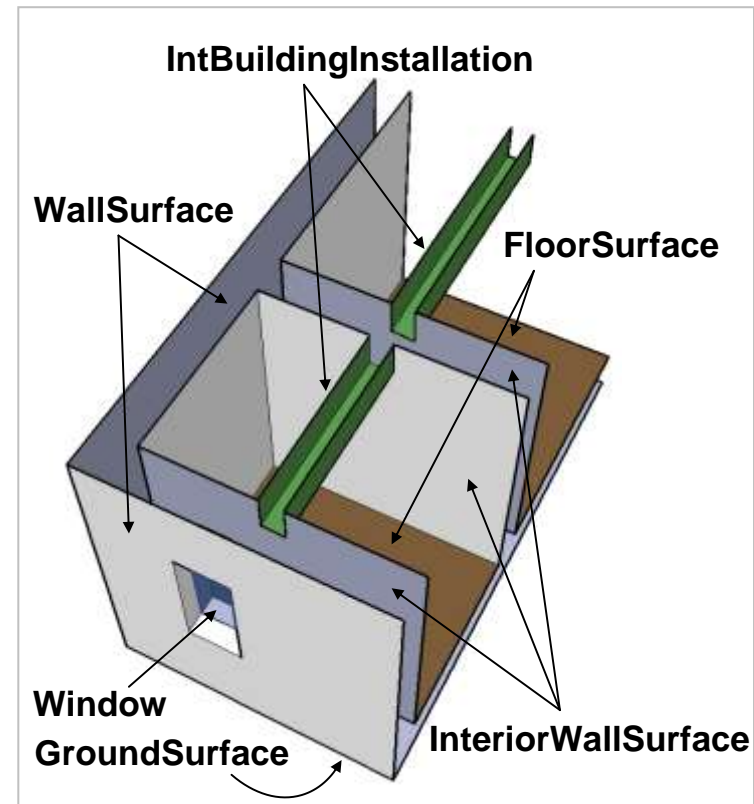
Constructive Solid Geometry



Volumetrische, parametrisierte Primitive repräsentieren die Gebäudekomponenten

## 3D GIS (z.B. CityGML)

Boundary Representation

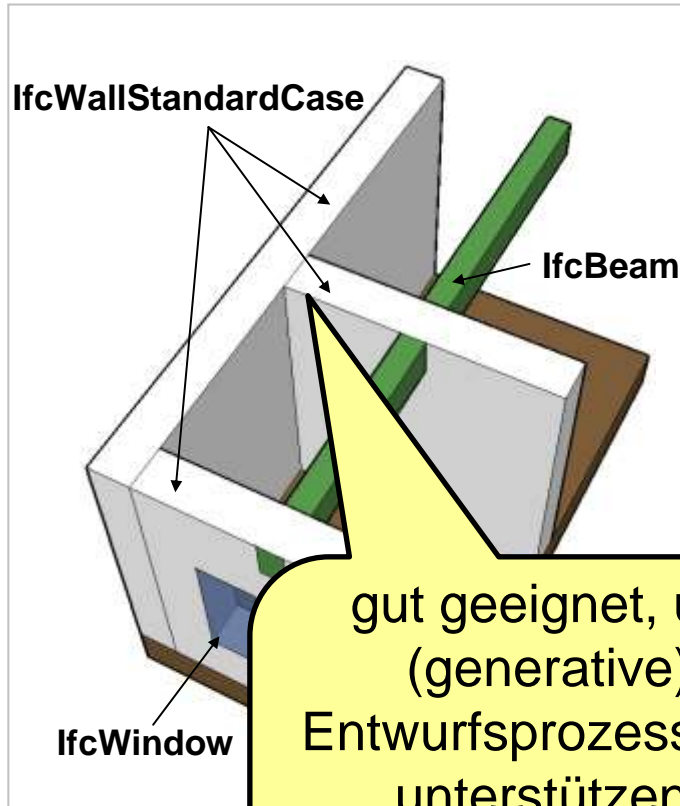


Akkumulation der beobachtbaren Oberflächen der topographischen Objekte

# Unterschiedliche Modellierungsparadigmen

## BIM (z.B. IFC)

Constructive Solid Geometry

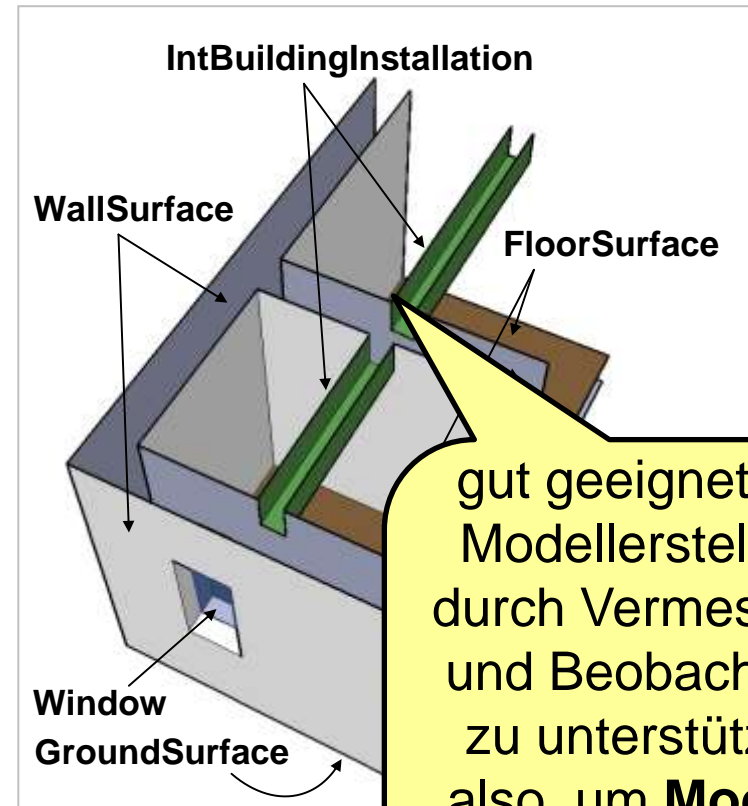


Volumetrische  
repräsentieren

gut geeignet, um  
(generative)  
Entwurfsprozesse zu  
unterstützen,  
also, um **Modelle für  
geplante Objekte**  
zu erzeugen

