



Cognitive Computing in Smart Cities

Sara D'Onofrio · Edy Portmann

Einleitung

Der Alltag der Bürger einer Stadt kann effizienter gestaltet werden, indem aus den riesigen Datenmengen gezielt jene Informationen herausgefiltert werden, die – situations- und interessenbezogen – tatsächlich relevant sind. Dies führt beispielsweise dazu, dass die Suche nach einem passenden Restaurant einfacher und schneller abläuft, wenn das Informationssystem bereits die eigenen Präferenzen gespeichert hat und somit weiß, wonach es suchen muss (vgl. [32]). Indem die Effizienz und der Nutzen solcher Systeme steigen, wird auch die *User Experience* jedes Einzelnen optimiert. Dieser Begriff kann als die (positive od. negative) Erfahrung, welche der Nutzer mit dem Produkt/System macht, verstanden werden. Essenziell sind hierbei sowohl die emotionale Wertigkeit der Nutzererfahrung als auch der wahrgenommene Nutzen des Systems, um eine positive Adaptierung neuer Technologien zu erlangen [45].

Jedoch sind klassische Computersysteme immer weniger in der Lage, derartig große Datenmengen zu verarbeiten und können somit der erwarteten Nutzererfahrung nicht gerecht werden. Um das urbane Leben auch weiterhin zu verbessern, ist es daher besonders für Städte wichtig, sich dem technologischen Fortschritt folgend weiterzuentwickeln und die bestehenden Computersysteme durch intelligenteren zu erweitern und zu ersetzen. Die Herausforderung besteht also darin, große Mengen an Daten zu sammeln, zu analysieren und daraus die relevanten Informationen zu filtern. Diese Informationen werden dann für Applikationen verwendet, die dazu beitragen können, die alltäglichen Prozesse in einer Stadt effizienter zu gestalten. Dabei ist es wichtig, die Bedürfnisse der Interessengruppen (z. B.

Bewohner, Firmen und Vereine) einer Stadt miteinzubeziehen. Eine Information ist erst relevant, wenn sie für den Bürger Nutzen stiftet. Deshalb müssen die Interessengruppen bei der Entwicklung eines neuen Systems im Zentrum stehen, damit von Anfang an möglichst alle Bedürfnisse miteinbezogen werden können.

Die schnelllebige Entwicklung innerhalb einer Stadt fordert, dass ein System sich den Bedürfnissen der Bürger jederzeit situativ anpassen und aus den gesammelten Daten und unvorhergesehenen Änderungen innerhalb einer Stadt lernen und sich weiterentwickeln kann [25]. Mit anderen Worten soll eine Stadt zu einer *Responsive City* (vgl. [10]) werden: Eine Stadt, die einen direkten Dialog mit den Bürgern bei der Planung und Verwaltung gegenwärtiger und zukünftiger Entscheidungen pflegt, die Einbringung der Interessengruppen zulässt und somit gemeinsame Lösungen anstrebt [21].

Es gibt bereits Städte (vgl. [17]), die sich der Herausforderung stellen und mit neuen Technologien versuchen, die großen Mengen an Daten nicht nur zu bewältigen, sondern auch gezielt im Interesse der Bürger einzusetzen. Um diese Ziele zu erreichen, müssen Systeme in der Lage sein, nicht nur die Bedeutung von einzelnen Informationen zu erkennen, wie beispielsweise durch die Technologien des Semantischen Webs [4], sondern diese auch kognitiv miteinander zu verbinden (z. B. Analogien und Metaphern bilden), um – wie Menschen –

DOI 10.1007/s00287-016-1006-1
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Sara D'Onofrio · Edy Portmann
Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität Bern,
Engehaldenstrasse 8, 3012 Bern, Schweiz
E-Mail: {sara.donofrio, edy.portmann}@iwi.unibe.ch

Zusammenfassung

Cognitive Computing kennzeichnet eine neue Ära, welche ermöglicht, die Lebensqualität in Städten zu verbessern. Besonders in der Entscheidungsfindung sind Städte mit der Herausforderung konfrontiert, linguistische Informationen – die meist unpräzise sind – handzuhaben. Verschiedene Techniken von Cognitive Computing bieten eine Möglichkeit, smarte Systeme zu entwickeln und sich auf diese Weise der Herausforderung zu stellen. Dieser Artikel bietet einen Überblick über Smart Cities und Cognitive Computing und zeigt, wie sich Smart Cities mithilfe von Cognitive Computing in Richtung Cognitive Cities entwickeln können. Für ein besseres Verständnis werden bestehende Projekte von Smart Cities und Cognitive Computing präsentiert und anwendungsnahe Beispiele unterstützen die Theorie.

ein Verständnis der akquirierten Informationen zu erhalten [25].

Durch den Einsatz von *Cognitive Computing* sind Systeme in der Lage, in ähnlicher Art und Weise zu denken und zu handeln wie der Mensch. Sie können aus Erfahrungen lernen und – darauf basierend – ihr Vorgehen anpassen [1]. Es sollen also Systeme entwickelt werden, die durch die Orchestrierung von Simulationen naturalogischer Verfahren intelligentes Verhalten erzeugen [33] und somit auf Veränderungen in ihrer Umgebung reagieren können [12].

Um ein besseres Verständnis dieser ganzen Thematik zu erhalten, führt dieser Artikel im Abschn. „Smart Cities“ den Begriff *Smart Cities* und im Abschn. „Cognitive Computing“ den Begriff *Cognitive Computing* ein und bietet in den jeweiligen Abschnitten einen Überblick über eine Auswahl

von bestehenden *Smart-City*-Applikationen und *Cognitive-Computing*-Projekten. Zudem wird im Abschn. „Von Smart Cities zu Cognitive Cities“ erörtert, wie *Smart Cities* mithilfe von *Cognitive Computing* zu *Cognitive Cities* (d. h. eine Weiterentwicklung von *Smart Cities*) werden können. Zur einfacheren Lesbarkeit des Artikels wird die männliche Form verwendet, wobei die weibliche Form jedes Mal mitgemeint ist, ohne sie separat aufzuführen.

Smart Cities

Theoretische Grundlagen

Große Städte erzeugen neue Arten von Problemen (z. B. Schwierigkeiten bei der Abfallwirtschaft, Verkehrsstörungen und Luftverschmutzung). Solche Probleme werden durch eine Vielzahl unterschiedlicher Interessengruppen (z. B. Bürger, Unternehmen und Verwaltung) verursacht, was ein hohes Maß an gegenseitiger Abhängigkeit, konkurrierenden Zielen und Werten sowie sozialer und politischer Komplexität nach sich zieht [8]. Um Lösungen für diese Herausforderungen zu finden, ist es von hoher Wichtigkeit, dass sich Städte darauf vorbereiten und durch den Gebrauch der fortgeschrittenen Technologien smarter werden beziehungsweise sich zu einer *Smart City* entwickeln.

