

Ohne smarte Geodaten keine smarten Städte

Volker Coors

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird auf die Bedeutung von Geodaten für die Entwicklung von smarten Städten eingegangen. Durch die Analyse und Verknüpfung von raumbezogenen Sensor-datenströmen und deren Vernetzung in einem gemeinsamen urbanen Informationsmodell entstehen smarte Geodaten. Sie bilden eine notwendige Voraussetzung für die Stadt der Zukunft, deren Infrastruktur mit informations- und kommunikationstechnischen Komponenten vernetzt ist. Anhand der Projekte Plusenergiegemeinde Wüstenrot und SimStadt soll diese Entwicklung beispielhaft dargestellt werden.

Summary

This paper discusses the importance of spatial data for the development of Smart Cities. Analysing of geospatial sensor data streams and integrating them into a common urban model information leads to smart geospatial data. It constitutes a necessary condition for the city of the future, whose infrastructure is linked with information and communication-related components. Based on the projects Plus Energy Community Wüstenrot and SimStadt this development is to be exemplified.

Schlüsselwörter: Smart Cities, 3D-Stadtmodelle, urbanes Informationsmodell

1 Einleitung

Gemäß einer Studie der Organisation wirtschaftlicher Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und der Europäischen Kommission (EC) leben 60 % der europäischen Bevölkerung in Stadtzentren und deren Einzugsgebieten (Dijkstra und Poelman 2012). Ein Stadtzentrum ist dabei definiert als Cluster von ein Quadratkilometer großen Zellen mit einer Einwohnerzahl von mindestens 1.500 pro Zelle und einer Mindestgröße des Clusters von 50.000 Einwohnern. Danach gibt es in der EU 806 Stadtzentren. Deutschland ist mit 125 Stadtzentren das Land mit den meisten Stadtzentren in Europa. Auch der Anteil der städtischen Bevölkerung ist in Deutschland überdurchschnittlich hoch: 35 % der Bevölkerung leben in Stadtzentren, weitere 40 % in deren Einzugsgebieten. Es wird davon ausgegangen, dass sich in Zukunft der Anteil der städtischen Bevölkerung noch erhöhen wird. Ein hoher Anteil der Bevölkerung in den Einzugsgebieten pendelt täglich in das Stadtzentrum und benötigt hierzu eine gute Verkehrsinfrastruktur. Gleichzeitig soll die Lebensqualität in der Stadt hoch sein und die Versorgung zuverlässig, ressourcenschonend und umweltverträglich sichergestellt werden. Um dies vor dem Hintergrund begrenzter ökonomischer und ökologischer Ressourcen, Klimawandel, alternder Bevölkerung und wirtschaftlicher Veränderung

durch die zunehmende Digitalisierung der Industrie auch in Zukunft sicherzustellen, sollen die Städte smart werden. Das Smart Cities Vocabulary der British Standards Institution definiert *Smart Cities* als »... the effective integration of physical, digital and human systems in the built environment to deliver a sustainable, prosperous and inclusive future for its citizens.« (BSI 2014). Der ISO-Standard 37120:2014 legt Indikatoren in 17 Themenfeldern wie Bildung, Energie, Gesundheit, wirtschaftliche Entwicklung u. v. a. fest, um die nachhaltige Entwicklung von Städten zu messen (ISO 2014). Dieser »Intelligenztest für Städte« definiert damit indirekt auch, was smarte Städte ausmacht. Sindram und Kolbe (2014) schlagen eine Modellierung von Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele auf Basis von 3D-Stadtmodellen vor.

