

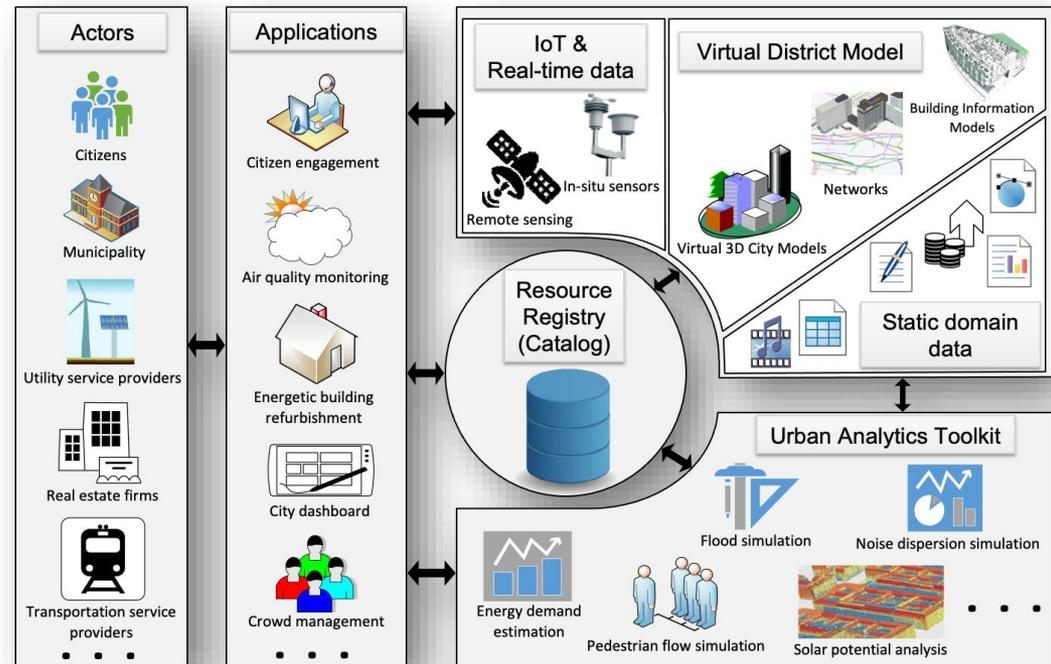
Digitaler Zwilling für die Stadtentwicklung der Zukunft

Prof. Dr. Thomas H. Kolbe

Lehrstuhl für Geoinformatik
TUM School of Engineering and Design
Technische Universität München

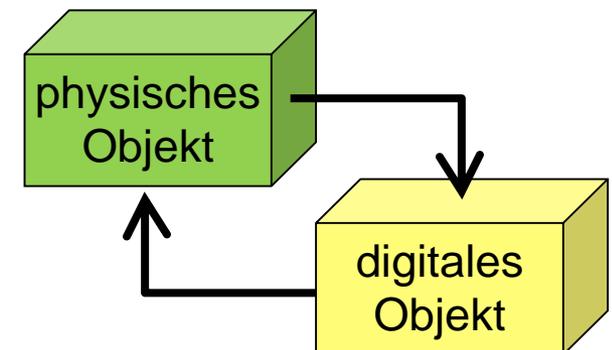
<https://www.asg.ed.tum.de/gis>

Allianz für München 3. 11. 2022



Digitale Zwillinge

- ▶ Ein **reales Objekt** von Interesse wird durch ein **digitales Gegenstück**, den Digitalen Zwilling, repräsentiert und Daten zu Betriebszuständen und Veränderungen **über den ganzen Lebenszyklus** kumuliert.
- ▶ Konzept, das im Kontext der **Industrie 4.0** entwickelt wurde
 - breite Einführung seit über 10 Jahren, zuerst in den Bereichen der Luft- und Raumfahrt, des Maschinenbaus, der Energietechnik, der Automobiltechnik
- ▶ Ein digitaler Zwilling ist über Sensorbeobachtungen mit seinem realen, physischen Gegenstück verbunden
 - typ. über das **Internet of Things (IoT)**



Digitale Zwillinge in der Industrie 4.0

Digitaler Zwilling für jedes Exemplar einer Turbine beinhaltet

- ▶ Modelldaten, Fertigungs-spezifische Daten
- ▶ Protokolle aller Messungen, die während des Betriebs aufgezeichnet wurden (Betriebs- und Performanzdaten)
- ▶ Wartungsprotokolle



Bildquelle: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-digital-twin-revolution/>



Bildquelle: <https://new.siemens.com/global/de/branchen/wind-energie/equipment/digitalisierung.html>

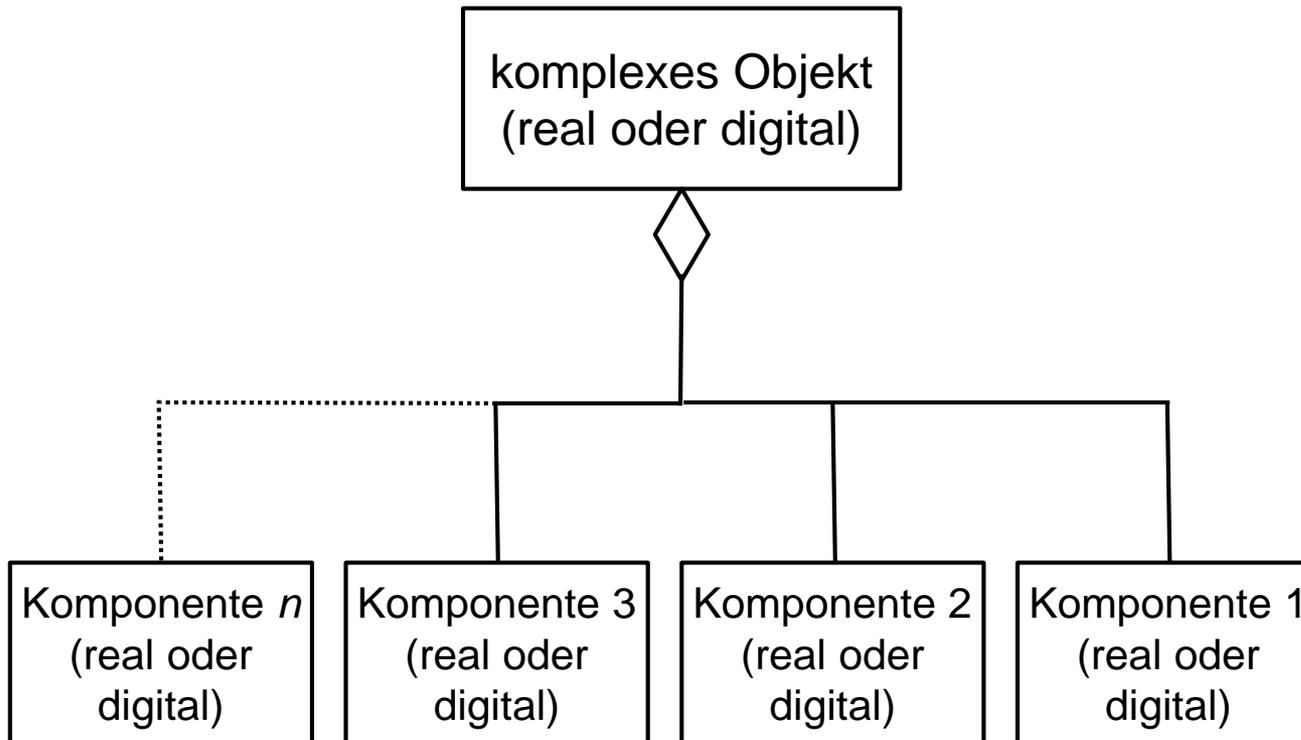
Nutzen Digitaler Zwillinge

- ▶ Umfassende kumulative **Dokumentation** realer Objekte
- ▶ Berechnung / **Einschätzung des Systemzustands** und der **Systemperformanz**
- ▶ **Simulation** realer Systeme auf der Basis digitaler Objekte
 - **“Was-wäre-wenn“-Szenarien**

