

Neuronale Netze

Nudging

Digitalisierung

Smart City

Autonomes Fahren

Digitale Zwillinge

Sensoren

Digitalisierung

Chatbots

Deep Learning

Mustererkennung

E-Partizipation

Algorithmen

Energiemanagement

Big Data

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND STADTENTWICKLUNG

Konzepte, Potenziale und Anwendungsfelder

Der konkrete Einsatz von Methoden Künstlicher Intelligenz (KI) steht in Deutschland und Europa in den verschiedenen Anwendungsfeldern der Stadtentwicklung noch am Anfang. Um die kommunale (digitale) Daseinsvorsorge zukunftsfähig zu gestalten, ist der KI-Einsatz in den Kommunen bereits jetzt strategisch und bewusst zu planen und zu erproben.

Machine Learning

E-Government

Energiemanagement

Bildererkennung

Sprachassistenten

Predictive Maintenance

Semantische Netze

Big Data

Digitalisierung

Smart Grids

Mobilitätsplattformen

Data Mining

Algorithmen

Robotik

Quelle: BBSR 2021 (eigene Darstellung)

Orhan Güleş

ist seit 2007 Referent für Fragen der Stadtentwicklung im BBSR. Seit 2020 forscht er zu Risiken und Potenzialen der digitalen Stadt. Im Fokus seiner Arbeiten stehen Themen wie digitale Kompetenzen in der Stadtgesellschaft, die Entwicklung der Städte zu Smart Cities und Fragen der digitalen Inklusion.

orhan.gueles@bbr.bund.de

Eva Schweitzer

ist seit 2009 Referentin für Fragen der Stadtentwicklung im BBSR. Seit 2015 forscht sie zu Risiken und Potenzialen der digitalen Stadt. Im Fokus ihrer Arbeiten stehen Themen wie die Nutzbarkeit von Daten für Ziele der nachhaltigen Stadtentwicklung, die Zukunft der vernetzten smarten Mobilität und Fragen der digitalen Inklusion.

eva.schweitzer@bbr.bund.de

Eine der größten Herausforderungen der Digitalisierung besteht darin, wachsende Datenmengen aktuell zu halten, zu strukturieren und intelligent zu verknüpfen. Erst dann können (Echtzeit-)Daten Grundlage für Entscheidungen von Politik und Verwaltung und für neue Geschäftsmodelle sein. Die dafür notwendige digitale Transformation gestaltet sich vielfältig und dynamisch: Zentrale Trends sind unter anderem die Robotik, neue Produktionstechniken sowie die wachsende Bedeutung von Big Data und Künstlicher Intelligenz (KI).

Gerade der KI kommt in der Stadtentwicklung besondere Bedeutung zu. Mit KI-Methoden ist es möglich, große Datenmengen schnell und effizient zu kategorisieren und zu analysieren. KI-Nutzung kann helfen, die Lebensqualität der Bewohnerinnen und Bewohner zu verbessern, ihre Teilhabe zu stärken und die kommunale Verwaltung effizienter zu machen (Deutscher Bundestag 2020). Der konkrete KI-Einsatz steht in den verschiedenen Anwendungsfeldern der Stadtentwicklung noch am Anfang – zumindest in Deutschland und Europa. Um die kommunale (digitale) Daseinsvor-

sorge zukunftsfähig zu gestalten, gilt es, bereits jetzt den KI-Einsatz in der Stadtentwicklung strategisch und bewusst zu planen, zu erproben und an den Zielen der nachhaltigen und integrierten Stadtentwicklung auszurichten.

Im Fokus dieses Beitrags stehen folgende Fragen:

- Wie wird KI definiert? Welche politischen, ethischen und rechtlichen Leitkonzepte sowie Ansätze prozessualer Governance sind dabei für die nachhaltige und integrierte Stadtentwicklung relevant? Was sind die Rahmenbedingungen (Infrastruktur, Innovationsumfeld, Management)?
- Welche konkreten Anwendungsfelder und kommunalen Beispiele finden sich in Deutschland, Europa und international für den Einsatz von KI in der Stadtentwicklung?
- Welche Forschungslücken und -fragen sowie Handlungsbedarfe ergeben sich aus den im Beitrag diskutierten Regelwerken, Anwendungsfeldern und Beispielen sowie den daraus abgeleiteten Erkenntnissen?

Definitionsrahmen für KI in der Stadtentwicklung

KI ist als Begriff bislang nicht konsistent definiert. Das gilt auch für ihren Einsatz in der Stadtentwicklung. Um einen Definitionsrahmen für KI in der Stadtentwicklung abzuleiten, orientiert sich der Beitrag an den Definitionskonzepten, die der KI-Strategie des Bundes zugrunde liegen und zu denen in der Forschung überwiegend Konsens besteht (vgl. Die Bundesregierung 2020). Demnach sind KI-Lösungen Teilkonzepte der Digitalisierung. Sie beschreiben in IT-Systeme implementierte Technologien, die sich an der menschlichen Intelligenz orientieren (für eine weitergehende Begriffseinstellung und Chronologie vgl. auch Memmel/Dengel in diesem Heft und Cugurullo 2020). Werden Algorithmen um maschinelle Lernverfahren wie künstliche neuronale oder semantische Netze erweitert, spricht man von KI (vgl. u. a. Hein/Volkenandt 2020, Bostrom 2016). Abbildung 1 zeigt, in welcher Beziehung KI zu ihren Teilfeldern und zum übergeordneten Begriff der Digitalisierung steht.

Ein Faktor für die Entwicklung von KI-Lösungen sind Daten. Im Gegensatz zu klassischer IT funktionieren maschinelle Lernsysteme nicht ohne Trainingsdaten oder Wissensdatenbanken (vgl. Hein/Volkenandt 2020). Es braucht also große Datenmengen (Big Data), um KI-Methoden zu entwickeln. Entsprechend zeigen Google-Trends-Auswertun-

gen von Allam/Dhunney (2018) zur Popularität von Big Data und KI, dass sich mit der Verbreitung von Big Data in den 2010er-Jahren zeitversetzt KI-Systeme verbreitet haben, hier also von einer Korrelation auszugehen ist. Parallel dazu stieg der Verbreitungsgrad technologie- und gemeinwohlorientierter Smart-City-Konzepte (vgl. Allam/Newman 2018). Auch der wesentliche Teil aktueller Studien in Deutschland zeigt, dass Big Data als zentraler Treiber für KI in der Stadtentwicklung gilt (vgl. Deutscher Bundestag 2020).

Die aktuelle Forschung unterscheidet zwischen „schwacher“ und „starker“ KI (vgl. u. a. Bostrom 2016 und Memmel/Dengel in diesem Heft). Die Differenzierung legt zugleich einen normativen Rahmen fest: „Stark“ bedeutet hier, dass die KI die gleichen intellektuellen Kompetenzen wie ein Mensch hat – oder sogar größere. „Schwache“ KI fokussiert hingegen darauf, konkrete Anwendungsprobleme zu lösen. Dazu bildet die Forschung menschliche Intelligenz nach und konstruiert Systeme, die menschliches Denken simulieren. Eine „starke“ KI mit eigenem „Bewusstsein“ ist mit heute verfügbaren Technologien nicht zu realisieren. Die KI-Strategie des Bundes – Grundlage für den vorliegenden Beitrag – fokussiert auf „schwache“ KI. Analog zu anderen Feldern geht es vor allem darum, mit KI konkrete Anwendungsprobleme der

Stadtentwicklung zu lösen. Hierzu listet die KI-Strategie des Bundes verschiedene Anwendungskategorien auf, beispielsweise wissensbasierte Systeme und Musteranalysen (vgl. Die Bundesregierung 2020). Damit und mit den beschriebenen technischen KI-Grundlagen liegt ein grober Definitionsrahmen für KI in der Stadtentwicklung vor.