Die gesellschaftliche Bedeutung wird auch dadurch deutlich, dass das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Jahr 2015 zum Wissenschaftsjahr Zukunftsstadt (Wissenschaftsjahr 2015) gemacht hat und mit der nationalen Plattform Zukunftsstadt (Zukunftsstadt 2015) den Diskurs zur nachhaltigen Entwicklung von Städten fördert. Die neue Hightech Strategie Deutschland (Hightech-Strategie 2015) leistet mit dem Thema energieeffiziente Stadt einen Beitrag zur Umsetzung des Projekts Zukunftsstadt. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat in der Morgenstadt-Initiative (Wendt 2014) die Forschungsfelder Urbane Prozesse, Energie, Gebäude, Produktion und Logistik, Mobilität und Verkehr und Information und Kommunikation als wesentliche Elemente von smarten Städten identifiziert. In China verspricht man sich von der Entwicklung von smarten Städten nicht weniger als »the first industrial revolution coming from China« (Pan Yunhe 2014).

Auch auf europäischer Ebene gibt es zahlreiche Initiativen zu smarten Städten. Im Projekt i-SCOPE (2015) werden internetbasierte Dienste für smarte Städte in den Bereichen Mobilität im Alter, Energiebedarf und Lärmbelastung entwickelt. Ebenfalls mit Web-Diensten zur Energieeffizienz europäischer Städte befasst sich das Projekt »Smart Urban Services for Higher eNergy Efficiency« (SUNSHINE 2015). GeoSmartCities (2015) betrachtet zusätzlich Dienste für Versorgungsnetze und beziehen den Bürger durch »Citizen as Sensor«-Ansätze mit ein. Das Projekt Urban-API (2015) fokussiert auf Web-Dienste für Stadtplanung und Bürgerbeteiligung. Alle in den genannten Projekten entwickelten webbasierten Dienste nutzen Geodaten und 3D-Stadtmodelle als Grundlage.

In den folgenden Abschnitten soll der etwas diffuse Begriff der smarten Städte geschärft und die Konsequenzen, die sich daraus ergeben, dargestellt werden. Insbesondere die Notwendigkeit der Analyse raum- und zeitbezogener Daten wird anhand von Projektbeispielen verdeutlicht.

2 Die Stadt der Zukunft als cyber-physisches System

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, verbirgt sich hinter smarten Städten die Utopie der Integration von physikalischen und digitalen Systemen und des Menschen im System Stadt. Dieser Wandel hat sich im Automobilbereich bereits vollzogen. Ein Automobil ist ein Verbund softwaretechnischer Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen, die durch ein Kommunikationsnetzwerk verbunden sind. Sensoren erfassen permanent die Umgebung, die Software ist in der Lage, das Auto auf der Autobahn inklusive Überholmanöver und in einigen Jahren wohl auch im Stadtverkehr autonom und sicher zu steuern. Dies erfolgt durch einen Regelkreis bestehend aus permanenter Datenerhebung über Sensoren, Analysieren der Messdaten und Steuern über Aktoren. Der Fahrer gibt im Navigationssystem das Ziel der Reise an und muss im Notfall eingreifen können. Ein solches System wird allgemein als cyber-physisches System (Berger und Rumpe 2014) bezeichnet. Kommunizieren die Fahrzeuge untereinander, um z.B. Stauinformationen weiterzugeben, entsteht ein System von cyber-physischen Systemen, das wiederum ein cyber-physisches System ist.

Auch smarte Städte kann man sich als System von cyber-physischen Systemen vorstellen. Im Kleinen ist dies bei modernen Heizungsanlagen im Gebäude, bei Ampelanlagen zur Verkehrssteuerung und in anderen Bereichen bereits umgesetzt. Zur optimalen Energieversorgung werden die Gebäude vernetzt und geben Informationen weiter, im Strombereich beispielsweise zur Steuerung eines Smart Grid. Aus der Optimierungstheorie ist allerdings bekannt, dass die lokale Optimierung eines Systems nicht notwendigerweise zu einem globalen Optimum führt. Die Vernetzung dieser bestehenden cyber-physischen Systeme untereinander wird notwendig, um Ressourcen optimal zu nutzen und die Lebensqualität in Städten sicherzustellen. Bartels et al. (2014) haben beispielsweise zur Untersuchung von Kaskadeneffekten beim Ausfall von Infrastrukturen verschiedene fachspezifische Daten integriert und vernetzt betrachtet. Dies führt zu großen, verteilten und leider auch extrem komplexen Systemen, die sich dynamisch an die jeweiligen Gegebenheiten anpassen müssen.