## 3D GIS (z.B. CityGML)

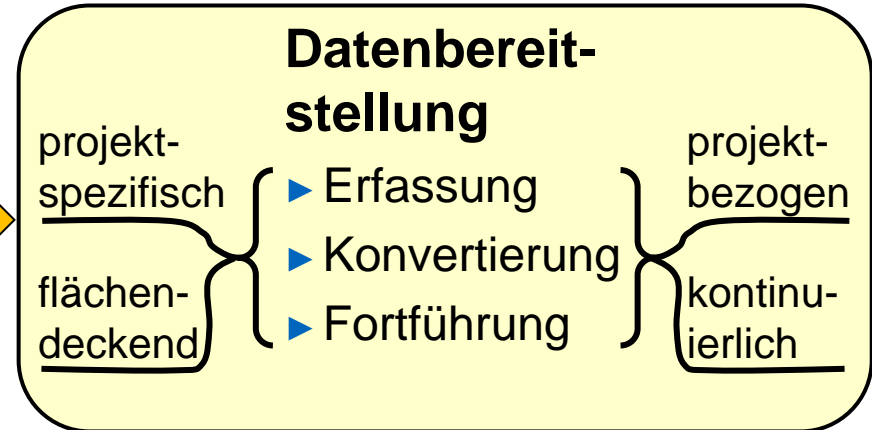
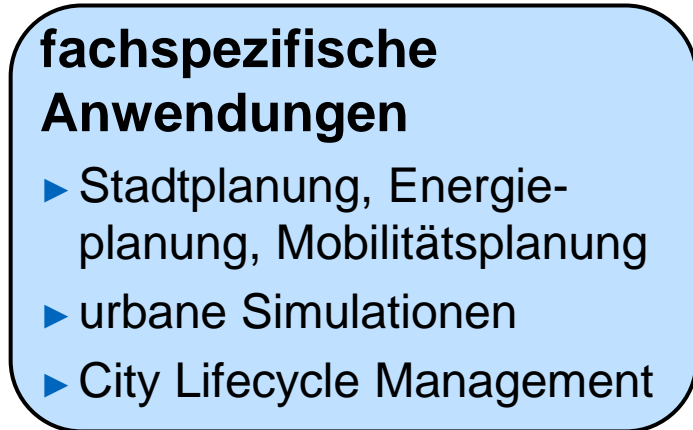
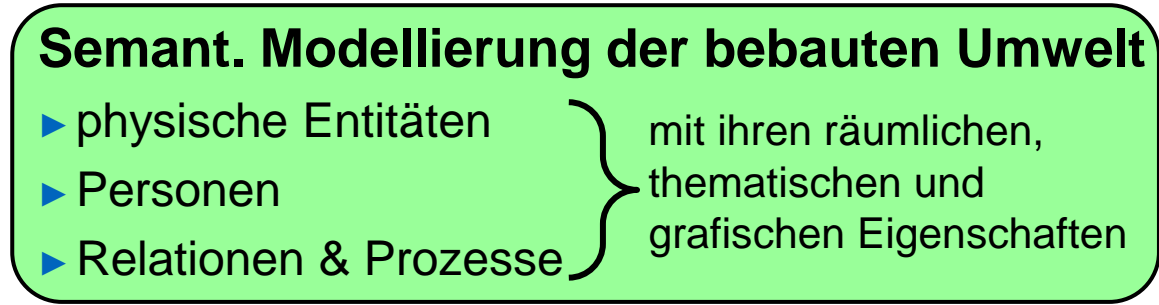
Boundary Representation



Akkumulation d  
Oberflächen der top

gut geeignet, um  
Modellerstellung  
durch Vermessung  
und Beobachtung  
zu unterstützen,  
also, um **Modelle  
für bestehende  
Objekte** zu  
erzeugen

# Spannungsfeld Stadtsystemmodellierung



# Spannungsfeld Stadtsystemmodellierung

## Semant. Modellierung der bebauten Umwelt

- ▶ physische Entitäten
  - ▶ Personen
  - ▶ Relationen & Prozesse
- mit ihren räumlichen, thematischen und grafischen Eigenschaften

## Anwendungen erfordern

- einerseits: flexible Modellierung, um die fachspezifischen Informationen mit den Stadtmodellobjekten verknüpfen zu können
- andererseits: stabile und eindeutige Strukturen und APIs, damit sich die Anwendungsprogramme darauf verlassen können

## fachspezifische Anwendungen

- ▶ Stadtplanung, Energieplanung, Mobilitätsplanung
- ▶ urbane Simulationen
- ▶ City Lifecycle Management

