

# Smart Cities benötigen Sensoren und smarte Geodaten

Von Prof. Dr. Volker Coors und Dr. Sven Schneider

## Zusammenfassung

Smart Cities nutzen Informations- und Kommunikationstechnologien für eine nachhaltige, soziale und ökologische Gestaltung des öffentlichen Raums. Hierzu ist ein urbanes Informationsmodell notwendig, das Geo- und Sensordaten mit Datenmodellen verschiedener Fachdisziplinen vernetzt. Das Konzept dieser „urbanen Plattform“ wird im vorliegenden Artikel anhand von Projektbeispielen der HFT Stuttgart vorgestellt.

## I Einleitung

Städte stehen ebenso wie Unternehmen und andere Organisationen vor der digitalen Transformation. Urbane Daten sind zu einer Ressource geworden, die für eine Vielzahl von Anwendungsfällen von hohem Interesse ist. Beispielhaft hierfür sind: urbane Mobilität des öffentlichen Nahverkehrs, Sharing-Konzepte bis hin zum autonomen Fahren, Umwelt- und Klimaschutz, Abfallmanagement, Ressourcen schonender Nutzung von Energie sowie die Bereitstellung von Dienstleistungen der städtischen Verwaltung. „Die grundlegende Idee hinter Smart Cities ist, dass Informations- und Kommunikationstechnologien für eine nachhaltigere, sozialere und ökologische Gestaltung des städtischen Raums eingesetzt werden können. Dazu benötigt man eine effiziente Sammlung von Auswertungen stadtbezogener Daten, sowie die Koordination ihrer Nutzung mittels Internet- und Web-basierter Services.“ [Portmann et al. 2017].

In den verschiedenen städtischen Verwaltungen ist bereits ein großer Pool an stadtbezogenen Daten vorhanden, der zumindest teilweise auch über eine Geodateninfrastruktur bereitgestellt wird. Hinzu kommen unter dem Begriff „Internet of Things“ eine Vielzahl von Sensordaten, die einen permanenten Strom von stadtbezogenen Daten liefern. Die Studie »Smart Cities Measure in Europe« hat als einen wesentlichen Erfolgsfaktor für smarte Städte Wissensmanagement und den Zugang zu Daten identifiziert: »... access to the relevant data ... is as important as the guarantee of data privacy and data protection.« [Manville 2014]. Die Stadt Glasgow wurde bereits 2015 für das Projekt »Future City Glasgow« [Glasgow 2015] mit dem »Excellent Award for Application of GeoSpatial Technology in Smart City« auch für ihre Strategie zur Erfassung, Nutzung und Verbreitung von Geodaten ausgezeichnet. So sind über das Geodatenportal über 370 Datensätze aus verschiedensten Bereichen kostenfrei verfügbar. Beispielsweise werden die Energieverbrauchsdaten der öffentlichen Gebäude in halbstündlichen Zeitschritten als JSON-Daten so bereitgestellt, dass sie sich über die Adresse mit anderen Geodaten automatisch verknüpfen lassen.

Für die Verknüpfung der Daten ist ein gemeinsames urbanes Informationsmodell erforderlich, das die Vernetzung der Sensordaten mit Datenmodellen verschiedener Fachdisziplinen ermöglicht. Im Folgenden wird das Konzept einer urbanen Plattform für Datenmanagement vorgestellt. Die Umsetzung dieses Konzepts wird anhand von Projektbeispielen der HFT Stuttgart exemplarisch aufgezeigt.

## 2 Urbane Plattform

**DIN91357:2017-12 definiert das Referenzarchitekturmodell „Offene Urbane Plattform (OUP)“ für Smart Cities.**

Das Konzept der offenen urbanen Plattform (OUP) wurde in dem vom Open Geospatial Consortium (OGC) geleiteten Projekts „Systemic Standardisation approach to Empower Smart cities and communities (ESPRESSO)“ mit 16 Projektpartnern aus acht Europäischen Ländern im Rahmen des EU Rahmenprogramms für Forschung und Innovation „Horizont 2020“ entwickelt. Partner aus Smart Cities, der öffentlichen Verwaltung, europäischen Normungsorganisationen (ESOs), nationalen Normungsgremien (NSBs), europäischen Standardentwicklungsorganisationen (SDOs), Industriepartnern und Forschungseinrichtungen sind Mitglieder des Konsortiums. Das Hauptziel des Projekts ist es, die Interoperabilität von Smart City-Lösungen zu gewährleisten, um innovative Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) adäquat zu integrieren und zu unterstützen. D. h. das Ziel der smarten Stadt, welche physikalische, digitale und menschliche Systeme integriert, rückt dadurch ein Stück näher in die Realität.