Obwohl der Begriff *Smart City* häufig gebraucht wird, gibt es immer noch kein eindeutiges Verständnis des Konzepts unter den Praktikern und Wissenschaftlern [8]. Als ein erster Überblick sind in der Abb. 1 mögliche (aber nicht abschließende) Eigenschaften einer *Smart City* illustriert [48].

Unter all den abgebildeten Begriffen werden Konzepte verstanden, welche die Vernetzung von Bürgern und modernen Technologien zulassen [48]. Damit eine solche Vernetzung möglich ist und aus einer Stadt eine *Smart City* werden kann, müssen sowohl eine gut funktionierende Kommunikationsinfrastruktur als auch Informations-

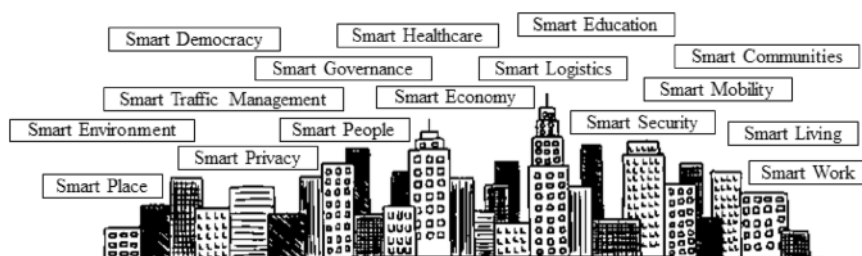


Abb. 1 Eigenschaften einer Smart City

Abstract

Cognitive computing represents a new era that allows improving the quality of life in cities. Especially in decision-making, cities are faced with the challenge of handling linguistic information that are usually imprecise. Various techniques of cognitive computing offer a possibility to develop smart systems in order to confront the challenge. This article provides an overview of smart cities and cognitive computing. Furthermore, it shows how smart cities can evolve into cognitive cities with the help of cognitive computing. For a better comprehension, the article presents current projects of smart cities and of cognitive computing. Further examples support the theory.

und Kommunikationstechnologien vorhanden sein. Hierbei sind Applikationen in verschiedenen Bereichen wie Gesundheitswesen, Mobilität und Logistik, politische Partizipation, Sicherheit und Lebensqualität und Umweltschutz denkbar. Werden diese Applikationen von Bürgern verwendet, fördert dies die Interaktion und das Teilen von Informationen innerhalb einer Stadt [48]. Die Stadt befindet sich also in einem ständigen Lern- und Verbesserungsprozess, zu welchem die Bürger mit ihrem Wissen und der Äußerung ihrer Bedürfnisse beitragen können.

Von einer technischen Perspektive aus kann die *Smartness* einer Stadt als Verständnis, Lernen und Selbsterkenntnis definiert werden. Das heißt, die Stadt ist fähig, die eigenen Prozesse zu verstehen, davon zu lernen und zu reflektieren. Es ist wichtig, dass die Stadt bereit ist, mit vielen Disziplinen (z. B. Architektur, Raumplanung, Informatik, Politik und Wirtschaft) zusammenzuarbeiten und diese auch in die Entwicklung der Stadt miteinzubeziehen. Durch die Verbindung von verschiedenen Interessengruppen einer Stadt über die modernen Technologien soll nämlich die Komplexität adressiert werden [48]. Dies gestattet neue Formen der Zusammenarbeit, wodurch eine kollektive Intelligenz [40] entstehen kann. Dies erlaubt das Aggregieren und Teilen von Erfahrungen innerhalb einer Stadt und die Bildung einer gemeinsamen Wissensbasis, welche zugleich ermöglicht, die *User Experience* der Interessengruppen zu verbessern.

Smarte Applikationen

Basierend auf einer Internetrecherche werden nachfolgend in den oben genannten Bereichen Beispiele von *smarten* Applikationen präsentiert, wobei diese keine abschließende Aufzählung darstellen, sondern nur als Auswahl für den jeweiligen Bereich zu verstehen sind.

Gesundheitswesen. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht smarterer Applikationen, die helfen, Prozesse zu op-

Smarte Applikationen im Bereich *Gesundheitswesen*

Quelle	Ansatz	Beschreibung
Bhunia et al. [5]	iHealth	Schema für Gesundheitspflege mit Warnungssystem; Fuzzy-Datensammlung für effizientere Überwachung des Gesundheitszustands eines Patienten.
Gay und Leijdekkers [20]	Health Monitoring System	Überwachung des Gesundheitszustands von Hochrisikopatienten durch drahtlose Sensoren; Analyse der EKG-Daten in Echtzeit; im Notfall automatische Organisation externer Hilfe.
Hussain et al. [26]	Health and Emergency-care Platform	Überwachung des Gesundheitszustandes von älteren/behinderten Menschen durch sensorisiertes Framework; im Notfall automatische Organisation externer Hilfe.
Lee und Chung [37]	Smart Shirt	Kontinuierliche und in Echtzeit durchgeführte Überwachung des Gesundheitszustands eines Menschen durch ein T-Shirt mit Sensoren.
Rantz et al. [49]	TigerPlace	Überwachung des Aktivitätslevels älterer Menschen anhand von Sensoren in einer Einrichtung.

Tabelle 1



Tabelle 2

Smarte Applikationen im Bereich *Mobilität und Logistik*

Quelle	Ansatz	Beschreibung
Czogalla [9]	Smartphone-based Indoor Navigation	Dynamische, nahtlose Mobilitätsplanung und Reiseführung via Smartphone an öffentlichen Orten.
Kaltenrieder et al. [32]	Personal Digital Assistant 2.0	Dynamische Kalenderführung und Terminplanung mithilfe eines digitalen persönlichen Assistenten.
Leccese et al. [36]	Smart City Application	Vollgesteuerte Straßenbeleuchtung basierend auf Raspberry-Pi-Karte, ZigBee-Sensornetz und WiMAX.
Lee et al. [38]	Smart City Roadmap	Integrierter Roadmap-Prozess für effiziente Einführung von Projekten in Städten.
Schmidt et al. [51]	Urbane Informations-/Service-plattform	Integration, Auswertung und in Echtzeit nutzbare Daten aus unterschiedlichen, ursprünglich isolierten städtischen Datenquellen.

timieren, die zur Förderung und Erhaltung der Gesundheit sowie zur Vorbeugung gegen und Behandlung von Krankheiten und Verletzungen beitragen.

Insbesondere im Bereich der Überwachung des Gesundheitszustands existieren verschiedene Innovationen, welche die Gesundheit und Lebensqualität von Patienten verbessern können.

Mobilität und Logistik. In Tab. 2 wurde eine Übersicht *smarter* Applikationen zusammengestellt, welche in unterschiedlichen Bereichen zur Prozessoptimierung der Verkehrssysteme beitragen können.

