

Künstliche Intelligenz

Zwischen Erwartungen und Unbehagen



Foto: iStock.com/wayra

Facettenreich: KI in Stadt
und Land, in der Fern-
erkundung, beim Bauen

Gemeinwohl im Fokus:
Datenschutz und -ethik,
Transparenz, Beteiligung

Machine und Deep
Learning: Was die KI
intelligent macht



Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Impressum

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt-
und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Schriftleitung

Markus Eitges
Robert Kaltenbrunner
Peter Jakobowski

Redaktion

Johannes Fox
Orhan Güleş
Michael Lautwein
Antonia Milbert
Daniel Regnery
Arnd Rose
Eva Schweitzer
izr@bbr.bund.de

Redaktionsschluss

15. Juli 2021

Satz und Gestaltung

Yvonne Groh
Katrin Heimersheim

Druck

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

Verlag und Vertrieb

Franz Steiner Verlag
Birkenwaldstraße 44
70191 Stuttgart
Telefon +49 711 2582-314
Telefax +49 711 2582-390
www.steiner-verlag.de/izr



Die Beiträge werden von der Schriftleitung/
Redaktion gezielt akquiriert. Der Herausgeber
übernimmt keine Haftung für unaufgefordert
eingesandte Manuskripte. Die von den Autorinnen
und Autoren vertretene Auffassung ist nicht
unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

Bezugsbedingungen: Jahresabonnement
Print 48,00 € (4 Hefte) zzgl. Versandkosten
(Inland: 11,80 €, Ausland: 16,80 €);
Jahresabonnement Online 48,00 € (4 Hefte);
Jahresabonnement Print und Online 62,00 €
(4 Hefte) zzgl. Versandkosten (Inland: 11,80 €,
Ausland: 16,80 €); Einzelheft Print 19,00 €
(versandkostenfrei); Einzelheft Online 19,00 €;
Einzelheft Print und Online 23,00 €
(versandkostenfrei) – Preise inkl. MwSt.
Ihr Abonnement der Informationen zur
Raumentwicklung hat eine Laufzeit von
12 aufeinander folgenden Monaten. Es verlängert
sich um jeweils weitere 12 Monate, wenn es
nicht spätestens 6 Wochen vor Ende der Laufzeit
schriftlich beim Verlag gekündigt wird.

Weitere Informationen

www.bbsr.bund.de/izr

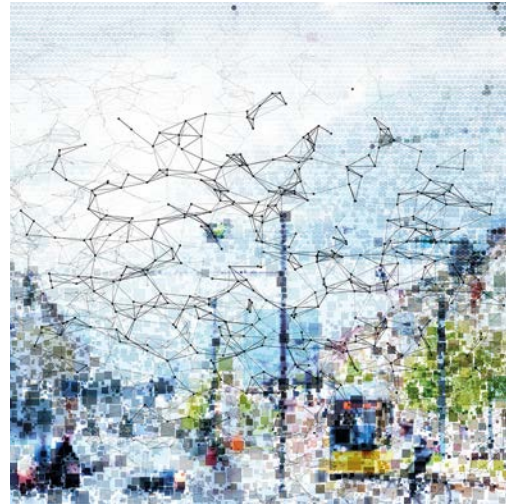


Foto: iStock.com/wayra

Liebe Leserin, lieber Leser,

auch wenn sich die Entwicklung gefühlt noch am Anfang befindet – das Thema Künstliche Intelligenz steht bereits seit Jahrzehnten im Fokus von Wissenschaft, Medien, Wirtschaft und Politik. Zuletzt hat es stark an Fahrt aufgenommen: Computer werden immer leistungsfähiger und die Menge an verfügbaren Daten wächst stark.

Wie sollen wir als Gesellschaft mit den neuen, fast endlosen Möglichkeiten umgehen? Fest steht, dass KI das Leben in Stadt und Land künftig verändern kann: Indem sie automatisiert Daten verknüpft sowie analysiert und damit im besten Fall wichtige politische und planerische Entscheidungen vorbereitet. Eine Hauptrolle spielen dabei Begriffe wie Big Data, Automatisierung, künstliche neuronale Netze oder maschinelles Lernen. Über neu verbundene Systeme und ausgetauschte Informationen soll KI nicht nur Prozesse optimieren, sondern auch neue Handlungsstränge aufzeigen.

In etlichen Bereichen und Branchen – von Arbeit und Bildung über (Online-)Handel und Logistik bis hin zur Medizin – kommen daher schon jetzt entsprechende Technologien zum Einsatz. Auch für die Stadtentwicklung und Planung, die Fernerkundung oder das Bauwesen wird KI immer wichtiger. Das gilt gerade in Bezug auf Fragen zu Mobilität, Energie, Nachhaltigkeit, Flächenerhebung oder Teilhabe.

Der zunehmende Einsatz von KI bietet entsprechend zahlreiche Potenziale. Er hält jedoch auch einige Herausforderungen bereit – und sorgt für Ängste. Wie lassen sich Fragen zu Datenschutz und -ethik mit der Entwicklung vereinen? Wie muss der Staat entsprechende Entwicklungen lenken? „Vernichten“ Automatisierung und intelligente Systeme vielleicht doch mehr Arbeitsplätze, als sie schaffen? Und wie verändern Blockchain-Technologien und Quantencomputer die Prozesse?

Auf diese und viele weitere Fragen geht dieses IzR-Heft ein. Autorinnen und Autoren aus Wissenschaft und Praxis beleuchten die Lage in Stadt- und Raumentwicklung sowie im Bauwesen. Sie versuchen sich an einer Definition des Begriffs der Künstlichen Intelligenz, stellen Beispiele aus der Praxis vor und blicken auf künftig mögliche Entwicklungen.

Daniel Regnery
für das Redaktionsteam IzR

Inhalt

4



Quelle: iStock.com/elenabs

4

Künstliche Intelligenz – Zwischen Ängsten und Erwartungen, Hype und Realität

Die Potenziale und Herausforderungen von KI bewegen sich in einem Spannungsfeld zwischen Erwartungen und Ängsten. Aber was genau ist unter KI eigentlich zu verstehen?

Martin Memmel, Andreas Dengel

12

Künstliche Intelligenz und Stadtentwicklung

Der konkrete Einsatz von KI steht in der Stadtentwicklung noch am Anfang. Um die kommunale Daseinsvorsorge zukunftsfähig zu gestalten, ist er in den Kommunen schon jetzt strategisch zu planen und zu erproben.

Orhan Güleş, Eva Schweitzer

26

Künstliche Intelligenz in der Fernerkundung

Wie kann die Fernerkundung mit KI eine konsistente Datenbasis zu zentralen Fragen der Stadt- und Raumbewertung schaffen?

Silas Eichfuss et al.

38



Quelle: iStock.com/metamorworks

38

Künstliche Intelligenz im Bauwesen

Die Möglichkeiten durch KI scheinen endlos zu sein. Wie ist die aktuelle Situation im Bauwesen? Welche KI-Verfahren eignen sich für welche Aufgaben?

Markus König

50

Künstliche Intelligenz im Architekturf Entwurf

Der Beitrag beschreibt neue Möglichkeiten für den Einsatz von KI in Architektur und Städtebau – und zeigt, wie sie die Arbeit von Architektinnen und Architekten verändern.

Reinhard König et al.

62

Künstliche Intelligenz für die gebaute Umwelt

Der Autor stellt vielfältige Anwendungsbeispiele vor, von der Bildverarbeitung über die Verarbeitung von Punktwolken bis zur Vorhersage von Personenströmen.

André Bormann

86



Quelle: iStock.com/hanohiki

96



Foto: Deutsches Museum Bonn

72

Künstliche Intelligenz – Universaler Alleskönner oder digitales „Weiter so“?

Die Autorin ordnet die durch KI ausgelösten Prozesse technikoziologisch ein. Im Fokus stehen die Möglichkeiten ihrer gesellschaftlichen Mitgestaltung und Beherrschbarkeit.

Cordula Kropp

90

Künstliche Intelligenz und Kommunen

Wie lässt sich ein gemeinsames Verständnis von KI und potenziellen Einsatzszenarien in den unterschiedlichen Gestaltungsfeldern entwickeln? Damit beschäftigt sich die Initiative „KI in Kommunen“, kurz #KoKI.

Willi Wendt, Gerald Swarat

80

Digitalisierung und Künstliche Intelligenz

Ein Blick auf Rheinland-Pfalz 2050: Wie lassen sich digitale Technologien im Allgemeinen und KI im Speziellen für eine gemeinwohlorientierte Stadt- und Raumentwicklung nutzen?

Annette Spellerberg et al.

96

Mission KI

Welche Motivation steckt hinter der Weiterentwicklung des Deutschen Museums Bonn zu einem Forum für KI? Und welche Trends greift das Museum damit auf?

Im Gespräch mit Ralph Burmester

86

The AI Localism Canvas

The piece introduces the current state of play in the field, and introduces an “AI Localism Canvas” to help decision-makers identify, categorize and assess instances of AI Localism specific to a city or region.

Stefaan Verhulst, Andrew Young, Mona Sloane

102

IoT, KI, Blockchain und Quantencomputer

Der Beitrag widmet sich den disruptiven Potenzialen der Blockchain-Technologie und den vielfältigen Zusammenhängen zwischen dem Internet der Dinge und der Künstlichen Intelligenz.

Michael Lautwein



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Zwischen Ängsten und Erwartungen,
Hype und Realität

Künstliche Intelligenz ist in aller Munde und scheint unaufhaltsam in immer mehr Lebensbereiche vorzudringen. Verschiedene Akteure diskutieren Potenziale und Herausforderungen, die sich in einem Spannungsfeld zwischen Erwartungen und Ängsten bewegen. Aber was genau ist unter Künstlicher Intelligenz eigentlich zu verstehen? Wie ist ihre aktuelle und zukünftige Rolle in der Stadt- und Raumentwicklung sowie im Bauwesen einzuschätzen? Und wie können wir eine Transformation gestalten, ohne ethische Aspekte zu ignorieren?



Quelle: iStock.com/elenabs

Dr. Martin Memmel

studierte Mathematik und Informatik an der TU Kaiserslautern und arbeitet seit 2003 als Wissenschaftler und Berater im Rahmen verschiedenster Projekte mit Partnern aus Forschung, Industrie und öffentlicher Verwaltung am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI). Er leitet das Smart City Living Lab im DFKI und ist in der Kooperation mit der Stadt Kaiserslautern mitverantwortlich für das urbane Datenmanagement. martin.memmel@dfki.de

Prof. Dr. Prof. h. c. Andreas Dengel

ist geschäftsführender Direktor des DFKI Kaiserslautern und Leiter des Forschungsbereichs „Smarte Daten und Wissensservices“. Er ist Gründer zahlreicher Start-ups und hat international wichtige Auszeichnungen für seine Forschung erhalten. Zudem ist er Inhaber des Lehrstuhls für Künstliche Intelligenz an der TU Kaiserslautern und hat eine Ehrenprofessur an der Osaka Prefecture University in Japan. andreas.dengel@dfki.de

Das Thema Künstliche Intelligenz (KI) hat zwar eine recht lange Geschichte, rückte aber gerade in den vergangenen Jahren besonders in den Fokus von Wissenschaft, Gesellschaft, Politik und nicht zuletzt Medien. Mit dem Begriff verbinden sich oft sowohl große Erwartungen als auch diffuse Ängste. Dies gilt besonders dann, wenn ein KI-Verfahren sich – zumindest potenziell – unmittelbar auf unser tägliches Leben und unser Umfeld auswirken kann. Für die Stadt- und Raumentwicklung sowie das Bauwesen als unmittelbar unser Umfeld beeinflussende Themenfelder ist dies in besonderer Weise der Fall. Ist beispielsweise eine KI-basierte Stadtpla-

nung denkbar? Sollen KI-Verfahren darüber mitentscheiden, wie ein Gebäude umgesetzt wird oder welchen Wünschen aus Politik, Gesellschaft und Wirtschaft Rechnung getragen wird? Werden wir durch Sensorik und Digitalisierung mehr und mehr überwacht? Und bestimmen vielfach intransparent arbeitende Algorithmen unser Leben in der Zukunft? Alt erscheinende Debatten etwa rund um die vielfach und zurecht kritisierte technokratische Planung müssen wir angesichts der aktuellen Entwicklungen und der potenziell sehr weitreichenden Folgen von KI-basierten Verfahren und Technologien erneut führen.

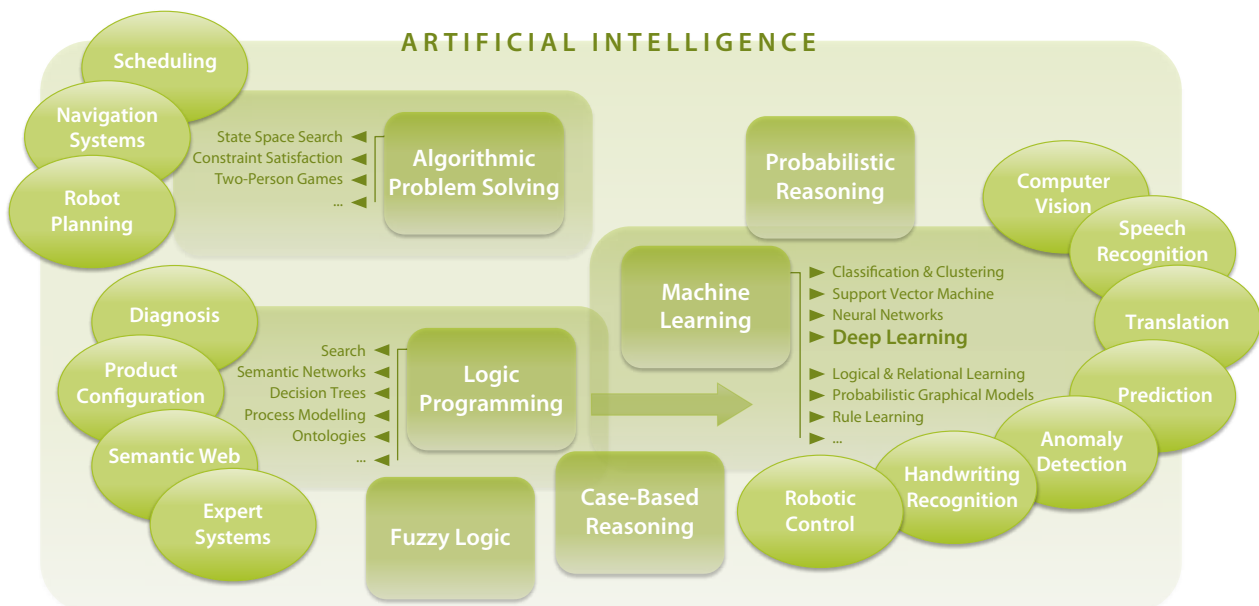
Was genau ist Künstliche Intelligenz?

Viele verwenden den Begriff Künstliche Intelligenz in falschen Zusammenhängen oder gar selbst falsch. Potenziale, Herausforderungen und aktuelle Entwicklungen lassen sich jedoch nur mit einem adäquaten Verständnis für die Begrifflichkeiten einordnen. Wir wollen daher zunächst den Begriff Künstliche Intelligenz genauer erklären und einen kurzen Überblick über seine Geschichte und einige elementare Konzepte und Technologien geben.

Künstliche Intelligenz ist zum einen eine Teildisziplin der Informatik. Zum anderen ist sie aber auch ein „Sammelbegriff für diejenigen Technologien und ihre Anwendungen, die durch digitale Methoden auf der Grundlage potenziell sehr großer und heterogener Datensätze in einem komplexen und die menschliche Intelligenz gleichsam nachahmenden maschinellen Verarbeitungsprozess ein Ergebnis ermitteln“ (Datenethikkommission 2018: 1).