Dies geschieht in erster Linie über die Entwicklung eines konzeptionellen Smart City-Informations-Frameworks basierend auf offenen Standards (z. B. CityGML, Sensor Things, etc.). In einer Stärken-Schwächen Analyse von bestehenden Ansätzen (Fallstudien), werden Schlüsselanforderungen für weitere Standardanalysen, von bereits bestehenden und sich in der Entwicklung befindenden Standards, identifiziert. „Um die gesellschaftliche Akzeptanz von Lösungen zu gewährleisten, setzt Espresso ein Stakeholder-Kommunikationsnetzwerk ein, das sowohl technische Anforderungen als auch die Umsetzbarkeit wie auch die Bedürfnisse der Bürger im Transformationsprozess berücksichtigt.“ [ESPRESSO-Consortium 2018].

Ein Ergebnis des Projekts ist das Referenzarchitekturmodell einer offenen urbanen Plattform (OUP) für Smart Cities, das auch in die DIN 91357:2017-12 eingeflossen ist. Diese OUP definiert 5 Ebenen. Die unteren beiden Ebenen definieren Sensoren und Rohdaten als Datenströme. Diese werden in der zentralen Ebene „OUP core services“ mit Geo- und Fachdaten vernetzt und prozessiert. Die oberen beiden Ebenen stellen einen anwendungsspezifischen Zugriff auf die veredelten Daten (Smart Data) bzw. darauf aufsetzenden Diensten (Smart Services) bereit.

Im Folgenden werden mit i\_City, ENsource und SimStadt 2.0 drei Projekte an der HFT Stuttgart exemplarisch vorgestellt, die das Konzept der OUP nutzen. Die Implementierung basiert auf den OGC-Standards Sensor Observation Service (SOS), Sensor Things Service, 3D Portrayal Service (3DPS) und CityGML. SOS und Sensor Things bilden die Schnittstelle zu den Sensoren und Sensordatenströmen, während CityGML als urbanes Informationsmodell für die Vernetzung von Sensor- und Geodaten sorgt. Zur Web-basierten Visualisierung kommt der 3D-Portrayal Service zum Einsatz, der die Schnittstelle der OUP zum Anwender bildet.

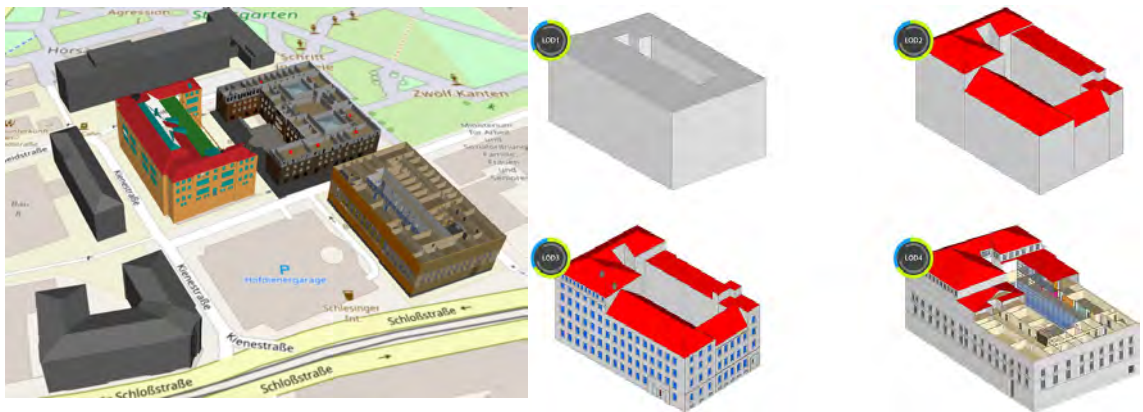
## 3 Implementierung basierend auf OGC Standards