deckend

▶ Fortführung

jährlich

# 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

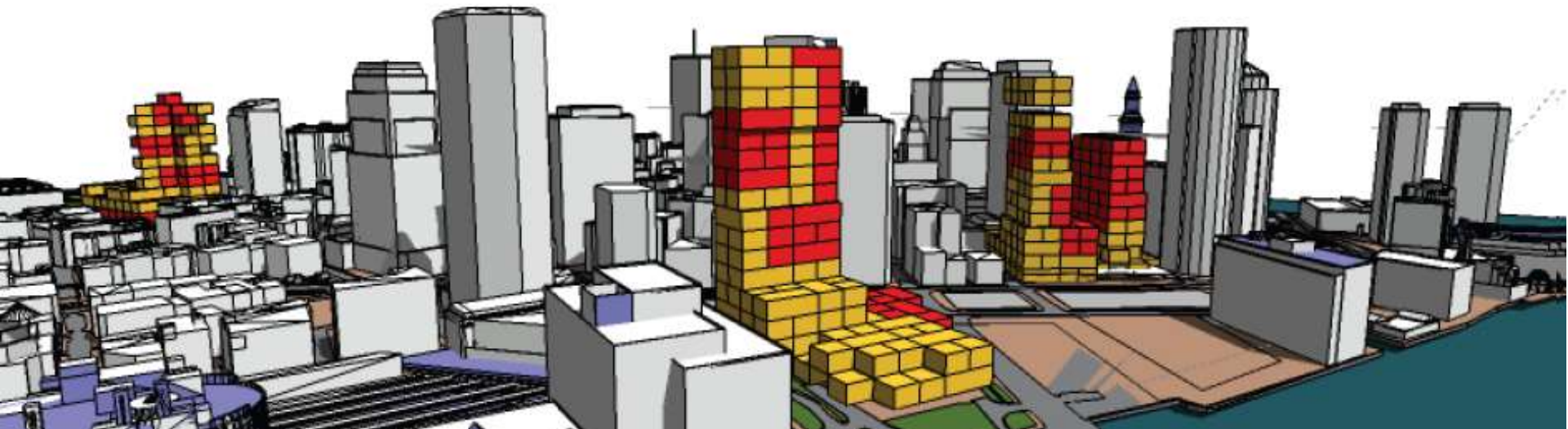


Abbildung: Paul Cote, Harvard Graduate School of Design

# City Geography Markup Language

## Fachneutrales Topographisches Informationsmodell

für semantische 3D-Stadt- und Landschaftsmodelle

- ▶ umfasst verschiedene thematische Bereiche (Gebäude, Vegetation, Relief, Gewässer, Verkehr, Landnutzung etc.)



- ▶ Internat. Standard des **Open Geospatial Consortiums**
  - spezifiziert von der SIG 3D der GDI NRW und GDI DE sowie der OGC CityGML SWG (> 120 Institutionen)
  - aktuelle **Version 2.0** wurde im März 2012 verabschiedet

Weite nationale und internationale Verbreitung

- ▶ Einsatz in fast allen größeren deutschen Städten
- ▶ nachhaltige Datenverfügbarkeit & gute Übertragbarkeit

**Katastrophenmanagement**

Kreis Recklinghausen



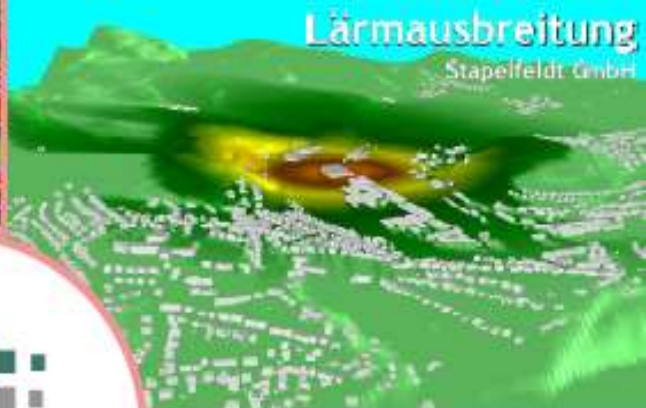
**Funknetzplanung**

T-Mobile



**Lärmausbreitung**

Stapelfeldt GmbH



für 3D-Stadtmodelle



**Polizeisimulator**

Rheinmetall Defence Electronics



**Wirtschaftsförderung & Tourismus**



**Navigation**



**Facility Management**



**Stadtplanung**



**Architektur**

Architekturwerkstatt SanStadt Berlin



# Spannungsfeld Stadtsystemmodellierung

Anwendungen benötigen

- Daten in spezifischen Skalenbereichen
- und mit bestimmter Abdeckung (thematisch / räumlich).

Die Strukturierung der Daten muss der benötigten Struktur innerhalb der Anwendung entsprechen

- gleiche Objektbedeutungen und Zerlegungen

elt  
en

**fachspezifische Anwendungen**

- ▶ Stadtplanung, Energieplanung, Mobilitätsplanung
- ▶ urbane Simulationen
- ▶ City Lifecycle Management

**Datenbereitstellung**

projekt-spezifisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Erfassung</li> <li>▶ Konvertierung</li> <li>▶ Fortführung</li> </ul>	projekt-bezogen
flächen-deckend		kontinuierlich

# Spannungsfeld Stadtsystemmodellierung

## Semant. Modellierung der bebauten Umwelt

- ▶ p Viele Anwendungen benötigen
- ▶ P flächendeckende und nachhaltig
- ▶ R fortgeführte 3D-Modelle.

Manche Anwendungen wie z.B. City Lifecycle Management, Smart Cities können nur dann sinnvoll betrieben werden.

### fachsspezifische Anwendungen

- ▶ Stadtplanung, Energieplanung, Mobilitätsplanung
- ▶ urbane Simulationen
- ▶ City Lifecycle Management

### Datenbereitstellung

- |                       |   |                       |
|-----------------------|---|-----------------------|
| projekt-spezifisch    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Erfassung</li> <li>▶ Konvertierung</li> <li>▶ Fortführung</li> </ul> | projekt-bezogen       |
| <u>flächendeckend</u> |   | <u>kontinuierlich</u> |

# Spannungsfeld Stadtsystemmodellierung

## Semant. Modellierung der bebauten Umwelt

- ▶ physische Entitäten
  - ▶ Personen
  - ▶ Relationen & Prozesse
- mit ihren räumlichen, thematischen und grafischen Eigenschaften

Datenbereitstellung muss

- Modellierungsvorgaben erfüllen

Flächendeckende und nachhaltige Bereitstellung erfordert großen Aufwand

- Wer kann so etwas leisten?
- Antwort: **Geobasisdaten** als Teil der allgemeinen Daseinsvorsorge!