3 Smarte Geodaten

In einer datenzentrischen Sicht ergibt sich aus der Sichtweise der Stadt als cyber-physisches System als Konsequenz zunächst ein permanentes Monitoring durch Sensoren, die in der Regel raumbezogene Daten erfassen. Die erfassten Datenströme müssen analysiert und nach relevanten Informationen gefiltert werden. In diesem Zusammenhang ist Information nach der Informationstheorie nach Shannon (1948) zu verstehen. Der Informationsgehalt einer Nachricht ist deren Entropie. Vereinfacht ge-

sagt ist der Informationsgehalt von Messdaten, die genau den Erwartungen entsprechen, also auch prognostiziert werden können, nahezu null. Je geringer die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Messdatums, desto höher dessen Informationsgehalt.

Ein prominentes Beispiel ist die Verkehrsüberwachung in London durch ein dichtes Netz von Videokameras, mit denen anhand des Nummernschilds fahrzeuggenau Verkehrsströme analysiert werden können. Im Projekt EnviroCar (2015) werden über einen Crowd-Sourcing-Ansatz Fahrzeugdaten wie Geschwindigkeit und Lufttemperatur aufgezeichnet und auf einen Server hochgeladen. Auf diesem Server werden anhand der gesammelten Fahrzeugdaten Verkehrsfluss und Luftbelastung ausgewertet.

Die durch das Internet vernetzen Sensoren und Geräte erfassen und tauschen permanent Daten aus. Nach einer Studie der deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech 2015) sind bereits 15 Milliarden Produkte weltweit mit dem Internet verbunden. Die Nutzung dieser Daten wird unter dem Stichwort »Big Data« als Rohstoff des 21. Jahrhunderts gehandelt. Die Studie nennt das Ergebnis der Analyse und Verknüpfung dieser Daten »Smart Data«: »... Big Data wird analysiert, interpretiert, verknüpft und ergänzt und auf diese Weise zu Smart Data veredelt.« In Anlehnung daran entstehen »Smarte Geodaten« durch die Analyse und Verknüpfung dieser Daten, wenn der Raumbezug mit betrachtet wird. Diese smarten Geodaten bilden die Grundlage für internetbasierte Dienste, wie sie in den o.g. Projekten entwickelt werden.

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, S. 79). Die Stadt Glasgow wurde auf dem Geospatial World Forum 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 verschiedenen 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. Hier ist die INSPIRE Direktive zum Aufbau einer europäischen Geodateninfrastruktur mit entsprechenden fachspezifischen Datenmodellen eine wichtige Grundlage. Verschiedene Themen aus INSPIRE wie das Gebäudemodell in Annex 3, mit dem sich die Gebäudegeometrie sowohl zwei- als auch dreidimensional abbilden lässt, bilden eine gute Grundlage für ein solches urbanes Informationsmodell. Alternative und teilweise

überlappende Ansätze sind mit dem »Smart Cities Spatial Information Framework« des OpenGeoSpatial Consortiums (Parcival 2014) und mit herstellerspezifischen Modellen wie dem von ESRI neu entwickelten 3D City Information Model (3DCIM 2015) vorhanden.