### 3.1 CityGML und 3D Stadtmodelle

**CityGML hat die Nutzungsvielfalt von 3D Stadtmodellen vorangetrieben.**

Digitale 3D Modelle wurden schon lange vor der Normierung von CityGML genutzt, z. B. in Bereichen wie Konstruktion, Architektur, dreidimensionalem Zeichnen und Konstruieren mit Hilfe von CAD-Software. Ihre Anwendungen waren häufig auf Präsentationen und Visualisierungen beschränkt. Heute wird CityGML oft als Synonym für digitale 3D-Gebäudemodelle (Abb. 1) bzw. 3D-Landschaftsmodelle be-

nutzt. 3D-Gebäude- und Stadtmodelle dienen heute nicht mehr nur der Präsentation, sondern auch der Planung und Simulation. Beispielsweise sind Simulationen für Hochwasserereignisse, Energiebedarf, Lärm- und Schadstoffausbreitung sowie Windsimulationen häufige Anwendungsszenarien. Von der Erfassung über die Datenhaltung, die Bereitstellung und Visualisierung bis zur quantifizierten Analyse sind unterschiedliche Komponenten beteiligt. Für den Datenaustausch mittels unterschiedlicher Schnittstellen muss eine 3D-Geodateninfrastruktur zu Grunde liegen, welche auf einem einheitlichen Objektkatalog basiert. Ein gemeinsames Verständnis von 3D-Stadtmodellen und Standards der Geoinformatik wurde mit CityGML durch die Special Interest Group 3D (SIG 3D) erarbeitet. Heute ist CityGML Version 2.0 etablierter Standard, jedoch steht die Entwicklung nicht still und Version 3.0 wurde bereits angekündigt [Coors et al. 2016].



Die Basis stellt GML (Geographic Mark-up Language) dar, welche im Kern XML (eXtensible Mark-up Language) ist. CityGML ist aufgrund gewisser XSD-Schemata, die die Offenheit des XML-Formats einschränken, ein Anwendungsprofil von GML. Im Gegensatz zu Ebenen-basierten Modellen, wie sie beispielsweise in SketchUp Anwendung finden, ist CityGML ein objektorientiertes Modell, d. h. Objekte in diesem Modell besitzen eine Individualität, Eigenschaften, Bestandteile und Beziehungen zu anderen Objekten. Zum Beispiel sind im objektorientierten Modell Wände und Dächer in Analogie zur realen Welt Bestandteile individueller Gebäude.

**Abb 1:** Links: 3D Gebäude der HFT Stuttgart in unterschiedlichen Level of Details (LoD). Rechts: Übersicht der verschiedenen Detailstufen eines 3D Modells

### 3.2 Sensor Observation Service (SOS)

SOS ist ein Webservice zur Abfrage von Sensordaten in Echtzeit und Sensor Zeitserien in Situationen, in denen die Interoperabilität eine wesentliche Rolle spielt. SOS ist Teil des OGC SWE Standards und erlaubt es, Sensoren und deren Daten über das Web auffindbar und für Zugriffe verfügbar zu machen. Für SOS sind zwei Anbindungen (Engl.: „bindings“) definiert, nämlich SOAP (Simple Object Access Protocol) oder KVP (Key Value Pair). Zugang zu Beobachtungen (z. B. Temperaturmessungen) sind mit dem O&M 2.0 (Observation and Measurement) Standard encodiert und werden ähnlich dem Sensor Things Standard als Eigenschaft des zu beobachtenden Objektes („FeatureOfInterest“) gespeichert bzw. abgefragt (OGC 2014).

#### Abfrage von Sensordaten in Echtzeit

### Abfrage von Sensorposition in Echtzeit und Sensor Zeitreihen

### 3.3 Sensor Things

Ein weiterer und deutlich neuerer OGC Standard ist der sogenannte Sensor Things Service (oder Sensor Things API). Diese Schnittstelle ist seit Februar 2016 offiziell von der OGC als internationaler und offener Sensor Web Enablement (SWE) Dienst bestätigt. Der Standard definiert ein offenes und vereinigt Framework um Internet of Things (IoT) Geräte, Daten und Anwendungen miteinander zu verknüpfen. Die im Standard definierte Schnittstelle erlaubt Geräten und Anwendungen IoT Daten über Web-Anfragen zu verwalten, d. h. Daten zu schreiben, lesen, löschen, und zu aktualisieren.