## Datenbereitstellung

projekt-spezifisch

flächen-deckend

- ▶ Erfassung
- ▶ Konvertierung
- ▶ Fortführung

projekt-bezogen

kontinu-ierlich

# **Anwendungsbeispiel**

# **Energieatlas Berlin**

# Forschungsinitiative Energieatlas Berlin

- ▶ Kooperationsprojekt (2,5M€) unter Förderung durch das *European Institute of Innovation and Technology EIT*
- ▶ angesiedelt im *Knowledge & Innovation Center for Climate Change and Mitigation (Climate KIC)*
- ▶ Partner:



## Technische Universität Berlin:

- Innovationszentrum Energie
- Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
- **Institut für Energietechnik (PI)**
- Institut für Energie- und Automatisierungstechnik
- Institut für Architektur
- Institut für Technologie und Management (ITM)
- Zentrum für Technik & Gesellschaft

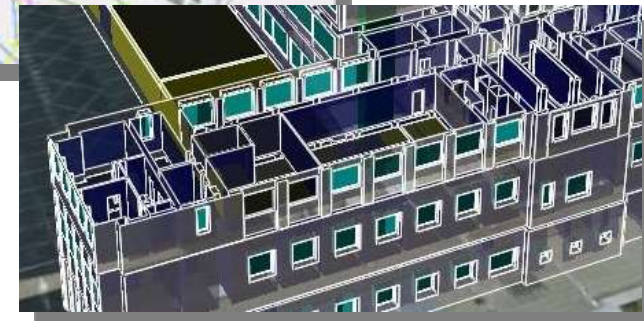
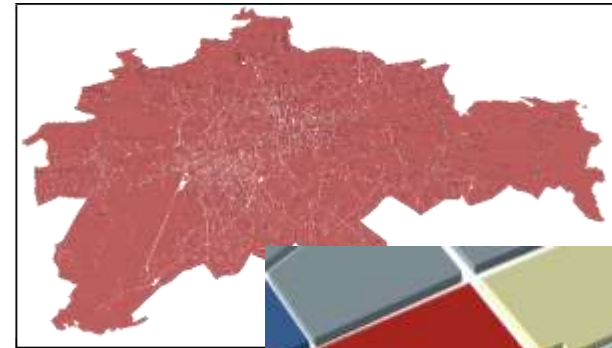
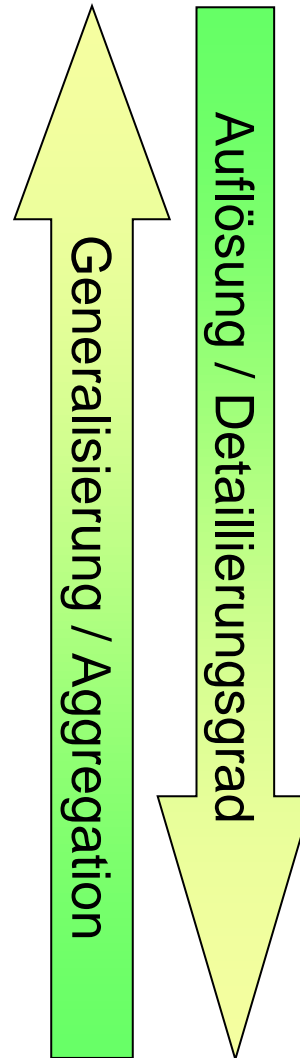
- **Lehrstuhl für Geoinformatik, Technische Universität München (PI)**
- Deutsches GeoForschungszentrum Potsdam (GFZ)
- Vattenfall Europe Berlin AG
- GASAG AG
- Berlin Partner GmbH
- Berliner Senat für Wirtschaft, Technologie und Frauen
- Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf in Berlin

# Hintergrund: Umsetzung der Energiewende

- ▶ Voraussetzung für gezielte Maßnahmen: Kenntnis darüber
  - **wieviel Energie welcher Art für welchen Zweck**
  - **an welchem Ort verbraucht** (und damit benötigt) wird,
- ▶ Kenntnis darüber
  - **wieviel Energie welcher Art**
  - **an welchem Ort erzeugt** wird **oder** aber **erzeugbar** wäre
- ▶ Kenntnis darüber
  - **wie die Energieflüsse**
  - **vom Erzeugungsort zum Verbrauchsort verlaufen** (sollten)
- ▶ Kenntnis darüber
  - **welche konkreten Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen**
  - **an welchem Ort / in welcher Anlage** erzielbar wären

# Skalenbereiche des Energieatlas

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



# Integrationsplattform: 3D-Stadtmodell Berlin

- ▶ **Räumlich-semantische Repräsentation** der relevanten Geoinformationen
  - Modellierung der Stadt & ihrer Bestandteile
  - Energiequellen und -senken
  - Verteilungsnetze
- ▶ Unterschiedliche Maßstabsebenen
  - Gebäude, Blöcke/Quartiere, Stadtteile
- ▶ erfordert auf großmaßstäbiger Skala 3D-Geodaten
  - virtuelle 3D-Stadt- und Bauwerksmodelle → in Berlin vorhanden!
- ▶ Integration aller Informationen und ihre Visualisierung liefern einen **komplexen Atlas der Energieversorgung** und ihrer Auswirkungen auf den **CO<sub>2</sub>-Ausstoß**





# Solarpotentialanalyse / Solaratlas Berlin

- Die Ertragspotentiale für Photovoltaik und Solarthermie, die notwendigen Investitionskosten und mgl. CO<sub>2</sub>-Einsparungen wurden für jedes der 550.000 Gebäude teilflächenscharf berechnet und dem 3D-Stadtmodell angereichert



**BLDG\_0003000a000afa2d**

---

Photovoltaic suitability
3

---

**Address:**  
Albertstr. 14  
Berlin

---

**Available area for photovoltaic installations:** 139,20 m<sup>2</sup>  
**Average solar radiation in a year:** 1126,30 kWh/m<sup>2</sup>  
**Solar electricity yield:** 18,81 MWh/a  
**Maximal installable power:** 19,90 kW/m<sup>2</sup>