1

KI ist vielfältig und bietet ein reichhaltiges Portfolio an Modellen und Verfahren



Quelle: Andreas Dengel, DFKI (eigene Darstellung)

Um entscheiden zu können, ob eine Technologie oder eine Anwendung „intelligentes Verhalten“ zeigt, braucht es also unmittelbar auch ein tieferes Verständnis: Was bedeutet Intelligenz? Intelligentes Verhalten erfordert in unterschiedlichen Anteilen bestimmte zentrale Fähigkeiten: Wahrnehmen, Verstehen, Planen, Handeln und Lernen (vgl. Burchardt 2018: 13). Entsprechend dieser Fähigkeiten lässt sich eine „schwache KI“ von einer „starken KI“ unterscheiden. Schwache KI ist ein Sammelbegriff für Technologien mit starkem Anwendungsbezug, die auf eine konkrete Lösung in einem klar definierten Problemkontext abzielen. In diese Kategorie fallen alle heutigen KI-Systeme. Die starke KI verfolgt im Gegensatz dazu ein viel weitergehendes und ambitionierteres Ziel: Sie versucht, die vollständigen intellektuellen Fertigkeiten von Menschen unabhängig von einem konkreten Problemkontext zu imitieren oder gar zu übertreffen. Auch wenn die dieser Kategorie zuzuordnenden Ängste sehr prä-

sent sind, ist weder kurz- noch mittelfristig mit der Realisierung solcher Ansätze zu rechnen.

Historisch gesehen ist die Idee intelligenter Maschinen nicht neu. Sie wurde bereits vor dem Aufkommen der Computer mit klassischen mechanischen Ansätzen umgesetzt, oft in spielerischer Art und Weise. Eine gänzlich neue Dimension erhielt das Thema jedoch mit dem Digitalrechner. Mit ihm gab es erstmals eine adäquate Technologie zur Simulation berechenbarer Aspekte der Intelligenz. Nach der als Geburtsstunde der KI geltenden, von US-amerikanischen Forschern initiierten Dartmouth-Konferenz im Jahr 1956 unterlag die Popularität des Themas Künstliche Intelligenz immer wieder größeren Schwankungen. Vor allem wegen der großen und sichtbaren Fortschritte im Bereich Deep Learning und der Durchdringung aller Lebensbereiche mit digitalen Technologien ist die KI heute jedoch mehr im Fokus als jemals zuvor.

Data Mining, Machine Learning, Deep Learning

Mit simplen manuellen Analysen lassen sich aus großen Datenmengen – Big Data – in der Regel keine Erkenntnisse über Muster und Strukturen gewinnen. Ebenso stoßen Visualisierungen wie Diagramme oder Schaubilder schnell an ihre Grenzen. Eine Analyse der Daten muss wenigstens teilweise automatisiert sein. Die Forschungs- beziehungsweise Anwendungsgebiete Knowledge Discovery in Databases sowie Data Mining beschäftigen sich methodisch damit, intelligente und rechnergestützte Verfahren für die Datenanalyse zu entwickeln. Genauer geht es beim Data Mining darum, Modelle zu bilden, die Regularitäten und Zusammenhänge in großen Datenmengen erklären.

Zu den typischen Aufgaben im Data Mining gehören die Klassifikation, die Segmentierung, das Clustering, die Vorhersage, die Trendanalyse oder die Assoziationsanalyse (das Entdecken von Abhängigkeiten zwischen einzelnen Daten). Zahlreiche Branchen setzen es schon seit vielen Jahren ein, etwa das Direktmarketing und die Finanz- und Versicherungswirtschaft.

Besonders wichtig ist, dass das Data Mining immer ein Prozess ist, in dem Mensch und Maschine interagieren und bei dem Expertenwissen über die Anwendungsdomäne und mögliche Technologien unerlässlich ist. Data-Mining-Tools unterstützen den Menschen bei der Datenanalyse, können ihn jedoch nicht ersetzen. Der Mensch wählt zunächst Daten aus, bestimmt notwendige Schritte für eine Vorverarbei-

tung dieser Daten und wählt sowie parametrisiert Methoden. Hier stehen zahlreiche Verfahren und Technologien zur Verfügung, zum Beispiel die klassische Statistik, Entscheidungsbäume, Bayes-Klassifikatoren oder künstliche neuronale Netze. Nachdem die Maschine Modelle vorgeschlagen und quantitative Bewertungen erstellt hat, analysiert der Mensch Qualität und Nützlichkeit und akzeptiert oder verwirft die Modelle. Dabei legt er verschiedene Qualitätskriterien für Wissen an: Korrektheit, Allgemeinheit, Nützlichkeit, Verständlichkeit oder Neuheit.

Das Prozesshafte, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine sowie die notwendigen Aufgaben beim Selektieren und Vorverarbeiten der Daten sind bei der KI ganz allgemein zentrale Aspekte. Häufig gibt es jedoch die falsche Erwartungshaltung, dass es sich bei Verfahren der KI um monolithische Werkzeuge handelt, die sich ohne Vorarbeiten und spezielle Kenntnisse der Domäne unmittelbar anwenden lassen.

Machine Learning ist eine Schlüsseltechnologie der Künstlichen Intelligenz und ein Überbegriff für zahlreiche Verfahren. Es zielt darauf ab, selbstständig basierend auf zur Verfügung gestellten Daten Muster zu erkennen und Modelle zu lernen. Darin unterscheidet es sich von wissensbasierten Systemen, die das benötigte Wissen in einem manuellen oder nur teilautomatisierten Prozess zur Verfügung stellen.

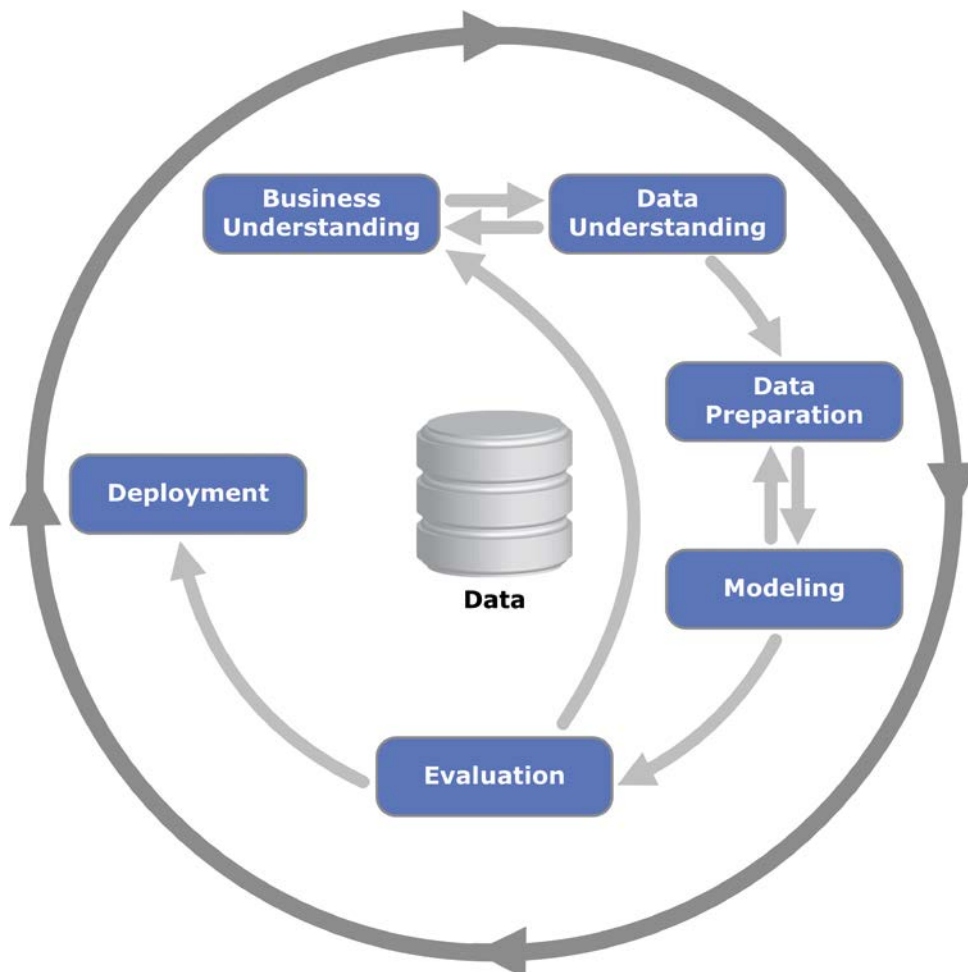
Man unterscheidet dabei grundsätzlich zwischen überwachtem und unüberwachtem Lernen. Im ersteren Fall kennt das System bereits die korrekten Antworten oder Hypothesen und versucht mit diesen Informationen ein Modell zu lernen. Beim unüberwachten Lernen ist dagegen noch nicht bekannt, was gelernt werden soll.

Eine weitere prominente Klasse an Verfahren nennt sich bestärkendes oder verstärkendes Lernen (reinforcement learning).

Hier reagiert ein System auf positive Rückmeldungen und „Belohnungen“. Eine solche Belohnung ist ein Wert, den eine Bewertungsfunktion dem Verfahren abhängig vom aktuellen Status übermittelt – ist das Ziel etwa das Lernen eines bestimmten Spiels, so lässt sich ein solcher Wert durch Bewertung einer Spielsituation generieren. Auf diese Weise erlernt das Verfahren selbstständig ein Modell, um möglichst viele Belohnungen zu erhalten.

2

Data-Mining- oder KI-Projekte sind rekursiver Natur, hier beispielhaft dargestellt anhand des etablierten „Cross Industry Standard Process for Data Mining“



Quelle: Kenneth Jensen, CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons)

Eine Schlüsselrolle auf dem Gebiet der KI-Technologien spielt seit einigen Jahren das Deep Learning. Es bezeichnet eine spezielle Klasse von Optimierungsmethoden von künstlichen neuronalen Netzen, einem Teilbereich des Machine Learning. Diese Netze werden oft auch als „Deep Neural Networks“ bezeichnet und stehen seit einiger Zeit beinahe synonym für die zunehmend größere Bedeutung des Themas KI im öffentlichen Diskurs. Die beim Deep Learning verwendeten Verfahren sind nicht neu, doch der Stand der Technik hat

sich deutlich entwickelt. Das liegt vor allem an der immer größeren Menge an Daten, der Verfügbarkeit leistungsfähiger Hardwareinfrastrukturen sowie der enorm verbesserten Verarbeitung dieser Daten in zahlreichen Anwendungsbereichen – wie etwa in der Bild- und Spracherkennung (LeCun et al. 2015). Die aktuellen Herausforderungen der sich dynamisch entwickelnden KI-Forschung fassen auch Dengel et al. (2021) zusammen.

Künstliche Intelligenz und Stadtentwicklung

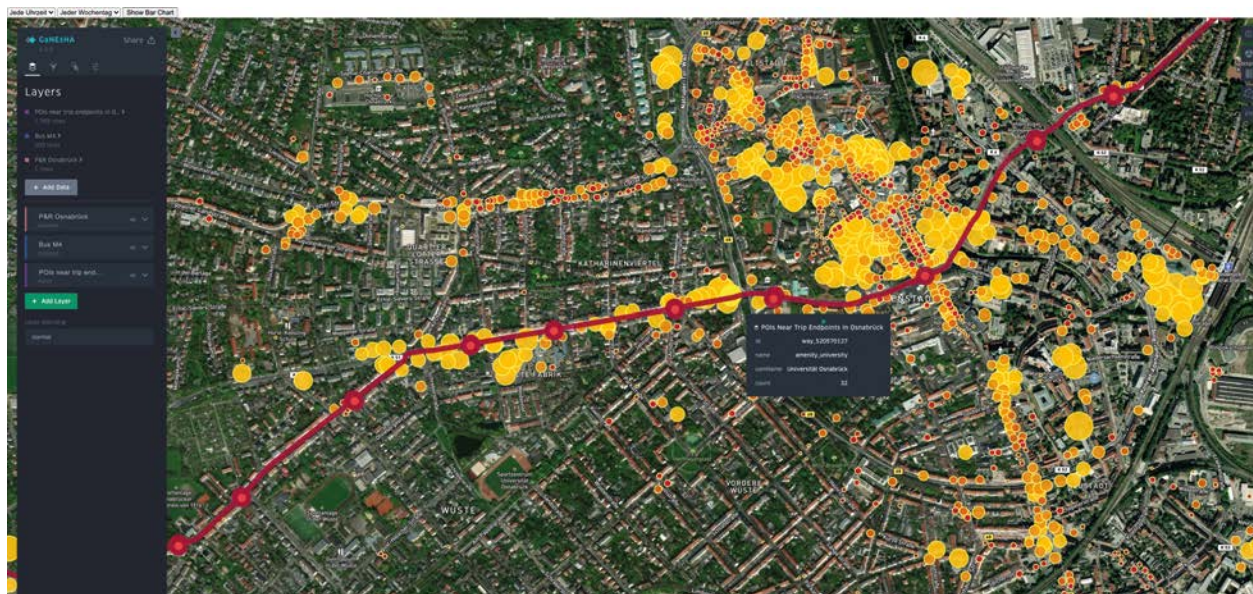
Nach Schätzungen der Vereinten Nationen lebte im Jahr 2018 mehr als die Hälfte der Menschheit in Städten; für das Jahr 2030 prognostiziert die UN sogar mehr als 60 Prozent (UN 2019). Schon deshalb sind Städte als Einsatzfelder für (neue) Technologien besonders relevant. Der datengesteuerte Wandel und die damit einhergehende Transformation durchdringt sie in besonderer Art und Weise und betrifft nahezu alle Lebensbereiche. Der Wandel ergibt sich primär aus der immer größer werdenden Menge an verfügbaren

Daten und der zunehmenden Rechnerkapazität. Das betrifft fast alle denkbaren Anwendungsfelder im urbanen Umfeld. Exemplarisch seien hier drei Felder genannt:

- **Kommunikation:** zum Beispiel durch autonom agierende Chatbots, mit denen Bürgerinnen und Bürger zu ausgewählten Themen interagieren können
- **Mobilität:** zum Beispiel durch intelligente Verkehrsleitsysteme, die automatisch auf die aktuelle Verkehrssituation eingehen

3

BMVI-Projekt GaNESHA (Ganzheitlicher Netzwerkansatz zur Erkennung systemimmanenter Hindernisse und Abstimmungspotenziale): Die mit KI durchgeführte Analyse von ortsbasierten Kfz-Daten half dabei, die Verkehrssituation in Osnabrück zu verbessern



Quelle: DFKI, eigene Darstellung

- **Energieversorgung:** zum Beispiel intelligente Stromnetze zur optimierten Abstimmung von Stromerzeugung und Stromverbrauch

Die Anwendungen laufen vielfach unter dem Begriff Smart City, wobei insbesondere im Bereich kommerzieller Produkte häufig ein zu enges und primär technologiegetriebenes Verständnis dieses Begriffs dominiert.

Aber wann ist eine Stadt eigentlich „smart“? Die Smart City Charta (BBSR/BMUB 2017) nennt zur Definition folgende Attribute: „lebenswert und liebenswert“, „vielfältig und offen“, „partizipativ und inklusiv“, „klimaneutral und ressourceneffizient“, „wettbewerbsfähig und florierend“, „aufgeschlossen und innovativ“, „responsiv und sensitiv“ sowie „sicher und raumgebend“. Technologie kann hier zwar häufig unterstützend wirken, ist aber nicht der primäre Schlüssel.