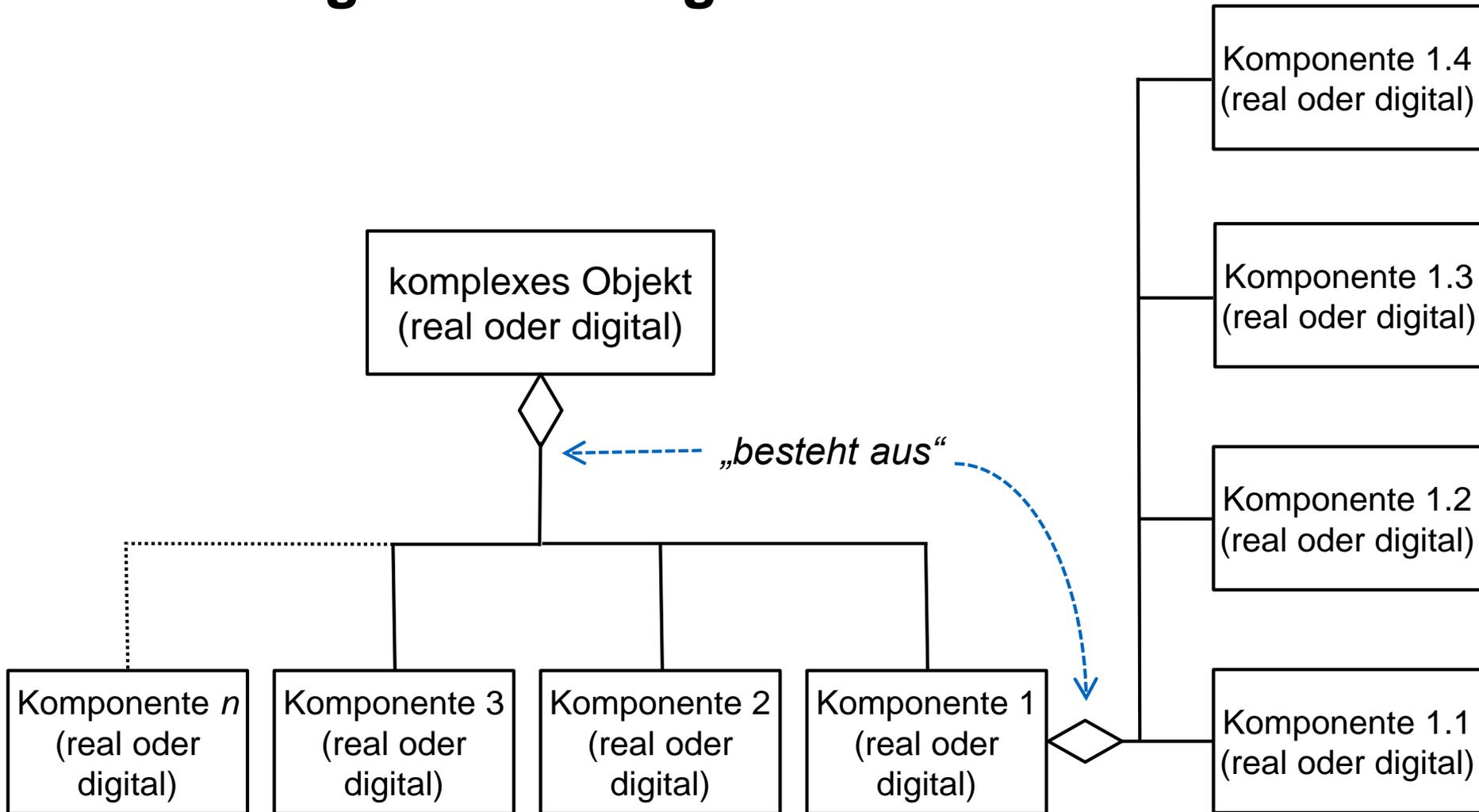
Nutzen Digitaler Zwillinge

- ▶ Umfassende kumulative **Dokumentation** realer Objekte
- ▶ Berechnung / **Einschätzung des Systemzustands** und der **Systemperformanz**
- ▶ **Simulation** realer Systeme auf der Basis digitaler Objekte
 - “Was-wäre-wenn“-Szenarien
- ▶ **Entwurf** von Systemen auf der Basis digitaler Objekte
- ▶ **Konstruktion** realer Systeme auf Basis digitaler Modelle
- ▶ Weitere Anwendungen
 - **Monitoring und Steuerung** physischer Objekte und Systeme
 - Gefahrenerkennung, **Detektion von Ausnahmezuständen**
 - Betriebsoptimierung, **Prädiktive Instandhaltung**

Urbane Digitale Zwillinge



Urbane Digitale Zwillinge



Urbane Digitale Zwillinge

Stadtquartier



komplexes Objekt
(real oder digital)



← „besteht aus“

Komponente n
(real oder digital)

Komponente 3
(real oder digital)

Komponente 2
(real oder digital)

Komponente 1
(real oder digital)

Gebäude



Solarmodul

Komponente 1.4
(real oder digital)

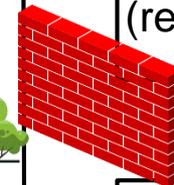


Komponente 1.3
(real oder digital)

Dach

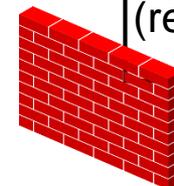
Komponente 1.2
(real oder digital)

Wand 2



Komponente 1.1
(real oder digital)

Wand 1



Urbane Digitale Zwillinge

Stadtquartier



komplexes Objekt
(real oder digital)



← „besteht aus“



Solarmodul

Komponente 1.4
(real oder digital)



Komponente 1.3
(real oder digital)

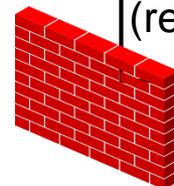
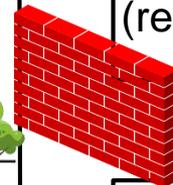
Dach

Komponente 1.2
(real oder digital)

Wand 2

Komponente 1.1
(real oder digital)

Wand 1



Komponente n
(real oder digital)

Ladesäule

Komponente 3
(real oder digital)

Straße A

Komponente 2
(real oder digital)

Straße B

Komponente 1
(real oder digital)

Gebäude



Digitale 3D-Modelle der Stadt

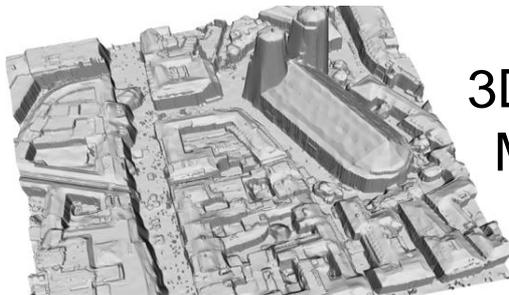
- ▶ Es gibt verschiedene Arten, z.B.:



Semantische
3D-Stadtmodelle
z.B. *CityGML*



Building
Information
Modeling
z.B. *IFC*



3D Mesh
Modelle



3D-Punkt-
wolken

- ▶ Alle haben eine Reihe von Vor- und Nachteilen
 - Städte setzen heutzutage mehrere gleichzeitig ein, um die Schwächen der anderen zu kompensieren

Semantische 3D-Stadtmodellierung

- ▶ Stadt wird räumlich aufgegliedert in Objekte mit klarer Semantik (Bedeutung) und definierten räumlichen und thematischen Eigenschaften sowie Beziehungen
 - 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 können an die Objekte angehängt werden