Tabelle 2 zeigt auf, dass durch *smarte* Applikationen verschiedenste Prozesse wie die Navigation in

öffentlichen Transferorten, die automatische Steuerung der Straßenbeleuchtung sowie die Integration von diversen städtischen Datenquellen erleichtert werden können. So können Verkehrssysteme optimiert und das soziale Zusammenleben gefördert werden.

Politische Partizipation. Tabelle 3 zeigt eine Auswahl *smarter* Applikationen, die dazu beitragen, die Beteiligung von Bürgern an politischen Willensbildungs- und Entscheidungsprozessen zu vereinfachen und zu steigern.

Wie in Tab. 3 ersichtlich ist, können solche *smarte* Applikationen unter anderem dazu beitra-



Tabelle 3

Smarte Applikationen im Bereich *Politische Partizipation*

Quelle	Ansatz	Beschreibung
Huwy [27]	Hub Website for Youth Participation	Durch die EU-Kommission gefördertes Pilotprojekt zur Partizipation junger Menschen im Themenfeld politisch-regulatorischer Gestaltung und Weiterentwicklung des Internets.
icitizen.com [30]	iCitizen	Überparteiliche App: Informationsseite über Abstimmungen, Kontaktmöglichkeit zu politischen Abgeordneten.
polco.us [47]	Polco	App als Kommunikationsmittel: Bürger können ihre Anliegen in die öffentliche Politik einbringen und somit den Gemeinden helfen, ihre Gesetzgebung den Bedürfnissen der Bürger anzupassen.
reach.gov.sg [50]	REACH-Singapore	Sammlung von Meinungen der Bürger sowie Miteinbezug dieser Informationen in die Entscheidungsfindung.
Terán et al. [56]	eParticipation	Verwendung eines Recommender-Systems für eParticipation.



Tabelle 4

Smarte Applikationen im Bereich <i>Sicherheit und Lebensqualität</i>		
Quelle	Ansatz	Beschreibung
Belbachir et al. [3]	Intelligente Kameras	Kamera-Applikation als Warnsystem (d. h. ein Warnsignal wird gesendet, sobald der Nutzer stürzt).
Dey et al. [11]	Smart City Überwachung	Optimierte Stadtüberwachung durch ein Multimedia-Überwachungssystem basierend auf Sensoren und Clouds.
Eriksson et al. [16]	The Pothole Patrol	Mitteilung von entdeckten Schlaglöchern mit Positionsdaten via App.
Filipponi et al. [18]	ARTEMIS JU SP3 SOFIA Projekt	Monitoring von öffentlichen Räumen durch Management und Kooperation verschiedener heterogener Sensoren.
King und Brown [34]	Fix my street	Mitteilung von Problemen in der Stadt (z. B. beschädigte Straßen und defekte Ampeln) via App.

gen, dass bestimmte Gruppen von Bürgern wie beispielsweise junge Menschen stärker in den politischen Entscheidungsfindungsprozess einbezogen werden, und auch dazu, die Stimmbeteiligung im Allgemeinen zu steigern.

Sicherheit und Lebensqualität. Tabelle 4 zeigt eine Auswahl *smarter* Applikationen, die danach streben, den Schutz und das Wohlbefinden der Bürger zu verbessern.

Die in Tab. 4 beschriebenen *smarten* Applikationen tragen alle dazu bei, die Sicherheit und Lebensqualität der Bürger zu steigern, beispielsweise durch Überwachungssysteme im öffentlichen Raum oder den Einbezug der Einwohner in die Aufwertung ihrer Gemeinden.

Umweltschutz. In Tab. 5 ist eine Übersicht *smarter* Applikationen aufgeführt, welche die Nachhaltigkeit und die Bewahrung von natürlichen Ressourcen steigern möchten.

Die in Tab. 5 behandelten *smarten* Applikationen tragen alle dazu bei, die Nachhaltigkeit von Städten zu steigern und natürliche Ressourcen zu schonen.

Cognitive Computing

Theoretische Grundlagen von Cognitive Computing

Der Auffangbegriff *Cognitive Computing* setzt sich, in unserem Verständnis, aus folgenden Forschungsfeldern, Konzepten und Modellen zusammen: *Soft Computing* und den kognitiven Ansätzen *Connec-*



Tabelle 5

Smarte Applikationen im Bereich <i>Umweltschutz</i>		
Quelle	Ansatz	Beschreibung
Ecovadis [14]	E-Task	Kollaborative Plattform für die Messung der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten.
IBM Research [28]	Smart Water – City of Dubuque	Pilotstudie in Dubuque für Reduktion des Wassergebrauchs und für Identifikation von Wassermangel.
ScottDesign [52]	ZonSpot	Durch Solarenergie betriebener WiFi-Internetzugang im öffentlichen Raum.
Sheehy und Dingle [53]	„Living Smart – for a sustainable community“	Innovatives, gemeinschaftsbasiertes und umweltbezogenes Lernprogramm für die Aneignung von Wissen über die Umwelt sowie die positive Änderung des Verhaltens gegenüber dieser Umwelt.
Siemens [55]	Synco Living – Home Automation Living	Regelung und Steuerung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (inkl. Licht und Jalousien) für die Reduktion von Heizenergie und CO ₂ -Ausstoß.

tivism, Computational Thinking und Intelligence Amplification Loop.

Soft Computing. Im Gegensatz zu traditionellen Berechnungsmethoden erlauben *Soft-Computing*-Techniken den Miteinbezug von Werten, die natürlichsprachig beschrieben sind. Dies erlaubt eine naturbasierende Präzision von ungenauen Informationen, die den Wahrnehmungen von Menschen gerecht wird [46].

Fuzzy-Set-Theorie [60] und *Fuzzy-Logik* [61] sind in der Lage, Unsicherheiten und Ungenauigkeiten in der natürlichen Sprache und in den Wahrnehmungen zu adressieren. Der Vorteil dieser Theorien liegt darin, dass eine Information – unabhängig davon, wie unpräzise sie ist – verschiedenen Kategorien angehört und somit trotz Ungenauigkeit berechnet werden kann.

Nehmen wir an, dass sich eine Stadt mit Umweltschutz beschäftigen will. Hierbei steht die Luftverschmutzung aufgrund des vielen Stadtverkehrs im Vordergrund. Basierend auf dem Wiener Luftgüteindex (vgl. [57]) sind sechs natürlichsprachig beschriebene Bewertungen möglich: sehr gut, gut, befriedigend, unbefriedigend, schlecht und sehr schlecht. Diese Bewertungen sind zwar semantisch verständlich, erlauben jedoch keine konkrete Zuordnung numerischer Werte.