Die Sensor Things API hat folgende Vorteile für Nutzer: 1.) geringerer Overhead der Entwicklung und weitere Reichweite bei hochwertigen Services, 2.) Reduzierung der Kosten, Entwicklungszeit und Risiken während eines IoT Entwicklungszyklus und 3.) die Verbindungen zwischen diversen IoT Geräten und Verbindungen zwischen IoT Geräten und Anwendungen wird deutlich vereinfacht.

Das Datenmodell erlaubt es, reale Objekte in der digitalen Welt als Objekte zu betrachten, ähnlich wie beim CityGML Standard; d. h. einem Objekt können Eigenschaften und u. a. Orte (Positionen bzw. Koordinaten) zugewiesen werden. Weitere Eigenschaften sind die Festlegung von einem oder mehreren Sensoren pro Objekt, einem eindeutigen Datenstrom pro Sensor, Zeitpunkt und Ort sowie die Festlegung des „FeatureOfInterest“. Die Vereinigung all dieser Informationen wird im Datenmodell als „Beobachtung“ bezeichnet. Dieses Datenmodell erlaubt es, den Standort eines Objekts ständig zu aktualisieren, d. h. es können auch mobile Sensoren verwaltet werden. Dies erlaubt eine zeit- und orts aufgelöste Überwachung von IoT Geräten. Die Kommunikation folgt den Standards der REST Architektur (REpresentational State Transfer), z. B. mittels einer http GET Anfrage, um Daten abzufragen [Liang 2016].

### 3.4 3D Portrayal Service

Der 3D *Portrayal Service* (3DPS) ist ein OGC-Standard zur service-orientierten Visualisierung von 3D-Stadt- und Landschaftsmodellen, der in Analogie zum weit verbreiteten WebMapService für 2D-Karten eine Schnittstelle für die web-basierte Visualisierung von 3D-Karten ermöglicht.

### Der szenenbasierte Ansatz ermöglicht durch die ganze Welt interaktiv zu navigieren.

Der 3D *Portrayal Service* unterstützt sowohl den szenenbasierten Ansatz als auch einen bildbasierten Ansatz. Die grundlegende Idee eines **szenenbasierten Ansatzes** zur 3D-Visualisierung ist die hierarchische Komposition einer virtuellen Welt. Diese Welt folgt der Metapher einer Theater- bzw. Filmbühne und beinhaltet neben einer Kulisse auch Beleuchtung, Kamerapositionen und Informationen zum Verhalten einzelner Objekte der Kulisse. Diese virtuelle Welt wird daher auch Szene genannt. Der Benutzer wird zum Betrachter der Szene, kann aber auch interaktiv eingreifen, i. d. R. durch Wechsel der Perspektive (Navigation) und durch Interaktion mit Objekten der Szene. Die darzustellenden Daten werden im Mapping-Schritt der Visualisierungspipeline auf einen Szenengraphen abgebildet.

Im geografischen Kontext kann die virtuelle Welt die gesamte Erdoberfläche beinhalten, man spricht hier im Allgemeinen von einem virtuellen Globus. Dieser virtuelle Globus kann dann als Gesamtszene betrachtet werden. Damit diese Szene handhabbar bleibt, kann sie aus verschiedenen „Unterszenen“ hierarchisch aufgebaut werden. Ein Ansatz hierzu ist die Unterteilung des Globus in Kacheln. Jede Ka-

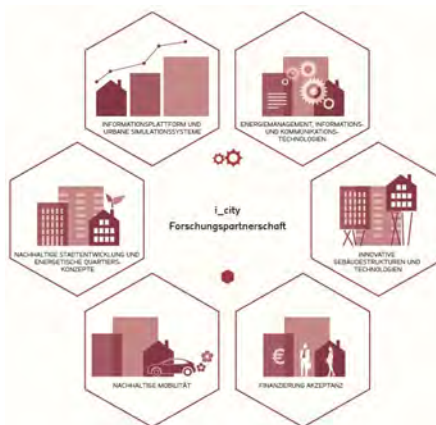
chel entspricht dann einer Unterszene. Dieses Konzept lässt sich genauso für lokal begrenzte Regionen anwenden. Bei 3D-Stadtmodellen ist in vielen Anwendungen nur die Stadt selbst von Interesse, nicht die gesamte Welt. In diesem Fall bildet die Stadt die Szene, die sich aber auch wieder in Unterszenen aufteilen lässt. Des Weiteren können die Objekte einer Szene in Abhängigkeit des Abstands zur Kamera / Blickpunkt des Betrachters unterschiedlich abstrakt definiert werden. Je kleiner ein Objekt auf dem Bildschirm zu sehen ist, desto weniger Details sollten zu seiner Beschreibung verwendet werden.