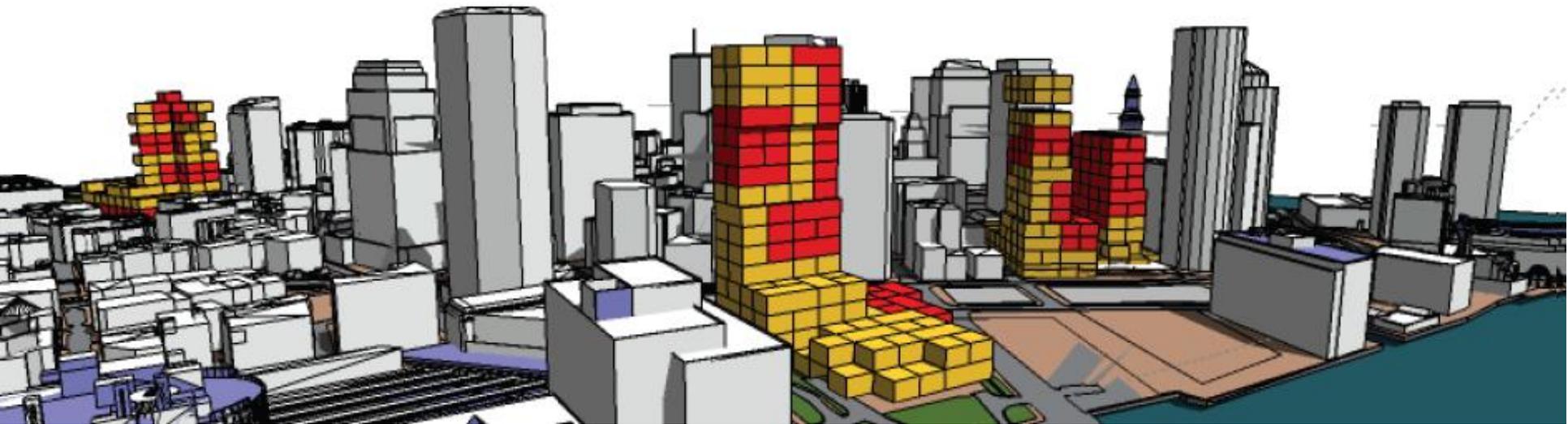
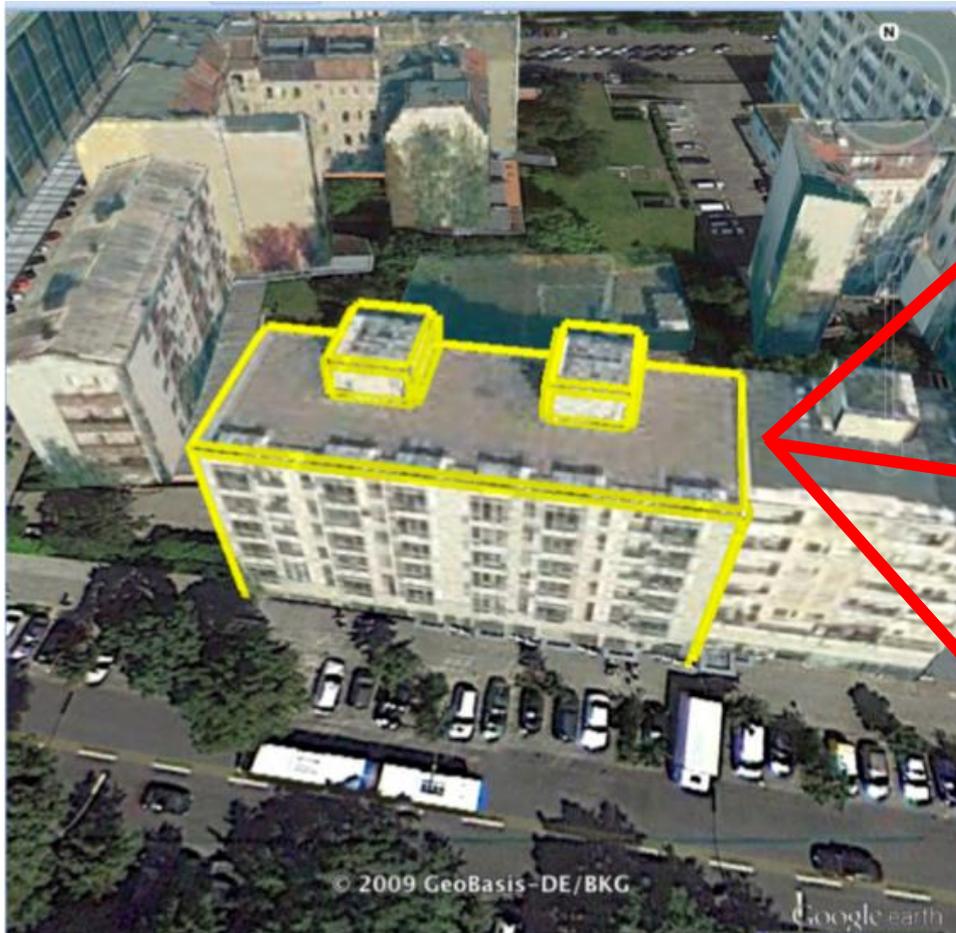


Abbildung: Paul Cote, Harvard Graduate School of Design

Informationsintegration mittels 3D-Stadtmodell



Energie

Wärmeenergiebedarf

Energiebedarf für Warmwasser

Elektrischer Energiebedarf

Lärmimmission

Lärmpegel auf der Fassade

Anzahl der Bewohner

Wirtschaft

Bemessener Immobilienwert

Verfügbare Mietunterstützung

Standardisierter Zugriff auf Stadtmodelle



Abbildung des Zustands einer Stadt zum Zeitpunkt t_i



Virtuelle Durchführung geplanter Maßnahmen durch Modifikation des 3D-Modells

Standardisierter Zugriff auf Stadtmodelle



Abbildung des Zustands einer Stadt zum Zeitpunkt t_i



Virtuelle Durchführung geplanter Maßnahmen durch Modifikation des 3D-Modells

Energiebedarfs- & -erzeugungsschätzung

Lärmausbreitungssimulation & -kartierung

Immobilienmanagement & Urban FM

Vulnerabilitätsanalysen & Katastrophenmanagement

Ist das alles?



**Ist ein
3D-Modell der**

Digitale Stadtzwilling?

Nein, natürlich nicht!

- ▶ Wir haben bisher nur die digitalen Modelle der physischen Umgebung betrachtet.
- ▶ Was ist mit
 - den Akteuren und Interessengruppen?
 - Anwendungsfällen und Anwendungen?
 - Prozessierungs- und Analysewerkzeugen / Simulatoren?
 - Echtzeit-Messungen mittels Sensoren und Sensordatendiensten?
 - den verschiedenen thematischen Sektoren / Bereichen wie Mobilität, Energie, Wohnen, soziale Aspekte, Umwelt, Finanzen?
- ▶ Der **Digitale Zwilling einer Stadt** ist die Vereinigungsmenge **aller digitalen Ressourcen über die Stadt**, **verteilt** über **alle Ressourceninhaber**.
 - Erfordert eine umfassende Dateninfrastruktur → SDDI

Smart District Data Infrastructure (SDDI)