Um den Zugehörigkeitsgrad einer „Luftqualitätsbewertung“ zu einem *Fuzzy Set* definieren zu können, wird eine Zugehörigkeitsfunktion benötigt [61]:

$$\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

Ein *Fuzzy-Set* \tilde{A} wird dadurch gekennzeichnet, dass eine Zugehörigkeit eines Elementes (in diesem Fall

die Bewertung) in X zu \tilde{A} durch eine reelle Zahl im Wertebereich $[0, 1]$ angegeben werden kann [60]. Im beschriebenen Fall kommen zum Beispiel drei *Fuzzy-Sets* infrage: *Fuzzy-Set A: risikofrei*, *Fuzzy-Set B: bedenklich* und *Fuzzy-Set C: risikoreich*. Werden nun Erhebungen über die Luftqualität gemacht, so kann die Luftqualität einer Stadt zu 0.4 zu *Fuzzy-Set A (risikofrei)* und zu 0.6 zu *Fuzzy Set B (bedenklich)* gehören. Aufgrund der Zugehörigkeitsfunktion und der dazugehörigen Zugehörigkeitsgrade kann eine Information möglichst genau und in verschiedenen Kategorien eingeordnet werden und dementsprechend gezielt für urbane Entscheidungen verwendet werden [12]. In diesem Beispiel könnte die Stadt Maßnahmen ergreifen, um die Luftqualität zu verbessern, da sie sich bereits mehrheitlich im *Fuzzy-Set B (bedenklich)* befindet.

Nebst der Zugehörigkeitsfunktion gibt es auch *Granular Computing*. Im Gegensatz zur *Fuzzy-Logik* werden hierbei die Informationen nach Ähnlichkeit, Nähe, Funktionalität oder nach anderen Kriterien kategorisiert. Dieses Konzept erlaubt, Informationen in verschiedenen Detaillierungsebenen einzuordnen und sie nach Informationsgehalt zu kategorisieren [63]. Für die menschliche Kognition ist diese Fähigkeit eine fundamentale Komponente: Die Konzeptualisierung der Realität in verschiedenen Granularitätsebenen hilft den Bürgern, die Komplexität der Realität in verständliche und vergleichbare Konzepte herunterzubrechen [23]. Abbildung 2 illustriert eine Anwendung von *Granular Computing* mit dem Thema Luftqualität.

In diesem Beispiel ist ersichtlich, dass der Begriff Luftqualität aus verschiedenen Themen wie Bewertung, Messnetze, Eigenschaften und Weiterem besteht. Wird auf die Bewertung eingegangen,

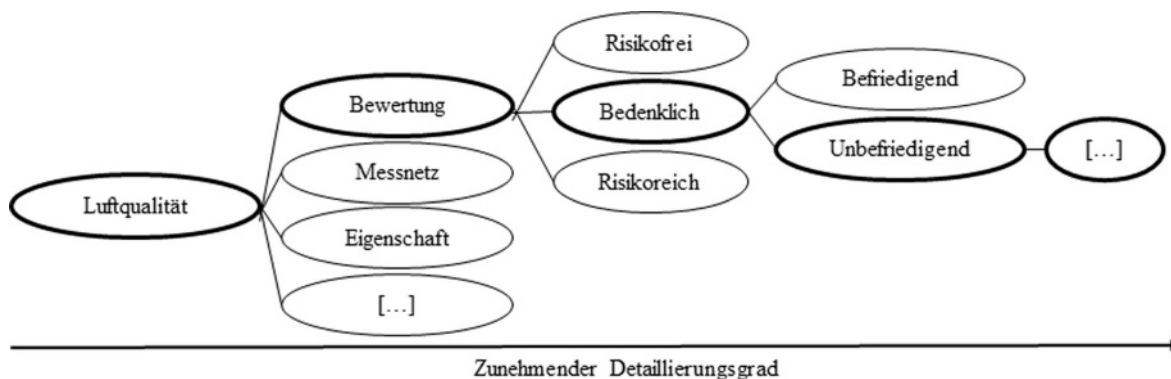


Abb. 2 Granular Computing

so kommen die drei vorhin definierten *Fuzzy-Sets* zum Zug. Beispielsweise kann das *Fuzzy-Set B: bedenklich* ausgewählt werden, wobei die zwei zugehörigen natürlichsprachlich beschriebenen Bewertungen zum Vorschein kommen. Dann können noch weitere Informationen über die Bewertung *unbefriedigend* generiert werden und je nachdem sogar noch Informationen über die Informationen erzeugt werden. Der Detaillierungsgrad hängt vom Informationsgehalt und von den jeweiligen Präferenzen ab. Im Allgemeinen könnte der Detaillierungsgrad bis ins Unendliche gehen. Wie im Beispiel ersichtlich, widersprechen sich *Fuzzy-Logik* und *Granular Computing* nicht. Obwohl beide Konzepte die Informationen auf andere Art und Weise kategorisieren, können sie sich ergänzen und zusammen die Komplexität der Informationen herunterbrechen.

Falls nun Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität eingeführt werden sollen, ist es wichtig, die natürlichsprachig geäußerten Argumente in die Entscheidungsfindung – welche sich generell auf linguistische Informationen stützt – miteinzubeziehen. Das heißt, nicht numerische Werte werden in erster Linie in die Entscheidung miteinbezogen, sondern die in natürlicher Sprache beschriebenen Argumente und Wahrnehmungen von Experten [46]. Umso wichtiger scheint es, eine Technik anzuwenden, die in der Lage ist, mit linguistischen Werten umzugehen.

Computing with Words [62] – eine Technik, bei welcher Worte anstatt Zahlen als Kalkulationsgegenstand verwendet werden – wird zur Lösung von linguistisch basierten Problemstellungen eingesetzt. Konkret beschäftigt sich *Computing with Words* mit unpräzisen und ungenauen Informationen, die in Aussagen zu finden sind, welche in natürlicher Sprache auftauchen [12]. Beispielsweise können *Fuzzy-If-Then-Rules* (vgl. [62]) angewendet werden:

if x is A , then y is B (2)

Nehmen wir an, dass in der Entscheidungsfindung für mögliche Massnahmen für die Luftqualität folgende Aussagen genannt wurden:

„Weshalb brauchen wir teure Maßnahmen, wenn unsere Luftqualität gut ist?“
 „Ich bin der Meinung, dass die Luftqualität nicht befriedigend ist.“

Bei beiden Aussagen sind die Beschreibung der Luftqualität – *gut* bzw. *nicht befriedigend* – unpräzise und ungenau. Werden nun die *Fuzzy-If-Then-Rules* angewendet, so entstehen beispielsweise folgende Gleichungen:

if *Luftqualität* is *gut*, then *Schadstoffgehalt* is *tief* (3)

if *Luftqualität* is *nicht befriedigend*, then *Schadstoffgehalt* is *hoch* (4)

Durch die Präzisierung der Aussagen wird deutlich, wie diese zu verstehen sind. *Computing with Words* steigert die computergestützte Rechenfähigkeit und ermöglicht den Systemen mit unpräzisen Informationen umgehen zu können [12].