Eine spezielle Rolle bei der Anwendung von KI im städtischen Kontext spielen die Kommunen selbst. Zum einen, weil sie zumindest potenziell über eine sehr große Menge an Daten verfügen. Zum anderen, weil sie verantwortlich für die Daseinsvorsorge und die Entwicklung der Städte sind. Geht es um die reine Verfügbarkeit von Daten als Voraussetzung für die Anwendung von KI, so sind mehr und mehr Kommunen „KI-ready“. Das gilt jedoch meist nicht für die ebenso notwendigen technischen, strukturellen und organisatorischen Voraussetzungen. Hier sind informierte Entscheidungsträgerinnen und -träger von essenzieller Bedeutung, um Potenziale und Herausforderungen realistisch einschätzen zu können. Zudem müssen Kommunen mit entsprechenden finanziellen und personellen Ressourcen ausgestattet sein. Letzteres ist gerade bei den für die Arbeit mit KI notwendigen technischen Kompetenzen besonders schwierig umzusetzen.

Nicht nur eine lästige Pflicht: Ethik und Moral

Die Frage, inwieweit eine Künstliche Intelligenz ethische und moralische Aspekte berücksichtigt oder überhaupt berücksichtigen kann, ist auch in der Öffentlichkeit viel diskutiert. Ethik und Moral sind besonders dann wichtig, wenn eine Anwendung Menschen oder für sie sehr relevante Aspekte des Daseins betrifft. Für eine detaillierte Diskussion insbesondere zu den philosophischen Grundfragen des Themas Maschinenethik sei hier auf Misselhorn (2018) verwiesen.

Auch wenn sich KI-Verfahren nicht als bewusst handelnde Entitäten betrachten lassen, so heißt dies eben nicht, dass durch sie generierte Visualisierungen, Empfehlungen oder gar automatisiert durchgeführte Entscheidungen ethisch und moralisch „neutral“ sind. Letztendlich sind es nämlich Menschen, die die Verfahren entwickeln und sich für Methoden und Komponenten entscheiden. Und insbesondere beim Machine Learning sind es Menschen, die die Trainingsdaten für einen Algorithmus auswählen.

Ein Verfahren realisiert genau das, was Menschen ihm beigebracht haben – selbst wenn es nicht unbedingt das ist, was das eigentliche Ziel einer Entwicklung war. So können sich etwa Vorurteile in einem Satz aus Trainingsdaten auch in einem Modell widerspiegeln, das diese Vorurteile bei Anwendung in einem KI-Verfahren wieder repliziert. Prominente

Beispiele hierfür sind Recruiting-Algorithmen, die aus einer höheren Anzahl Bewerbungen von Männern schließen, dass Frauen potenziell schlechtere Mitarbeiter sind, und Chatbots, die sich zu homophoben und rassistischen Aussagen bewegen lassen, sowie Prognosesysteme, die das äußere Erscheinungsbild einer Person als Indiz für eine Neigung zur Kriminalität interpretieren (Höffken et al. 2019).

Zu erkennen und zu entscheiden, ob ein Algorithmus gerecht oder vorurteilsfrei arbeitet, ist eine komplexe und höchst relevante Aufgabe. Das gilt gerade angesichts der aktuell auf vielen politischen Ebenen diskutierten Fragen des Einsatzes von KI.

Welche Anforderungen sollte eine KI also erfüllen? Eine Gruppe von acht Informationsfreiheitsbeauftragten aus acht Bundesländern verfasste hierzu 2018 ein Positionspapier, das konkrete Anforderungen definiert (IFG 2018: 3). Dazu gehören unter anderem Forderungen nach Transparenz, Offenheit, Dokumentation und Diskriminierungsfreiheit sowohl bei Bewertungsfunktionen als auch bei den zugrundeliegenden Trainingsdaten. Auch die „Hambacher Erklärung zur Künstlichen Intelligenz“ (DSK 2019) liefert wertvolle Hinweise für einen verantwortungsvollen Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Sie betont, dass KI Verantwortlichkeiten

braucht. Die Verantwortung für entscheidende Fragen in unserem Dasein dürfen wir nicht einfach auf Algorithmen abwälzen. Sie liegt bei uns Menschen und bedarf adäquater organisationaler Richtlinien und Strukturen, so dass KI-Verfahren nicht unkontrolliert eingesetzt werden. Zuvor klar identifizierte, verantwortliche Akteure müssen vor und auch

während eines Einsatzes ethische und datenschutzrechtliche Abwägungen treffen. Dies gilt nicht nur für den Einsatz, sondern auch für die Entwicklung von Verfahren – hier sollten Aspekte wie Diversität und Diskriminierungsfreiheit von Beginn an mitgedacht werden.

Künstliche Intelligenz – die Transformation gestalten

In welchem Umfang, in welchen Lebensbereichen und vor allem in welcher Art KI unser Leben in den kommenden Jahren und Jahrzehnten beeinflusst und transformiert, kann heute noch niemand voraussehen. Aber es ist gerade im Bereich der Stadt- und auch Raumentwicklung von zentraler Bedeutung, diese Transformation zu steuern und sowohl aufgeschlossen als auch kritisch zu begleiten. Das gilt für die Forschung, die Politik, die Verwaltung und die Zivilgesell-

schaft. Es bedarf eines transparenten, inklusiven, kontinuierlichen Prozesses des Abwägens von Potenzialen und Gefahren, von Vor- und Nachteilen. KI ist nicht etwas, das „einfach so kommt“ – es ist ein gemeinsam zu gestaltendes Thema. Nur mit diesem Willen zur Gestaltung kann KI dazu beitragen, die Gesellschaft sozial, ökologisch und ökonomisch nachhaltig zum Wohle der Menschen zu verändern.

Literatur

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung; **BMUB** – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2017: Smart City Charta: Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Bonn.

Burchardt, A., 2018: So schnell schafft der Mensch sich nicht ab! In: Enskat, S.; Schnabel, A. (Hrsg.): *Auslandsinformationen (Ai)*, Vol. 01/2018. Konrad-Adenauer-Stiftung: 10–17.

Datenethikkommission, 2018: Empfehlungen der Datenethikkommission für die Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Zugriff: https://www.bmjv.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/ForschungUndWissenschaft/DEK_Empfehlungen.pdf [abgerufen am 15.07.2021].

Dengel, A.; Etzioni, O.; DeCario, N.; Hoos, H.; Li, F.-F.; Tsujii, J.; Traverso, P., 2021: Next big challenges in core AI technology, In: Braunschweig, B.; Ghallab, M. (Hrsg.): *Reflections on Artificial Intelligence for Humanity*, LNAI 12600, Springer, Wiesbaden: 90–115.

DSK – Datenschutzkonferenz, 2019: Hambacher Erklärung zur Künstlichen Intelligenz. Sieben datenschutzrechtliche Anforderungen. Entschließung der 97. Konferenz der unabhängigen Datenschutzaufsichtsbehörden des Bundes und der Länder Hambacher Schloss 3. April 2019. Zugriff: https://www.datenschutzkonferenz-online.de/media/en/20190405_hambacher_erklaerung.pdf [abgerufen am 29.04.2021].

Höffken, S.; Lüders, B.; Memmel, M., 2019: Künstliche Intelligenz und Stadt – Eine kurze Einführung, Potenziale und Herausforderungen für die Planung. In: *Planerin: Fachzeitschrift für Stadt-, Regional- und Landesplanung*, 2019(1): 5–8.

IFG – Informationsfreiheitsgesetz, 2018: Transparenz der Verwaltung beim Einsatz von Algorithmen für gelebten Grundrechtsschutz unabdingbar. Positionspapier von 8 Informationsbeauftragten im Rahmen der 36. Konferenz der Informationsbeauftragten in Deutschland am 16. Oktober 2018. Zugriff: https://www.datenschutzzentrum.de/uploads/informationsfreiheit/2018_Positionspapier-Transparenz-von-Algorithmen.pdf [abgerufen am 30.04.2021].

LeCun, Y.; Bengio, Y.; Hinton, G., 2015: Deep Learning. In: *Nature* 521 (7553): 436–444.

Misselhorn, C., 2018: *Grundfragen der Maschinenethik*. Reclam Verlag, Stuttgart.

UN – United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019: *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations.

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 Begriffseindeutigkeit 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

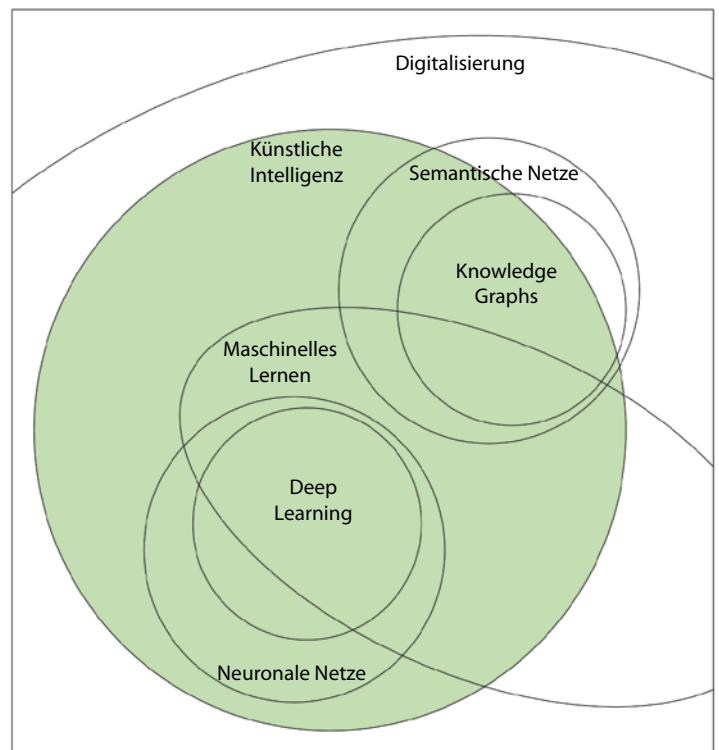
Die internationale fachliche und politische Diskussion fokussiert zunehmend nicht nur auf Chancen, sondern zugleich auf Risiken unregulierter KI-Nutzung. So initiierten die Europäische Kommission (EK), einige europäische Staaten, die USA und asiatische Staaten wie Japan (politische) Prozesse zum ethischen 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 ethischen 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:

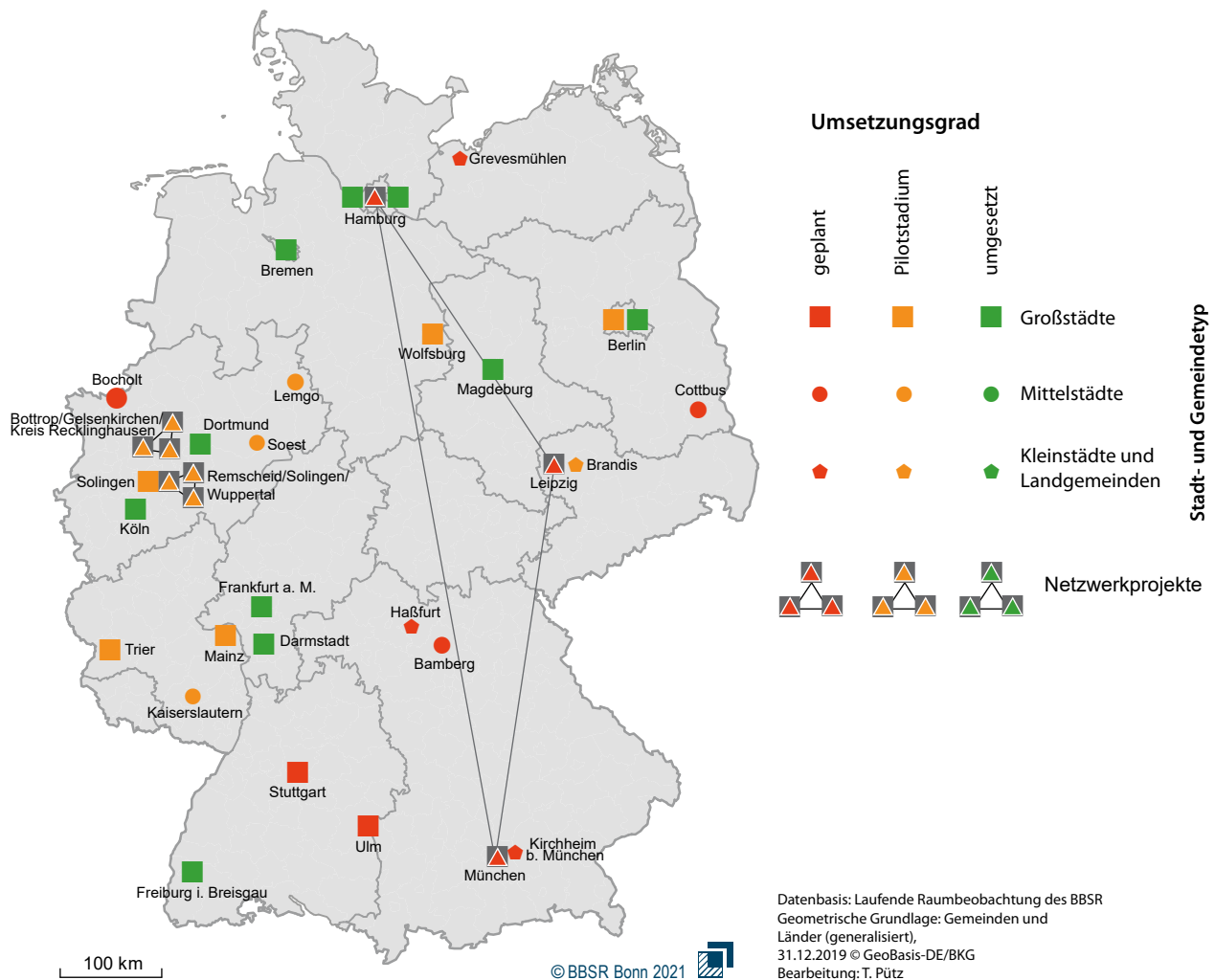
- Mobilitätsplattformen, urbanes Verkehrs- und Logistikmanagement (einschl. Überwachung der Luftqualität), Infrastrukturen für autonomes Fahren (10)
- intelligente Straßenzustandserfassung und -bewertung (2)
- Entwicklung und Realisierung KI-gestützter digitaler Zwillinge (8)

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

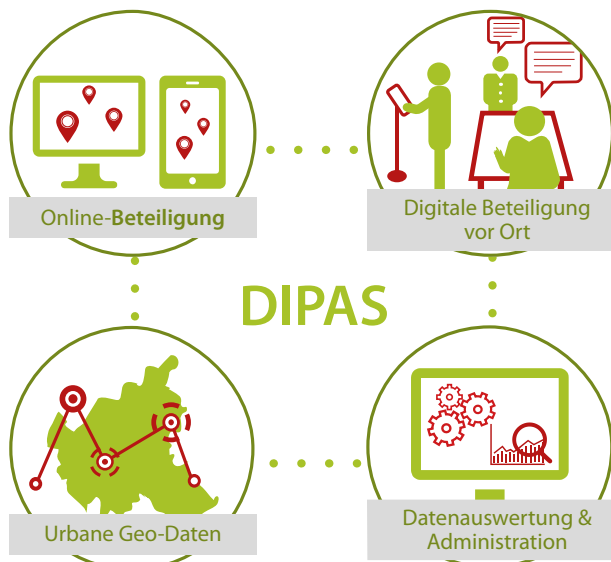
Das Digitale Partizipationssystem (DIPAS) steht beispielhaft für den KI-Einsatz in der E-Partizipation (vgl. Freie und Hansestadt Hamburg 2021, Lieven/Schubbe 2020). Die Stadt Hamburg startete das Projekt 2017 und setzt DIPAS seit 2020 stadtwert ein. Projektpartner sind unter anderem die Behörde für 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.