Actors



Citizens



Municipality



Utility service providers



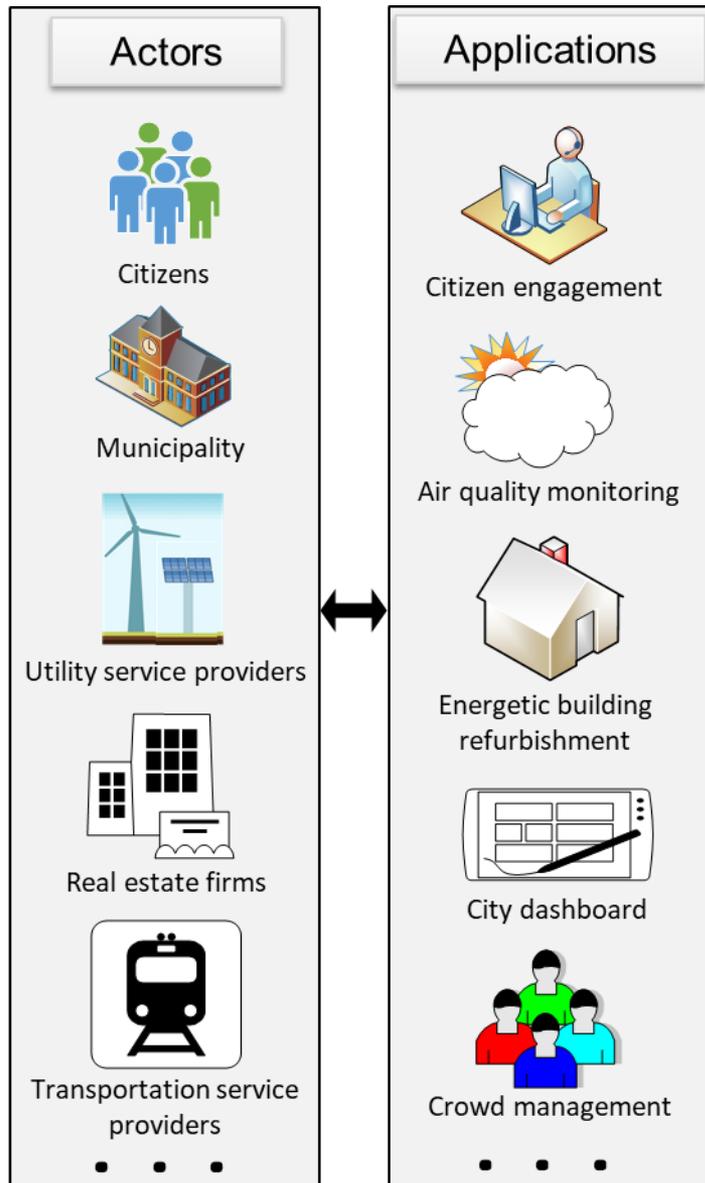
Real estate firms



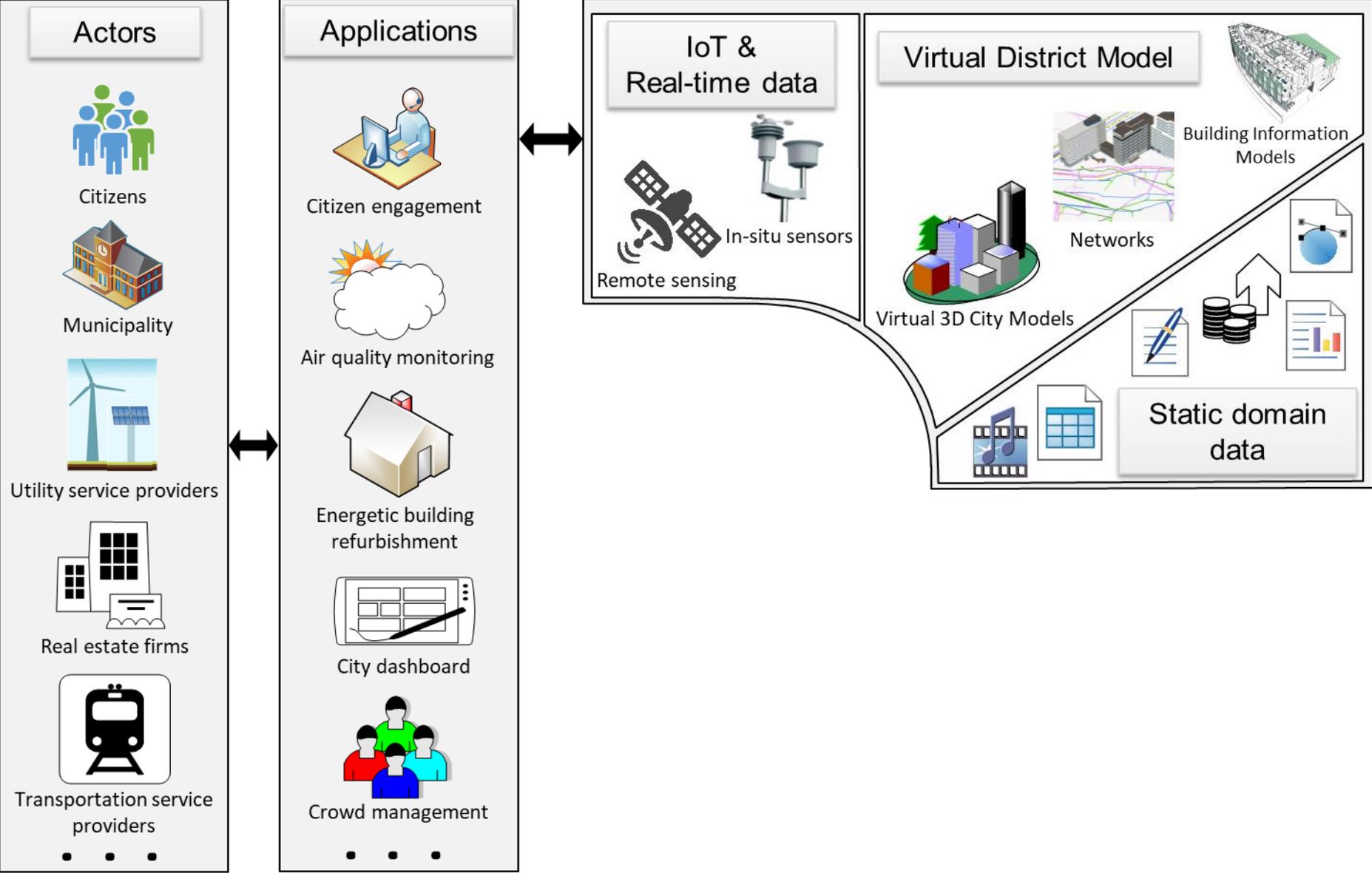
Transportation service providers



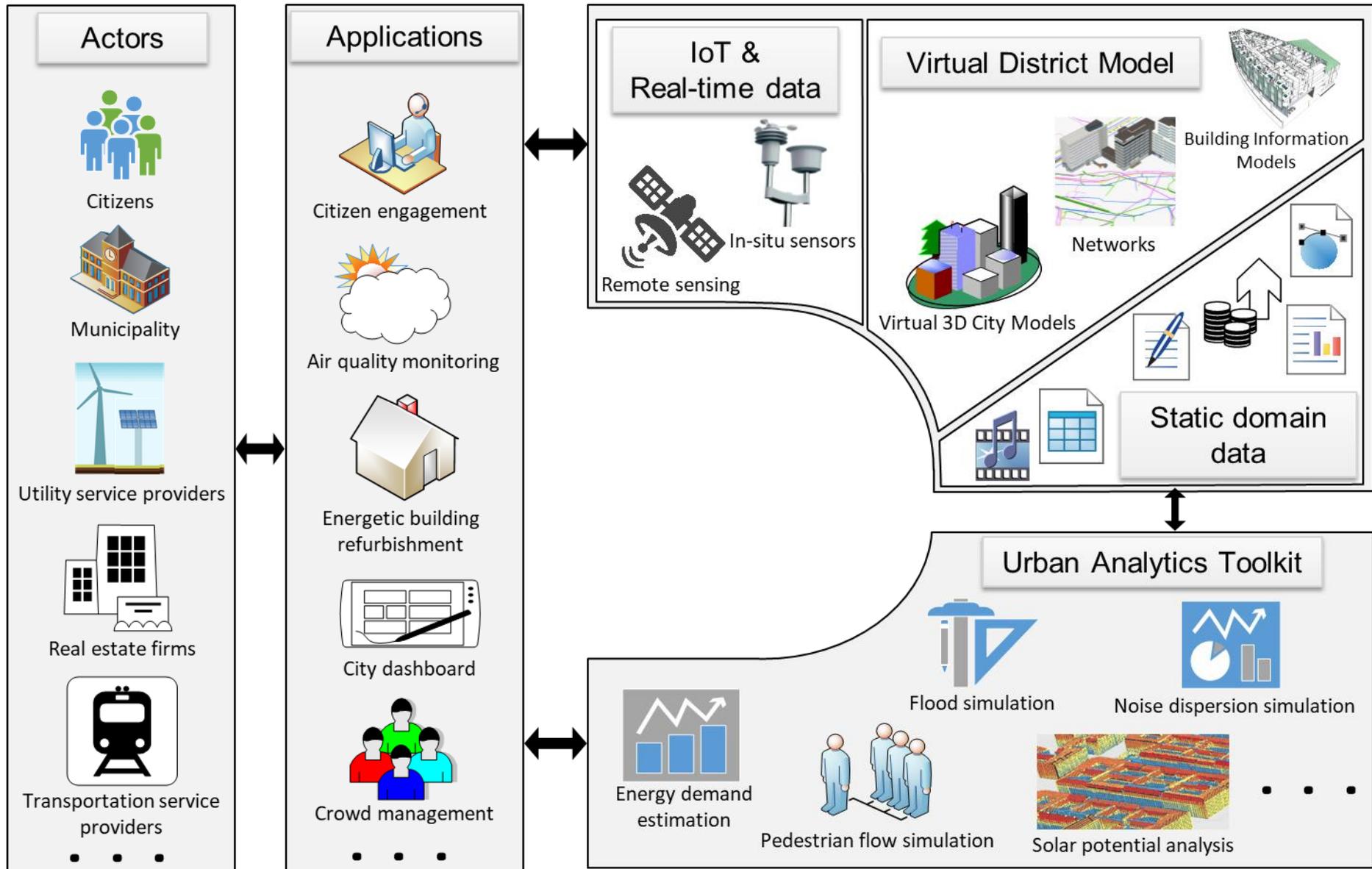
Smart District Data Infrastructure (SDDI)