Der **bildbasierte Ansatz** ist dadurch gekennzeichnet, dass die Visualisierungspipeline vollständig auf dem Server durchlaufen wird. An den Client werden fertig gerenderte Bilder übertragen. Der derart gekapselte Visualisierungsserver kann mit hoch-performerter und optimierter 3D-Hardware und 3D-Software ausgestattet werden, so dass auch größte 3D-Modelle in hoher Qualität gerendert und in Form von Bilddaten bereitgestellt werden können. Dabei hängt die Komplexität der übertragenen Daten nicht mehr von der Komplexität des 3D-Modells (z. B. Geometrie- und Texturmenge), sondern im Wesentlichen von der Größe des abgefragten Bildes ab. Damit werden qualitativ hochwertige 3D-Darstellungen auch für einfachste Client-Geräte ermöglicht – z. B. auf Mobilgeräten mit geringer Rechen- und Grafikleistung und durch die Batterie begrenzter Stromversorgung.

## 4 Erprobung in Forschungsprojekten

### 4.1 i\_City – intelligente Stadt

Im Leitprojekt i\_City an der Hochschule für Technik Stuttgart wird im Rahmen einer strategischen Partnerschaft mit Industrie und Wirtschaft ein Konzept zur intelligenten Stadt entwickelt, welches unterschiedliche Aspekte betrachtet (Abb. 2). Diese reichen von der Stadtplanung über Feinstaubmodellierung und Simulationen von Wind, Mikroklima und Schall bis zur Analyse und Entwicklung von Mobilitätskonzepten [HFT Stuttgart 2017].



**Der bildbasierte Ansatz erlaubt hohe Details und Auflösungen unabhängig von der Rechenleistung des Clients.**

**Abb. 2:** Die i\_City Forschungspartnerschaft besteht aus mehreren unterschiedlichen, aber verknüpften Handlungsfeldern zur Realisierung der smarten Stadt [HFT Stuttgart 2017].

### 4.2 Nachhaltige Mobilität

In einem i\_City Teilprojekt, welches sich mit Mobilität beschäftigt, wird modellhaft ein eBike-Sharing-Konzept für Stuttgart als wichtige Individualschnittstelle / Ergänzung zum öffentlichen Nahverkehr und zu bestehenden Car-Sharingsystemen entwickelt und im kleinen Maßstab getestet. Im Fokus steht ein innovatives eBike-Sharing-Konzept, das exemplarisch für die Stadt Stuttgart mit Übertragung auf ländliche Kommunen entwickelt wird. Die Entwicklung des Systems erfolgt in einem interdisziplinären Team aus Verkehrsplanern, Stadtplanern, Architekten, Energieexperten, Geoinformatikern, Informatikern, Wirtschaftsingenieuren und Psychologen.

**eBike-Sharing-Konzept für Stuttgart als wichtige Individualschnittstelle zum öffentlichen Nahverkehr**

Im Rahmen des Teilprojektes gilt es sich der Herausforderung anzunehmen, e-Bike-Sharing attraktiv zu gestalten, die Nutzungsakzeptanz zu erhöhen und damit Verkehrsteilnehmer zur Nutzung des eBike-Sharings zu animieren. Ziel ist es, das Verkehrsnetz und den Parkraum zu entlasten, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren und generell die Mobilität in den Städten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor auf ÖPNV und Sharing-Systeme zu verlagern.