---

**CO<sub>2</sub> Savings:** 11,74 t per year  
**Investment volume:** 69.650 €

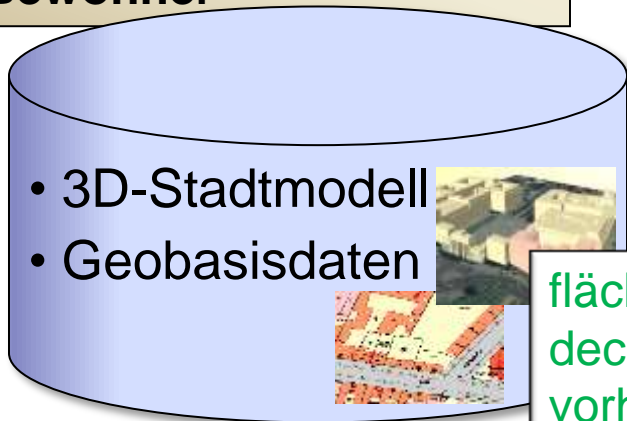
© 3D-Stadtmodell Berlin: Berlin Partner GmbH, Berliner Senat für Wirtschaft, Technologie und Forschung

# Korrelation: Verbrauch - Gebäudeparameter

## Gebäudeinformation



- überbautes Volumen [m<sup>3</sup>]
- Nutzfläche [m<sup>2</sup>]
- Gebäudetyp
- Gebäudenutzung
- Baujahr / Baualtersklasse
- (Sanierungszustand)
- Bewohner



- 3D-Stadtmodell
- Geobasisdaten



flächen-  
deckend  
vorhanden !

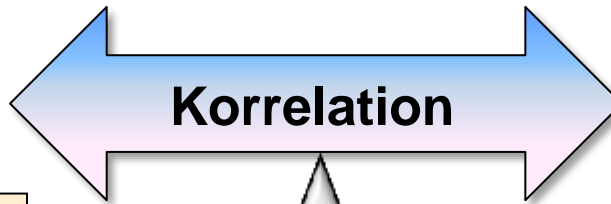
## Verbrauchsinformation



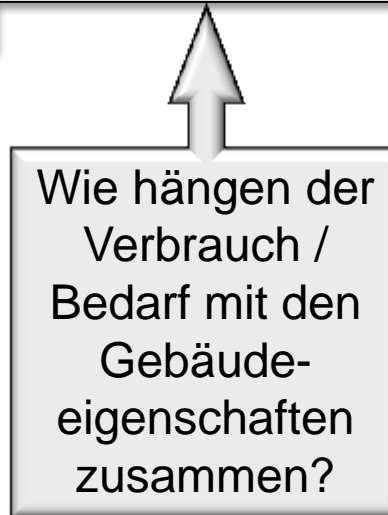
- Stromverbrauch
- Wasserverbrauch
- Gasverbrauch
- (Fern-)Wärmeverbrauch



nur für einen kleinen Teil  
der Gebäude bekannt !