Es gibt noch weitere *Soft-Computing*-Techniken wie *Fuzzy Clustering* (vgl. [31]) und *Fuzzy Cognitive Maps* (vgl. [35]), die aber aus Gründen der Vereinfachung hier nicht näher erläutert werden.

Kognitive Ansätze. Der Begriff *Connectivism* besagt, dass der Aufbau von Wissen nur möglich ist, wenn, nebst den eigenen, auch die Erfahrungen und Wahrnehmungen von anderen mitberücksichtigt werden. Gemäß Downes [13] ist Wissen über Netzwerke verteilt und das Lernen besteht aus dem Bauen und Durchqueren dieser Netzwerke. Folglich ist *Connectivism* eine Lern- und Kognitionstheorie mit der Annahme, dass neue Informationen kontinuierlich angeeignet werden und sich daher das Wissen ständig vergrößert [54].

Bevor Massnahmen zur Optimierung der Luftqualität einer Stadt getroffen werden können, müssen diverse Interessengruppen miteinbezogen werden. Es ist wichtig, dass nicht nur Experten über Luftqualität zu Wort kommen, sondern auch andere betroffene Interessengruppen (z. B. Verantwortliche für den Verkehr, Finanzdirektoren etc.). So kann Wissen aus verschiedenen Perspektiven zusammenfließen, eine gemeinsame Wissensbasis aufgebaut und eine Entscheidung gefällt werden. Der Vorteil dieser Entscheidung ist, dass diese nicht nur zu einem Konsens führt, sondern auch mit den bestmöglich vorhandenen Informationen gefällt wird.

Mit der Hilfe von *Computational Thinking* [58] sollen moderne Technologien (bspw. durch präzise Modelle auf verschiedenen Abstraktionslevels) bei der Lösung komplexer Probleme helfen. Dies kann erreicht werden, indem Daten reduziert, transformiert, zerlegt und anschließend (mit *Granular*

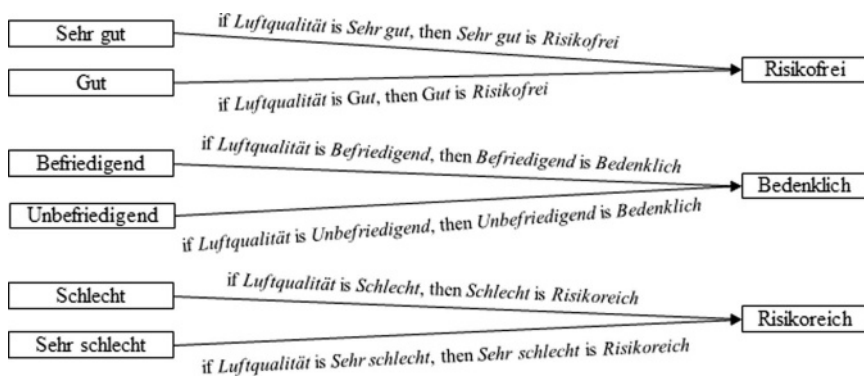


Abb. 3 Automatisierung mit Fuzzy-If-Then-Rules

Computing [63]) kategorisiert werden. Durch die Verteilung der Informationen auf unterschiedliche Ebenen können verschiedene Detaillierungsgrade entstehen (Abb. 2). Auf jeder Ebene können nun mit modernen Technologien gewisse Muster erkannt und Automatisierungsprozesse implementiert werden. Im Beispiel der Luftqualität könnte eine Automatisierung in der Zuordnung der Bewertungen in die jeweiligen *Fuzzy-Sets* mithilfe von *Fuzzy-If-Then-Rules* [62] erfolgen (Abb. 3).

Mit dem Ansatz *Intelligence Amplification Loop* [33] wird eine kontinuierliche Interaktion zwischen Mensch und System angestrebt, die es erlaubt, Rückmeldungen zu geben und daraus zu lernen. Gegenseitige Interaktion fördert den Aufbau von Wissen und unterstützt somit die Grundidee des *Connectivism* [54].

Mit *Cognitive Computing* wird offensichtlich ein Hauptziel verfolgt: verbesserter Informationsaustausch für den Aufbau von Wissen. Es sind hierbei

nicht nur die eigenen Erfahrungen und Wahrnehmungen wichtig, sondern auch die Erfahrungen und Wahrnehmungen von anderen. Dieser Erwerb und das Teilen von Informationen mit anderen können als kollektive Intelligenz [40] definiert werden. Durch das Hinzufügen von *Cognitive Computing* zur kollektiven Intelligenz entsteht eine erweiterte Intelligenz, auf welche in Abschn. „Von Smart Cities zu Cognitive Cities“ weiter eingegangen wird.

Erste Umsetzungen von Cognitive Computing

Obwohl *Cognitive Computing* ein relativ neues Forschungsfeld ist, gibt es Unternehmen, die sich dieser neuen Ära stellen. In Tab. 6 werden nachfolgend einige Projekte vorgestellt, die anhand einer Internetrecherche ausgewählt wurden. Es handelt sich um eine Auswahl von Projekten, die Liste ist demnach nicht abschließend.



Tabella 6

Cognitive-Computing-Projekte

Quelle	Ansatz	Beschreibung	Bereich
Accenture [1]	Cognitive Computing	Größere Wertschöpfungsgenerierung mithilfe von effizienteren Lieferanten, Start-ups und Akquisitionen.	Business
Enterra Solutions [15]	Cognitive System	Effizientere Problemlösung mit smarten Applikationen und datengetriebenen Analysen.	IT
Hewlett Packard Labs [22]	CC-Toolkit	Intelligente Prozessoren, spezialisiert auf Berechnungen von Grafiken.	IT
IBM [29]	IBM Watson	Analyse von unstrukturierten Daten, ermöglicht Wissensaufbau und somit verbesserte Entscheidungsfindung.	Business + IT
Microsoft [41]	Cognitive Services	Intelligentere Applikationen durch Integration von neuen Schnittstellen (z. B. Wissensschnittstellen).	Business + IT

Die Beispiele in Tab. 6 zeigen, wie einige Unternehmen sowohl im Business als auch in der IT *Cognitive Computing* anwenden, um eine größere Wertschöpfung zu generieren, Probleme effizienter zu lösen, bessere Entscheidungen zu treffen und die Effizienz von Applikationen zu verbessern. Deshalb ist es von hohem Interesse, *Cognitive Computing* auch in der Stadtentwicklung einzusetzen.