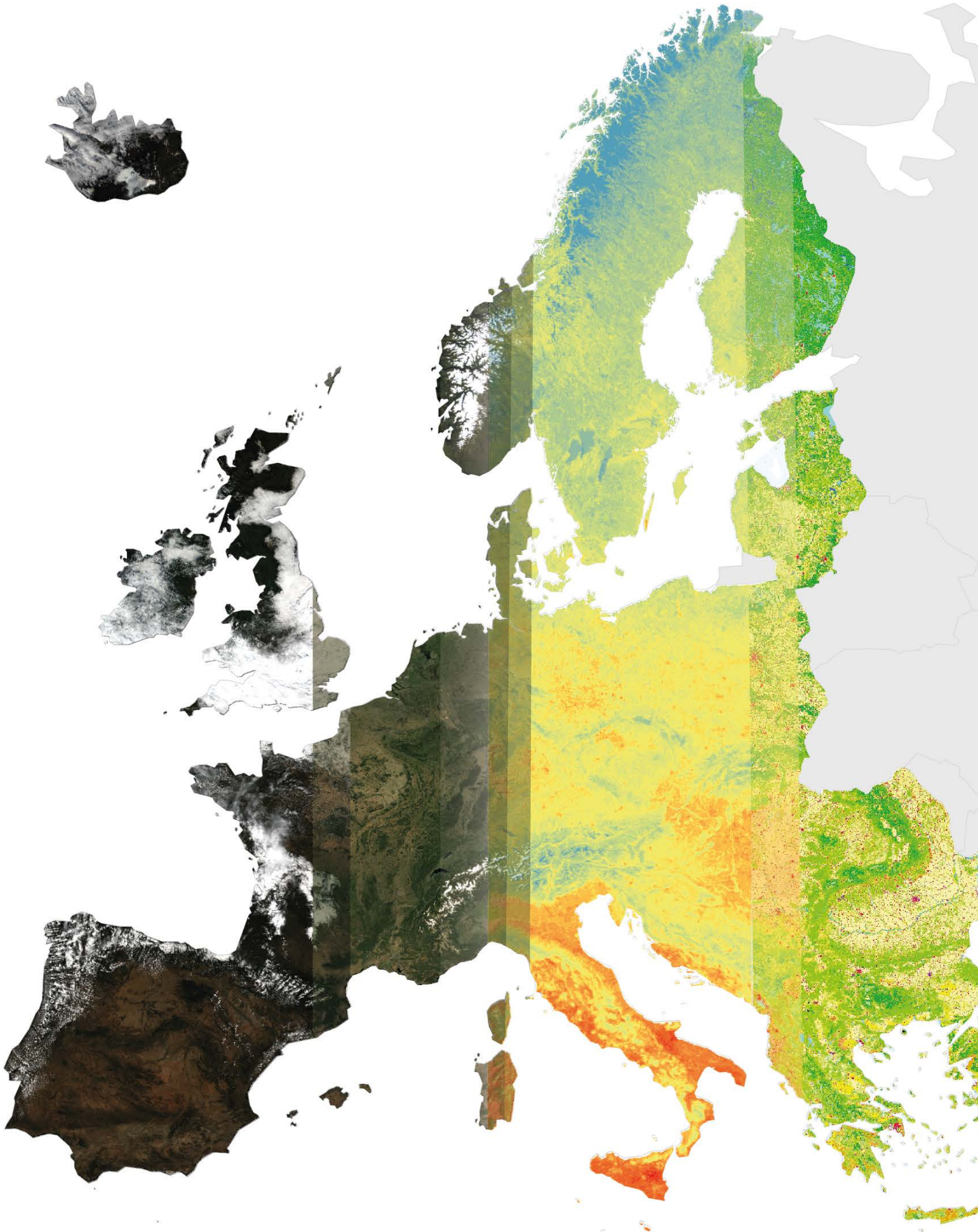


Foto: Eva Schweitzer

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].



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IN DER FERNERKUNDUNG

Der Beitrag beleuchtet, welche Möglichkeiten sich in der Fernerkundung durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) ergeben. Im Fokus stehen Grundlagen und Anwendungsbeispiele zur KI in der Fernerkundung. Wie lässt sich eine konsistente und grenzübergreifende Datenbasis zu zentralen Fragen der Stadt- und Raumbearbeitung schaffen?

Silas Eichfuss

ist Projektleiter im Referat „Stadt-, Umwelt- und Raumbearbeitung“ des BBSR. Seine Arbeitsschwerpunkte sind unter anderem die Weiterentwicklung des Siedlungsflächenmonitorings mit neuen hochauflösenden Daten sowie die Entwicklung und Betreuung von Forschungsprojekten.
silas.eichfuss@bbr.bund.de

Anna Hellings

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Referat „Europäische Raum- und Stadtentwicklung“ des BBSR. Neben der Mitarbeit in der Laufenden Raum- und Stadtbeobachtung sowie im europäischen Forschungsnetzwerk ESPON beschäftigt sie sich im Rahmen ihres Promotionsvorhabens mit der Entwicklung von städtischen Hitzeinseln (Surface Urban Heat Islands) im Kontext der Urbanisierung und des Klimawandels in Europa.
anna.hellings@bbr.bund.de

Martina Hollen

ist studentische Hilfskraft im Referat „Stadt-, Umwelt- und Raumbearbeitung“ des BBSR. Hauptsächlich unterstützt sie das Projekt incora (Inwertsetzung von Copernicus-Daten für die Raumbearbeitung). Sie studiert Geografie im Master an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
s6maholl@uni-bonn.de

Thomas Tschirner

ist für die inhaltliche Betreuung des Projekts „Informationen zu Gebäuden aus Fernerkundungsdaten“ verantwortlich. Er ist Projektleiter im Referat „Energieoptimiertes Bauen“ des BBSR mit dem Schwerpunkt erneuerbare Energien in Nichtwohngebäuden.
thomas.tschirner@bbr.bund.de

Dr. Fabian Dosch

betreut derzeit zwei Projekte zur Fernerkundung (Monitoring des Stadtgrüns, incora: Inwertsetzung von Copernicus-Daten für die Raumbearbeitung). Er leitet das Referat „Stadt-, Umwelt- und Raumbearbeitung“ des BBSR.
fabian.dosch@bbr.bund.de

Die Stadt- und Raumentwicklungspolitik ist auf verlässliche Daten angewiesen, zum Beispiel, um den Fortschritt des 30-ha-Ziels zu kontrollieren. Dieses Ziel ist Teil der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, bei der die Neuinanspruchnahme mit Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2030 auf unter 30 ha pro Tag reduziert werden soll. Ein weiteres Beispiel ist die Grünausstattung von Städten, die im Kontext des Klimawandels immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die amtliche Flächenstatistik stößt bei der Lieferung dieser Informationen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung an ihre Grenzen. Die Fernerkundung kann diese Daten als mögliche Al-

ternative bereitstellen. Immer mehr private öffentliche Unternehmen und Start-ups bieten ihre Dienstleistungen auf Basis von über Fernerkundung gewonnenen Informationen an, auch für den Bereich der Stadt- und Raumentwicklung. Ermöglicht hat das die rasante Entwicklung der Rechengeschwindigkeit und Speicherkapazitäten von Computern in den vergangenen zehn Jahren. Unter den Sammelbegriffen Künstliche Intelligenz (KI), maschinelles Lernen und Deep Learning bilden heute viele – teilweise schon seit Jahrzehnten bekannte – Verfahren die Basis der massenhaften und schnellen Auswertung von Fernerkundungsdaten.

Fernerkundung – Programme, Ziele und verfügbare Daten

In Deutschland bieten die Landesvermessungsämter – je nach Open-Data-Politik der Bundesländer – frei verfügbare Daten an. Es gibt zudem weltweite und speziell europäische Angebote, die sich über verschiedene Datenportale abrufen lassen (CODE-DE; Google Earth Engine; GitHub ec-jrc/cbm). Neben den frei zugänglichen Daten verschiedener nationaler und internationaler Raumfahrtbehörden (DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, NASA – National Aeronautics and Space Administration, ESA – European Space Agency) gibt es auch zahlreiche kommerzielle Produkte. Sie sind oft auf spezielle Themengebiete zugeschnitten – beispielsweise auf die Befliegung von Feldern und Plantagen durch Drohnen in der Agrarwirtschaft.

Im Bereich der frei zugänglichen Daten ist das ESA-Programm Copernicus besonders hervorzuheben. Es zielt darauf ab, eine moderne und effiziente Infrastruktur für Erdbeobachtungs- und Geoinformationsdienste aufzubauen. Im Vordergrund stehen Umwelt- und Klimaschutz, Zivilschutz und Sicherheit, neue Anwendungen und Dienste aus der Erdbeobachtung, eine kontinuierliche globale Umweltüberwachung und die freie und zeitnahe Bereitstellung von Daten.

Einer der wichtigsten Schritte während der Entwicklung des Programms war die Einigung des Europäischen Parlaments und des Rates, dass die Daten für jeden frei und offen zugänglich sein sollten. Anfang 2014 trat die Verordnung zur Einrichtung des Copernicus-Programms in Kraft, die zu seiner langfristigen Umsetzung als operationelles Erdbeobachtungssystem in Europa führte.

Die Daten werden methodisch unterschiedlich gewonnen, wobei Erdbeobachtungssatelliten eine zentrale Rolle ein-

nehmen (UBA 2017: 40). Die operative Phase des Programms begann nach dem Inkrafttreten der Verordnung mit dem Start des ersten Sentinel-Satelliten (Ehlert/Schweitzer 2018: 3). Mittlerweile befinden sich sieben Sentinel-Satelliten im Orbit, die bis auf Sentinel-5P als Satelliten-Paar (Tandem) unterwegs sind (Ehlert/Schweitzer 2018: 4 f.).

Je nach Missionsziel sind die Satelliten mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattet und somit in der Lage, verschiedene Daten aufzunehmen. Hervorzuheben ist der Satellit Sentinel-2: Er dient der visuellen Landüberwachung und ist die zur Erfassung der Landbedeckung wichtigste Quelle.

Ein weiterer Teil des Copernicus-Programms ist die Aufbereitung und Bereitstellung der erhobenen Daten. In-situ-Beobachtungen, also Beobachtungen vor Ort, ergänzen die Satellitendaten. So lassen sich mit numerischen Modellen benutzerfreundliche Daten- und Informationsprodukte für die sechs Copernicus-Dienste erzeugen, die den Kern des Programms bilden (vgl. Abb. 1). Spezialisierte Dienstleister, die sogenannten „Entrusted Entities“, setzen diese Dienste im Auftrag der Europäischen Kommission um (Ehlert/Schweitzer 2018: 8).

Landbedeckung und Landnutzung zeigen an, wie menschliches Handeln die Umwelt belastet. Das Projekt CORINE Land Cover (CLC) liefert Daten über die europäische Landfläche im Zeitverlauf. Seit 1990 werden die Daten europaweit ab einer minimalen Kartierungseinheit (MMU – minimal mapping unit) von 25 ha für Flächen und 100 m für lineare „Phänomene“ betrachtet und gesammelt. Kleinere Flächen ordnet eine Matrix, die in 44 Landbedeckungs- und Landnutzungs-klassen eingeteilt ist, der nächstpassenden Klasse zu.

1

Copernicus-Dienste und ihre „Entrusted Entities“

Service	Entrusted Entity
Land monitoring	Global: JRC – Joint Research Centre; European: EEA – European Environment Agency
Marine monitoring	Mercator Océan
Atmosphere monitoring	ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
Climate change	ECMWF
Emergency management	JRC
Security	FRONTEX, EMSA, SatCEN

Quelle: Ehlert/Schweitzer 2018

Seit dem Jahr 2000 können sich Nutzerinnen und Nutzer nicht nur über die bestehenden Flächen informieren, sondern auch über die zeitliche Veränderung der Landnutzung und Landbedeckung seit 1990. Obwohl die Europäische Umweltagentur den Datensatz bereitstellt, ist sie hauptsächlich für die Koordination, Integration und Auswertung verantwortlich. Das Netzwerk „Eionet National Reference Centres on Land Cover“ (NRC LC) erstellt die nationalen CLC-Datenbanken (Copernicus Programme o. J.). In Deutschland nimmt das Fernerkundungsdatenzentrum des DLR diese Aufgabe im Auftrag des Umweltbundesamtes wahr (UBA 2020). Die meisten Datensätze werden mit hochauflösenden Satellitenbildern klassifiziert. Einige andere werden basierend auf halbautomatischen Prozessen erzeugt. Diese Prozesse bau-

en sowohl auf In-situ-Daten als auch auf Satellitenbildern, Generalisierungen und GIS-Integrationen auf.

Copernicus hat in den vergangenen Jahren zu einem rapiden Wachstum an verfügbaren Fernerkundungsdaten beigetragen. Wie Künstliche Intelligenz, insbesondere maschinelles Lernen, die Fernerkundung verbessern kann, stand auch im Zentrum des Nationalen Copernicus-Forum 2021. Anwendungsbeispiele – zum Beispiel zur morphologischen und semantischen Kartierung städtischer Gebiete, zur Unterstützung der gemeinsamen Agrarpolitik oder zur Erfassung der Grünausstattung von Städten – zeigen das Potenzial der KI für die Erdbeobachtung (DLR/EOC 2021).

Rohdaten aus der Fernerkundung

In der Fernerkundung misst ein Sensor, der nicht in physischem Kontakt zum Untersuchungsobjekt steht, bestimmte Objekteigenschaften der Erdoberfläche. Er erfasst dabei reflektierte und/oder emittierte elektromagnetische Strahlung von Objekten auf der Erdoberfläche, den Ozeanen oder der Atmosphäre (Lillesand et al. 2004: 1; Khorram et al. 2012: 2). Je nach Größe des zu erfassenden Gebiets kommen unterschiedliche Trägersysteme zum Einsatz: Drohnen und terrestrische Lösungen für kleinräumige Untersuchungen, Flugzeuge für Städte oder Bundesländer, Satelliten für die kontinuierliche, großflächige Beobachtung der Erdoberfläche. Oft werden mehrere Sensoren kombiniert, um das Trägersystem optimal auszunutzen.

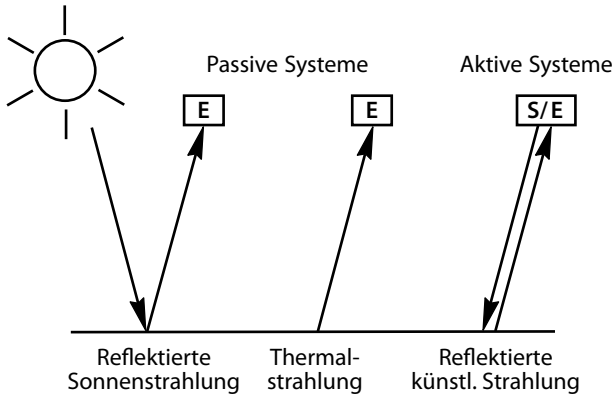
Die eingesetzten Sensoren lassen sich je nach Quelle der gemessenen Strahlung in aktive und passive Fernerkundungs-

systeme unterteilen (vgl. Abb. 2). Passive Systeme, auch optische Systeme genannt, messen Strahlung im Wellenlängenbereich der ultravioletten, sichtbaren und Infrarot-Strahlung. Dabei geht es um die an der Erdoberfläche reflektierte Sonneneinstrahlung oder die Thermalstrahlung, die jeder Körper aufgrund seiner Oberflächentemperatur emittiert. Für die Messung der reflektierten Strahlung braucht es daher Sonnenlicht und eine wolkenfreie Atmosphäre.