Politische, ethische und rechtliche Leitkonzepte

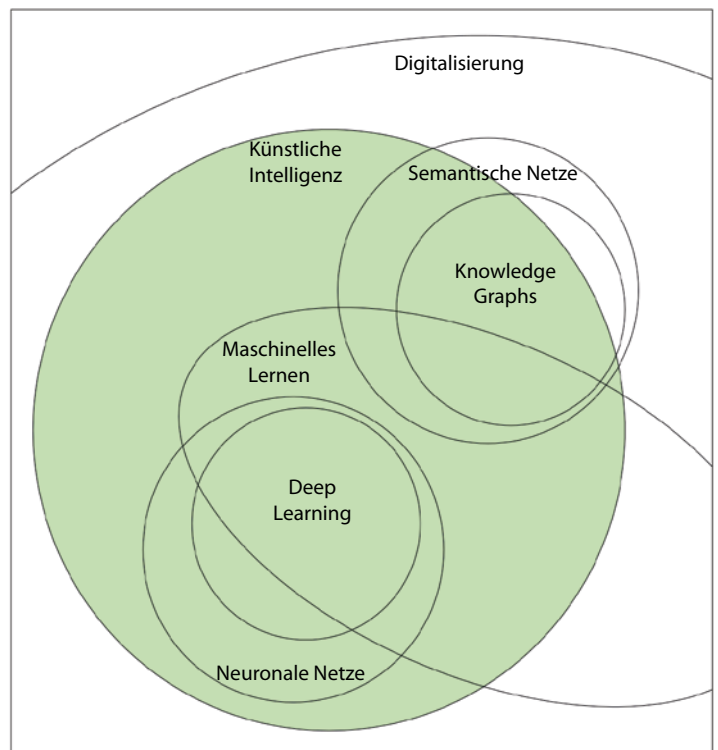
Die internationale fachliche und politische Diskussion fokussiert zunehmend nicht nur auf Chancen, sondern zugleich auf Risiken unregulierter KI-Nutzung. So initiierten die Europäische Kommission (EK), einige europäische Staaten, die USA und asiatische Staaten wie Japan (politische) Prozesse zum ethischen Umgang mit KI (vgl. u. a. EC 2020, Council for Social Principles of Human-centric AI 2019, Open Access Government 2019, Datenethikkommission 2019, The White House 2021, Verhulst et al. in diesem Heft). Als Herausforderungen formulieren die Akteure eine Intransparenz der Systeme, wertebeladene Ziele und die Diskriminierung von Individuen oder sozialen Gruppen (vgl. König 2020).

Die Forschung entwickelt sich ebenso dynamisch: Bereits 2013 wiesen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf die Risiken des KI-Einsatzes in US-amerikanischen Städten hin. Die KI sollte nicht nur aktuelle urbane Systeme erfassen und bewerten. Vielmehr sollte sie auch künftige Entwicklungen prognostizieren, damit die kommunale Verwaltung präventiv handeln kann – zum Beispiel mit Schulschließungen oder einem angepassten Verkehrs- und Umweltmanagement. Gerade das führt zu problematischen Entwicklungen: Greenfield (2013) und Kitchen (2014) zeigen beispielsweise auf, dass die KI für prädiktive Analysen häufig Blackbox-Daten nutzt, für die Herkunft und Entstehungskontext nicht transparent und nicht nachvollziehbar sind. Verschiedene Studien konstatieren, dass solche prädiktiven Analysen als „anticipatory government“ (Schweitzer 2015) – wie sie sie die Polizei einsetzt – auf spezifische Bevölkerungsgruppen und Orte zielen und damit Diskriminierungen verstärken (vgl. das Beispiel der KI Windy Grid in Chicago, u. a. Kitchen 2014). Diese Erkenntnisse führten im angloamerikanischen Raum zu einem breiten politischen Diskurs, zum Aufbau öffentlicher KI-Register und der Entwicklung kommunaler KI-Governance (vgl. Beitrag von Verhulst et al. in diesem Heft).

Die Diskussionen zu Risiken und zur Governance spielen auch im europäischen Raum eine Rolle: In den Niederlanden prüft beispielsweise die nationale Datenschutzbehörde seit 2019 die Entwicklung der Smart-City-Strategien, um die Privatheit der Bürgerinnen und Bürger zu schützen. In

1

Künstliche Intelligenz und ihre Teilfelder



Quelle: Hein/Volkenandt 2020: 9

Frankreich und Portugal stoppten die Datenschutzbehörden den Einsatz (präventiver) KI-gestützter Video- und Gesichtserkennungssysteme. In einzelnen italienischen Städten sind solche Systeme hingegen bereits im Einsatz (vgl. Algorithm-Watch gmbH/Bertelsmann Stiftung 2020).

Die EU forderte die Mitgliedstaaten 2018 mit dem „Coordinated Action Plan on AI“ auf, nationale Strategiepläne zu entwickeln. Die Bundesregierung hat ihre im November 2018 publizierte KI-Strategie im Dezember 2020 bereits aktualisiert (vgl. Die Bundesregierung 2020). Im April 2021 veröffentlichte die EK den ersten Entwurf eines internationalen KI-Regelwerks. Das Regelwerk zielt darauf ab, die führende Position der EU in der Entwicklung menschenzentrierter, nachhaltiger, sicherer, inklusiver und vertrauenswürdiger KI zu stärken. Dazu teilt das Regelwerk KI-Systeme nach potenziellen Risiken in vier Kategorien ein: minimales, begrenztes, hohes und inakzeptables Risiko (vgl. EC 2021). Hohes Risikopotenzial haben beispielsweise KI-Systeme in der kritischen Infrastruktur (z. B. im Verkehrswesen) sowie essenzielle private und öffentliche Dienste. Für diese sieht das Regelwerk Auflagen vor – dazu gehören unter anderem geeignete Sys-

teme zur Risikoeinschätzung sowie eine detaillierte Dokumentation und aktive Überwachung zur Risikominimierung. Ein inakzeptables Risiko haben KI-Systeme, die Sicherheit und Menschenrechte bedrohen. Das sind beispielsweise Systeme, die menschliches Verhalten manipulieren oder ein „Social Scoring“ der Regierung ermöglichen. Damit es direkt wirken kann, müssen das europäische Parlament und die Mitgliedstaaten das Regelwerk nun im Gesetzgebungsverfahren verabschieden.

Das Städtenetzwerk Eurocities begrüßt den Vorstoß einer Regulierung grundsätzlich, weist aber auf potenzielle Regelungslücken hin: Es bewertet vor allem biometrische und echtzeitbasierte Erkennungssysteme kritisch und plädiert für ihr Verbot (vgl. Eurocities 2020). Auch für Systeme mit hohem Risiko sollten die Verfahren beobachtet und vor Markteintritt geprüft werden. Zugelassen werden sie nur mit einer Konformitätsprüfung. Diese sieht die Registrierung in einer EU-Datenbank und die Vorlage einer Konformitätserklärung vor, die europäische Standards in Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutzstandards erfüllt. Kritisch bewertet Eurocities auch, dass die Unternehmen die Prüfung der Konformität als „self-assessment“ selbst durchführen sollen.

Die europäische KI-Strategie soll nicht nur zur Regulierung beitragen, sondern den öffentlichen Sektor als KI-Pionier weiterentwickeln. Dafür baut die EU seit 2021 einen „Datenraum für das öffentliche Auftragswesen“ auf, entwickelt ein Programm zu „Adopt AI“ für den öffentlichen Sektor, fördert die Anwendung und Hochskalierung KI-gestützter digitaler Zwillinge (vgl. EK 2021) und unterstützt die Kommunen beim Aufbau öffentlicher KI-Register – wie sie bereits in Amsterdam und Helsinki gestartet sind (vgl. Computerwelt AT 2020). Die KI-Register zeigen Nutzen und Funktion der von den Kommunen eingesetzten KI auf.