In einem ersten Prototyp zum Datenmanagement wurde eine Plattform implementiert, mit der eBikes zu Forschungszwecken online getrackt und im 3D-Modell visualisiert werden können. Die eBikes sind mit einer onboard Unit ausgestattet, die permanent Daten zu Position und Geschwindigkeit des Rades, Ladezustand und auch Trittkraft des Fahrers liefert. Zusätzlich werden Probanden mit einer Smart-Watch ausgestattet, die Vitaldaten misst. Die Daten werden über eine Sensor Things Schnittstelle in die OUP (offenen urbanen Plattform) eingespeist und mit dem 3D-Modell verknüpft, wie in Abbildung 3 dargestellt. Zu Testzwecken wurde auch ein Sensor Observation Service für denselben Zweck implementiert. Verschiedene Sensordaten können interaktiv korreliert werden, um z. B. Ladezustand und Geländeprofil gegenüber zu stellen. Über ein Routingsystem können auch je nach Fitness und Motivation des Fahrers Routen mit geringer oder stärkerer Steigung vorgeschlagen werden.



**Abb. 3:** Visualisierung von E-Bike-Sharing Sensordaten. Messungen der Vital- und Positionssensoren werden in Echtzeit im Kontext eines 3D-Stadtmodells dargestellt. Die gefahrene Route wird als grüne Kurve dargestellt [Santhanavanich 2018].

### 4.3 ENsource

In dem an der HFT Stuttgart koordinierten Forschungsverbund für Urbane Energiesysteme und Ressourceneffizienz ENsource werden Konzepte für eine dezentrale Energieversorgung durch die Vernetzung von lokalen Erzeugern, Verbrauchern und Verteilnetzen erforscht.

„Der Forschung kommt hierbei die elementare Aufgabe als Innovator zu. Um möglichst hohe Anteile erneuerbarer Energien bei maximaler Energieeffizienz zu ermöglichen, werden intelligente Kommunikations- und Steuerungssysteme benötigt. Die zunehmende Kombination von elektrischen und thermischen Netzen und Spei-

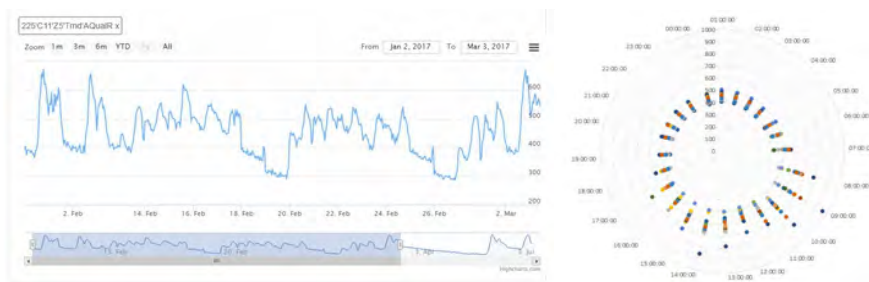
chern sowie die Aktivierung von Flexibilisierungsoptionen bei den Verbrauchern erfordert die Entwicklung von innovativen systemübergreifenden Ansätzen und Prozessanalysen, um zukunftsfähige und (ressourcen)-effiziente Lösungen bereitzustellen. Außerdem muss sie Umsetzungsbarrieren erkennen und verstehen, wie diese abgebaut werden können. Dabei steht auch Verbraucherverhalten im Fokus“ [HFT Stuttgart 2018].

In einem konkreten Teilprojekt der HFT Stuttgart, wird über Sensoren der CO<sub>2</sub>-Anteil der Raumluft gemessen, um so effizient die Klimaregelung eines Bürokomplexes zu steuern (Abb. 4 und 5). Über Korrelation des CO<sub>2</sub>-Gehalts und der Zeit, kann relativ gut konstruiert werden, wann Mitarbeiter z.B. einen Besprechungsraum nutzen. Dadurch kann präzisiert werden, wann und mit welcher Temperatur mehr Frischluft ins Büro eingeführt werden soll, um optimale Arbeitsbedingungen zu schaffen.

### CO<sub>2</sub>-Messung und Klimaanlagen- steuerung mittels Sensoren und SOS



**Abb. 4:** 3D Modell eines Bürokomplexes und schematische Darstellung der Positionen der CO<sub>2</sub> Sensoren (Zylinder)



**Abb. 5:** Darstellung des Verlaufs der CO<sub>2</sub> Konzentration über 2 Monate im oben beschriebenen Bürokomplex. Darstellung als stündlicher Tagesverlauf (rechts) und als Verlaufsdiagramm (links). Wochenenden (geringer CO<sub>2</sub>-Anteil) sind in diesem Verlauf klar erkennbar.