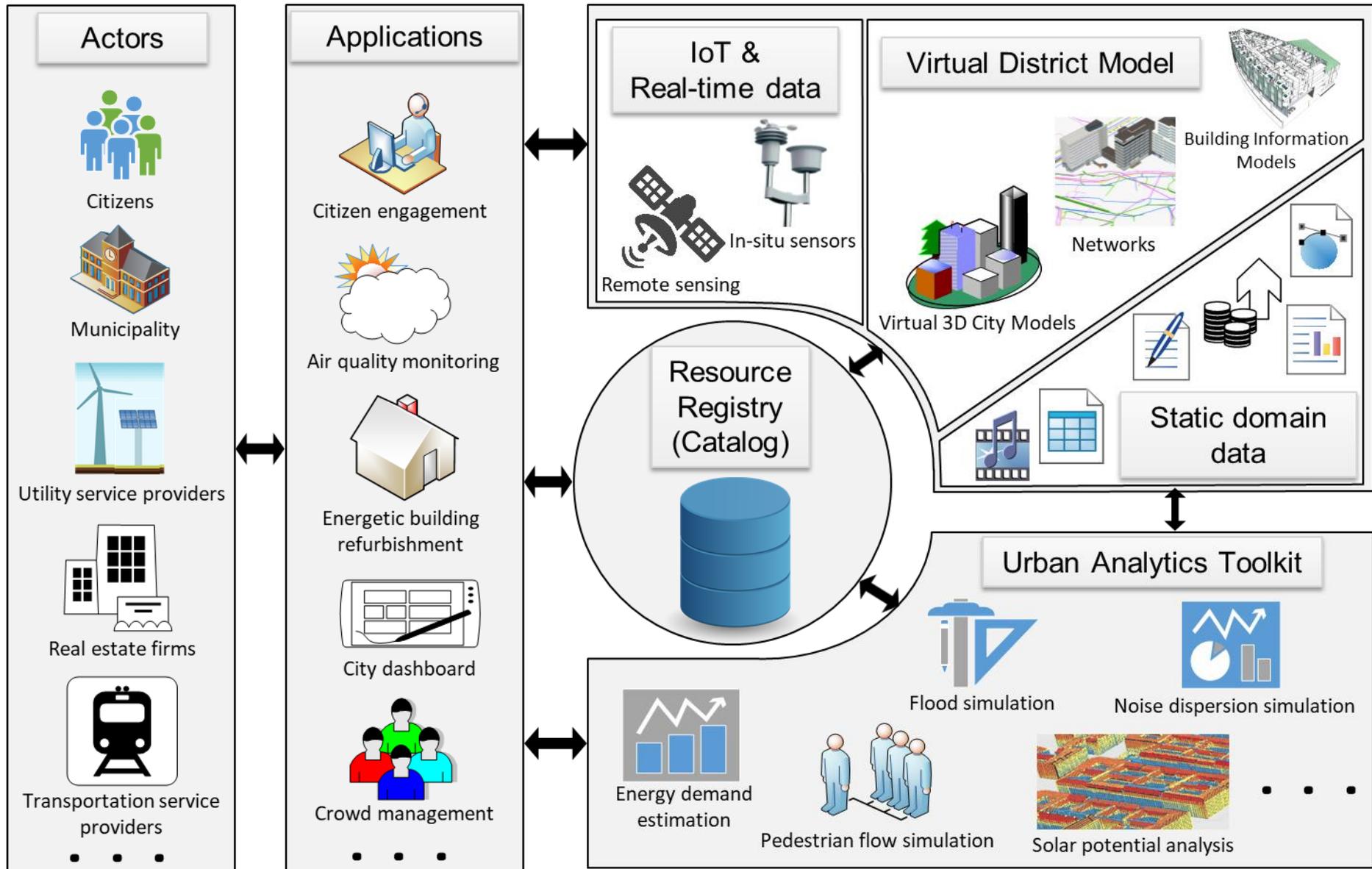
Smart District Data Infrastructure (SDDI)



Smart District Data Infrastructure (SDDI)



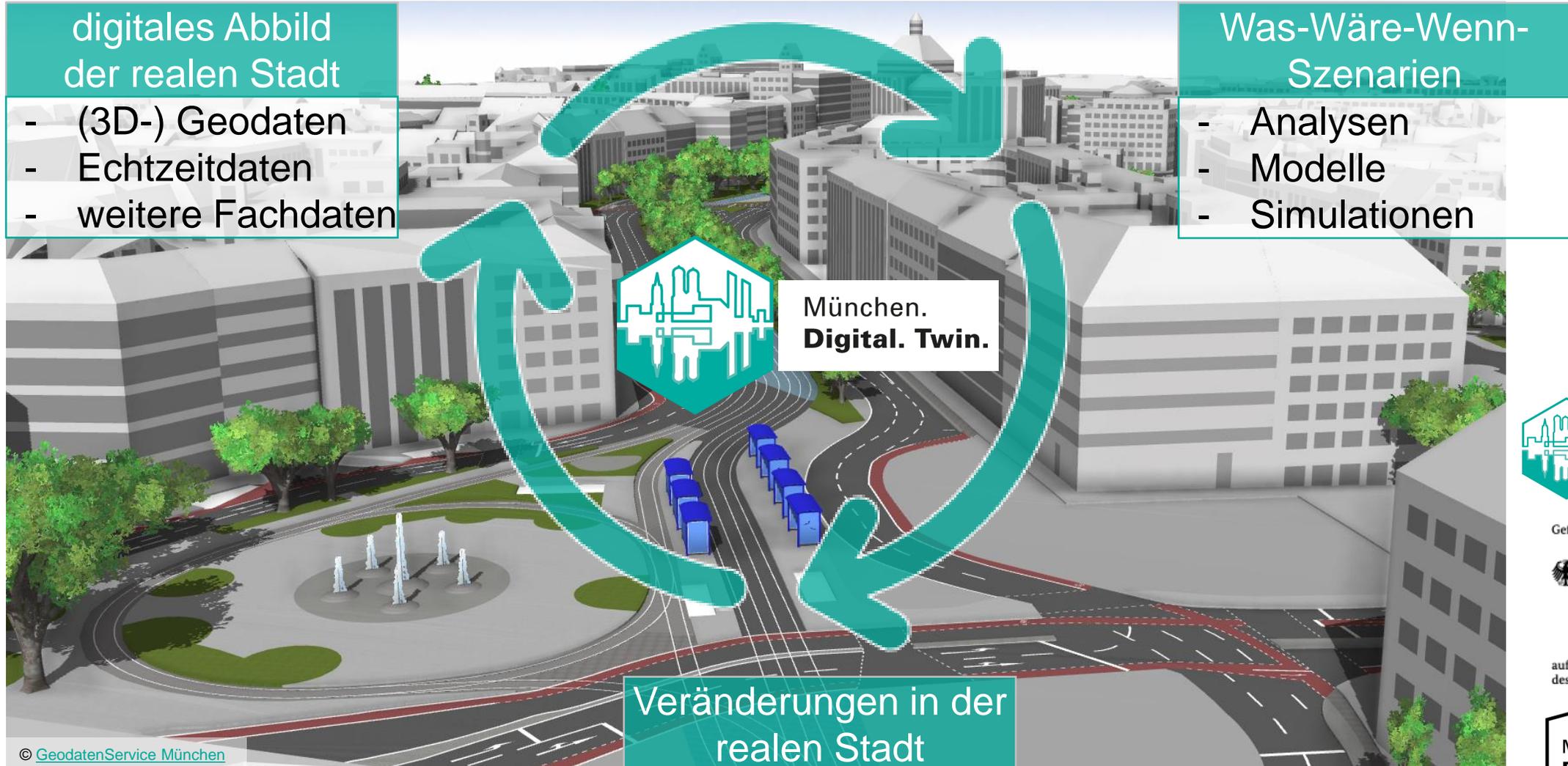
Smart District Data Infrastructure (SDDI)