Die KI-Strategie des Bundes arbeitet abstrakt KI-Potenziale für Umwelt- und Klimafragen heraus, nennt Städte aber explizit nur im Zusammenhang mit Satellitenbeobachtung und als Motor für umweltschonende Entwicklungen in den Handlungsfeldern Stadtentwicklung und Mobilität (vgl. Die Bundesregierung 2020). Die „Neue Leipzig-Charta“, die „Smart City Charta“ und die „Datenstrategien für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung“ konkretisieren den Zusammenhang von digitaler Stadtentwicklung, KI und Daten (vgl. BMI 2020a, BBSR/BMI 2021a, BBSR/BMI 2020b). Die Neue Leipzig Charta konstatiert, dass Daten gemeinwohlorientiert und nach sozialem Grundsätzen verwendet, geteilt und verwaltet werden sollen (vgl. BMI 2020a). Der Nutzen sei mit Datenschutzaspekten abzuwägen und eine umfassende, resiliente und leistungsstarke Dateninfrastruktur und

-verwaltung zu schaffen (vgl. DSK 2019). Die Datenstrategien betonen ebenfalls den werteorientierten Umgang mit Daten (Datenethik). Sie raten dazu, automatisierte Entscheidungssysteme zu dokumentieren und verwendete Daten präzise zu beschreiben. Zudem sollte eine Kontrolle durch unabhängige Fachleute vor „algorithmischen Diskriminierungen“ und Eingriffen in die Autonomie betroffener Personen schützen. Zusätzlich braucht es geeignete Mechanismen zur Risikoeinschätzung, zur Transparenz sowie zur institutionellen Aufsicht und Kontrolle (vgl. BBSR/BMI 2021b).

Voraussetzungen für KI in der Stadtentwicklung

Wie sich KI in der Stadtentwicklung einsetzen lässt, hängt von einigen Voraussetzungen ab. Basierend auf den in diesem Beitrag präsentierten Leitkonzepten geht es dabei vor allem um folgende Punkte:

- leistungsstarke und robuste digitale Infrastrukturen
- Stadttyp
- kommunale Datengovernance und -management

Der Ausbau leistungsstarker und robuster digitaler Infrastrukturen ist ein zentraler Faktor für den KI-Einsatz in der Stadtentwicklung. Dabei geht es vor allem um Breitband- sowie 5-G- und 6-G-Netze, die für die IoT-Infrastruktur und KI-Anwendungen sehr wichtig sind (IoT: Internet of Things, vgl. Allam/Dhunney 2019 zur Bedeutung von IoT für KI-Systeme). Auswertungen des BBSR zum Breitbandatlas zeigen, dass im Juni 2020 rund 56 % der bundesdeutschen Haushalte mit einer Bandbreite versorgt waren, die eine Downloadgeschwindigkeit von mindestens 1.000 Mbit/s ermöglicht (vgl. Schüle et al. 2021). Zudem braucht es eine resiliente beziehungsweise „cybersichere“ IT-Infrastruktur, um KI-Lösungen in deutschen Städten ausbauen zu können (vgl. Deutscher Bundestag 2020).

Daneben geht es bei der Entwicklung von KI-Lösungen auch um den Stadttyp. Dazu zählen neben der Größe, Lage und Einwohnerzahl Faktoren wie der Digitalisierungsgrad als Smart City, der Status als Hochschulstadt und das Innovationsumfeld (vgl. Deutscher Bundestag 2020). Größe und Einwohnerzahl können mit Blick auf personelle Ressourcen in der Verwaltung und die wirtschaftliche Struktur der jeweiligen Kommune eine Rolle spielen. Hochschulen und Technologieunternehmen sind wichtige Akteure und bestimmen wesentlich über das Innovationspotenzial im jeweiligen kommunalen und regionalen Kontext (vgl. Kompetenzzentrum Öffentliche IT/FOKUS 2019). Die Diskussionen der Dialogplattform Smart Cities und der Modellprojekte Smart Cities zeigen zudem, dass der Bedarf an Datengrundlagen

gerade in den Kommunen und im Handlungsfeld digitale Stadtentwicklung sehr groß ist (vgl. BMI 2020b):

- Häufig sind Daten in Ämtern und kommunalen Unternehmen nicht in der notwendigen Detailtiefe und Qualität verfügbar, liegen in Datensilos kommunaler Referate und sind nicht mit übergeordneten und integrierten Plattformen oder Dashboards verknüpft (zum Begriff Datensilo vgl. BBSR/BMI 2021b).
- Teilweise sind die Datenströme nicht miteinander vernetzt oder in der verwendeten Software sind Schnittstellen zur Datenübergabe nicht integriert.
- Darüber hinaus fehlen relevante Kompetenzen zum Umgang mit Daten, insbesondere Ansätze zum Einsatz von Big-Data- und KI-Anwendungen.

Neben Investitionen in den Arbeitsmarkt zur Aus-, Fort- und Weiterbildung individueller KI-Kompetenzen (vgl. GWK 2020) unterstützen Bund und Länder die Kommunen bei der (Weiter-)Entwicklung ihrer Smart-City- und Datenstrategien, bei Datenanwendungen (u. a. Big Data) und bei der Erprobung von KI in verschiedenen Anwendungsfeldern. Das ExWoSt-Projekt „Digitale Stadt gemeinwohlorientiert gestalten durch kommunale Datenkompetenzen“ (KoDaKo) widmet sich in diesem Zusammenhang der Organisations- und Personalentwicklung in Kommunen. Im Hinblick auf den KI-Einsatz in der kommunalen Verwaltung ist zudem zu konstatieren, dass nicht nur Datengovernance und -management, sondern auch Arbeitsprozesse optimiert werden müssen. Dies setzt strukturelle Anpassungen in der hierarchischen Organisation von Verwaltungen voraus (vgl. Deutscher Bundestag 2020).

Anwendungsfelder und Beispiele in der Stadtentwicklung

Der Einsatz von KI für gemeinwohlorientierte und integrierte „Smart Cities“ steht in Deutschland noch am Anfang. Die „Enquete-Kommission KI“ des Deutschen Bundestags schließt auf Basis einer Auswertung für deutsche Städte, dass KI-Systeme bisher kaum eine Rolle in Smart-City-Strategien und -Projekten spielen (vgl. Deutscher Bundestag 2020, Soike/Libbe 2018).

Auf Basis des beschriebenen Definitionsrahmens führten die Autorin und der Autor Dokumenten-, Literatur- und Internetrecherchen zu nationalen wie internationalen Plan- und Praxisbeispielen und konkreten KI-Anwendungsfeldern in der Stadtentwicklung durch. Folgende Kriterien lagen der Auswahl zugrunde: (1) Stadttyp, Förderprogramm und Akteurskonstellation, (2) konkrete Anwendung und KI-Komponenten sowie (3) Umsetzungsgrad. Aufgrund der hohen Dynamik des KI-Einsatzes in der Stadtentwicklung erhebt die explorative und deskriptive Recherche keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie fokussiert auf Projekte und Ansätze der Stadtentwicklung, die von Kommunen und kommunalen Unternehmen selbst initiiert und durchgeführt wurden oder werden oder an denen sich Kommunen beteilig(t)en (vgl. für Beispiele aus dem Hochschulkontext oder der Privatwirtschaft ohne kommunale Beteiligung auch Hein/Volkenandt 2020).

Die Autorin und der Autor identifizierten insgesamt 30 Plan- und Praxisbeispiele in deutschen Kommunen, darunter 27 Projekte in Einzelkommunen und drei Netzwerkprojekte mit jeweils drei beteiligten Kommunen. Der wesentliche Teil der Kommunen sind Groß- (73 %) und Mittelstädte (20 %) (vgl. Abb. 2). Zwölf Projekte sind von Kommunen selbst initiiert, 18 Projekte förderten oder fördern Bund (13), Länder (4) und EU (1). Etwas mehr als die Hälfte der Bundesprojekte (10) plant und realisiert ihre KI-Lösungen im Programm Modellprojekte Smart Cities (MPSC). Zu den Akteuren zählen neben den kommunalen Fachressorts und Unternehmen vor allem solche aus Hochschulen und Forschungsinstituten sowie Unternehmen der Privatwirtschaft, die die KI-Tools insbesondere entwickeln und erproben. Zivilgesellschaftliche Akteure wie lokale Vereine oder Initiativen sind in den identifizierten Beispielen kaum vertreten.