Aktive Fernerkundungssysteme senden eigene, künstlich erzeugte Strahlung aus. Dabei messen sie den reflektierten Anteil dieser Strahlung (Jensen 2007: 291). Bei der ausgesendeten Strahlung kann es sich sowohl um elektromagnetische Strahlung – zum Beispiel bei Radar- oder LiDAR-Systemen (Light Detection And Ranging) – als auch um Schallwellen handeln. Radarsysteme senden Mikrowellen aus, die Wel-

2

Strahlungsfluss der elektromagnetischen Strahlung mit aktiven und passiven Fernerkundungssensoren am Beispiel der reflektierten Sonnenstrahlung, Thermalstrahlung und reflektierten künstlichen Strahlung



E = Empfänger (Sensor), S = Sender

Quelle: Albertz 2008: 10

lenlängen befinden sich dabei im mm- bis m-Bereich. Diese Strahlen durchdringen Wolken, somit ist eine wetterunabhängige Messung möglich. Ein LiDAR-System besteht aus Sender, Empfänger und Verarbeitungseinheit und kann an verschiedenen Trägersystemen installiert werden.

Um das aufgenommene Material zu nutzen, müssen die Rohdaten vorher aufbereitet werden. Dies erfordert eine

geometrische (Orthorektifizierung) sowie eine radiometrische (atmosphärische, topografische) Korrektur. Rechnerische Auswertungsverfahren ermöglichen die Informationsreduktion und -selektion bis hin zur statistischen und/oder regelbasierten Klassifikation auf Pixel- oder Segmentebene (Honecker/Löffler 2018). Anwenderinnen und Anwender können zum Beispiel in den Daten Wolken entfernen oder Satellitenbildszenen zu einem Mosaik verknüpfen. Die Daten werden also zur direkten Verarbeitung vorverarbeitet.

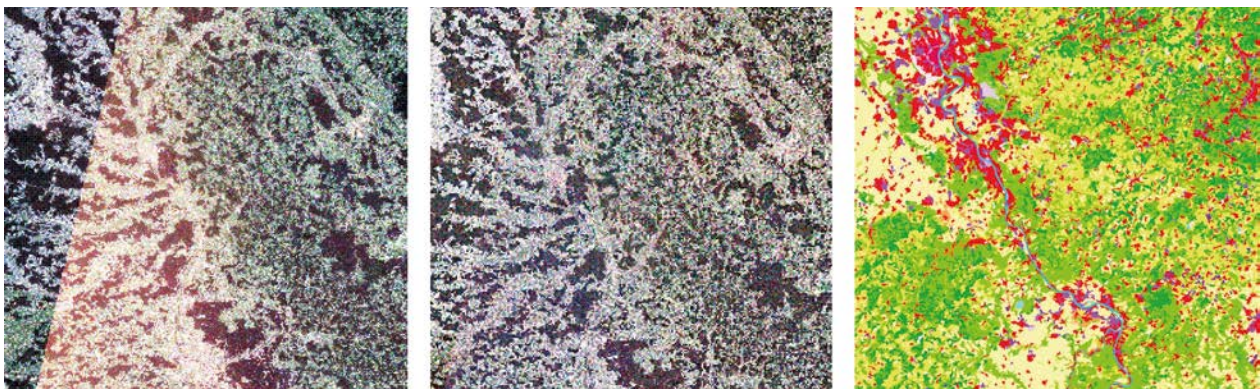
Die Auswertung oder das Erstellen thematischer Karten (z. B. eine Klassifikation der Landbedeckung) auf Basis von Roh- oder bereits vorprozessierten Daten kann auch mittels verschiedener Verfahren der KI geschehen. Methoden der KI dienen dabei zur automatisierten Auswertung der Daten. Bei der Verarbeitung und Analyse dieser großen Datenmengen stehen Methoden des maschinellen Lernens und des Deep Learning (besonders der künstlichen neuronalen Netze) im Vordergrund (Bamler 2021).

Maschinelles Lernen gilt als ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz, bei dem Programme aus den zur Verfügung stehenden Daten lernen und so Gesetzmäßigkeiten erkennen. Entsprechende Verfahren können beliebige Daten verknüpfen, um einerseits effiziente Zusammenhänge abzuleiten, zum anderen aber auch Rückschlüsse und Vorhersagen zu bestimmen (Segl et al. 2018: 19). Ein Teilbereich des maschinellen Lernens ist das Deep Learning, bei dem das zentrale Element künstliche neuronale Netzwerke (KNN) sind.

Die Grundidee bei der Entwicklung von einem KNN liegt darin, das (menschliche) Gehirn zu simulieren. Bei diesen

3

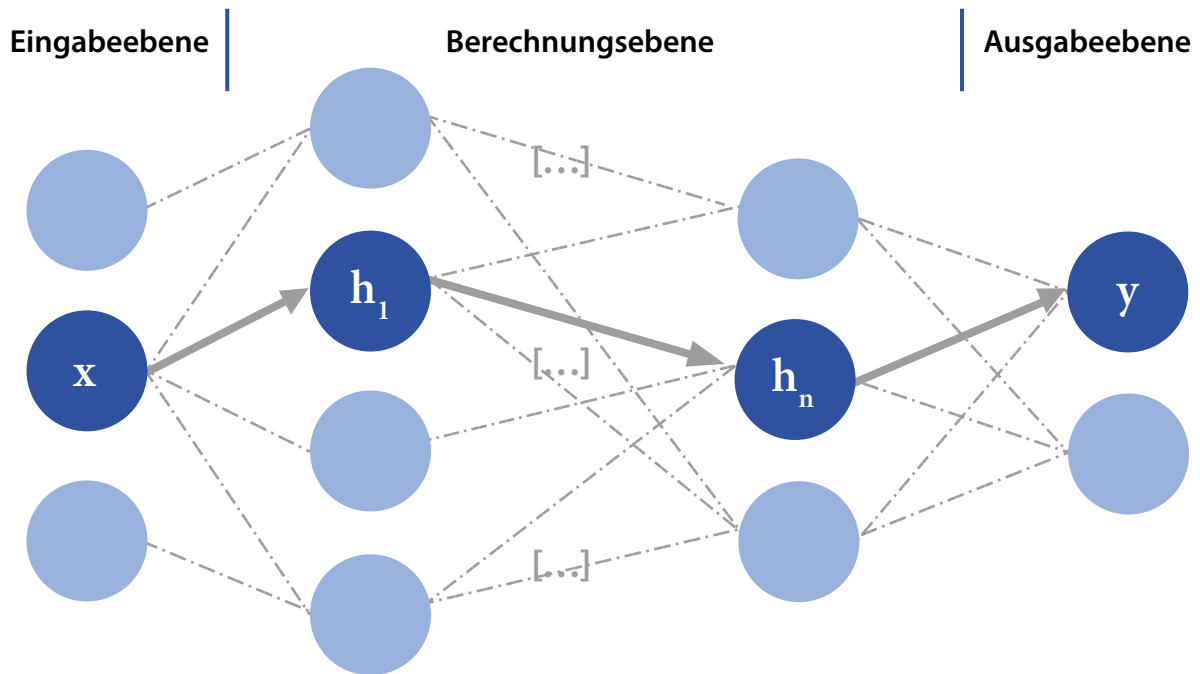
Unkorrigiertes Mosaik, atmosphärenkorrigiertes Mosaik und klassifiziertes Bild



Quelle: DLR; Copernicus

4

Skizze eines künstlichen neuronalen Netzes



Quelle: Buxmann/Schmidt 2019: 14, verändert

Netzen sind viele verschiedene Recheneinheiten beziehungsweise Neuronen miteinander verbunden und in vielen Ebenen organisiert. Dabei lassen sich drei Typen von Ebenen unterscheiden: Eingabe-, Berechnungs- und Ausgabeebene (vgl. Abb. 4). Durch Trainingsdaten „lernt“ das KNN, welche Gewichtung jede Berechnungsebene haben sollte, um eine

richtige Zuordnung (z. B. die Zuordnung eines Pixels der richtigen Landbedeckung) zu erzielen. Um diese Gewichtung zu „lernen“, geben Entwicklerinnen und Entwickler Daten mit bekannten Zusammenhängen ein. Der Algorithmus lernt diese Strukturen schließlich, um sie später auf unbekannte Zusammenhänge anzuwenden.

Flächenerhebung: Herausforderung für Fernerkundung und KI

Als einer von vielen Bausteinen für eine intelligente und zukunftsorientierte Stadt- und Raumplanung gilt die Flächenerhebung. Die einzelnen Flächen zu vermessen und in Datenbanken zu überführen, ist sehr zeit- und kostenintensiv. Es überrascht daher nicht, dass die amtliche Flächenstatistik die tatsächlichen Flächennutzungsdaten zum Beispiel mit einem Zeitversatz veröffentlicht (Destatis 2020) und sich auf aktuelle Themen nur zeitverzögert reagieren lässt. Zudem unterstehen erhobene Daten in der primären Quelle der Flächenstatistik ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem) meist einer Mindest erfassungsgröße,

wobei Details wegfallen. Die Mindest erfassungsgröße beschreibt die Größe, die eine Fläche mindestens haben muss, um einer Landnutzung zugeordnet zu werden. Liegt die Größe der betrachteten Fläche unterhalb der Mindest erfassungsgröße, wird sie dem Nachbarobjekt zugeordnet (Dominanzprinzip).

Abbildung 5 vergleicht die ALKIS-Daten mit aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Landbedeckungsdaten. Sie verdeutlicht damit, worin sich die beiden Ansätze hauptsächlich unterscheiden.

Unterschiede zwischen Landnutzungsdaten der Flächenstatistik und Landbedeckungsdaten aus der Fernerkundung

Kriterium	Landnutzungsdaten der Flächenstatistik (ALKIS)	Fernerkundungsdaten
räumliche Genauigkeit	abhängig von Mindesterfassungsgröße und dem Dominanzprinzip, wird bei jeder Klasse unterschiedlich angegeben	abhängig von der Rasterzellengröße des Sensors, die Größe variiert von Zentimeter bis Kilometer
Aktualität	etwa 3 Jahre Zeitverzug	hochaktuell, jedoch abhängig von Verfügbarkeit brauchbarer Szenen
Informationsgehalt	Landnutzungsdaten mit hohem thematischen Informationsgehalt zur Nutzung des Objekts	Landbedeckungsdaten entsprechen der sichtbaren Landbedeckung, die durch den Sensor erfasst wird. Die Anzahl der Klassen wird vorher angegeben und leitet sich meist aus den Trainingsgebieten ab
Qualität	abhängig von der Auslegung der Datenerhebung, Unterschiede zwischen den Bundesländern, statistische Brüche nach Umstellungen der Datenbasis	abhängig unter anderem von Atmosphäre, Algorithmus, Trainingsgebieten
Aufwand	aufwendige Erhebung in den Bundesländern, viele Abstimmungsprozesse zwischen den Informationslieferanten	bei einer Automatisierung schnelle Ergebnisse
Gesamtbewertung	Informationsgehalt hoch, räumliche und zeitliche Auflösung im Vergleich zur Fernerkundung eher niedrig, hoher Aufwand	hohe räumliche und zeitliche Auflösung, schnell umsetzbar, fehleranfällig

Quelle: eigene Darstellung

KNN lassen sich auch dazu nutzen, die Landbedeckung abzuleiten. Für die Umsetzung braucht es große Mengen an frei verfügbaren Trainingsdaten (z. T. Open Data) und hohe Rechenkapazitäten, die mit diesen Datenmengen (Big Data) umgehen können. Die Trainingsdaten müssen teils händisch erhoben werden, was sehr zeit- und kostenintensiv sein kann. Sie sind aber essenziell, da sie das Rückgrat der KNN bilden. Eine Klassifizierung durch das KNN kann nur gelingen, wenn die Trainingsdaten stimmen.

Die Klassifikation von Rohdaten in Geoinformationen mithilfe von KI

Fernerkundungsdaten lassen sich visuell unterschiedlich interpretieren. Zunächst werden die verschiedenen Elemente des Bildes zusammengefasst und Grenzen zwischen den zu unterscheidenden Elementen der Landbedeckung gezogen. Dabei erfolgt die Unterscheidung der Bildinhalte unter Berücksichtigung visueller und gedanklicher Grenzen und den Merkmalen Form, Größe, Grau- oder Farbton, Textur, Lage, Umfeld, Beziehung und Auflösung (Jensen 2007: 25; Lillesand et al. 2004: 550).

Bei der (semi-)automatischen Klassifizierung von Fernerkundungsdaten werden den Pixeln des Bildes auf Basis der spektralen Werte Klassen zugeordnet (Lillesand et al. 2004: 551). Es gilt, zwei grundlegende Ansätze zu unterscheiden: Zum einen die überwachte Klassifikation, zum anderen die

unüberwachte Klassifikation (ebd.). Die überwachte Klassifikation basiert nicht nur auf den vorliegenden Messwerten, sondern hängt auch von zusätzlichen Informationen ab. Dabei müssen den Werten, denen die Unterteilung des Merkmalsraums zugrunde liegt, Objektklassen zugeordnet werden. Als Referenzflächen dienen dazu Trainingsgebiete. Um jede Klasse voneinander unterscheiden zu können, ist ihnen jeweils mindestens ein Trainingsgebiet zuzuordnen (Albertz 2008: 163). Der Klassifikator (Algorithmus) wird mit den Trainingsgebieten trainiert und weist allen Pixeln mit einer vergleichbaren Wellensignatur („spektraler Fingerabdruck“) dieselbe Klasse zu.

Die unüberwachte Klassifikation erfolgt wiederum ohne Trainingsgebiete. Ein vollautomatisches System klassifiziert die Pixel mittels Angabe der zu erwartenden Klassen. Das hat den Vorteil, dass es keine zeitaufwendige Aufnahme/Aufbereitung von Referenzdaten braucht. Die Ergebnisse solch einer Methode lassen sich schwer bewerten, da es keinerlei Referenz zur Überprüfung gibt (Richards 2013: 94).

Je nach Art der Klassifikation existieren verschiedene Ansätze. Einfachere Klassifikationsansätze sind beispielsweise Maximum Likelihood, wobei jedes Pixel der Klasse zugeordnet wird, für die es die größte Wahrscheinlichkeit aufweist, und Minimum Distance, bei dem jedes Pixel der Klasse zugeordnet wird, deren Mittelpunkt am nächsten liegt (Albertz 2008: 165). Neben der pixelbasierten Klassifikation ist ein weiterer

Ansatz die objektbasierte Bildanalyse (OBIA), die dem maschinellen Lernen zugeordnet wird. Dieser Ansatz wurde wegen der immer höher aufgelösten Satellitenbilder entwickelt. Vorbild der OBIA ist die menschliche Perzeption. Sie beruht nicht allein auf den spektralen Farbinformationen; es geht auch um Lage, Formcharakteristiken, Nachbarschaftsbeziehungen, charakteristische Muster und strukturelle Merkmale (Blaschke 2000: 30 ff.). Die Objektinformationen leiten sich nicht nur aus einzelnen Pixeln ab, sondern aus mehreren gruppierten Pixeln, die sich zu einzelnen Segmenten zusammenfassen lassen. Jeder objektbasierten Klassifikation ist eine Segmentation vorangestellt, wobei das Ergebnis von der Genauigkeit dieser Segmentierung abhängt (Blaschke et al. 2014: 186). Der ausschlaggebende Punkt für eine objektorientierte Bildanalyse ist daher die Nutzung von Wissen über einzelne Objekte (Weidner/Lemp 2005: 107).