4 Projekt EnViSaGe: Plusenergiegemeinde Wüstenrot

Anhand eines Beispiels der Gemeinde Wüstenrot soll die Nutzung von Geodaten, insbesondere eines 3D-Stadtmodells in einem solchen cyber-physikalischen System

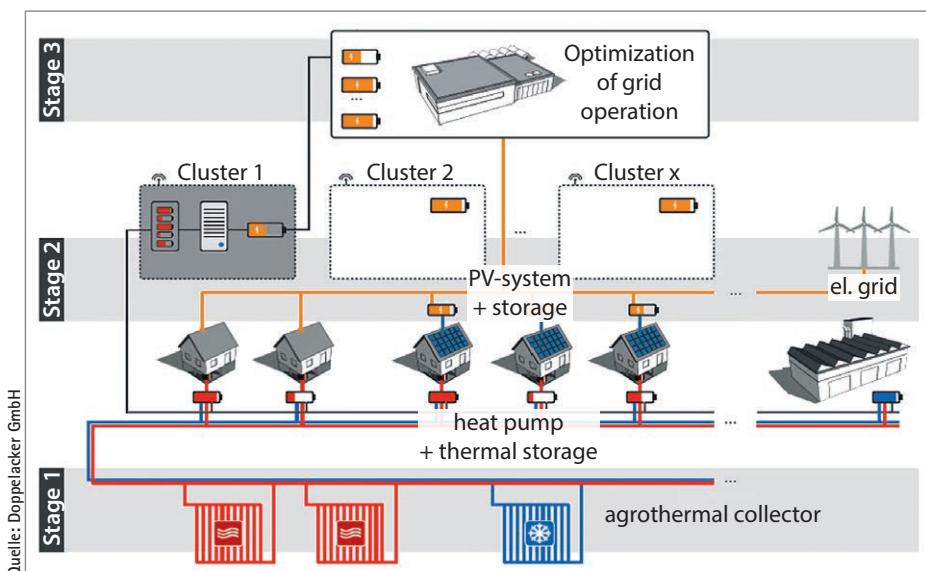


Abb. 1: Vernetzung von Kaltnahwärmenetz und Stromnetz mit dezentralem Speicher in der Plusenergiesiedlung »Vordere Viehweide«/Wüstenrot

eingegangen werden. Im Projekt EnViSaGe werden Maßnahmen entwickelt und umgesetzt, die die Gemeinde Wüstenrot auf dem Weg zu einer Plusenergiegemeinde unterstützen. Ziel einer Plusenergiegemeinde ist ein bilanzieller Überschuss an Strom- und Wärme, d. h. die lokale dezentrale Strom- und Heizwärmeerzeugung ist in der Jahresbilanz höher als der entsprechende Bedarf. Ein erster konkreter Schritt zum Plusenergiestatus ist in der Neubausiedlung »Vordere Viehweide« modellhaft umgesetzt. Hier werden Photovoltaik (PV)-Anlagen mit dezentralen Wärmepumpen und Wärmespeichern sowie Batterien zur Stromspeicherung kombiniert (siehe Abb. 1). Ein intelligentes Lastmanagement ermöglicht neben der Optimierung der Eigennutzung des PV-Stroms auch ein übergeordnetes stromnetzbasiertes Lastmanagement über ein virtuelles Kraftwerk. Als besondere Innovation wird die Plusenergiesiedlung über ein kaltes Nahwärmenetz (Kalt-nahwärmenetz) versorgt. Kalte Nahwärmenetze nutzen in der Regel oberflächennahe geothermische Wärme als Niedertemperatur-Wärmequelle. In Wüstenrot wird das kalte Nahwärmenetz über Agrothermiekollektoren und Abwärme aus einem benachbarten Supermarkt mit Niedertemperaturwärme für die dezentralen Wärmepumpen

gespeist (EnViSaGe 2015). Dieses Kontrollsysteem wird in einer interdisziplinären Zusammenarbeit der ads-tec GmbH, der Vattenfall Wärme AG, der Doppelacker GmbH, der HFT Stuttgart und des ZSW entwickelt.