KI-Projekte mit Bezug zur Stadtentwicklung sind besonders häufig in folgenden drei Anwendungsfeldern angesiedelt:

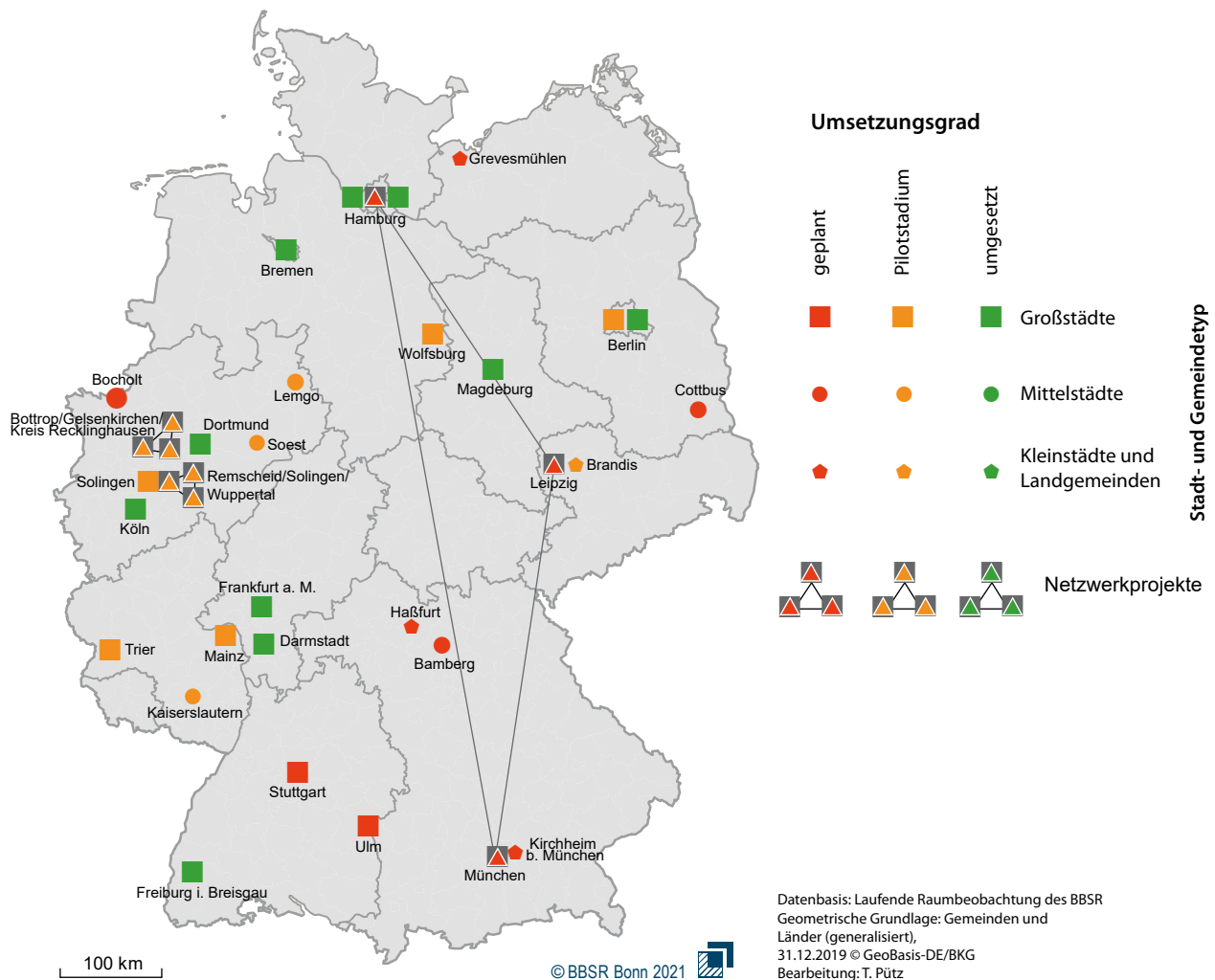
- Mobilitätsplattformen, urbanes Verkehrs- und Logistikmanagement (einschl. Überwachung der Luftqualität), Infrastrukturen für autonomes Fahren (10)
- intelligente Straßenzustandserfassung und -bewertung (2)
- Entwicklung und Realisierung KI-gestützter digitaler Zwillinge (8)

Auch mit Blick auf die stetige Weiterentwicklung des autonomen Fahrens ist das Verkehrs- und Logistikmanagement eines der zentralen KI-Themen in der Stadtentwicklung. Dabei ist der KI-Einsatz nicht auf Fahrzeuge im Personen- und Lieferverkehr beschränkt, sondern zugleich Thema der Infrastruktur: Sensor- und IoT-gestützte KI-Systeme können die Kommunen in der Verkehrsflussanalyse und -prognose, beim Aufbau (intermodaler) Mobilitätsplattformen und – mit Blick auf den Klimaschutz – bei der Überwachung der Luftqualität unterstützen. Allerdings zeigen die identifizierten zehn Beispiele, dass sich solche KI-Systeme häufig noch im Plan- und Pilotstadium befinden. Neben Kommunen mit lokalen Ansätzen (z. B. Darmstadt) und Projekten der Landesförderung (bspw. Stuttgart) beschäftigen sich fünf der 45 aktuell geförderten MPSC mit dem Einsatz von KI-Tools in

der urbanen Mobilität (bspw. Solingen, Ulm und Wolfsburg). Die intelligente Straßenzustandserfassung und -bewertung ist eines der wenigen KI-Anwendungsfelder, das zumindest im kleinen Rahmen im Mainstream der Kommunen genutzt wird. Die KI unterstützt das zuständige kommunale Ressort dabei, den Zustand der Straßen anhand von Bilddaten zu analysieren und zu kategorisieren (zum technischen Verfahren der „predictive maintenance“ vgl. Hein/Volkenandt 2020). Auch wenn sich nur zwei Kommunen identifizieren ließen, die den Ansatz bereits nutzen (Magdeburg und Soest), zeigen vertiefte Literaturrecherchen, dass mittlerweile über 80 Kommunen in Deutschland KI-Tools zur Überwachung ihrer Straßenzustände einsetzen (vgl. Hein/Volkenandt 2020: 55). Dabei handelt es sich um unterschiedliche Stadttypen, beispielsweise Leipzig, Freudenstadt oder Eichstetten.

2

Projektbeispiele KI und Stadtentwicklung



Digitale Zwillinge sind datenbasierte Abbildungen realer Objekte und werden in verschiedenen Kontexten eingesetzt, unter anderem in der Industrie, Medizin und Logistik. Kommunen entwickeln digitale Zwillinge als georeferenzierte 3-D-Modelle ihrer Stadtgebiete, Verkehrsinfrastruktur oder einzelner Quartiere und Gebäude. Sie verknüpfen die Modelle mit verschiedenen weiteren Informationen zum Stadtraum – zum Beispiel zu Gebäudebestand, Luft- und Wasserqualität, Stadtklima, Solarkataster und mit soziodemografischen Daten. Dabei kommen Verfahren zum Digitalen Bauen (BIM – Building Information Modeling) und zur Digitalen Stadtmodellierung (CityGML – City Geography Markup Language) zum Einsatz (zur Verknüpfung von KI mit digitalen Bauverfahren und zu KI-Anwendungsfeldern im Bauwesen vgl. Beitrag von König in diesem Heft). KI kommt dabei zur Erfassung von Bildinhalten und Sensordaten und als Prognosetool zum Einsatz. Digitale Zwillinge lassen sich in der Stadtplanung, für Bürgerservices oder für die Einsatzplanung von Sicherheitskräften und Feuerwehr nutzen. Von den acht Projektbeispielen mit digitalen Zwillingen sind drei bereits im Einsatz (Bremen, Freiburg und Bocholt). Unter den Plan- und Pilotprojekten befinden sich zwei Netzwerkprojekte (Bottrop, Gelsenkirchen und Remscheid, Landesförderung NRW), das MPSC-Projekt „Connected Urban Twins“ (CUT) in Hamburg, Leipzig und München sowie vier weitere MPSC-Projekte (Cottbus, Haßfurt, Kirchheim und Solingen).