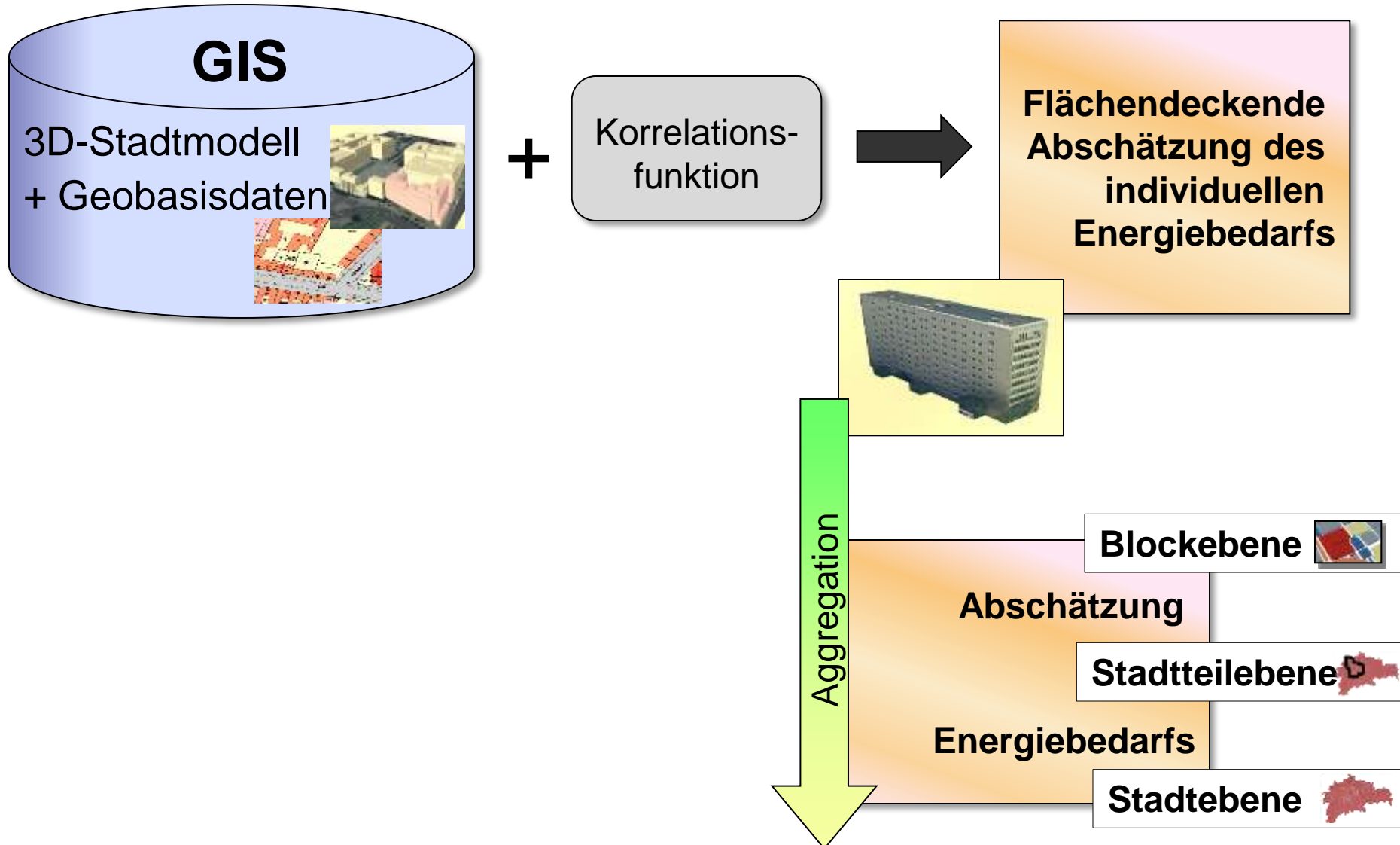


Korrelation

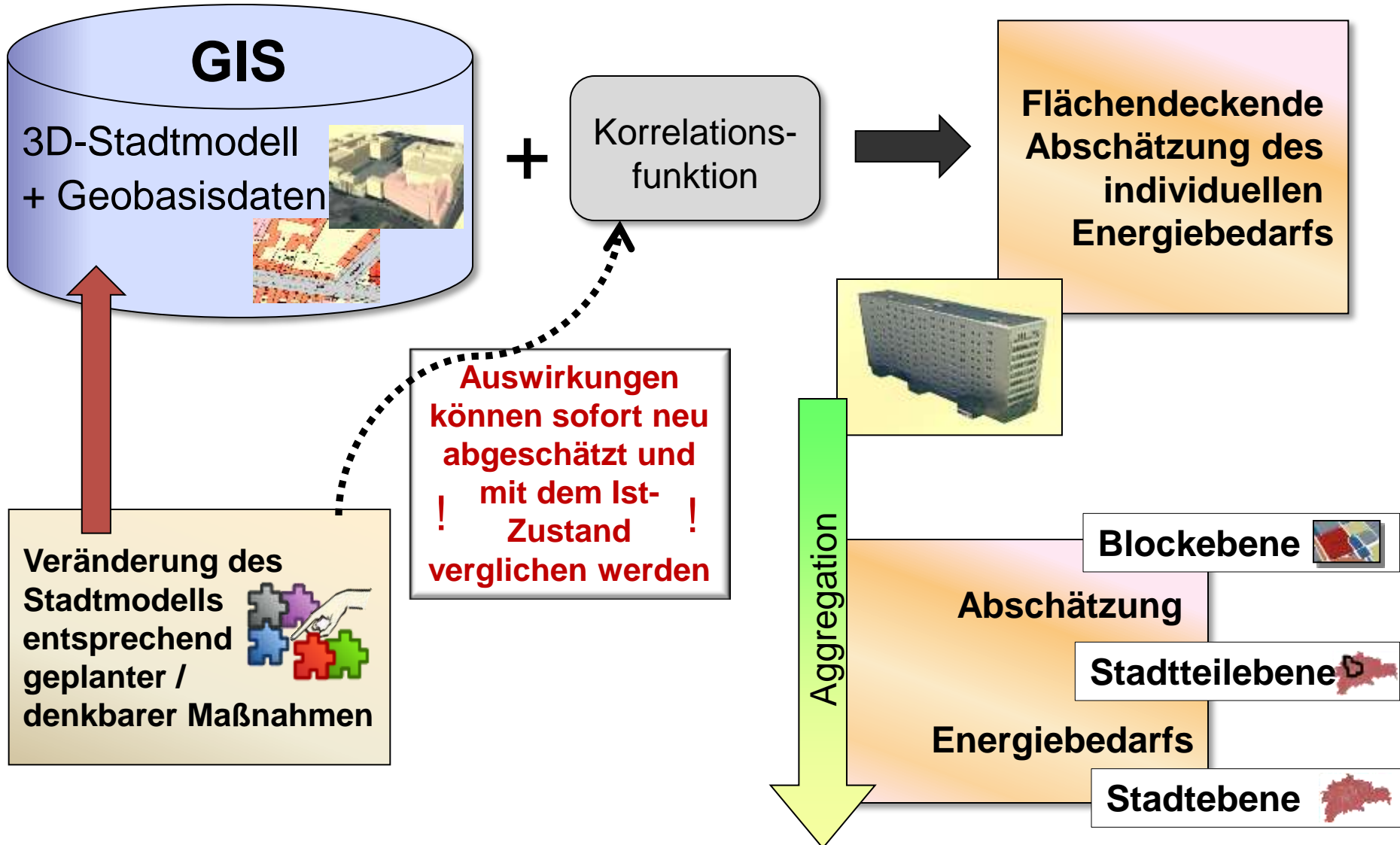


Wie hängen der  
Verbrauch /  
Bedarf mit den  
Gebäude-  
eigenschaften  
zusammen?