Herausforderungen

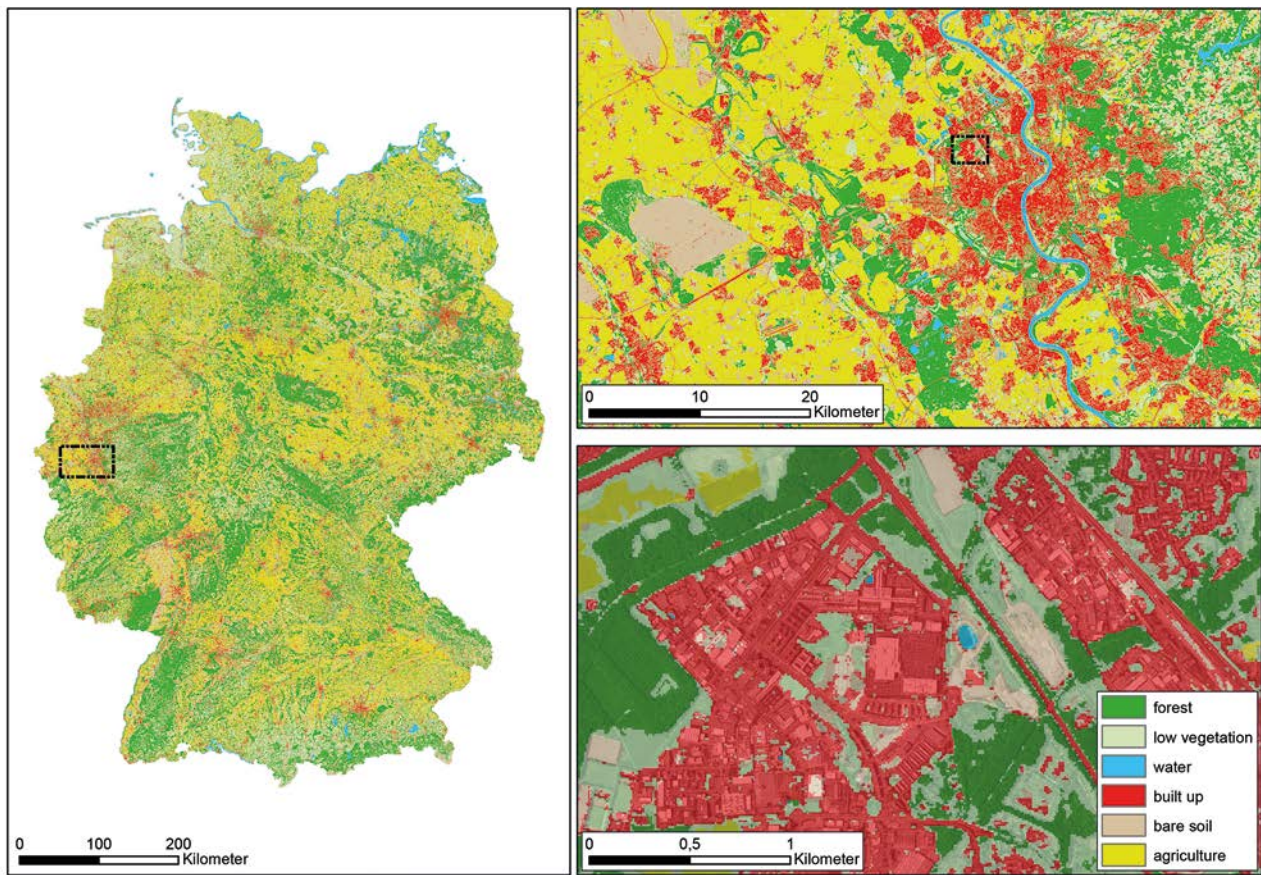
Eine Klassifikation ist nur so gut, wie die Trainingsdaten es vorgeben. Sie reichen teils nicht aus, um einen ausreichenden Trainingsdatensatz abzubilden. Dabei ist das Erstellen zum einen sehr kostenintensiv, zum anderen ist es auch fehleranfällig, da der Mensch teilweise einzelne Landbedeckungen schlecht unterscheiden kann. Helfen kann hier eine (semi-)automatische Ableitung von Trainingsdaten.

So nutzt das Projekt incora (vgl. Beispiel 1, nächstes Unterkapitel) OpenStreetMap (OSM) und High Resolution Layer Imperviousness (HRL), um Trainingsdaten automatisiert abzuleiten (Riembauer et al. 2021a).

Als Quelle für einen offiziellen regelmäßig erhobenen Datensatz gelten die LUCAS-Referenzpunkte (2006–2018 in

6

Deutschlandweite Landbedeckungsklassifikation 2019, Zwischenprodukt aus dem incora-Projekt; Ausschnitt Großraum Bonn-Köln; Detailausschnitt Köln-Ossendorf



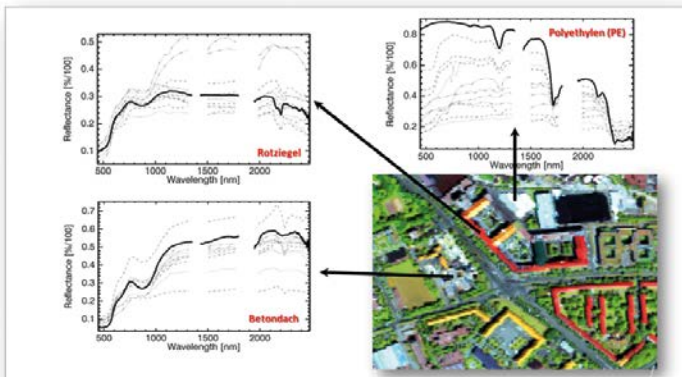
Quelle: Sentinel-2-Landbedeckungsklassifikation 2019 des Projekts incora

3-Jahres-Intervallen) (Eurostat 2015) als valide Trainingsdaten (LUCAS: Land Use and Coverage Area frame Survey). Das Forschungsprojekt Monitoring des Stadtgrüns (vgl. Beispiel 3, nächstes Unterkapitel) nutzte sie beispielsweise erfolgreich als Trainingsdatensatz (Weigand et al. 2020).

Beide beschriebenen Ansätze erzielen ein deutschlandweit gutes Klassifikationsergebnis.

Das Datenmanagement von Rohdaten gilt je nach Auflösung, Erfassungsgebiet und Informationsgehalt als Herausforderung. Cloud-Computing-Plattformen wie CODE-DE (ESA) oder Google Earth Engine erleichtern die Handhabbarkeit der teils großen Datenmengen. Sie stellen die passenden Rechenkapazitäten zur Verfügung. Zudem finden sich

7 Falschfarbendarstellung eines HyMap-Hyperspektralbildes von München (Ostbahnhof) und Kartierung von Oberflächenmaterialien mittels spektraler Entmischung



Quelle: DLR-DFD (https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-5278/8856_read-15911)

auf der Plattform CODE-DE vorprozessierte Daten aus den Copernicus- und Landsat-Programmen.

Nutzung von Fernerkundungsdaten im BBSR

Nutzung der Fernerkundung für ein verbessertes Monitoring von Siedlungsflächen (Beispiel 1): Das ILS (Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung), das BBSR und die Firma Mundialis führen gemeinsam das Verbundprojekt incora (Inwertsetzung von Copernicus-Daten für die Raumbewachung) durch. Es liefert eine zeitlich und räumlich hochauflösende Datenbasis, mit der sich Indikatoren für ein verbessertes Monitoring von Siedlungsflächen berechnen lassen. Werte für die Jahre 2016, 2019 und 2020 (Mundialis 2020; Mundialis 2021) zeigen eine aus Sentinel-2 abgeleitete deutschlandweite Landbedeckungsklassifikation mit guter Qualität. Zur Berechnung verwendete das Projektteam das maschinelle Lernverfahren Random Forest in einem automatisierten Workflow der Firma Mundialis (Riembauer et al. 2021a; Riembauer et al. 2021b). Random Forest beschreibt einen mehrstufigen Klassifikationsansatz, der als Entscheidungsbaum organisiert wird. Jedes Pixel durchläuft bei der Klassifikation den Entscheidungsbaum, wobei jeder Baum eine Klassenzuordnung liefert. Die Auswertung der Bäume liefert am Ende das Klassifikationsergebnis.

Informationen zu Gebäuden aus Fernerkundungsdaten (Beispiel 2): Im Bereich der Gebäude liegen mit Bau, Betrieb und Rückbau fundamentale Hebel für die Transformation hin zu einem nachhaltigen Wirtschaften. Das Wissen über den Gebäudebestand in Deutschland ist jedoch unzureichend, vor allem im Bereich der Nichtwohngebäude.

Das Team Smart Cities und Raumentwicklung des DLR-DFD erstellte im Auftrag des BBSR eine Übersichtstudie zu möglichen Verfahren der Informationsgewinnung zu Einzelgebäuden aus Fernerkundungsdaten. Im Projekt halfen die Katasterdaten bei der Anwendung KI-gestützter Analyseverfahren. So lässt sich die Identifizierung von Gebäuden durch den Vergleich mit Hausumringen sowohl vereinfachen als auch kontrollieren. Für ausgewählte Verfahren berechnete das Projektteam Beispielauswertungen für verschiedene Regionen in Deutschland. Der entwickelte Methodenkatalog soll die Entscheidungsfindung zum deutschlandweiten Einsatz und die Weiterentwicklung der Fernerkundungsmissionen unterstützen.

KI im Anwendungsbeispiel Monitoring des Stadtgrüns (Beispiel 3): Das Team im Projekt Monitoring des Stadtgrüns erarbeitete eine Methodik zur bundesweit flächendeckend-

den fernerkundlichen Erfassung und stadträumlich-funktionalen Differenzierung der Grünausstattung von Städten in Deutschland (BBSR 2021).

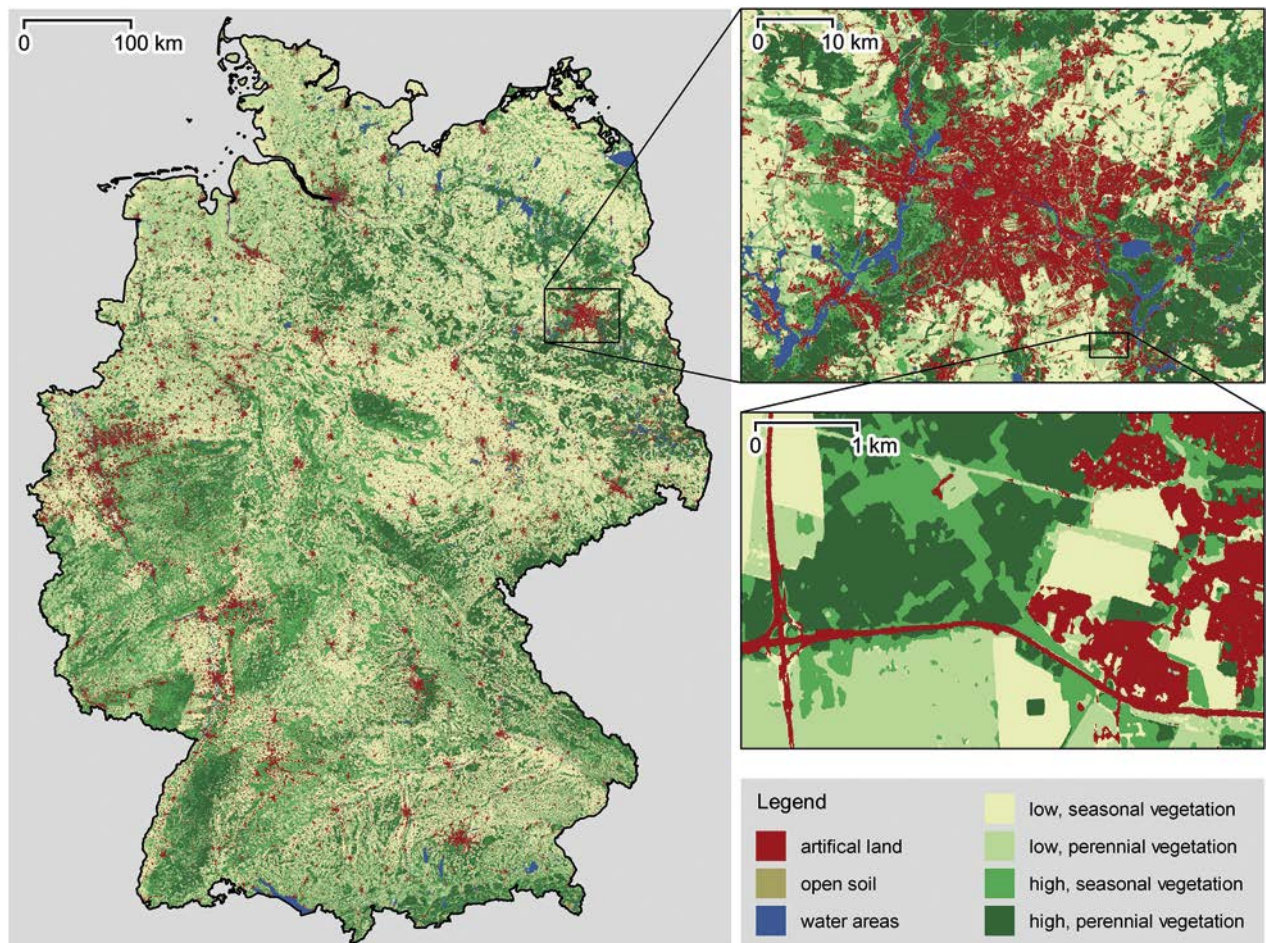
Datenbasis bilden die kostenfreien Sentinel-2A- und -2B-Satellitendaten des europäischen Programms Copernicus. Vor der thematischen Bildanalyse werden die Satellitenbilddaten durch eine Wolkenmaske vorprozessiert und ein Medianmosaik erstellt (Eichler et al. 2020). Verschiedene Indizes wie NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), NDBI (Normalized Difference Built-up Index) und fokale Texturmerkmale verbessern die Bilddaten-Layer.

Als Trainings- und Validierungsdaten nutzte das Projektteam Messpunkte der LUCAS-Erhebung von 2015 und 2018, die für ein INSPIRE-Raster von 2 km² vorliegen. Datengrundlage für diese Trainingsgebiete sind 80 % der LUCAS-Referenzpunkte. Die restlichen 20 % der Punkte dienten dazu, die Klassifikationsergebnisse in weiteren Schritten zu validieren.

Die darauffolgende Klassifikation wurde mit dem maschinellen Lernverfahren Random Forest Layer gebildet (Breiman 2001). Im Ergebnis unterscheiden die Klassifikationen für 2016 und 2018 sieben Landbedeckungsklassen: bebaut/versiegelt, offener Boden, Laubholz, Nadelholz, Ackerland, Wiese und Wasser. Insbesondere die Klassen Laubholz, Na-

8

Deutschlandweite Landbedeckungsklassifikation des Projekts Monitoring des Stadtgrüns; Ausschnitt Großraum Berlin; Detailausschnitt A10 Schönefelder Kreuz und Wildau (Landkreis Dahme-Spreewald)



Quelle: Weigand et al. 2020, CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)

delholz und Wiese spiegeln das städtische Grün wider. Die ermittelte Gesamtgenauigkeit weist für alle sieben Klassen hohe Werte von über 90 % auf (Weigand et al. 2020). Die fertiggestellten Klassifikationen der Landbedeckung bilden die Basis für die indikatorgestützte Erfassung des Stadtgrüns. Ein erstes Klassifikationsprodukt ist für Deutschland 2016

unter dem Namen LandCover-DE als Datensatz frei verfügbar. Aus den Klassifikationen wurden inzwischen einige flächenstatistische Auswertungen abgeleitet (BBSR 2021), um die Datengrundlagen für das städtische Grün kleinräumig zu verbessern (Taubenböck et al. 2021).

Fazit und Ausblick

Die unter dem Begriff Künstliche Intelligenz zusammengefassten Methoden sind die wichtigsten Werkzeuge, um in der Fernerkundung großräumig und schnell hochwertige Daten und Klassifikationen zur Raum- und Stadtentwicklung zu ermitteln. Eine intelligente und nachhaltige Planung hängt mehr und mehr von Daten ab, die sich neben den amtlichen Planungsgrundlagen als zeitlich aktuelle Grundlage nutzen lassen.