#### 4.4 SimStadt 2.0

**SimStadt ist eine, an der HFT Stuttgart entwickelte, Simulationsplattform für u. a. Energiebedarfsimulationen.**

Im Projekt SimStadt 2.0 wird u. a. die Integration von Simulationsergebnissen in die offene urbane Plattform untersucht. Die Grundidee besteht darin, dass die Simulation im Grunde, ebenso wie ein Sensor, Werte für einen bestimmten Zeitpunkt liefert. Nur sind die Werte nicht gemessen, sondern Ergebnis einer physikalisch basierten Simulation. Mit der an der HFT Stuttgart entwickelten Simulationsumgebung SimStadt kann u. a. der Heizwärmebedarf eines Gebäudes simuliert werden (Abb. 6.). Das Ergebnis der Simulation ist ein prognostizierter Heizwärmebedarf in kWh für jedes Gebäude im simulierten Gebiet. Kommt ein Monatsbilanzverfahren zum Einsatz, ist die zeitliche Bezugsgröße ein Monat. Bei dynamischen Modellen kann aber auch ein Wert pro Stunden oder in noch geringeren Zeitintervallen simuliert werden. Die Simulationsergebnisse können als Messreihe eines (virtuellen) Sensors aufgefasst werden und über einen Sensordaten Service bereitgestellt werden. Die virtuellen Sensoren werden dabei über eine eindeutige Kennung dem jeweiligen Gebäude zugeordnet, so dass Sensordaten und 3D-Gebäudemodell leicht verlinkt werden können.



**Abb. 6:** Visuelle Repräsentation einer Wärmebedarfssimulation eines Stadtquartiers mit SimStadt. Datenquelle: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

## 5 Evaluation und Ausblick

In den beschriebenen Projekten konnte gezeigt werden, wie Sensordaten und 3D-Stadtmodelle in einer offenen urbanen Plattform auf Basis von OGC Standards vernetzt und über Services bereitgestellt werden können. Dabei werden auch mobile Sensoren wie eBikes unterstützt, deren Position sich ändert. Eine Erweiterung des CityGML Standards ist hierzu nicht notwendig, wenn man Sensordaten im CityGML nur verlinkt. Es genügt dann, den Sensor als generisches CityObjekt zu modellieren, um damit Sensor und Bezugsobjekt (Gebäude, Raum, etc.) zu verknüpfen. Die Beispiele machen auch deutlich, dass bei Sensordatenströmen häufig personenbezogene Daten direkt (z. B. GPS Tracks) oder indirekt (CO<sub>2</sub>-Messungen) verarbeitet



werden. Es sollte daher sorgfältig abgewogen werden, welche Daten über eine offene Plattform bereitgestellt werden.

Das letzte Beispiel zeigt, dass das Konzept der urbanen Plattform auch für Simulationsdaten genutzt werden kann. Simulationsergebnisse können als Sensordaten zukünftiger Ereignisse verstanden und somit auch über Sensordaten Services integriert werden. Dieses Konzept lässt sich auch auf Simulationen für kontinuierliche Phänomene übertragen. Diese sind durch Sensoren nur punktuell zu messen. Besonders problematisch wird die Abbildung solcher Phänomene, wenn diese in ihrer Intensität und in Abhängigkeit ihrer Lokalität stark fluktuieren. In diesen Fällen, wie beispielsweise bei Wind, sind Simulationen sehr nützlich.

Im weitesten Sinne können Simulationsergebnisse als Sensordaten interpretiert werden. Denn obwohl nur einige wenige Messstationen (z. B. Anemometer und Wetterstationen) verfügbar sind, liegt der Simulation ein physikalisches Modell zu Grunde. Somit lassen sich kleine, lokal variierende Phänomene in relativ großen Gebieten (z. B. ganzen Stadtquartieren) mit „Sensoren“ bzw. Simulationen abbilden. Im Projekt *i\_City* werden Methoden entwickelt, die die Ausbreitung von Wind und Partikeln (z. B. Feinstaub) mit Hilfe von Computational Fluid Dynamics (CFD) für Gebäudekomplexe und Stadtquartiere simulieren. Grundsätzlich muss man hier zwischen Genauigkeit, Rechenzeiten und Aussagefähigkeit in Bezug auf die untersuchte Fragestellung abwägen. Forschungsschwerpunkt ist unter anderem die Entwicklung von Methoden zur Aufbereitung und Vereinfachung der 3D Stadtmodelle zur Beschleunigung von aufwendigen CFD Simulationen, sowie die interaktive und effiziente Visualisierung der zeitaufgelösten CFD-Daten im Kontext eines digitalen 3D Stadtmodells in Web-basierten digitalen Globen.