Digitaler Zwilling München + Anwendungen

mit Folienbeiträgen von Herrn Markus Mohl,
(Leiter des Kompetenzzentrums Digitaler Zwilling München)
Geodatenservice München

Digitaler Zwilling München: Vom digitalen Abbild zur Umsetzung in der realen Welt



© GeodatenService München



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Grundverständnis Digitaler Zwilling

Der Digitale Zwilling München als **Gemeinschaftswerk der Stadtfamilie** und digitales Abbild einer (daten-) souveränen Stadt.

- verschiedene Stadtreferate & städtische Betriebe (SWM, MVG),
- Forschungspartner & wissenschaftliche Beratung (TU München)

Der Digitale Zwilling München ist **kein monolithisches System**.

Der Digitale Zwilling München ist **offen**.

Die **Urban Data Platform München** ist die zentrale Datendrehscheibe und setzt auf international standardisierten, herstellerunabhängigen und offenen Schnittstellen auf. Damit wird die **Vernetzung** bestehender Systeme und Datenplattformen ermöglicht.



München.
Digital. Twin.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



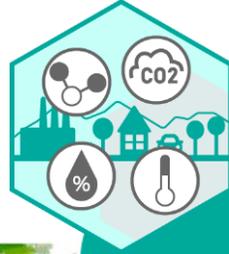
Aktuelle Anwendungsfälle



Sicherheit



© GeodatenService München



Klima- und
Umweltschutz



zukunftsorientierte
Mobilität



© GeodatenService München

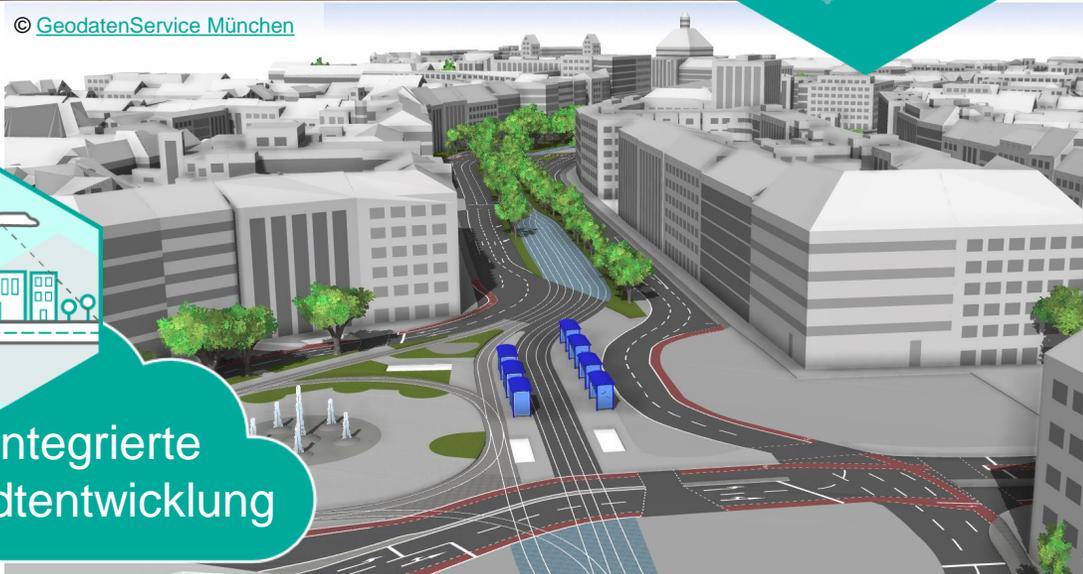


München.
Digital. Twin.

© GeodatenService München



integrierte
Stadtentwicklung



Bürger_innen-
beteiligung



München.
Digital. Twin.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



München.
Digital. Erleben.



München.
Digital Twin

Bestand: Sonnenstraße



Landeshauptstadt
München
Referat
und Ba





Vision: Boulevard Sonnenstraße



Konkretisierung erfolgt im weiteren Prozess

Freiham: Visualisierung von Bauabschnitten



München.
Digital. Twin.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Freiham: Visualisierung von Bauabschnitten



München.
Digital. Twin.

Gefördert durch:

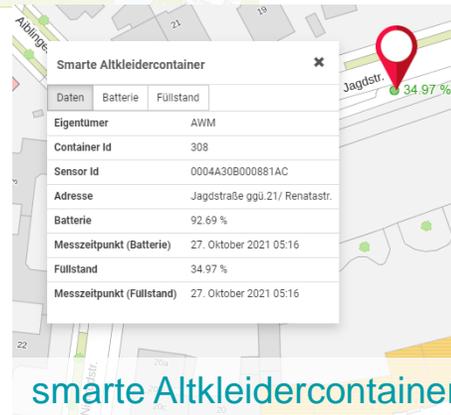
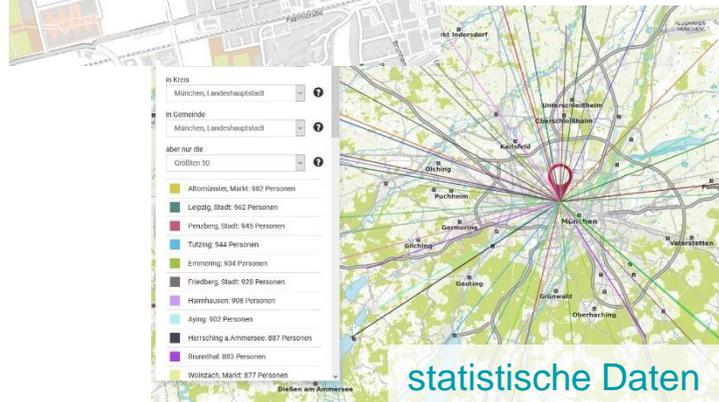
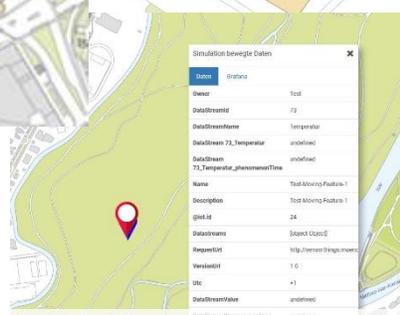
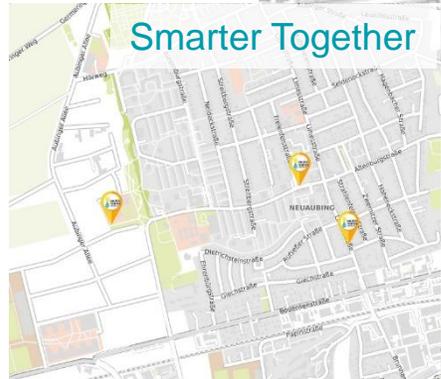
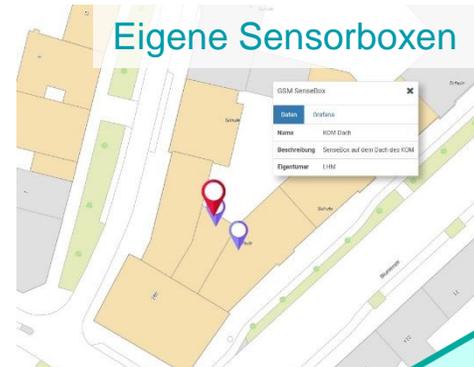
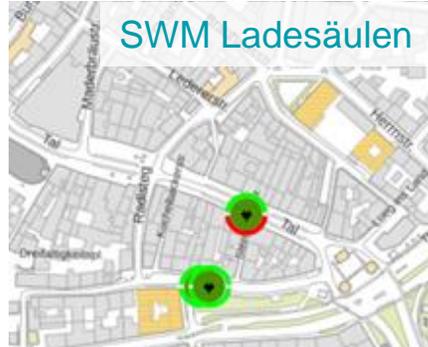