Für Lastmanagement und Netzsteuerung wird u. a. eine dynamische Gebäudesimulation entwickelt, die den Heizwärme- und Strombedarf eines Gebäudes auf Basis eines 3D-Gebäudemodells mit hoher zeitlicher Auflösung für die nächsten 24 Stunden prognostiziert. Hierzu wird ein Simulationsmodell für die Simulationsumgebung INSEL (2015) erstellt, das Gebäudegeometrie, Wetterprognose und Nutzerverhalten berücksichtigt. Die Gebäudegeometrie ist insbesondere zur Prognose des Heizwärmebedarfs und der Stromerzeugung durch die PV-Anlage relevant. Weiterhin ist die Umgebung des Gebäudes von Interesse, da es durch Schattenwurf auf PV-Anlagen zu einer Reduktion des Stromertrags kommt und die thermischen Gewinne auf Dach-, Wand- und Fensterflächen durch solare Strahlung bei Verschattung deutlich geringer ausfallen. Für die Analyse wird zwischen Verschattung durch Nachbargebäude und durch Vegetationsobjekte unterschieden. Die Modellierung sowohl der Gebäudegeometrie als auch der Vegetation erfolgt in CityGML (Hieber 2015). Derzeit wird das dynamische Simulationsmodell in INSEL für ein Gebäude manuell angepasst. Ziel ist es, dieses gebäudespezifische Simulationsmodell automatisiert aus dem CityGML-Modell abzuleiten.

Allerdings sind notwendige Elemente, beispielsweise die Modellierung unterschiedlicher thermischer Zonen innerhalb des Gebäudes und Attribute zur Beschreibung energetischer Eigenschaften der Gebäudehülle in CityGML nicht vorhanden. CityGML sieht über generische Attribute und die sog. Application Domain Extension (ADE) jedoch die Möglichkeit der anwendungsspezifischen Erweiterung vor. Mit der CityGML Energy ADE wird eine Erweiterung zur Integration energetisch relevanter Gebäudedaten entwickelt (Energy ADE 2015).

Gekoppelt wird die Simulation mit einem Smart-Meter-System, das den aktuellen Energieverbrauch erfasst. Das prognostizierte Lastprofil wird genutzt, um das Laden und Entladen der Batterie und den Betrieb der Wärmepumpen mit Warmwasserspeicher zu optimieren. Ziel dieser Optimierung ist es, primär den Eigenenergiebedarf des Gebäudes zu decken und die Einspeisung von Stromspitzen in das Stromnetz zu minimieren. Gleichzeitig können die Stromspeicher in den Gebäuden im Bedarfsfall durch das Smart Grid aufgeladen werden, auch um Überkapazitäten im Netz ausgleichen zu können.

Neben der dynamischen Simulation von Einzelgebäuden als Verbraucher und Einspeiseknoten in ein Stromnetz

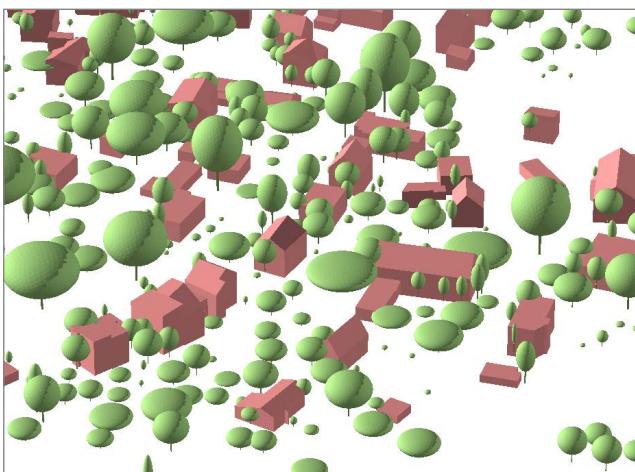


Abb. 2: 3D-Gebäudemodell und Vegetationsmodell als Verschattungsobjekte. Datenquelle: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (3D-Gebäudemodell LoD2, Stufe 2 und DOM), 3D-Vegetationsmodell eigene Auswertung auf Basis der Klassifizierung von RLP AgroScience GmbH.

ist auch eine Übersicht über den Jahresenergiebedarf der Gebäude von Interesse. Hier ist jedoch keine tagesgenaue Prognose notwendig, es genügt eine monatsweise Abschätzung. Hierzu kommt ein Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599 zum Einsatz, das auf Basis eines 3D-Gebäudemodells in CityGML LoD2 den Heizwärmebedarf pro Gebäude bilanziert. Als Erweiterung des Monatsbilanzverfahrens wird zusätzlich die Verschattung durch Nachbargebäude und Vegetation berücksichtigt (Abb. 2).