Für folgende KI-Anwendungsfelder identifizierten die Autorin und der Autor jeweils ein Beispiel (vgl. Stadt Bamberg 2021, Co:Lab 2020, Hein/Volkenandt 2020, Schüle/Räuchle 2021, Digitalstadt Darmstadt 2021, Ravin 2017, VKS News 2021, Freie Hansestadt Bremen 2021, IAO 2021, VKU 2021, Freiburg 2021, BMI 2020b, BMVI 2021a, BMVI 2021b):

- Abgrenzung von Grundschuleinzugsgebieten im Berliner Bezirk Tempelhof-Schöneberg
- Pflegemanagement von Bäumen im Stadtraum in Bamberg: Prognosen künftiger Baumschäden
- Prognosen zur Alterung von Abwasserkanälen in Berlin
- E-Government: geplante Nutzung von Chatbots in Bocholt (ab 2022)
- Einsatz von KI zur intelligenten Straßenbeleuchtung in Dortmund
- E-Partizipation: Digitales Partizipationssystem DIPAS in Hamburg
- Einsatz von KI in digitaler Bauleitplanung in Hamburg zur Steuerung des Einwendungsmanagements
- Steuerung und Optimierung der Trinkwasserversorgung mithilfe erneuerbarer Energien in Trier
- KI-gestütztes Energiemanagement in der Stegerwaldsiedlung in Köln

- KI-Einsatz zur Müllentsorgung in Frankfurt am Main: Sprachassistent, intelligente Kehrmaschinen, Modelle, Kamerasysteme

Die identifizierten Beispiele und Anwendungsfelder decken sich mit Auswertungen in der Literatur (vgl. Hein/Volkenandt 2020). Sie zeigen insgesamt, dass sich KI-Systeme in der Stadtentwicklung in Deutschland überwiegend im Pilot- oder Planungsstadium befinden. Nur ein Drittel der 30 ausgewerteten Beispiele ist in einer stadtraumweiten Umsetzung. Da sich KI erst in jüngster Zeit zu einem Fokusthema der Smart City entwickelt, liegen kaum dokumentierte Erfahrungswerte oder (Referenz-)Daten zum KI-Einsatz in der Stadtentwicklung vor (vgl. Deutscher Bundestag 2020).

Ausgewählte Einzelbeispiele

Mobilität

Das Projekt „bergisch.smart_mobility“ ist ein Beispiel für den KI-Einsatz in der urbanen Mobilität. Das Land NRW fördert das Projekt von 2019 bis 2021 im Programm Digitale Modellregionen NRW. Neben Remscheid, Solingen und Wuppertal sowie kommunalen Unternehmen beteiligen sich am Projekt die Bergische Universität Wuppertal, die Bergische Struktur- und Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH (BSW), der Energieverbund Neue Effizienz gGmbH und Unternehmen der Privatwirtschaft. Das Projekt wird in fünf Handlungsfeldern umgesetzt und verfolgt einen integrierten Ansatz. Es stärkt die Technologiekompetenz regionaler Zulieferer in der Mitkonzeption autonomer Fahrzeuge mit KI und entwickelt mit KI-basierten Routing- und Netzplanungstools On-Demand-Services für den ÖPNV.

Das Konsortium setzt das Gesamtprojekt in vier Teilprojekten um. Es erprobt die neu entwickelten Systeme im Reallaboransatz in den Quartieren und gemeinsam mit Bewohnerinnen und Bewohnern (vgl. BSW 2021). Darüber hinaus nutzt das Projekt 3-D-Daten und Geoinformationen der beteiligten Kommunen zur KI-gestützten Visualisierung der Umgebung in Fahrzeugen und auf Smartphones. Mit Echtzeitdaten lassen sich Unstimmigkeiten zwischen Sensordaten und digitalen Karten analysieren. Geprüft wird auch, ob sich aufbereitete Geodaten über eine Webplattform für Bürgerinnen und Bürger sowie lokale Unternehmen verfügbar machen lassen. Zusätzlich unterstützt das Projekt die Verkehrsleitzentralen der Kommunen dabei, mit KI-Tools den Individualverkehr und den ÖPNV zu steuern und das Parkraummanagement zu optimieren.

Energiemanagement

Mit dem Teilprojekt „Energie in der Stegerwaldsiedlung“ setzte die Stadt Köln zusammen mit Projektpartnern das Handlungsfeld Energie im EU-Smart-City-Projekt „Grow-Smarter“ um. Es zielte auf die energetische Sanierung der Siedlung mithilfe smarter Lösungen ab. Die Sanierung erfolgte zwischen 2015 und 2019. Neben der Stadt Köln beteiligten sich die Deutsche Wohnungsgesellschaft (DEWOG) als Eigentümerin der Stegerwaldsiedlung, der Energiedienstleister Rheinenergie und weitere Unternehmen der Privatwirtschaft (vgl. Stadt Köln 2021).

Um lokal erzeugten Strom vor Ort zu verbrauchen, wurden einzelne Häuser mit modernen Stromspeicheranlagen ausgestattet. Die KI-Lösung bestand im Einsatz von weiterentwickelten „Smart Metern“: Das System arbeitet mit selbstlernenden Algorithmen, wertet laufend aktuelle Verbrauchs- und Klimadaten aus und gibt in 15-Minuten-Abständen Energiefahrpläne für die kommenden eineinhalb Tage aus. Sofern sich kurzfristig Verbrauchs- und Wetterdaten ändern, passt das KI-System die Pläne an. Lässt sich absehen, dass Strom- und Wärmeproduktion in der Siedlung den Verbrauch nicht decken, führt das System externe Energie zu (Ökostrom aus Wasserkraft). In der Stegerwaldsiedlung sank der Energieverbrauch nach Angaben des Energiedienstleisters von 130 bis 140 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr auf 30 bis 40 Kilowattstunden (vgl. Pitzen 2019).

Digitale Partizipation

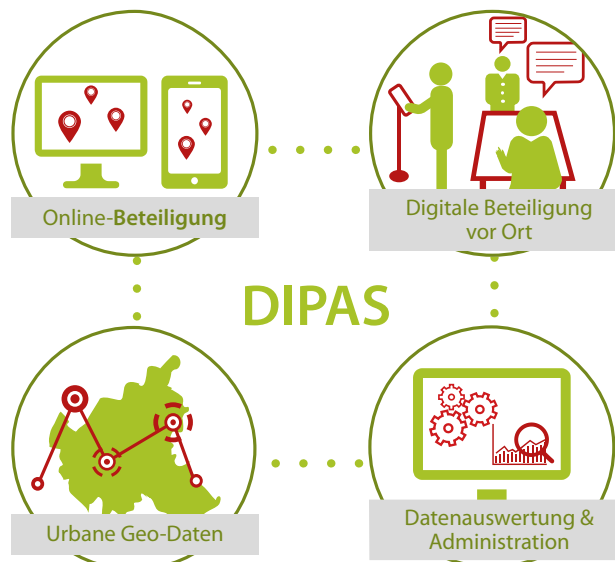
Das Digitale Partizipationssystem (DIPAS) steht beispielhaft für den KI-Einsatz in der E-Partizipation (vgl. Freie und Hansestadt Hamburg 2021, Lieven/Schubbe 2020). Die Stadt Hamburg startete das Projekt 2017 und setzt DIPAS seit 2020 stadtweit ein. Projektpartner sind unter anderem die Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen Hamburg (BSW), der Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (LGV) und die HafenCity Universität (HCU). Das EU-Programm Horizon 2020 und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördern einzelne Teiltools und -ansätze von DIPAS. Das System orientiert sich in Struktur und Funktionalität an der Referenzarchitektur für Online-Partizipation des IT-Planungsrats. Kern von DIPAS ist ein kartenbasiertes Tool zur Sammlung anonymer und georeferenzierter Bürgerbeiträge zu Planungsprojekten (bspw. städtebauliche oder Grün- und Verkehrsplanungen). Mit dem zusätzlichen Online-Angebot sowie orts- und zeitunabhängigen Partizipationsoptionen sollen mehr Menschen als bisher Gelegenheit zur Beteiligung erhalten.