Von Smart Cities zu Cognitive Cities

Smart Cities stellen ein Konzept möglicher Wege von Stadtmanagement dar. Werden Investitionen in Human- und Sozialkapital sowie in Kommunikationsinfrastruktur getätigt, so können ein nachhaltiges Wachstum und ein hoher Lebensstandard für Bürger erzielt werden [7]. Das *Smarte* einer *Smart City* lässt sich in vielen Bereichen (vgl. Abschn. „Smarte Applikationen“) finden. Ein weiteres Merkmal einer *Smart City* ist die verbesserte Interaktion zwischen Mensch und Computersystem [46]. Da Bürger einer *Smart City* aktiv an ihrer Weiterentwicklung teilhaben können und im Gegenzug ihre Bedürfnisse besser befriedigt werden, weil die Stadt kontinuierlich dazulernt, wird die Nutzererfahrung verbessert. Eine *Smart City* stellt jedoch keine Endstation einer Stadt dar. Auch eine *Smart City* kann sich weiterentwickeln und somit verbessert werden. Hier kommt *Cognitive Computing* ins Spiel. Die Verwendung von *Cognitive Computing* ermöglicht es, bestehende *Smart Cities* in Richtung *Cognitive Cities* zu erweitern.

Gemäß Moyser und Uffer [43] sind fünf Kategorien für eine vielversprechende Stadtentwicklung ausschlaggebend: die Vision, die Organisation, das Engagement der Interessengruppen, die Finanzen und die Technologie. Als erste Voraussetzung sollen die Stadt und ihre Bürger dieselbe Vision teilen. Die Erstellung einer gemeinsamen Vision enthält die Evaluation bestehender Konditionen und zukünftiger Möglichkeiten sowie die Erstellung eines Plans. Diese Kategorie kann durch den Ansatz des *Ontological Design* (vgl. [59]) erweitert werden. Dieser besagt, dass, egal was die Stadt entwickelt, diese Entwicklung auch die Bürger gestalten beziehungsweise beeinflussen wird.

Beispielsweise erlauben die modernen Infrastrukturen für den Verkehr den Bürgern, flexibler zu sein und ihren Alltag gemäß den verfügbaren Ressourcen zu planen. Bevor überhaupt solche Straßennetze zur Verfügung standen, mussten alle

selbst schauen, wie sie von einem Punkt zum anderen gelangen konnten. Nun ist es einfacher. Genau darum geht es im *Ontological Design*. Es besteht eine wiederkehrende Beeinflussung von Innovationen und den Entwicklern und Nutzern dieser Innovation. Jede Verbesserung, sei es zum Beispiel in Form von Applikationen, beeinflusst den Alltag jedes einzelnen Bürgers [59]. Wie Bradatan [6] passend in der *New York Times* schrieb, prägt die Kultur unsere Weltansicht, beeinflusst die Sprache unser Denken und strukturiert das Amt unser Leben.

„Its [the city’s] culture shapes the way you see the world, its language informs the way you think, its customs structure you as a social being.“

Costica Bradatan

Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn es Führungskräfte gibt, die im Interesse der Stadt deren Entwicklung steuern. Damit die Stadt sich im Interesse der Bürger entwickelt, sollten betroffene Interessengruppen in die Entscheidungsfindung miteinbezogen werden. Perticone und Tabacchi [46] sind der Meinung, dass sowohl die Nutzererfahrung als auch die Zufriedenheit der Interessengruppen abhängig von der Beziehung zwischen Stadt und Bürger ist. Deshalb ist das Engagement jedes einzelnen Bürgers wichtig und muss für die Stadtentwicklung in Betracht gezogen werden. In zukünftigen Städten sollen Bürger die Möglichkeit haben, sich einzubringen und somit die Stadt mitzuentwickeln.

Finanzen sind ebenfalls wichtig für die Stadtentwicklung. Jede Entscheidung, die dazu führt, dass urbane Prozesse geändert oder sogar ersetzt werden, muss langfristig einen positiven monetären (sowie nicht monetären) Nutzen erbringen.

Und zuallerletzt darf die Technologie nicht vergessen werden. Je besser die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien in die Stadt integriert werden, desto einfacher können sich die Bürger engagieren und desto wahrscheinlicher wird die Vision aller Interessengruppen innerhalb einer Stadt erfüllt [43]. Werden die Bedürfnisse der Bürger befriedigt, so fällt die Nutzererfahrung positiv aus, was wiederum bedeutet, dass die Stadt attraktiver wird.

Damit eine *Smart City* sich zu einer *Cognitive City* entwickeln kann, wird eine neue Komponente

eingefügt: Kognition und die damit verbundenen kognitiven Systeme. Dies betrifft die fünfte Kategorie des Ansatzes von Moysers und Uffer [43]. Ein kognitives System ist in der Lage, mit natürlicher Sprache und Wahrnehmungen umzugehen und vom vergangenen Verhalten des Systembenutzers zu lernen. Folglich erkennt es Änderungen im Verhalten und kann auf diese reagieren [42].

Werden die Stärken des *Cognitive Computing* genutzt, so ist die Stadt fähig, sich den heutigen Herausforderungen – besonders derjenigen der unpräzisen und ungenauen Worte sowie der Wahrnehmungen – zu stellen und mit kognitiven Systemen entgegenzuwirken. Dies erlaubt eine optimierte Interaktion zwischen Bürgern und Computersystemen, was wiederum dazu führt, dass das Wissen innerhalb einer Stadt gesteigert werden kann. Je größer die Wissensbasis eines Systems (basierend auf den Erfahrungen und Verhaltensweisen der Systembenutzer), desto realitätsnaher und effizienter werden die Arbeitsprozesse seitens des Systems durchgeführt und desto mehr bietet sich die Möglichkeit für den Bürger, sich zu entfalten.

Hierbei ist beispielsweise die *Work-Life-Balance* ein wichtiger Begriff. Gemäß Lothaller [39] bedeutet dies, dass eine solche Balance nur möglich ist, wenn die negativen Effekte (d. h. Konflikte) zwischen den verschiedenen Lebensbereichen vermeidbar und die positiven Effekte (d. h. erleichterte Alltagsprozesse) zwischen den verschiedenen Lebensbereichen vorhanden sind. Weitere wichtige Begriffe sind die Achtsamkeit und die Nachhaltigkeit. Wenn die Bürger ihre Bedürfnisse immer stärker einbringen können und die Stadt diese aufnimmt und bedienen kann, steigen die Entfaltungsmöglichkeiten und somit auch die Zufriedenheit der Bürger. Aufgrund der Achtsamkeit der Stadt entsteht eine Balance zwischen den Ansprüchen und der Erfüllung dieser Ansprüche. Dieser Zustand ist nachhaltig, da die Stadt auch bei einer Änderung der Bedürfnisse jederzeit auf diese eingehen kann [44]. Aus diesen Gründen sind kognitive Computersysteme in Betracht zu ziehen.