Nun ist die Gemeinde Wüstenrot keine Stadt im Sinne der o.g. Definition der OECD und der EC. Insofern ist das vorgestellte Projekt nur als erster Schritt in Richtung smarter Städte zu verstehen. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist aber vergleichbar. Eine wesentliche Herausforderung besteht in der Skalierung der eingesetzten Algorithmen und Simulationsverfahren. Im Projekt SimStadt (2015) wird ein skalierbarer Workflow für die energetische Simulation auf Basis von 3D-Stadtmodellen entwickelt. Dabei liegt der Schwerpunkt in der Integra-

tion bestehender Gebäudesimulationssysteme und der Aufbereitung von 3D-Stadtmodellen, damit diese für die Gebäudesimulation genutzt werden können. Derzeit werden PV-Potenzial, Wärmebedarf nach Monatsbilanzverfahren und Simulation von Fernwärmennetzen unterstützt. Als Simulationssysteme sind INSEL und StaNet (2015) zur Netzberechnung integrierbar. Die Datenhaltung erfolgt in dem 3D-Geodatenserver novaFACTORY (2015). Abb. 3 zeigt das Ergebnis einer Wärmebedarfssimulation als Grundlage für die Erstellung eines Klimaschutzkonzepts für den Landkreis Ludwigsburg. Insgesamt wurden hierzu in einem automatisierten Prozess 34 Gemeinden mit über 100.000 Gebäuden hinsichtlich Wärmebedarf und PV-Potenzial betrachtet. Zusätzlich können verschiedene Modernisierungsszenarien simuliert werden, um die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen abzuschätzen.

5 Fazit und Ausblick

Ohne Sensordaten wird eine Stadt nicht »smart«. Sensordaten sind per se raumbezogene Daten mit einer hohen zeitlichen Auflösung. In vielen Fällen ist der Raumbezug auch relevant, es spielt für die Analyse der Daten i. d. R. eine Rolle, wo diese erhoben wurden. Durch die Analyse und Verknüpfung dieser raumbezogenen Datenströme und deren Vernetzung in einem gemeinsamen urbanen Informationsmodell entstehen smarte Geodaten. Sie bilden eine notwendige Voraussetzung für die Stadt als cyber-physisches System. Ohne diese Datengrundlagen können keine smarten Städte entstehen. Die Geoinformatik hat eine lange Tradition in der Analyse und Integration raumbezogener Daten und damit beste Voraussetzungen, die Städte in Zukunft mit smarten Geodaten zu versorgen.

Die dargestellten Projekte konzentrieren sich auf die dezentrale Energieversorgung und zeigen die Möglichkeiten von smarten Städten zunächst in kleinen Bereichen. Bereits hier lässt sich die Komplexität erahnen, die entsteht, wenn man die Konzepte auf große Gebiete und



Abb. 3:
Wärmebedarfsberechnung auf Basis eines 3D-Stadtmodells für das Klimaschutzkonzept Landkreis Ludwigsburg, hier Gemeinde Aldingen (Modellrechnung). Datenquelle: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (3D-Gebäudemodell LoD2, Stufe 2) und Nexiga GmbH (Baualtersklasse)