Neben dem Online-Tool entwickelt die HCU im CityScienceLab (CSL) die digitalen Datentische (City Scopes) weiter.

Die Datentische sind datengestützte und interaktive Stadtmodelle und visualisieren ortsbezogene Daten sowie städtische Funktionszusammenhänge (vgl. Lieven 2019). Darüber hinaus entwickeln die Projektpartner DIPAS zu einem KI-basierten E-Partizipationssystem weiter: Die KI-Funktionalitäten von DIPAS werden aktuell pilotiert. Geplant sind unter anderem KI-Facilitation-Bots. Dabei handelt es sich um Chatbots, die Nutzerinnen und Nutzer bei der Erstellung von Beiträgen unterstützen sollen. Aus dem Horizon-2020-Projekt smarticipate kommen spezielle Funktionalitäten zur kriterien-gestützten und automatisierten Vorprüfung eingereicherter Bürgervorschläge hinzu. In diesem EU-Projekt wurde ein Dialogsystem für Bürgerinnen und Bürger entwickelt, das öffentliche Daten miteinander vernetzt und mit Elementen digitalisierter kommunaler Aufgaben verknüpft. Zukünftig geplante Weiterentwicklungen von DIPAS betreffen unter anderem KI-basierte Tools zur automatischen Textanalyse, eine optimierte Social-Media-Verknüpfung und die Integration von Livedaten. Seit März 2021 stellt die Stadt Hamburg das Tool als Open-Source-Lösung für den Einsatz in anderen Kommunen zur Verfügung. Zudem ist geplant, DIPAS in die im MPSC-Projekt CUT entwickelten digitalen Zwillinge zu integrieren.

3

Beispiel für den KI-Einsatz in der E-Partizipation: DIPAS, das digitale Partizipationssystem



Quelle: Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen 2020

KI in der Stadtentwicklung international

In europäischen Städten finden sich darüber hinaus weitere Anwendungsfelder für den KI-Einsatz in der Stadtentwicklung. Auch hier sind die KI-Projekte in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, wobei häufiger Pilotprojekte anzutreffen sind. Folgende Beispiele geben exemplarisch Einblick in weitere Anwendungsfelder in europäischen Städten (vgl. Hein/Volkenandt 2020, Huie 2021, AlgorithmWatch gGmbH/Bertelsmann Stiftung 2020):

- Amsterdam setzt KI zur Überwachung der Umweltzonen ein und nutzt ein KI-gestütztes Meldeportal.
- Für die App Smart Destination in Barcelona nutzen KI-Systeme öffentliche Daten aus sozialen Medien sowie Wetter-, Verkehrs- und Übernachtungsdaten, um automatisiert personalisierte Tourismuspläne und Routen zu erstellen.
- Tartu (Estland) setzt KI-Systeme und Sensoren zum Energiemanagement im Bestand ein, unter anderem ein nutzerbasiertes Lüftungssystem, das die Frischluftzufuhr anhand der Auswertung des Kohlendioxids misst und steuert.
- Helsinki nutzt KI-Tools für die Auswertung von Luftbilddaten, um Potenziale von Solarpanelen auf den Dächern öffentlicher und privater Gebäude zu ermitteln.
- Trelleborg (Schweden) nutzt KI-Systeme zur Verteilung der Sozialhilfe: Die KI bearbeitet die Anträge und entscheidet automatisiert über Folgebewilligungen und Auszahlungen.

In den USA ist der Umsetzungsstand teilweise deutlich weiter vorangeschritten, insbesondere im Anwendungs-

feld urbane Mobilität. Beispiele sind hier die Städte Seattle, Charleston, Boston, Washington D. C. und San Francisco (vgl. Digi International 2020). In US-amerikanischen Städten finden sich auch Anwendungsfelder im urbanen Kontext, die für europäische Städte Transferpotenzial haben können: Dazu gehört der Einsatz von KI als Frühwarnsystem der städtischen Feuerwehr (New York) oder zur Unterstützung gegen Cyberattacken in der Smart City (Baltimore und Atlanta) (vgl. Tomer 2019).

Der Blick nach China offenbart einen noch weiter fortgeschrittenen Entwicklungsstand: Die Stadt Hangzhou startete 2016 zusammen mit privaten IT-Unternehmen das integrierte KI-Projekt City Brain (vgl. VDI 2019). Das KI-System erhebt die Daten aller Einwohnerinnen und Einwohner, zum Beispiel Einkäufe, Bewegungsprofile und Aktivitäten in sozialen Medien, verknüpft sie in einer zentralen Datenbank und nutzt sie als Entscheidungsgrundlage (z. B. zur Verkehrsflusssteuerung, im Gebäudemanagement oder zur Notfall-Einsatzplanung). Das City-Brain-Projekt setzen 22 Städte in China und die Stadt Kuala Lumpur in Malaysia um (Stand 2019, vgl. Alibaba 2019). Zugleich ist das integrierte KI-System eine der Grundlagen für das in China aktuell entstehende KI-System zum Social Scoring, das verschiedene Daten der Bürgerinnen und Bürger und ihre soziale Bewertung verknüpft und auswertet (vgl. Campbell 2019). Nach den bereits beschriebenen Plänen der Europäischen Kommission gehört dieses chinesische System zur Kategorie mit inakzeptablem Risiko und wäre in der EU nicht erlaubt (vgl. Kapitel „Definitionsrahmen für KI in der Stadtentwicklung“). Mit Blick auf die Diskussionen in Europa, Japan und den USA ist abzusehen, dass die geplanten Regelwerke zumindest in demokratischen Staaten einen ausgeprägten regulatorischen Rahmen für den KI-Einsatz schaffen, die den Einsatz in Anwendungsfeldern der Stadtentwicklung einschließen wird.