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Internet of Things und statistische Daten

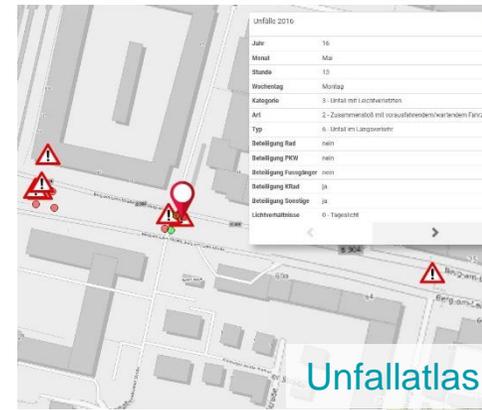
IoT-Systeme der LHM



Landesamt für Umwelt



IoT-Systeme des Freistaats



IoT-Systeme des Bundes



München. Digital. Twin.

Gefördert durch:

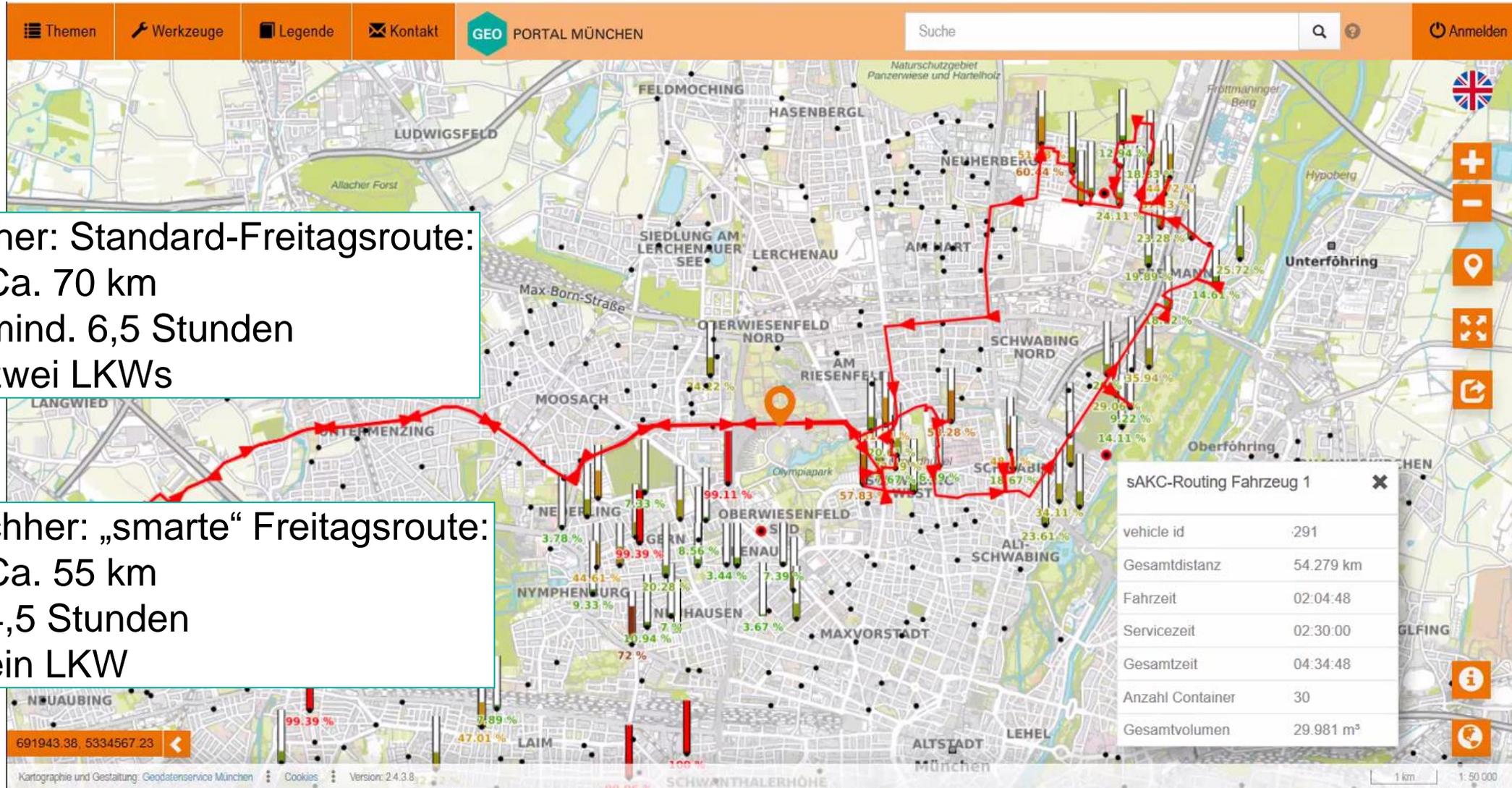


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Digitaler Zwilling: Effizientes Verwaltungshandeln

„Smarte Altkleidercontainer“: Sensorgestützte Meldung des Füllstands → Optimierung der Route



vorher: Standard-Freitagsroute:

- Ca. 70 km
- mind. 6,5 Stunden
- zwei LKWs

nachher: „smarte“ Freitagroute:

- Ca. 55 km
- 4,5 Stunden
- ein LKW



München. Digital. Twin.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



München. Digital. Erleben.

Reduktion von Energieverbrauch & CO₂ durch Gebäudesanierungen

Aus der Dissertation von Dr.-Ing. Hannes Harter, TUM 2021



- Gebäudebezogene „Inventur“ des Status quo des gesamten Gebäudebestandes (hier: alle Wohngebäude)
- Kommunale Wärme- und Klimaplanung (inklusive graue Energie und Lebenszyklusbetrachtungen)
- Entwicklung von Zukunftsszenarien ausgehend vom heutigen Stand
- Vorschläge für Sanierungsreihenfolgen
- Identifikation von Sanierungshotspots