vernetzt mit anderen Fachdisziplinen wie Mobilität anwendet. Beispiele hierzu finden sich im Leitfaden 3D-GIS und Energie (Willkomm et al. 2015). Eine Herausforderung für die Zukunft ist es, Softwaresysteme so zu gestalten, dass diese Komplexität von Menschen beherrschbar bleibt. Im europäischen Marie-Curie Graduiertenkolleg CINERGY werden hierzu in einem interdisziplinären Team neue Methoden für die Co-Simulation und Optimierung der Energieversorgung von Stadtquartieren auf Basis einer service-orientierten Architektur (Simulation as a Service) erforscht. Die entwickelten Methoden sollen in den Städten Genf und Wien evaluiert werden. Die Firma Siemens unterstützt die Erprobung des Konzepts »von Big Data zu Smart Data« im Stadtentwicklungsprojekt Seestadt Aspern am nordöstlichen Stadtrand von Wien (Aspern 2015).

Die Achillesverse der zunehmenden Vernetzung ist offensichtlich das Netz selber bzw. der nicht autorisierte Zugriff auf technische Anlagen über das Netz. Aus gesellschaftlicher Sicht ist auch zu diskutieren, wer in welchem Umfang Zugriff auf die Daten hat – insbesondere auf die smarten Daten. Damit wird letztendlich auch die Frage danach beantwortet, wer »das Sagen in Smart Cities« (Klotz 2014) hat.

Dank

Die Projekte EnViSaGe und SimStadt werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Programm EnEff:Stadt/EnEff:Wärme bzw. im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung gefördert. Das Projekt »Integriertes Klimaschutzkonzept Landkreis Ludwigsburg« wird im Auftrag des Landkreises Ludwigsburg von einem Konsortium unter der Leitung von Drees & Sommer durchgeführt. Das Marie-Curie Graduiertenkolleg »CINERGY – Smart Cities with Sustainable Energy Systems« wird im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7-PEOPLE-2013-ITN) der Europäischen Union gefördert. Besonderer Dank gilt Frau Prof. Eicker und ihrem Forschungsteam am Zentrum nachhaltige Energietechnik (zafh.net) an der HFT Stuttgart für die hervorragende Zusammenarbeit.