Fazit und Ausblick

KI-Tools finden bis auf wenige Beispiele noch keine breite Anwendung im Mainstream der IT-Anwendungen in den Kommunen. Das zeigt die explorative Recherche zu nationalen wie internationalen KI-Anwendungsfeldern und -beispielen. Häufig sind die Ansätze im Pilot- oder Planungsstadium und nehmen erst seit Kurzem einen prominenten Stellenwert in Smart-City-Strategien und -Projekten der Kommunen ein. Auch die Implementierung übergeordneter KI-Re-

gelwerke steht am Anfang, nimmt aber seit Mai 2021 mit dem Entwurf für ein EU-Regelwerk an Fahrt auf. Die in 2021 wieder aufgelegte Smart City Charta und die Datenstrategien für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung bieten ergänzend einen Leitrahmen für den Einsatz von KI in der Stadtentwicklung in Deutschland. Konkrete Strategien und gezielte Maßnahmen auf kommunaler Ebene zum werteorientierten Umgang und zur gemeinwohlorientierten Ausge-

staltung der Systeme – also zum Beispiel Instrumente zur Risikoabschätzung, zur Qualifizierung der Systeme sowie zum Kompetenzaufbau von Stadtverwaltung und Zivilgesellschaft – finden sich kaum. Erste Ansätze wie die Einführung von KI-Registern und -Beauftragten sind europaweit nur vereinzelt zu beobachten. Auch die Forschung steckt noch in den Kinderschuhen. Im Fokus müssen hier geeignete Vorgehensweisen stehen, die aufzeigen, wie KI-Nutzung im Sinne einer nachhaltigen und integrierten Stadtentwicklung erfolgen kann und welche „guten“ Beispiele und Verfahren sich eignen. Zu klären ist auch, wie die Kommune ihre digitale Souveränität und Datenhoheit trotz und mit KI-Nutzung sicherstellen kann.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich künftig zahlreiche Forschungsbedarfe. Monitoring und Evaluation haben beispielsweise eine hohe Relevanz für KI-Lösungen in der Stadtentwicklung. Analog zu bisher nur begrenzt verfügbaren Evaluationen zur Smart City liegen auch für den Einsatz von KI-Systemen kaum dokumentierte Erfahrungen vor (vgl. Schüle/Räuchle 2021 zur Bedeutung von Evaluationen in der Smart-City-Forschung). Daher lassen sich Umsetzungserfolge nur eingeschränkt anhand konkreter Kriterien messen. Um Erfolgsfaktoren und Hemmnisse identifizieren und Impulse für eine erfolgreiche Verbreitung von KI-Tools setzen zu können, braucht es themenspezifische und praxisbezogene Evaluationsansätze. Zu untersuchen ist zudem, wie sich KI-Potenziale messen und evaluieren lassen – und wie Kommunen bereits bestehende Zielvorgaben von EU, Bund und Ländern operationalisieren können. Daneben ist eine Fehlerkultur in den Kommunen zu unterstützen, die es ermöglicht, verschiedene KI-Methoden zu erproben, zu lernen und aktiv zu entwickeln.

Zusätzlich muss die Forschung einen Blick auf folgende Fragen werfen:

- Welche Strategien und Maßnahmen sind auf welcher Ebene (Kommune, Land/Region, Bund) und von welchen Akteuren (Zivilgesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft) zu

entwickeln und zu implementieren, um KI im Sinne einer nachhaltigen und gemeinwohlorientierten Stadtentwicklung nutzbar zu machen (bspw. Leitlinien zum Umgang mit KI auf kommunaler Ebene oder Einsatz von KI-Managerinnen und -Managern)? Wie lassen sich Systeme und Techniken zur Einschätzung von Risiko- und Technologiefolgen entwickeln und etablieren?

- Wie behalten die Kommunen ihre digitale Souveränität und Datenhoheit? Welche Formen der Governance ermöglichen eine werteorientierte Nutzung und Ausgestaltung von KI-Systemen? Wie können Steuerungssysteme und Entscheidungsprozesse Transparenz und Nachvollziehbarkeit sicherstellen? Wie lässt sich Datenschutz gewährleisten, Diskriminierungen vorbeugen und eine Orientierung an nachhaltigen Zielen der Stadtentwicklung sicherstellen?
- Welche technischen und organisationalen Verfahren können genutzt werden, um die genannten Ziele zu erreichen (z. B. Nutzung von Kryptotechniken oder Zufallsverfahren)? Welche internen und externen Prüfverfahren können angewendet werden (z. B. Expertenbeiräte, KI Kontrollgremium, Algorithmen TÜV etc.)? Welche standardisierten Verfahren zur Risikobewertung und Konformitätsprüfung sind geeignet oder haben sich bereits bewährt?

Die Recherche hat es verdeutlicht: Die digitale Transformation der Städte lässt sich nur dann nachhaltig und gemeinwohlorientiert ausgestalten, wenn die aktuell noch eher experimentellen KI-Ansätze auf ihren Nutzen sowie ihre Chancen und Risiken für die nachhaltige Stadtentwicklung geprüft werden. Zusätzlich braucht es nachhaltig implementierte Konzepte und Maßnahmen für eine adäquate Steuerung und eine strategische und souveräne Governance der Kommunen. Die Stadtentwicklungsforschung kann und sollte zu diesen Fragen auch in Zukunft einen substantziellen Beitrag liefern.



Foto: Eva Schweitzer

Literatur

- AlgorithmWatch gGmbH**; Bertelsmann Stiftung (Hrsg.), 2020: Automating Society Report 2020. Zugriff: <https://automating-society.algorithmwatch.org> [abgerufen am 15.06.2021].
- Allam**, Zaheer; Dhunny, Zayna A., 2019: On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities*, 89 (2019): 80–91.
- Allam**, Zaheer; Newman, Peter, 2018: Redefining the Smart City: Culture, Metabolism and Governance. *Smart Cities*, 1 (2018): 4–25.
- Alibaba**, 2019: City Brain Now in 23 Cities in Asia. Zugriff: www.alibabacloud.com/blog/city-brain-now-in-23-cities-in-asia_595479 [abgerufen am 15.06.2021].
- BBSR** – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung; **BMI** – Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.), 2021a: Smart City Charta: Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Berlin/Bonn (Nachdruck).
- BBSR**; **BMI** (Hrsg.), 2021b: Datenstrategien für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung. Nationale Dialogplattform Smart Cities. Berlin/Bonn.
- BMI** (Hrsg.), 2020a: Neue Leipzig Charta. Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Zugriff: www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2020/eu-rp/gemeinsame-erklarungen/neue-leipzig-charta-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [abgerufen am 15.06.2021].
- BMI** (Hrsg.), 2020b: Modellprojekte Smart Cities 2020. Berlin. Zugriff: www.smart-city-dialog.de/wp-content/uploads/2020/10/BMI-Bericht-Modellprojekte-2020.pdf [abgerufen am 28.06.2021].
- BMVI** – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), 2021a: Künstliche Intelligenz für Lichtsignalanlagen – KI4LSA. Zugriff: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/ki4lsa.html [abgerufen am 15.06.2021].
- BMVI** (Hrsg.), 2021b: Mobility-as-a-Service-Plattform mit Kundenapplikation. Zugriff: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/dkv-projektsteckbriefe/mainz-automation.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen am 04.06.2021].
- Bostrom**, Nick, 2016. Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies. Oxford.
- BSW** – Bergische Struktur- und Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH, 2021: KI als Enabler der Mobilität von morgen. Zugriff: <https://www.bergischsmartmobility.de> [abgerufen am 28.06.2021].
- Campbell**, Charlie, 2019: How China Is Using “Social Credit Scores” to Reward and Punish Its Citizens. *Time*, 2/20, Zugriff: <https://time.com/collection/davos-2019/5502592/china-social-credit-score/> [abgerufen am 22.06.2021].
- Co:Lab** (Hrsg.), 2021: Künstliche Intelligenz in Kommunen. Berlin.
- Computerwelt AT**, 2020: Amsterdam und Helsinki starten KI-Register. Zugriff: www.computerwelt.at/news/amsterdam-und-helsinki-starten-ki-register [abgerufen am 21.06.2021].
- Council for Social Principles of Human-centric AI**, 2019: Social Principles of Human-Centric AI. Zugriff: www8.cao.go.jp/cstsp/english/humancentricai.pdf [zugegriffen am 17.06.2021].
- Cugurullo**, F., 2020: Urban Artificial Intelligence: From Automation to Autonomy in the Smart City. *Frontiers in Sustainable Cities*, (82) 38. Zugriff: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsc.2020.00038/full> [abgerufen am 15.06.2021].
- Datenethikkommission** (Hrsg.), 2019: Gutachten der Datenethikkommission. Zugriff: www.bmjv.de/SharedDocs/Downloads/DE/Themen/Fokusthemen/Gutachten_DEK_DE.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [abgerufen am 25.06.2021].
- Deutscher Bundestag** (Hrsg.), 2020: Bericht der Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale. [Drucksache Nr. 19/23700 des Deutschen Bundestags].
- Die Bundesregierung** (Hrsg.), 2020: Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Fortschreibung 2020. Berlin. Zugriff: www.ki-strategie-deutschland.de/files/downloads/201201_Fortschreibung_KI-Strategie.pdf [abgerufen am 15.06.2021].
- Digi International**, 2020: 12 Smart Cities in the U.S. – Smart Cities Examples 2020. Zugriff: www.digi.com/blog/post/smart-cities-in-the-us-examples [abgerufen am 15.06.2021].
- Digitalstadt Darmstadt**, 2021: Verkehrssteuerung in Echtzeit. Zugriff: <https://www.digitalstadt-darmstadt.de/news/verkehrssteuerung-in-echtzeit> [abgerufen am 06.07.2021].
- DSK** – Datenschutzkonferenz (Hrsg.), 2019: Positionspapier der DSK zu empfohlenen technischen und organisatorischen Maßnahmen bei der Entwicklung und dem Betrieb von KI-Systemen. Zugriff: www.datenschutzkonferenz-online.de/media/en/20191106_positionspapier_kuenstliche_intelligenz.pdf [abgerufen am 15.06.2021].
- Eurocities**, 2020: People-Centered Artificial Intelligence (AI) in Cities. Response to EUs white paper on AI. Zugriff: <https://eurocities.eu/wp-content/uploads/2020/08/Eurocities-statement-on-AI.pdf> [abgerufen am 15.06.2021].
- EC** – European Commission, 2020: White Paper On Artificial Intelligence – A European approach to excellence and trust. Zugriff: https://ec.europa.eu/info/publications/white-paper-artificial-intelligence-european-approach-excellence-and-trust_en [abgerufen am 15.06.2021].
- EC**, 2021: Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Fostering a European approach to Artificial Intelligence. Zugriff: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/01ff45fa-a375-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en> [abgerufen am 15.06.2021].