# Wechselwirkung GIS – Bedarfsabschätzung (I)

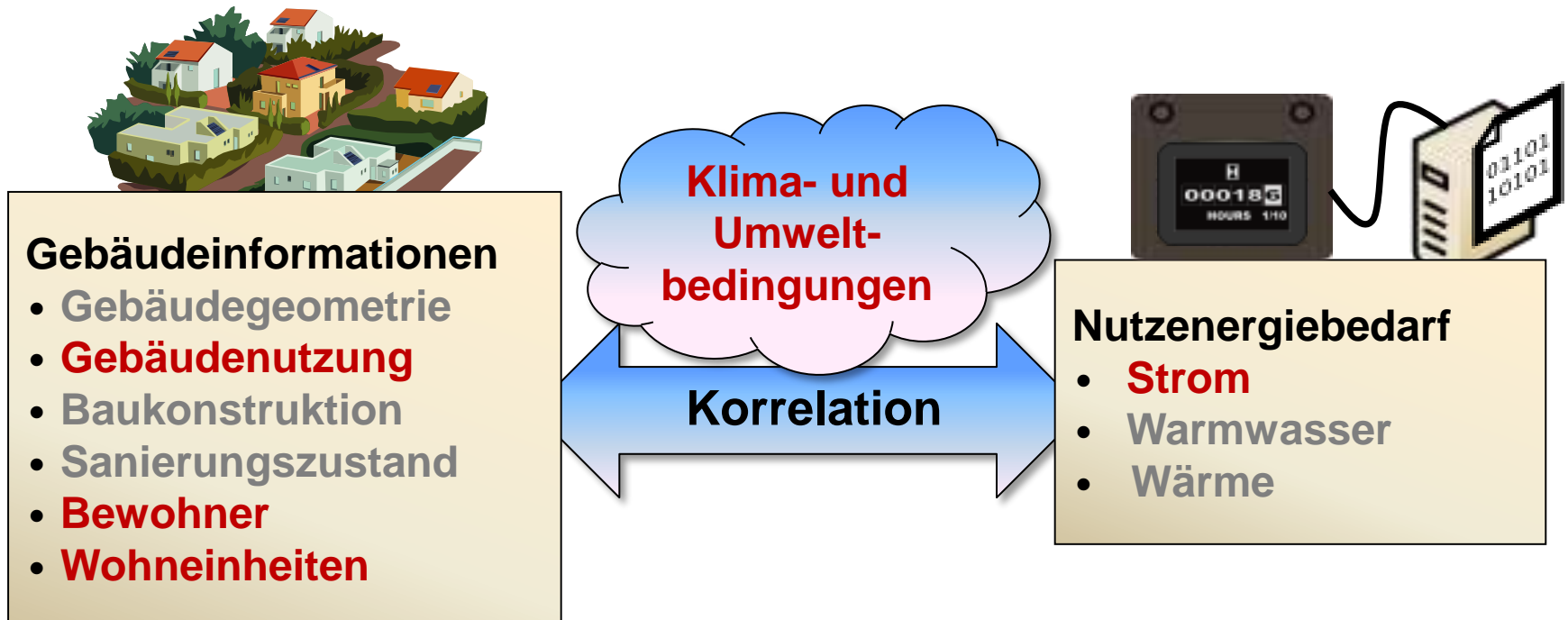


# Wechselwirkung GIS – Bedarfsabschätzung (II)



# Abschätzung des Strombedarfes

- ▶ Die Abschätzung des Strombedarfes der Gebäude basiert auf durchschnittlichen Stromverbräuchen verschiedener Haushalte, veröffentlicht durch Vattenfall



[Aus dem Dissertationsvorhaben von Robert Kaden, 2013]

# Exploration energetischer Gebäudedaten



© 3D-Stadtmodell Berlin: Berlin Partner GmbH, Berliner Senat für Wirtschaft, Technologie und Forschung