Literatur

- 3DCIM (2015): <http://desktop.arcgis.com/en/3d/3d-cities>, letzter Zugriff 6/2015.
- acatech (2015): acatech Arbeitskreis Smart Service Welt (Hrsg.): Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Abschlussbericht, Berlin, März 2015. www.acatech.de/smart-service-welt, letzter Zugriff 5/2015.
- Aspern (2015): www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/digitalisierung-und-software/von-big-data-zu-smart-data-aspern-stadtentwicklungsprojekt.html, letzter Zugriff 5/2015.
- Bartels, M., Becker, T., Hahne, M., Hempel, L., Kolbe, T., Lieb, R. (2014): Simulation von Kaskadeneffekten beim Ausfall von Infrastrukturen. *zfv* 4/2014, 139. Jahrgang, S. 217–223, 2014.
- Berger, C., Rumpe, B.: Autonomous Driving – 5 Years after the Urban Challenge: The Anticipatory Vehicle as a Cyber-Physical System. arXiv preprint arXiv:1409.0413, Sep. 1, 2014. <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1409/1409.0413.pdf>, letzter Zugriff 5/2015.
- BSI (2014): Smart Cities Vocabulary. PAS 180:2014, The British Standards Institution, ISBN 978-0-580-81874, 2014.
- Dijkstra, L., Poelman, H. (2012): Cities in Europe. The new OECD-EC Definition, RF 01/2012. http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/focus/2012_01_city.pdf, letzter Zugriff 6/2015.
- Energie ADE (2015): <http://en.wiki.energy.sig3d.org>, Version 0.5, letzter Zugriff 5/2015.
- EnviroCar (2015): www.envirocar.org, letzter Zugriff 6/2015.
- EnViSaGe (2015): www.envisage-wuestenrot.de/projekt-envisage/ziele/kaltes-nahwaermenetz, letzter Zugriff 6/2015.
- GeoSmartCities (2015): www.geosmarcity.eu, letzter Zugriff 6/2015.
- Glasgow (2015): <http://futurecity.glasgow.gov.uk>, letzter Zugriff 6/2015.
- Hieber, M. (2015): Evaluation der Verschattung durch Vegetation bei der Wärmebedarfssimulation am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot. Master-Thesis Vermessung, HFT Stuttgart (Gutachter: V. Coors und M. Trapp, RLP AgroScience GmbH), WS 2014/15.
- Hightech-Strategie (2015): www.hightech-strategie.de, letzter Zugriff 6/2015.
- INSEL (2015): www.doppelintegral.eu, letzter Zugriff 6/2015.
- i-SCOPE (2015): www.iscopeproject.net, letzter Zugriff 6/2015.
- ISO (2014): ISO-Standard 37120:2014: Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life. 2014.
- Klotz, K. (2014): Wem gehört die Smart City? Urban 2.0 – Nachhaltige Städte & Infrastruktur, 3/2014, publich industry verlag, S. 12–15, Sep. 2014. www.aud24.net/media/urban20/u20-2014-09/u20-2014-09.pdf, letzter Zugriff 6/2015.
- Manville, C. (2014): Mapping Smart Cities in the EU. European Parliament, Directorate-General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, Jan 2014, 200 p. www.rand.org/pubs/external_publications/EP50486.html, letzter Zugriff 6/2015.
- novaFACTORY (2015): www.moss.de/deutsch/produkte/novafactory, letzter Zugriff 6/2015.
- Pan Yunhe (2014): Vortrag Third Sino-German iCity Workshop in Wuhan/China, 29.–31.10.2014. www.acatech.de/de/aktuelles-presse/presseinformationen-news/news-detail/artikel/icity-dritter-chinesisch-deutscher-workshop/print.html?type=98&tHash=d48034ab7198cccd45a31b7790b4a9914, letzter Zugriff 5/2015.
- Parcival, G. (2014): OGC Smart Cities Spatial Information Framework, OGC document 14-115, 2014. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=61188, letzter Zugriff 6/2015.
- Shannon, C.: A mathematical theory of communication. *Bell System Tech. J.*, 27:379–423, 623–656, 1948.
- SimStadt (2015): www.simstadt.eu, letzter Zugriff 6/2015.
- Sindram, M., Kolbe, T. (2014): Semantische Modellierung von Maßnahmen als Transaktionen auf den Entitäten virtueller 3D-Stadtmodelle. Gemeinsame Tagung 2014 der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GiN (DGPF Tagungsband 23/2014).
- StaNet (2015): www.stafu.de, letzter Zugriff 6/2015.
- SUNSHINE (2015): www.sunshineproject.eu, letzter Zugriff 6/2015.
- Urban-API (2015): www.urbanapi.eu, letzter Zugriff 6/2015.
- Wendt, W. (2014): Erkenntnisse aus der »Morgenstadt« – Smart Cities und IKT. Planerin 3/2014, Vereinigung für Stadt-, Regional- und Landesplanung, S. 12–14, 2014. [Morgenstadt online]: www.morgenstadt.de, letzter Zugriff 6/2015.
- Willkomm, P., Kaden, R., Coors, V., Kolbe, T. (2015) (Hrsg.): Leitfaden 3D-GIS und Energie. Runder Tisch GIS e. V. ISBN 978-3-00-049310-2. www.rundertischgis.de/leitfaden-3d, letzter Zugriff 6/2015.
- Wissenschaftsjahr (2015): www.wissenschaftsjahr-zukunftsstadt.de, letzter Zugriff 6/2015.
- Zukunftsstadt (2015): www.nationale-plattform-zukunftsstadt.de, letzter Zugriff 6/2015.

Anschrift des Autors

Prof. Dr. Volker Coors
Hochschule für Technik Stuttgart
Fakultät Vermessung, Informatik und Mathematik
Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
volker.coors@hft-stuttgart.de