**Simulationen sind  
Sensordaten**

**„Messung“ von  
kontinuierlichen  
Phänomenen, wie  
Wind & Mikroklima  
durch CFD Simulation**

## 6 Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben *i\_City* wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03FH9101IA gefördert. Das Teilprojekt Mobilität erfolgt in Zusammenarbeit mit der Daimler TSS GmbH, das Teilprojekt Simulation in Zusammenarbeit mit virtualcity-SYSTEMS, CADFEM GmbH und M.O.S.S. Computer Graphik Systeme GmbH. Das Projekt ENsource wird gefördert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und Europäischen Fonds für regionale Entwicklung. Das vorgestellte Teilprojekt erfolgt in Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH. Das SimStadt 2.0-Projekt wird unter dem Förderkennzeichen 03ET1459A vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Im Projekt sind neben der HFT Stuttgart die Stadtwerke Mainz und Stuttgart, die M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH und die GEF Ingenieur AG beteiligt. In diesem Zusammenhang sei auch den folgenden Projektmitarbeitern und Studenten gedankt: Habiburrahman Dastageeri, Pithon Kabior, Martin Storz und Thunyathep Santhanavanich. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

**Anschrift der Autoren Prof. Dr. Volker Coors, Dr. Sven Schneider**  
Hochschule für Technik Stuttgart  
Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart  
E-Mail: volker.coors@hft-stuttgart.de

### Literaturverzeichnis

**Coors, V., Andrae, C., Boehm, K.-H. 2016:**  
3D-Stadtmodelle, Wichmann, Berlin 2016.

**DIN 91357:2017-12:**  
Referenzarchitekturmodell Offene Urbane  
Plattform (OUP), Beuth-Verlag 2017.

**ESPRESSO-Consortium 2018:**  
Espresso, [http://espresso.espresso-project.eu/wp-content/uploads/2017/03/project\\_description\\_german.pdf](http://espresso.espresso-project.eu/wp-content/uploads/2017/03/project_description_german.pdf), letzter Zugriff 3/2018.

**Glasgow 2015:**  
<http://futurecity.glasgow.gov.uk>, letzter Zugriff 3/2018.

**HFT Stuttgart 2017:**  
I\_City: Intelligente Stadt, [https://www.hft-stuttgart.de/Forschung/i\\_city/Projekt/index.html/de](https://www.hft-stuttgart.de/Forschung/i_city/Projekt/index.html/de), letzter Zugriff 03/2018.

**HFT Stuttgart 2018:**  
ENsource, <http://www.ensource.de/index.php/de/Forschung>, letzter Zugriff 03/2018.

**Liang, S.H.L., Huang, C.-Y. and Khalafbeigi, T. 2016:**  
OGC SensorThings API Part I: Sensing, <http://docs.openeospatial.org/is/15-078r6/15-078r6.html>, letzter Zugriff 3/2018.

**Manville, C. 2014:**

Mapping Smart Cities in the EU. European Parliament, Directorate-General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, S. 79, Jan 2014, 200.  
[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE\\_ET\(2014\)507480\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf), letzter Zugriff 3/2018.

**OGC. 2014:**

Sensor Observation Service.  
<http://www.openeospatial.org/standards/sos>, letzter Zugriff 3/2018.

**Portmann, E., Finger, M. und Engesser, H. 2017:**

Smart Cities Editorial, Informatik Spektrum Bd. 40, Heft 1, Feb 2017, Seite 1-5, DOI 10.1007/s00287-016-1000-7.

**Santhanavanich, T. 2018:**

Visualization and Analysis of E-bike usage in 3D City Model by Integration of Heterogeneous Sensor Data. Hochschule fuer Technik Stuttgart. <http://www.coors-online.de/lehre/abschlussarbeiten/master-arbeit-joe-thunya-thep-santhanavanich/>, letzter Zugriff 03/2018.