# Exploration energetisc



© 3D-Stadtmodell Berlin: Berlin Partner GmbH, Berliner Sen

**Building** BLDG\_0003000a000a07e4

Hertelstr. 25  
Berlin



## Photovoltaic suitability

3

### Available area for installations

322,86 m<sup>2</sup>

### CO<sub>2</sub> Savings

25,67 t per year

### Solar electricity yield

41,13 MWh/a

Investment volume: 161.350 €

### Available area for installations

350,90 m<sup>2</sup>

### CO<sub>2</sub> Savings

32,90 t per year

### Heating energy yield

130,56 MWh/a

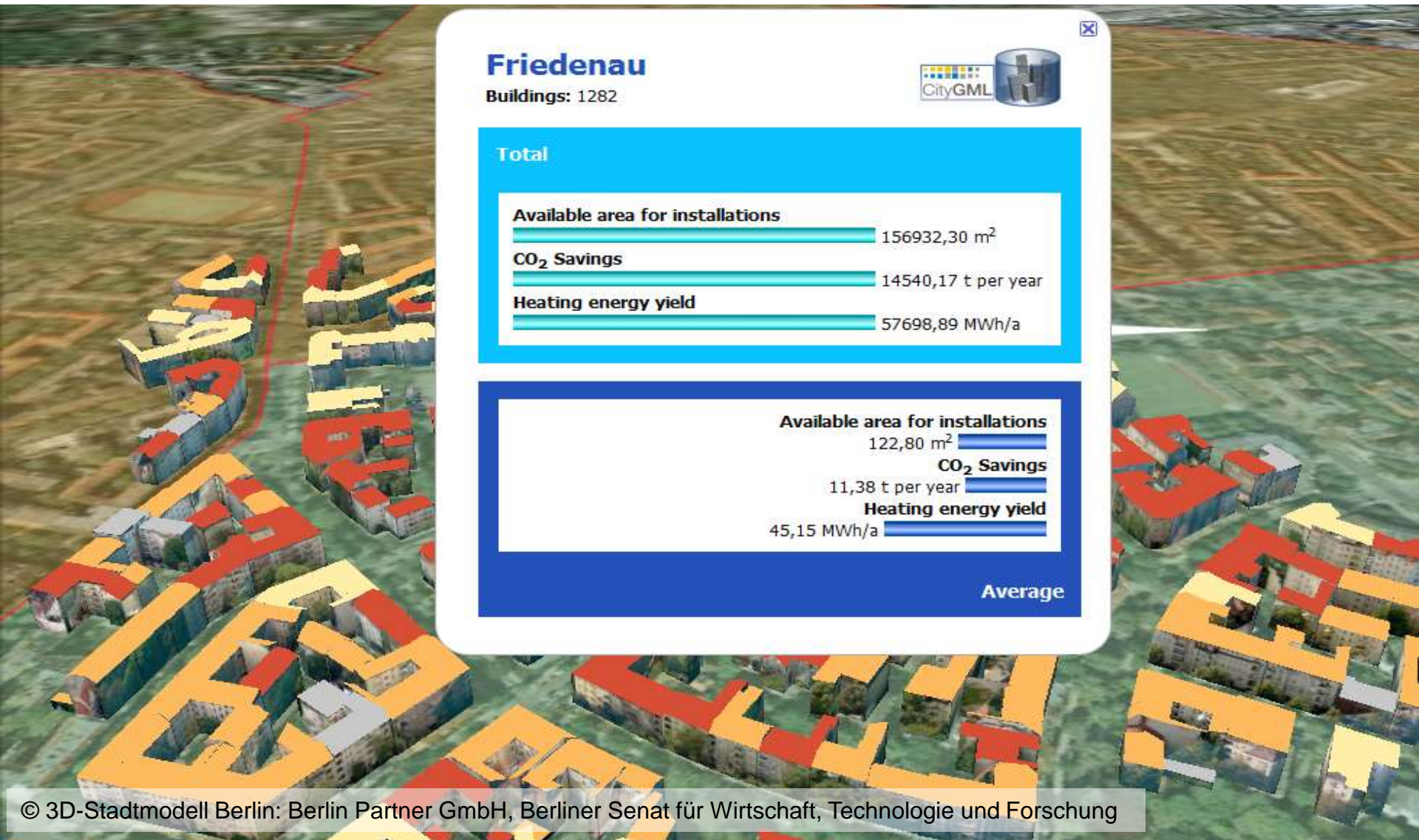
## Solar thermal suitability

1

### Estimated heating energy demand

154,25 MWh/a

# Aggregation energetischer Daten für Bezirke





# Aggregation energetischer Daten für Bezirke



## Friedenau

Buildings: 1282



### Total

#### Available area for installations

156932,30 m<sup>2</sup>

#### CO<sub>2</sub> Savings

14540,17 t per year

#### Heating energy yield

57698,89 MWh/a

#### Available area for installations

122,80 m<sup>2</sup>

#### CO<sub>2</sub> Savings

11,38 t per year

#### Heating energy yield

45,15 MWh/a

### Average



© 3D-Stadtmodell Berlin:

# Demo

# Der Energieatlas als Integrationsplattform

Sonneneinstrahlung LOD1

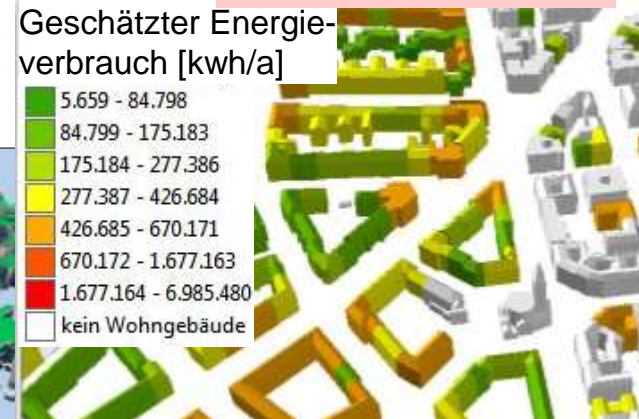


Versorgungsstrukturen



Wärmebedarf

Geschätzter Energieverbrauch [kwh/a]



Energieatlas



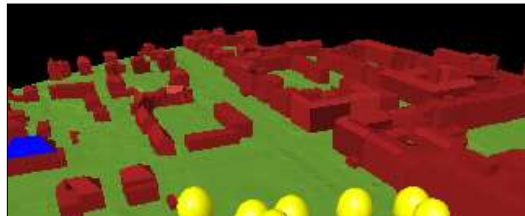
CityGML



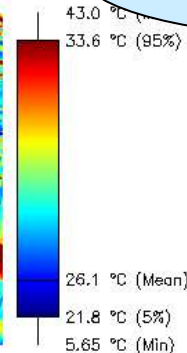
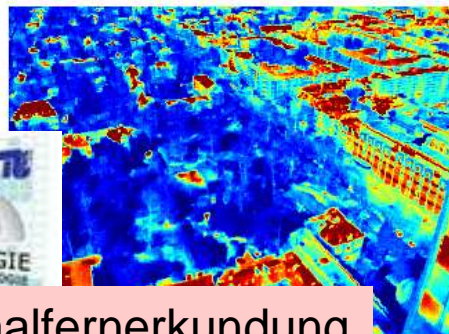
Wärmeabstrahlung



Bild: Hoegner / Stilla, TU München



04.04.2009 12:00:35



Thermalfernerkundung

Solarpotential



# Zusammenfassung Energieatlas

- ▶ Die realisierten Methoden erlauben eine **gebäudescharfe Abschätzung der Nutzenergiebedarfe**, **ohne Informationen der Energieversorger oder der Bewohner/Nutzer zu benötigen !**
  - Schätzungen für einzelne Gebäude können aufgrund des Nutzerverhaltens stärker von tatsächlichen Werten abweichen
  - Mittelung über mehrere Gebäude (Blockebene) ergeben aber recht genaue Abschätzungen
- ▶ **Aggregation** der Gebäudeinformationen in **alternativen Hierarchien** und über **mehrere Ebenen** bis hinauf zur Stadt
  - (einige) **Auswirkungen energetischer Maßnahmen** in bestimmten Stadtgebieten auf Versorgungsnetze **können simuliert werden**

# Zusammenfassung und Fazit

- ▶ **Semantische 3D-Stadtmodelle** sollten als **neue Generation der virtuellen Realität** begriffen werden
  - anders als beim Virtual Reality der 80/90er Jahre oder in Second Life werden nicht nur die graphischen Eigenschaften modelliert
  - Modellierung der Bedeutung von Objekten, ihrer räumlichen UND thematischen Eigenschaften & Beziehungen
  - zunehmend flächendeckend und nachhaltig als Geobasisdaten in CityGML verfügbar → **Inventarliste der Stadt**
  - ideale Grundlage zur Informationsstrukturierung und als gemeinsame Plattform für **urbanes FM** und **Smart-City-Initiativen**
  - **Urban Information Modeling** (analog zum Building Information Modeling)
- ▶ Semantische 3D-Stadtmodelle bilden eine **Plattform für kaskadierende urbane Simulationen**

# Ausblick: (Einige) Forschungsthemen

- ▶ Berücksichtigung von
  - **Dynamik** – zeitl. Variation von räuml. und them. Objekteigenschaften
  - **Qualitätsinformationen** inkl. Unsicherheit und ihrer **Propagierung**
  - **funktionalen Abhängigkeiten**
- ▶ Verbesserung der Interoperabilität zwischen BIM und UIM
  - automatisierte **Ableitung von BIM-Modellen** aus 3D-Stadtmodellen
- ▶ Weitere Automation der Erfassung und Fortführung
  - **Objekterkennung und Interpretation** komplexer Stadtmodellobjekte aus Sensordaten; Berücksichtigung **neuer Sensorplattformen**
  - **Änderungsdetektion, Modellverfeinerung**
- ▶ Untersuchungen zur **Balance von Standardisierung** (einheitliche Festlegung von Objektstrukturen und -bedeutungen) **und freier**, flexibler **Wissensmodellierung**