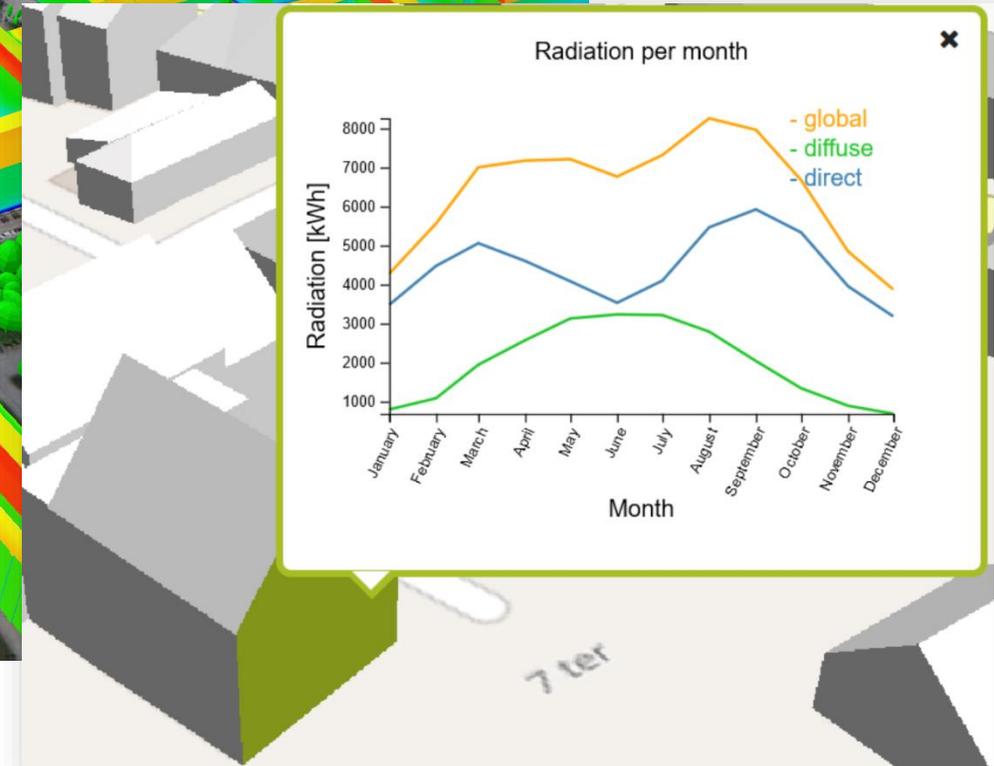
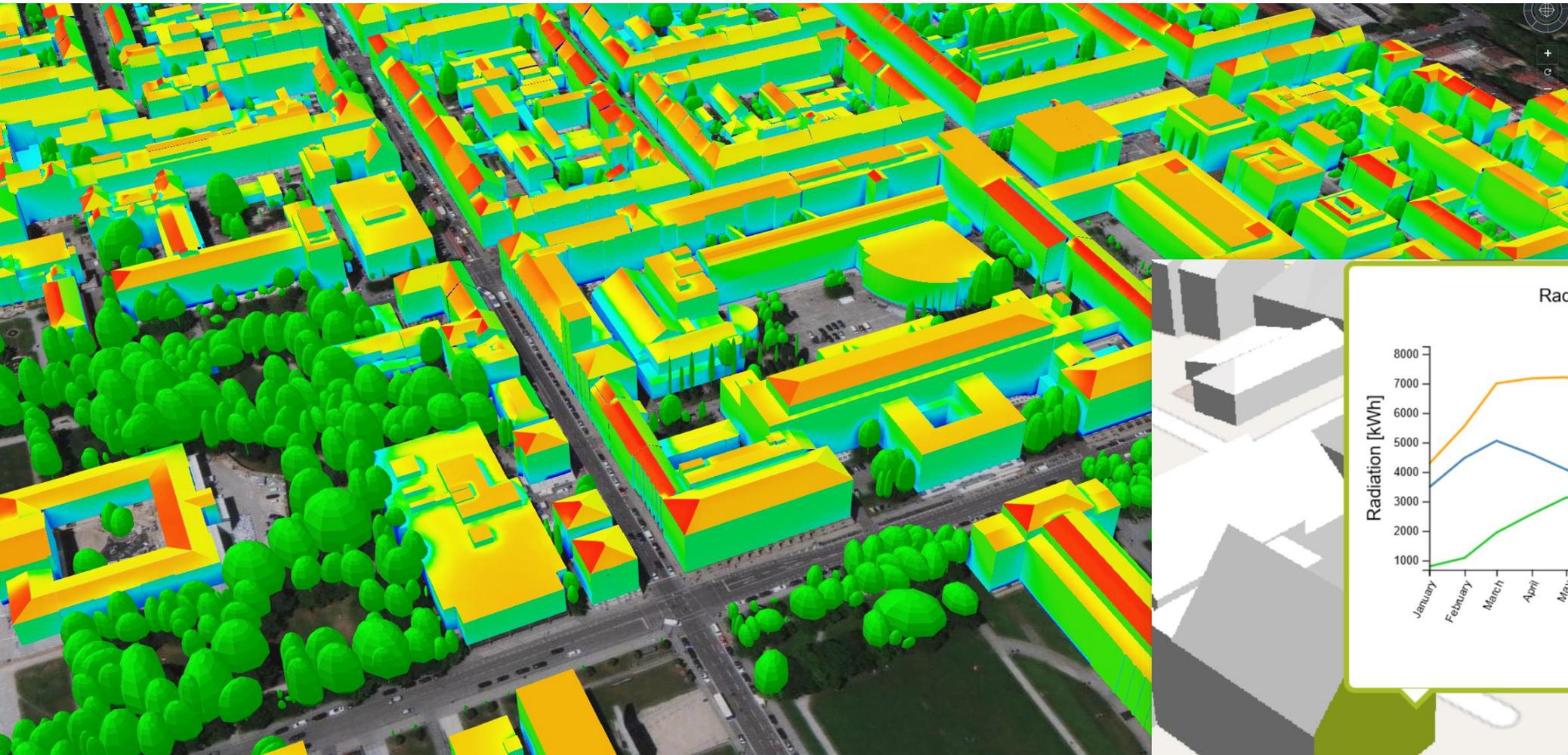
Reduktion von Energieverbrauch & CO₂ durch Gebäudesanierungen

Aus der Dissertation von Dr.-Ing. Hannes Harter, TUM 2021



- Gebäudebezogene „Inventur“ des Status quo des gesamten Gebäudebestandes (hier: alle Wohngebäude)
- Kommunale Wärme- und Klimaplanung (inklusive graue Energie und Lebenszyklusbetrachtungen)
- Entwicklung von Zukunftsszenarien ausgehend vom heutigen Stand
- Vorschläge für Sanierungsreihenfolgen
- Identifikation von Sanierungshotspots

Potenziale aller Gebäudeflächen für die solare Energiegewinnung



Aus den Promotionsarbeiten von Bruno Willenborg, M.Sc.

Fazit zu Urbanen Digitalen Zwillingen

- ▶ Digitale Zwillinge sind mehr als nur digitale Modelle der Realität
- ▶ Berücksichtigung von (beinahe) **Echtzeitdaten**
 - Messung mittels Sensoren; Einbindung von IoT (Internet of Things)
 - Sensordatenplattformen, Sensordatendienste mit APIs
- ▶ **3D-Modelle der physischen Umgebung** sind essentieller Bestandteil
 - es wird deutlich, dass es nicht nur eine Art von digitalem Stadtmodell gibt, sondern verschiedene gleichzeitig (u.a. semantisches 3D-Stadtmodell [CityGML], 3D-Mesh und BIM [IFC])
 - Informationsverknüpfung, Visualisierung, Simulationen
- ▶ **Systematische Synchronisation von Modell und Realität**
 - in beide Richtungen: Realität → Modell und Modell → Realität
- ▶ prinzipiell **Einbeziehung aller digitalen Daten einer Kommune**
– nicht nur der Geodaten(dienste)

Weiterbildungskurs Digitale Stadtzwillinge

Leonhard Obermeyer Center
TUM School of Engineering & Design
Technische Universität München



The screenshot shows a website interface for a course titled "Digital Twins für Städte". At the top, there is a navigation bar with the following categories: Executive MBAs, Professional Master Programs, Certificate Programs, Customized Programs, About, and Events & News. The main content area features a large, stylized image of a cityscape with digital overlays, including icons for people, buildings, and data. The text "Digital Twins für Städte" is prominently displayed on the left. Below the title, there are several icons and text elements: a speech bubble icon for "Deutsch", a location pin icon for "München", a calendar icon for "Online & vor Ort", a play button icon for "Februar 2023", a refresh icon for "4 Wochen", and a list icon for "3.750 €, Preisnachlässe verfügbar". On the right side of the main content, there is a sub-header: "Zukunftsweisende Methoden zur Gestaltung von Mobilität Umwelt und Wohnen". At the bottom of the page, there is a secondary navigation bar with the following links: Überblick, Details, Dozent*innen, Partner, Weitere Informationen, Bewerbung, and Kontakt.

Nähere Informationen unter <https://www.lll.tum.de/de/certificate/digital-city/>