- Freie Hansestadt Bremen**, 2021: Bremen 3 D – der digitale Zwilling. Zugriff: <https://bremen.virtualcitymap.de/#/> [abgerufen am 06.07.2021].
- Freie und Hansestadt Hamburg**, 2021: DIPAS Digitales Partizipationssystem. Zugriff: <https://www.hamburg.de/dipas> [abgerufen am 28.06.2021].
- Greenfield**, Adam, 2013: *Against the Smart City*. New York.
- GWK** – Gemeinsame Wissenschaftskonferenz, 2020: Bund und Länder stärken die Förderung von Künstlicher Intelligenz. Pressemitteilung vom 13. November 2020. Bonn.
- Huie**, David, 2021: Digitale Zwillinge sichern Zukunftsfähigkeit in Göteborg und Stockholm. Zugriff: <https://urban-digital.de/digitale-zwillinge-staedte-goeteborg-stockholm> [abgerufen am 14.06.2021].
- Hein**, Tabea; Volkenandt, Götz, 2020: *Künstliche Intelligenz für die Smart City. Handlungsimpulse für die kommunale Praxis*. Berlin.
- IAO** – Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, 2021: *Digitales Lieferzonen-Management in Stuttgart*. Zugriff: <https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/digitales-lieferzonen-management-in-stuttgart.html> [abgerufen am 06.07.2021].
- Kompetenzzentrum Öffentliche IT; FOKUS** – Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme (Hrsg.), 2019: *Deutschland Index der Digitalisierung*. Berlin.
- Kitchen**, Rob, 2014: *The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and their Consequences*, London.
- König**, Pascal D., 2020: Daten, Algorithmen und neue Steuerungsformen in der Smart City. In: BBSR; BMI (Hrsg.): *Nationale Dialogplattform Smart Cities*. Bonn/Berlin. Zugriff: www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/exwost/Studien/2015/SmartCities/smart-city-dialogplattform/01_Start.html?pos=2 [abgerufen am 15.06.2021].
- Libbe**, Jens; Soike, Roman, 2018: *Smart Cities in Deutschland – eine Bestandsaufnahme*. Berlin.
- Lieven**, Claudius, 2019: *Hamburg: Am Datentisch planen. Digitale Kommune 21*. Zugriff: www.kommune21.de/meldung_30591.html [abgerufen am 15.06.2021].
- Lieven**, Claudius; Schubbe, Nicole, 2020: *Digitale Beteiligung am Beispiel von smarticipate und DIPAS*. In: IZR – Informationen zur Raumentwicklung, 3/2020: 66–75.
- Open Access Government**, 2019: *Strengthening EU-Japan cooperation in AI, research and innovation*. Zugriff: www.openaccessgovernment.org/eu-japan-cooperation/64447/ [abgerufen am 17.06.2021].
- Pitzen**, Rainer, 2019: *Künstliche Intelligenz in der Wohnwelt*. Haufe Magazin Immobilienwirtschaft, 7+8/2019: 58–59.
- Ravin**, Dimitri, 2017: *Digitale Planungsinfrastruktur der Stadt Hamburg*. Zugriff: <https://urban-digital.de/digitale-planungsinfrastruktur-hamburg> [abgerufen am 06.07.2021].
- Schüle**, Ralf; Güleş, Orhan; Rächle, Charlotte; Schweitzer, Eva, 2021: *Digitale Gerechtigkeit in der Smart City – ein Referenzrahmen für Digitalisierungsstrategien auf lokaler Ebene*. BBSR-Analysen KOMPAKT, 10/2021. Bonn.
- Schüle**, Ralf; Rächle, Charlotte, 2021: *Erste Projekterfahrungen in den „Modellprojekten Smart Cities“ und Ansatzpunkte für ein Programmmonitoring*. BBSR-Online-Publikation, 12/2021. Bonn (in Bearbeitung).
- Schweitzer**, Eva, 2015: *Smart Cities International: Strategien, Strukturen und Pilotvorhaben*. Hrsg.: BBSR. Bonn.
- Stadt Bamberg**, 2021: *Sitzungsvorlage Stadtrat der Stadt Bamberg: Smart City Projekte Bamberg: Bericht über vier besonders aktuelle Projekte*. Bamberg.
- Stadt Freiburg**, 2021: *3D-Stadtmodell Freiburg*. Zugriff: <https://3d.freiburg.de/#> [abgerufen am 06.07.2021].
- Stadt Köln**, 2021: *Energie in der Stegerwaldsiedlung*. Zugriff: <https://www.stadt-koeln.de/artikel/63846/index.html> [abgerufen am 22.06.2021].
- Stadt Wien** (Hrsg.), 2019: *Künstliche Intelligenz Strategie. Digitale Agenda Wien*. Wien.
- The White House**, 2021: *The Biden Administration Launches the National Artificial Intelligence Research Resource Task Force*. Zugriff: www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2021/06/10/the-biden-administration-launches-the-national-artificial-intelligence-research-resource-task-force/ [abgerufen am 17.06.2021].
- Tomer**, Adie, 2019: *Artificial intelligence in America's digital city*. Zugriff: www.brookings.edu/research/artificial-intelligence-in-americas-digital-city [abgerufen am 15.06.2021].
- VDI** – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), 2019: *VDI-Initiative Stadt:Denken. Erkenntnisse und Anregungen für die Stadt der Zukunft*. Düsseldorf.
- VKU** – Verband der kommunalen Unternehmen (Hrsg.), 2021: *„Zukunft wird vor Ort gemacht – Digitalisierung in allen Lebensbereichen – die digitale Transformation durch Künstliche Intelligenz (KI)“*. Dokumentation VKU-Regionenworkshop „Stadt.Land.Digital“ Rheinland-Pfalz. 2. März 2021. Zugriff: https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Themen/Digitalisierung/20210302_Save_the_Date_Regionenworkshop_RLP.pdf [abgerufen am 06.07.2021].