Anwenderinnen und Anwender können mit den Ergebnissen je nach Automatisierungsgrad innerhalb kürzester Zeit unterschiedliche Fragen beantworten. Dabei beruht die Nutzbarkeit auf den beschriebenen Faktoren. In vielen Fällen gibt es nur ein begrenztes Verständnis dafür, was die Ergebnisse bedeuten. Zudem bleibt die Frage offen, ob maschinelles Lernen künftig zentraler Bestandteil von Anwendungen der Fernerkundung sein oder aufgrund seiner Black-Box-Eigenschaften mit Vorsicht eingesetzt werden sollte (Zhu et al. 2019). Fehlendes Know-how der Nutzerinnen und Nutzer sowie personelle und wirtschaftliche Einschränkungen sind dabei oft limitierend und hemmen den Einsatz dieser Systeme in der Praxis. Hier gilt es mittels zugeschnittenen, zum Thema passenden Daten und Fallbeispielen, die Nutzerinnen und Nutzer zu sensibilisieren und die Daten als Unterstützung zu den amtlichen Daten anzubieten. Das BBSR bietet dafür Produkte aus aktuellen Projekten zum verbesserten

Monitoring von Siedlungsflächen (incora) und dem Stadtgrün (Monitoring des Stadtgrüns) an. Die Entwicklungen der Fernerkundung der vergangenen Jahre, die Fortschritte der Technik der Satelliten- und anderer Befliegungssysteme, der Ausbau der Rechenkapazitäten zur Verarbeitung immer größerer Datenmengen, aber auch die Fortschritte im Bereich der KI zeigen uns in etwa, wohin die Entwicklungen auch zukünftig gehen können. Insbesondere die grenzüberschreitende Raumbesichtigung, aber auch die Beobachtung von Veränderungen der Erdoberfläche in entlegenen Teilen unserer Welt wird die Wissenschaft zunehmend berücksichtigen können.

Frei verfügbare und kommerzielle vorprozessierte Daten, fertige Produkte und einfach zu bedienende Plattformen beschleunigen zudem die Entwicklung von Anwendungen auch außerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Dabei bleibt festzuhalten, dass der alleinige Einsatz der aus den Fernerkundungsdaten mit KI abgeleiteten Produkte eines von vielen Mitteln zum Ziel ist. Um komplexe Fragen zu beantworten, lassen sich zusätzliche Daten nutzen. Ein Datensatz, der sich aus mehreren Quellen speist, gilt dabei als multidimensional und kann eine Frage oft genauer beantworten. Die Verbindung verschiedenster Schnittstellen begünstigt Entwicklungen in diese Richtung.

Literatur

- Albertz, J.**, 2008: Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. WBS, Darmstadt.
- Bamler, R.** 2021: KI in der Erdbeobachtung: Daten – Algorithmen – Initiativen. Zugriff: www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum_2021/Nationales_Forum_Copernicus_-_KI_EO_-_Bamler.pdf [abgerufen am 14.05.2021].
- BBSR** – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2021: Wie grün sind bundesdeutsche Städte? Fernerkundliche Erfassung und stadträumlich-funktionale Differenzierung der Grünausstattung von Städten in Deutschland. Zugriff: www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/refo/staedtebau/2019/gruenmonitoring/01-start.html [abgerufen am 14.05.2021].
- Blaschke, T.**; Hay, J. H.; Kelly, M.; Lang, S., 2014: Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 87(100): 180–191.
- Blaschke, T.**; Lang, S.; Lorup, E.; Strobl, J.; Zeil, P., 2000: Object-oriented Image Processing in an Integrated GIS/Remote Sensing Environment and Perspectives for Environmental Applications. In: Cremers, A. B. & Greve, K. (Hrsg.), Umweltinformatik '00 Umweltinformation für Planung, Politik und Öffentlichkeit. Marburg: Metropolis.
- Breiman, L.**, 2001: Random Forests. Machine Learning, 45(1): 5–32. Zugriff: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1010933404324.pdf> [abgerufen am 14.05.2021].
- Buxmann, P.**; Schmidt, H., 2019: Künstliche Intelligenz – Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg. Springer Berlin Heidelberg.
- Copernicus Programme**, o. J.: CORINE Land Cover. Zugriff: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> [abgerufen am 14.05.2021].
- Destatis** – Statistisches Bundesamt, 2020: Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung – Fachserie 3 Reihe 5.1 – 2019.
- DLR** – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.; EOC – Earth Observation Center, 2021: Aktuelle Themen aus der Wissenschaft: Big Data und Künstliche Intelligenz für die Erdbeobachtung. Forum B.3 des Nationalen Copernicus Forum 2021.
- Ehlert, I.**; Schweitzer, C. (Hrsg.), 2018: Copernicus für das Umweltmonitoring. Eine Einführung. Hamburg, Dessau-Roßlau.
- Eichler, L.**; Krüger, T.; Meinel, G.; Tenikl, J.; Wurm, M., 2020: Wie grün sind deutsche Städte? Indikatorgestützte fernerkundliche Erfassung des Stadtgrüns. AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 6-2020: 306–315.
- Eurostat**, 2015: LUCAS Data 2015. Zugriff: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/primary-data/2015> [abgerufen am 14.05.2021].
- Honecker, U.**; Löffler, E.-W., 2018: Fernerkundung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover: 655–660.
- Jensen, J. R.**, 2007: Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective. Pearson, New York.
- Khorram, S.**; Koch, F.; Wiele, C.; Nelson, S., 2012: Remote Sensing. Springer Briefs in Space Development. Springer, New York, Heidelberg.
- Lillesand, T.**; Kiefer, R.; Chipman, J., 2004: Remote Sensing an Image Interpretation. Wiley, Hoboken.
- Mundialis**, 2020: Deutschland 2019 – Landbedeckung auf Basis von Sentinel-2 Daten. Zugriff: <https://www.mundialis.de/de/deutschland-2019-landbedeckung-auf-basis-von-sentinel-2-daten> [abgerufen am 14.05.2021].
- Mundialis**, 2021: Deutschland 2020 – Landbedeckung auf Basis von Sentinel-2 Daten. Zugriff: <https://www.mundialis.de/de/deutschland-2020-landbedeckung-auf-basis-von-sentinel-2-daten> [abgerufen am 14.05.2021].
- Richards, J. A.**, 2013: Remote sensing digital image analysis. An introduction. Springer, Berlin, New York.
- Riebmayer, G.**; Weinmann, A.; Xu, S.; Eichfuss, S.; Eberz, C.; Neteler, M., 2021a: Germany-wide Sentinel-2 based Land Cover Classification and Change Detection for Settlement and Infrastructure Monitoring. 2021 conference on Big Data from Space (BiDS'2021).
- Riebmayer, G.**; Weinmann, A.; Tawalika, C.; Andreo, V.; Delucchi, L.; Fagandini, R.; Neteler, M., 2021b: Sentinel processing in GRASS GIS: A growing toolset for downloading, preprocessing and multitemporal analysis of Copernicus Sentinel data. Submitted to FOSS4G 2021, Buenos Aires, Argentina.
- Segl, K.**; Bohn, N.; Chabrillat, S.; Neumann, C.; Roessner, S.; Ward, K.; Wolanin, A., 2018: Maschinelles Lernen bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten. System Erde, 8, 1: 18–25.
- Taubenböck, H.**; Reiter, M.; Dosch, F.; Leichtle, T.; Weigand, M.; Wurm, M., 2021: Which city is the greenest? A multi-dimensional deconstruction of city rankings. J. Computers, Environment and Urban Systems, unter Begutachtung.
- UBA** – Umweltbundesamt, 2017: Welchen Beitrag können Satellitenfernerkundung und insbesondere Copernicus-Daten und -Dienste für die Ermittlung ausgewählter Indikatoren des Indikatoren-Sets der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) leisten? – Endbericht. Climate Change 07/2017.
- UBA** – Umweltbundesamt, 2020: CORINE Land Cover – CLC. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/corine-land-cover-clc> [abgerufen am 14.05.2021].
- Weigand M.**; Staab J.; Wurm M.; Taubenböck H., 2020: Spatial and Semantic Effects of LUCAS Samples on Fully Automated Land Use/Land Cover Classification in High-resolution Sentinel-2 Data. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation.
- Weidner, U.**; Lemp, D., 2005: Objektorientierte Klassifizierung. In: Bähr, H.-P.; Vögtle, T. (Hrsg.): Digitale Bildverarbeitung – Anwendung in Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg: 106–122.
- Zhu, Z.**; Zhou, Y.; Seto, K.; Stokes, E.; Deng, C.; Pickett, S. T. A.; Taubenböck, H., 2019: Understanding an Urbanizing Planet: Strategic Directions for Remote Sensing. Remote Sensing of Environment. 228, 2019: 164–182.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IM BAUWESEN

Technologien, Anwendungen und Herausforderungen

Die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) ist ein aktuelles und viel diskutiertes Thema. Die Möglichkeiten scheinen endlos zu sein. Wie ist die aktuelle Situation im Bauwesen? Und welche KI-Verfahren eignen sich für welche Aufgaben?





Prof. Dr.-Ing. Markus König

leitet den Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen an der Ruhr-Universität Bochum und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Einführung von digitalen Technologien im Bauwesen. Im Jahr 2020 erhielt er die Konrad-Zuse-Medaille für Verdienste um die Informatik im Bauwesen für die Implementierung von Building Information Modeling.
koenig@inf.bi.rub.de

Die Bauwirtschaft beschäftigt sich seit einigen Jahren sehr intensiv mit der digitalen Transformation. Traditionelle Prozesse werden in Frage gestellt und auf Basis von neuen Technologien grundlegend verändert. Künstliche Intelligenz (KI) ermöglicht es gemeinsam mit anderen Ansätzen der Digitalisierung wie dem Building Information Modeling (BIM), dem

Internet of Things (IoT) und der Robotik, die Effizienz in der gesamten Wertschöpfungskette zu steigern – von der Produktion von Baumaterialien über die Entwurfs-, Planungs- und Bauphase bis hin zum Facility Management. Viele Anwendungsgebiete lassen sich teilweise erst jetzt durch neu verfügbare Daten für die Bauwirtschaft erschließen.

Was ist Künstliche Intelligenz?

In den letzten Jahren haben sich KI-Verfahren sehr rasant entwickelt. Eine Software lässt sich dem Bereich KI zuordnen, wenn sie erkennen, folgern, handeln und sich anpassen kann. In vielen Fällen werden Algorithmen entwickelt, die Wissen auf Basis von Erfahrungen – sogenannten Trainingsdaten – generieren. Die Möglichkeiten sind dabei ausgesprochen vielfältig. Objekte lassen sich erkennen, Optimierungen vornehmen oder Vorhersagen berechnen (vgl. Abb. 1). In der Regel kann ein maschinelles Lernverfahren angewendet werden, wenn sehr viele und gut aufbereitete Daten vorhanden sind und in den Datenpool einfließen.

Generell unterscheidet man beim maschinellen Lernen zwischen drei Vorgehensweisen:

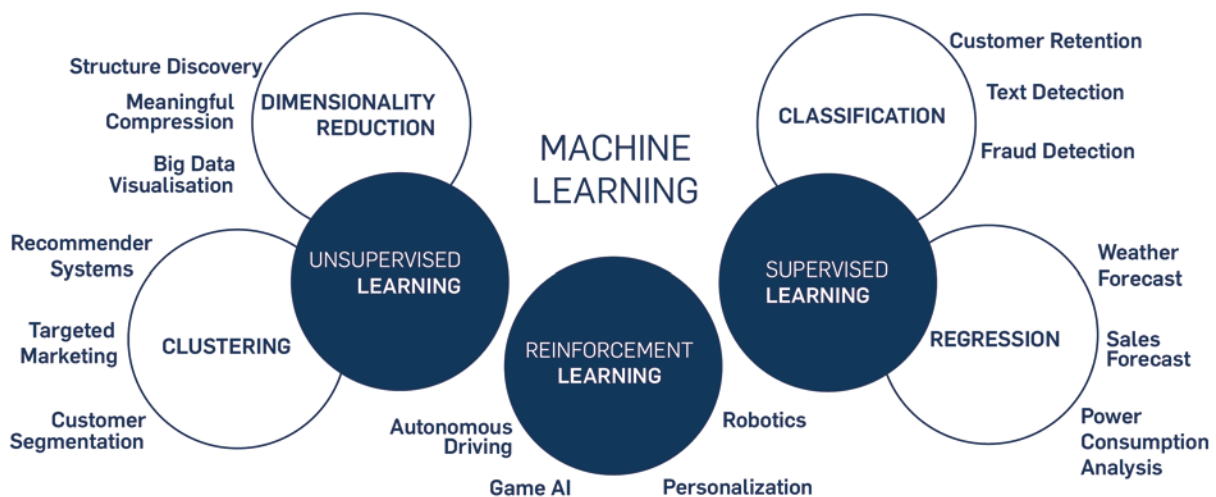
- Beim überwachten Lernen (englisch supervised learning) lernt das System anhand von Trainingsdaten, Gegenständen

de zu kategorisieren. Eine spezielle Ausprägung ist das Deep Learning, das neuronale Netze und große Datenmengen nutzt. Diese Lernmethode richtet sich nach der Funktionsweise des menschlichen Gehirns.

- Beim unüberwachten Lernen (unsupervised learning) wird für eine gegebene Menge von Daten ein statistisches Modell erstellt, das Kategorien und Zusammenhänge erkennt und beispielsweise Vorhersagen ermöglicht.
- Verfahren des bestärkenden Lernens (reinforcement learning) setzen auf Belohnung und Bestrafung, um eine Vorgehensweise zu bestimmen, wie in bestimmten Situationen zu handeln ist. Dies ist die häufigste Lernform eines Menschen.

1

Maschinelle Lernverfahren und ihre Anwendungsgebiete



Quelle: Ruhr-Universität Bochum

Dementsprechend sind auch die Möglichkeiten und Anwendungen für das Bauwesen sehr vielfältig. Sie hängen häufig von den verfügbaren Daten ab, die für das Training einer

Künstlichen Intelligenz zur Verfügung stehen. Im Folgenden zeigt der Autor einige Beispiele entlang der Wertschöpfungskette Bau auf.

Konstruktion und Planung

Architektinnen und Architekten, Konstrukteurinnen und Konstrukteure sowie Ingenieurinnen und Ingenieure übernehmen während der Planungsphase eines Gebäudes oder eines Infrastrukturbauwerks gestalterische Aufgaben. Dafür braucht es ein hohes Maß an Erfahrung und Kreativität. Besonders aufwendig sind Entwurfsvarianten sowie deren Optimierung und Überprüfung bezogen auf Bauvorschriften (Song et al. 2020). Ein Einsatz von KI könnte hier viel Zeit sparen. Beispielsweise lässt sich eine Wissensbasis aufbauen, um Architektinnen und Architekten anhand von ausgewählten Gebäudeparametern ähnliche Gebäudeentwürfe zu empfehlen. Diese Entwürfe enthalten bereits Hinweise zur Gebäudeperformance. Verschiedene Optionen können den Entwurf der Architektin oder des Architekten ergänzen.