Fazit

Aufgrund der steigenden Bevölkerungszahlen ist eine Zusammenarbeit zwischen der Stadt und ihren Bürgern eine Notwendigkeit. Die im Abschn. „Smarte Applikationen“ präsentierten

smarten Applikationen zeigen, dass bereits Versuche in verschiedenen Bereichen gemacht wurden, um Städte *smarter* zu gestalten. Städte können als *smart* angesehen werden, wenn sie die verfügbaren modernen Informations- und Kommunikationstechnologien verwenden, um die Interaktion innerhalb einer Stadt zu verbessern, mit dem Ziel, kollektive Intelligenz zu erlangen. Je nutzerorientierter die Prozesse einer Stadt sind, desto attraktiver wirkt die Stadt als Wohnort und desto positiver fällt der Erfahrungswert eines Bürgers aus. Eine *Smart City* soll jedoch nicht als Endstation der Stadtentwicklung angesehen werden, sondern soll sich mithilfe von *Cognitive Computing* in eine *Cognitive City* entwickeln.

Cognitive Computing verbessert die Interaktion zwischen Menschen und Systemen, da es ermöglicht, Informationen kollektiv zu sammeln. Die Fähigkeit, sprachliche Parameter zu berechnen, macht es möglich, Informationen bewusst, kritisch, logisch, achtsam und aufgrund von Überlegungen zu verarbeiten. Dadurch sind smarte Systeme fähig, Informationen zu analysieren und in einer menschenähnlichen Art davon zu lernen. In anderen Worten sind diese Systeme intelligenter, wenn sie Eigenschaften des natürlichen Verhaltens des Gehirns (d. h. Denken und Lernen) besitzen und diese auch anwenden [12].

Durch die Vielfalt und die sich ergänzenden Methoden des *Cognitive Computing* (vgl. Abschn. „Cognitive Computing“) können Informationen nutzerorientiert für die Stadt analysiert und eingesetzt werden. Wie in der Tab. 6 ersichtlich, hat *Cognitive Computing* in der Praxis bereits großes Interesse geweckt. Deshalb ist es umso wichtiger, die neue Ära auch in der Stadtentwicklung miteinzubeziehen [25]

Die Stärken des *Cognitive Computing* helfen der Stadt bei der Bewältigung von Herausforderungen. Durch die optimierte Interaktion der Bürger und der Stadt wird die Wissensbasis des zugrundeliegenden Computersystems vergrößert, wodurch Arbeitsprozesse realitätsnaher und effizienter werden. Dies fördert die Entfaltungsmöglichkeiten der Bürger und somit beispielsweise auch ihre *Work-Life-Balance*. Die Stadt unterstützt ihre Bürger durch ihre im Lernprozess wachsende Achtsamkeit und die Nachhaltigkeit der Entwicklungen. Kognitive Computersysteme können also dazu beitragen, dass sich die Bürger mehr auf sich selbst

und ihre Entwicklungsmöglichkeiten fokussieren können [44].

Ein Punkt, der in der Vergangenheit in der Forschung vernachlässigt wurde, ist der Stellenwert der Emotionen. Heutzutage ist klar, dass Emotionen eine solch wichtige Funktion im Leben der Menschen einnehmen, dass auch *Smart* und *Cognitive Cities* dazu fähig sein sollten, die emotionalen Bedürfnisse der Menschen zu berücksichtigen und eine besondere Beziehung mit ihnen einzugehen. Forscher im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion (vgl. [24]) und des *Affective Computing* (vgl. [2]) befassen sich mit diesen Herausforderungen.

Des Weiteren sollte die Anfälligkeit von smarten bzw. kognitiven Systemen gegen Cyber-Angriffe adressiert werden. Kein System ist perfekt, jedes weist generell Schwachstellen auf. Deshalb sind Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit notwendig, damit die Gefährdung für Mensch, System und Umfeld auf einem akzeptablen Niveau bleibt [19].

Danksagung

Die Autoren des Artikels danken den Kollegen des Instituts für Wirtschaftsinformatik an der Universität Bern, allen voran Anne Gerster, Astrid Habenstein, Michelle Ballmer und Simone Franzelli, für ihre wertvollen Inputs.

Literatur

- Accenture. <https://www.accenture.com/us-en/insight-cognitive-computing-systems>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Affective Computing. <http://affect.media.mit.edu>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Belbachir AN, Litzberger M, Schraml S, Hofstätter M, Bauer D, Schön P, Humenberger M, Sulzbachner C, Lunden T, Meme M (2012) CARE: A dynamic stereo vision sensor system for fall detection. In: IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp 731–734
- Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O (2001) The Semantic Web. *Sci Am* 284:28–37
- Bhunia SS, Dhar SK, Mukherjee N (2014) iHealth: A Fuzzy approach for provisioning Intelligent Health-care system in Smart City, e-Health Pervasive Wireless Applications and Services. eHPWAS'14
- Bradatan C (2014) The Wisdom of the Exile. http://opinionator.blogs.nytimes.com/2014/08/16/the-wisdom-of-the-exile/?_r=0, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Caragliu A, Del Bo C, Nijkamp P (2009) Smart Cities in Europe. *CERS* 45–59
- Chourabi H, Nam T, Walker S, Gil-Garcia JR, Mellouli S, Nahon K, Pardo TA, Scholl HJ (2012) Understanding Smart Cities: An Integrative Framework. In: 45th Hawaii International Conference on System Sciences
- Czogalla O (2015) Smart phone based indoor navigation for guidance in public transport facilities. *IFAC-PapersOnLine* 48–10:233–239
- Data-Smart City Solutions. The Responsive City. <http://datasmart.ash.harvard.edu/responsivity>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Dey S, Chakraborty A, Naskar S, Misra P (2012) Smart City Surveillance: Leveraging Benefits of Cloud Data Stores, First IEEE International Workshop on Global Trends in SMART Cities, Clearwater
- D'Onofrio S, Portmann E (2015) Von Fuzzy-Sets zu Computing-with-Words. *Informatik Spektrum* 38(6):543–549
- Downes S (2008) Places to Go: Connectivism & Connective Knowledge. *Innov J Online Educ* 5(1):1–6
- Ecovadis. E-Tasc. <http://gesi.org/e-tasc/>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Enterra Solutions. <http://www.enterrasolutions.com/about/leadership>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Eriksson J, Girod L, Hull B (2008) The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring. *MobiSys'08*, Breckenridge, CO, USA
- European Smart Cities. <http://smart-cities.eu/ranking.html>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Filippini L, Vitaletti A, Landi G, Memeo V, Laura G, Pucci P (2010) Smart City: an Event Driven Architecture for Monitoring Public Spaces with Heterogeneous Sensors. In: Proceedings of 2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), pp 281–286
- Fraunhofer (2014) Strategie- und Positionspapier Cyber-Sicherheit 2020: Herausforderungen für die IT-Sicherheitsforschung. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München
- Gay V, Leijdekkers P (2007) A Health Monitoring System Using Smart Phones and Wearable Sensors. *Int J ARM* 8(2):29–36
- Goldsmith S, Crawford S (2014) The Responsive City: Engaging Communities through Data-Smart Governance, San Francisco, Jossey-Bass
- Hewlett Packard Labs. <http://labs.hpe.com/research/next-next/brain/>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Hobbs JR (1985) Granularity. In: Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Los Angeles, CA, 432–435
- Human-Ist. Human-Centered Interaction Science & Technology. <http://human-ist.unifr.ch>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Hurwitz JS, Kaufman M, Bowles A (2015) Cognitive Computing and Big Data Analytics. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ
- Hussain A, Wenbi R, Lopes da Silva A, Nadher M, Mudhish M (2015) Health and emergency-care platform for the elderly and disabled people in the Smart City. *J Syst Softw* 110:253–263
- Huwu. <http://www.huwu.eu>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- IBM Research (2011) Smart Water Pilot Study Report, Version 1
- IBM Watson. <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/ibmwatson/what-is-watson.html>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Icitizen. <https://icitizen.com/>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Jafar OAM, Sivakumar R (2013) A Comparative Study of Hard and Fuzzy Data Clustering Algorithms with Cluster Validity Indices. In: Proceedings of International Conference on „Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications“ (ERICCA 2013), Elsevier Publications, Amsterdam
- Kaltenrieder P, Altun T, D'Onofrio S, Portmann E, Myrach T (2016) Personal Digital Assistant 2.0 – A Software Prototype for Cognitive Cities. In: IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2016). Vancouver, Kanada
- Kaufmann M, Portmann E, Fathi M (2012) A concept of semantics extraction from web data by induction of fuzzy ontologies. In: International Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web
- King SF, Brown P (2007) Fix my street or else: using the internet to voice local public service concerns. In: Proceedings of the 1st International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance (ICEGOV'07), pp 72–80
- Kosko B (1986) Fuzzy cognitive maps. *Int J Man-Mach Stud* 24:65–75
- Leccese F, Cagnetti M, Trinca D (2014) A Smart City Application: A Fully Controlled Street Lighting Isle Based on Raspberry-Pi Card, a ZigBee Sensor Network and WiMAX. *Sensors* 14:24408–24424
- Lee YD, Chung WY (2009) Wireless sensor network based wearable smart shirt for ubiquitous health and activity monitoring. *Sensor Actuat B – Chem* 140:390–395
- Lee JH, Phaal R, Lee SH (2013) An integrated service-device-technology roadmap for smart city development. *Technol Forecast Soc Change* 80:286–306
- Lothaller H (2008) Die „rush hour“ des Lebens und die Bedeutung der Familienarbeit und ihrer Aufteilung. *J Generationengerechtigkeit* 8:4–8
- Malone TW, Bernstein MS (2015) Handbook of Collective Intelligence. MIT Press, Cambridge
- Microsoft. Cognitive Services. <https://www.microsoft.com/cognitive-services/en-us/news>, letzter Zugriff: 28.6.2016
- Mostashari A, Arnold F, Mansouri M, Finger M (2011) Cognitive Cities and Intelligent Urban Governance. *Netw Ind Q* 13(3):4–7
- Moyser R, Uffer S (2016) From Smart to Cognitive: A Roadmap for the Adoption of Technology in Cities. In: Portmann E, Finger M (eds) Towards cognitive cities: advances in cognitive computing and its applications to the governance of large urban systems. Springer International Publishing, Heidelberg
- Niedderer K (2013) Mindful design as a driver for social behaviour change. In: 5th International Congress of International Associations of Societies of Design Research, Tokyo, pp 4561–4571
- Partala T, Saari T (2015) Understanding the most influential user experiences in successful and unsuccessful technology adoptions. *Comput Hum Behav* 53:381–395

46. Perticone V, Tabacchi ME (2016) Towards the Improvement of Citizen Communication through Computational Intelligence. In: Portmann E, Finger M (eds) *Towards Cognitive Cities: Advances in Cognitive Computing and Its Applications to the Governance of Large Urban Systems*. Springer International Publishing, Heidelberg
47. Polco. Public Policy. <http://polco.us/>, letzter Zugriff: 28.6.2016
48. Portmann E, Finger M (2015) Smart Cities! Ein Überblick. *HMD Prax Wirtschaftsinf* 52(4):470–481
49. Rantz M, Aud M, Alexander G, Oliver D, Minner D, Skubic M, Keller J, He Z, Popescu M, Demiris G, Miller S (2008) TigerPlace: An Innovative Educational and Research Environment. In: *AAAI in Eldercare: New Solutions to Old Problems*, Washington DC
50. Reach. <https://www.reach.gov.sg/>, letzter Zugriff: 28.6.2016
51. Schmidt W, Borgert S, Fleischmann A, Heuser L, Müller C, Schweizer I (2015) Smart Traffic Flow. *HMD Prax Wirtschaftsinf* 52:585–596
52. ScottDesign. Innovation by Design. <http://www.scottdesign.nl/styled/page8/page6.html>, letzter Zugriff: 28.6.2016
53. Sheehy L, Dingle P (2003) Goal Setting, Education and Sustainability: Living Smart in the City of Fremantle. In: *International Sustainability Conference*, Fremantle, Western Australia
54. Siemens G (2005) Connectivism: A learning theory for the digital age. *Int J Instr Technol Distance Learn* 2(1):3–10
55. Siemens (2014) Synco Living – Energie sparen mit attraktiver Home Automation. <http://www.siemens.de/buildingtechnologies/de/de/gebäudeautomation-hlk/home-automation-system-synco-living/seiten/home-automation-system-synco-living.aspx>, letzter Zugriff: 28.6.2016
56. Terán L (2015) Evaluation of visualization of a fuzzy-based recommender system for political community-building. *Procedia Comput Sci* 62:116–125
57. Wien.at. Wiener Luftgüteindex – Bewertungsübersicht, <https://www.wien.gv.at/ma22-lgb/luftwl.htm>, letzter Zugriff: 28.6.2016
58. Wing JM (2006) Computational Thinking. *Commun ACM* 49(3):33–35
59. Winograd T, Flores F (1986) *Understanding Computers and Cognition: a New Foundation for Design*. Intellect Books, Bristol
60. Zadeh LA (1965) Fuzzy sets. *Inf Control* 83:38–353
61. Zadeh LA (1988) Fuzzy logic. *IEEE Computer* 21(4):83–93
62. Zadeh LA (1996) Fuzzy Logic = Computing with Words. *IEEE T Fuzzy Syst* 4(2):103–111
63. Zadeh LA (1998) Some reflections on soft computing, granular computing and their roles in the conception, design and utilization of information/intelligent systems. *Soft Comput* 2:23–25