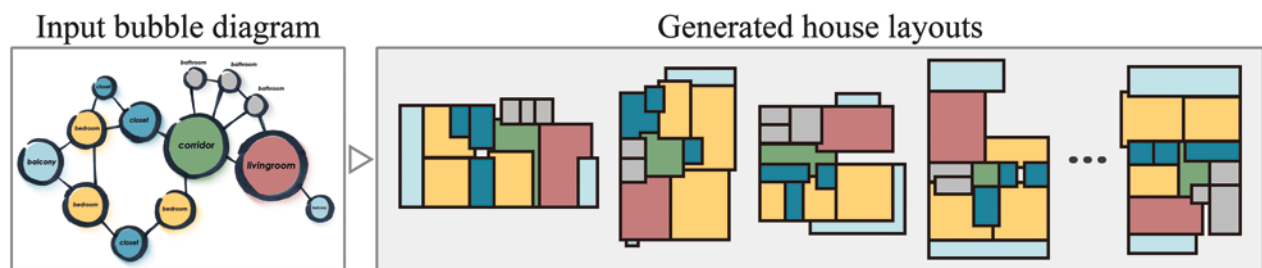
Ein entsprechendes System entwickelte beispielsweise der Lehrstuhl für Architekturinformatik der TU München (Eisenstadt/Langenhan/Althoff 2019). Künstliche neuronale Netze werden hier mit Fachbegriffen aus der Architektur trainiert. So lassen sich Eingaben von Architektinnen und Architekten oder Bauherren auswerten, um Ergänzungen für die Vervollständigung von Grundrissen vorzuschlagen. Nauata et al. (2020) stellen ebenfalls ein KI-Verfahren zur Generierung von Grundrissen vor. Es kann Räume mit ihren Abmessungen erzeugen und dabei gleichzeitig Merkmale der Nachbarschaft berücksichtigen (vgl. Abb. 2). Einen ähnlichen Ansatz hat die Firma Autodesk bei der Planung eines Gebäudes am Standort Toronto verfolgt. Das Team

im Projekt Discover entwickelte einen Workflow für ein generatives Design (Nagy et al. 2017). Ein regelbasiertes geometrisches Entwurfssystem erstellt und bewertet sehr viele Designoptionen, die auf messbaren Zielen basieren (z. B. Behaglichkeit, Energieeffizienz, Arbeitsplatzgestaltung). Mit KI-Verfahren lassen sich viel schneller und deutlich mehr Parameter und Varianten berücksichtigen und bewerten. Über diese Verbesserungen hinaus kann diese Vorgehensweise sogar die Kreativität steigern. Dank ihr ergeben sich Formen und Konstruktionen, die selbst einige Fachleute vorher nicht für möglich gehalten haben.

Natürlich gibt es noch viele weitere Möglichkeiten, Künstliche Intelligenz in der Entwurfsphase zu nutzen. Beispielsweise lässt sich ein Entwurf bezogen auf Normen und Regelwerke automatisiert auswerten. Dabei kommen regelbasierte Systeme (BBSR 2021) in Kombination mit KI-basierten Textanalysen zum Einsatz. Gebäudeinformationen wie Abmessungen, Materialien oder technische Anlagen werden extrahiert, analysiert und automatisch mit textbasierten Regelwerken abgeglichen. Ein weiteres Beispiel ist die Nutzung von KI-basierten Prognosemodellen in frühen Entwurfsphasen. Sie ermöglichen schnell genaue Abschätzungen zum Energiebedarf. Auch hier dienen bestimmte Parameter des geplanten Gebäudes als Eingangsdaten für die Prognosemodelle der maschinellen Lernverfahren (Singaravel/Suykens/Geyer 2019).

2

Generierung von Grundrissen mithilfe von maschinellen Lernverfahren



Quelle: Simon Fraser University; Nauata et al. 2020

Leider wenden die verantwortlichen Akteure aktuell nur sehr selten KI-Verfahren für die Konstruktion und Planung von Bauwerken an, obwohl vielversprechende Ideen und Ansätze existieren. Den Transfer in die Praxis erschwert bislang die mangelnde Erfahrung der Planerinnen und Planer in Bezug auf die Auswahl und Einschätzung von KI-Verfahren. Ebenso

fehlt es an passenden Softwaretools, die sich in bestehenden Planungssysteme integrieren lassen. Schlussendlich führt auch die fehlende Validierung an realen Projekten zu Skepsis, ob und inwieweit solche Ansätze eine Unterstützung bieten können.

Bauausführung und Abnahme

KI-Anwendungen während der Bauausführung sind recht weit entwickelt und teilweise schon im Einsatz. Maschinelle Lernverfahren können bei der Planung der Bauausführung helfen, die Aktualisierung von Bauabläufen vornehmen, Qualitätssicherungen durchführen oder auch zur Baudokumentation beitragen. Im Fokus der Anwendung steht sehr häufig die Auswertung von Realdaten (z. B. Bilder, Videos, Maschinendaten etc.). Kameras, Sensoren oder andere Geräte erfassen diese Daten. Ihre Verarbeitung kann beispielsweise die Produktivität steigern und für mehr Arbeitssicherheit sorgen.

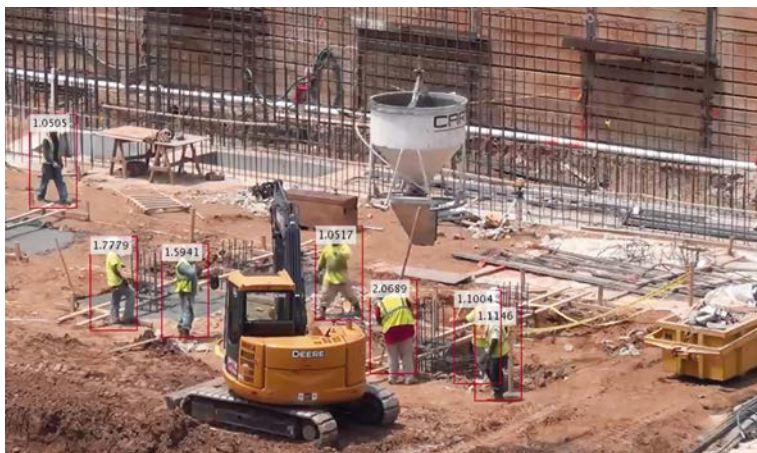
In den vergangenen Jahren sind sehr zuverlässige KI-Verfahren (z. B. Convolutional Neural Networks) zur Auswertung von Bildern entstanden. Sie können Objekte erkennen, klassifizieren und auch Informationen zu Dimension und Material geben. Ein Convolutional Neural Network orientiert sich an den neuronalen Prozessen im Gehirn beim Sehen und besteht aus verschiedenen Schichten. Eine Schicht erkennt

beispielsweise im Rahmen der Bildverarbeitung einzelne Merkmale wie Linien, Kanten oder andere Formen. In den folgenden Schichten werden einfache Merkmale zu immer komplexeren Merkmalen aggregiert (z. B. werden Linien, Kanten und andere Formen zu einem Gesichtsmerkmal bei Erkennung von Personen auf Baustellen). Dafür braucht es jedoch im ersten Schritt sehr viele Bilder für das Training der KI-Verfahren. Objekte werden dementsprechend markiert und mit den gesuchten Informationen versehen. Eine große Herausforderung dabei ist es, die Trainingsdaten möglichst variabel zusammenzustellen und aufzubereiten (z. B. verschiedene Lichtverhältnisse). Häufig unterscheiden sich Schutzausrüstungen, Maschinen, Materialien, Hinweisschilder und Hilfsmittel von Land zu Land. Daher müssen für das Training in bestimmten Fällen separate Datensätze erfasst werden.

Ein häufiges Beispiel ist die automatische Erkennung von Arbeiterinnen und Arbeitern sowie Maschinen auf Baustel-

3

Erkennung von Subjekten und Objekten auf Baustellen



Quelle: Teizer/Vela 2009

4

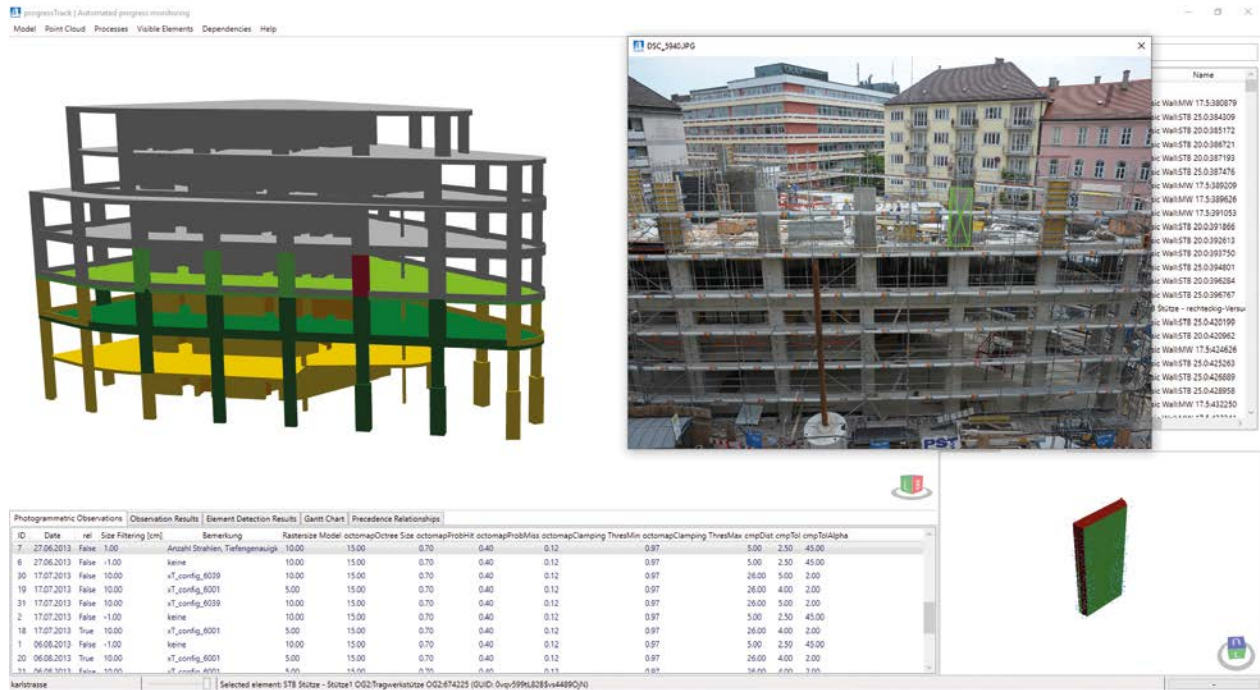
Erkennung von Personen aus großer Höhe



Quelle: Ruhr-Universität Bochum; Neuhausen/Pawlowski/König 2020

5

Baufortschrittserkennung mithilfe von Punktwolken



Quelle: TU München; Braun et al. 2020

len. Damit lässt sich die Position jeder und jedes Einzelnen ermitteln und prüfen, ob sie oder er gerade auch eingesetzt wird. Diese Rückmeldungen dienen beispielsweise dazu, die Suche nach Material und Arbeitsmitteln zu beschleunigen oder Rückschlüsse auf die Produktivität zu geben. Das schafft prinzipiell auch Möglichkeiten zur Überwachung von Arbeiterinnen und Arbeitern. Der Einsatz von KI-Verfahren muss immer hinsichtlich des Datenschutzes und weiterer ethischer Aspekte bewertet werden.

Darüber hinaus können KI-Verfahren auch die Arbeitssicherheit verbessern. Das System kann Arbeiterinnen und Arbeiter, die sich in bestimmten Gefahrenbereichen befinden (z. B. unter schwebenden Lasten eines Krans), sowie die Kolleginnen und Kollegen informieren (Neuhausen/Pawlowski/König 2020). Entsprechende Systeme werden bereits am Markt angeboten und können Unfälle vermeiden (IntSite Ltd. 2021). Solche Verfahren lassen sich natürlich auch für autonome Baumaschinen weiterentwickeln. Beispielsweise hat das Start-up Printstones Anfang 2021 den Prototypen eines Roboters präsentiert, der auf Baustellen zum Einsatz kommen soll (Printstones GmbH 2021). Das Anwendungsspektrum reicht vom Transport von Baumaterial über das Schrauben und Plasmaschneiden bis hin zum Bohren. Daneben kann der BauBot auch Wände streichen, vermessen

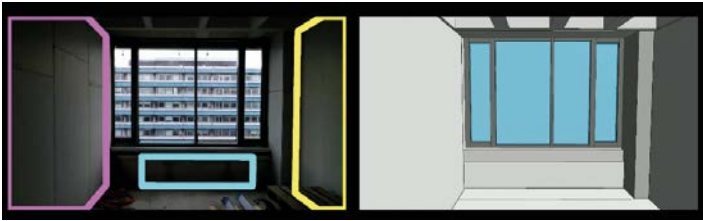
oder schweißen. Kameras und andere Sensoren erkennen Hindernisse.

Manuell oder mittels autonomer Systeme erfasste Bilder und Punktwolken (vgl. Abb. 5) dienen auch zur Qualitätssicherung während der Bauausführung. Beispielsweise werden neuronale Netze trainiert, um die Oberflächenbeschaffenheit zu prüfen, Schäden oder auch Verfärbungen zu erkennen. Ähnliche Verfahren lassen sich auch zur Qualitätssicherung bei der Bewehrung verwenden. Beispielsweise können sie einzelne Bewehrungsseisen erkennen und die Abstände zwischen einzelnen Stäben für die Prüfung ermitteln (Han et al. 2013).

Neben visuellen Daten spielt auch die Sprachverarbeitung eine große Rolle. Zum Beispiel können entsprechende Systeme Spracheingaben des Baustellenpersonals automatisiert verarbeiten. Sie extrahieren wichtige Informationen mittels Natural Language Processing (NLP). Dabei handelt es sich um Verfahren, die natürliche Sprache mit dem Computer algorithmisch verarbeiten. Die so erkannten Wörter und Aussagen können zur semantischen Anreicherung von digitalen Bauwerksmodellen genutzt werden. Dadurch entstehen einheitliche digitale Baudokumentationen, die sich anschließend für Aufgaben im Betrieb verwenden lassen.

6

Erkennung von Ausbaubjekten und Abgleich mit digitalen Bauwerksmodellen



Quelle: Ruhr-Universität Bochum, Kropp/Koch/König 2017

Die semantische Anreicherung von digitalen Bauwerksmodellen während der Bauausführung und später auch im Betrieb ist eine große Herausforderung (Sacks/Girolami/Brilakis 2020). Leider finden sich solche Anwendungen aktuell lediglich im Bereich der Forschung und haben sich in der Praxis noch nicht durchgesetzt. Eine große Herausforderung liegt in der Auswertung der menschlichen Sprache, die sehr komplex und nicht immer eindeutig ist. Es reicht nicht nur, einzelne Wörter zu erkennen. Entscheidend sind Zusammenhänge, die ein System verstehen muss. Wörter und Zusammenhänge sind beispielsweise bei der Baudokumentation sehr fachspezifisch. Ein weiteres Hemmnis sind auch fehlende digitale Bauwerksmodelle aus der Planungsphase, die mittels Spracheingabe angereicht werden sollen.

In den vergangenen Jahren haben viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der automatisierten Baufortschrittserfassung geforscht (Braun et al. 2020). Vereinzelt werden einige Ansätze auch schon in der Praxis angewen-

det. Mit verschiedenen Sensordaten – in vielen Fällen sind es jedoch Bilder – können Material und Maschinen auf der Baustelle erkannt und nachverfolgt werden. Die Auswertung der Daten ermöglicht es, auf den Baufortschritt zu schließen. Einige Anwendungen erkennen Strukturen (z. B. Rohbau oder Fassaden) (Braun et al. 2020), andere auch einzelne Elemente des Ausbaus (z. B. Fenster, Heizkörper und Leitungen) (Kropp/Koch/König 2017). Die Bilder verdeutlichen dann, ob die Elemente auf der Baustelle fertiggestellt wurden. Ist die Position der Kamera bekannt, lassen sich die Elemente in einem digitalen Ausführungsmodell markieren oder auch hinzufügen.

Im Rahmen der Baudokumentation braucht es bei BIM-basierten Projekten häufig ein As-built-Modell (Wie-gelbaut-Modell). Es gibt zwei Möglichkeiten: Entweder müssen die jeweils für den Bau Verantwortlichen ein bestehendes BIM-Modell der Ausführungsplanung so anpassen, dass es dem aktuellen Bauzustand entspricht (Rausch/Haas 2020) oder sie müssen ein vollständig neues As-built-Modell erstellen. Falls die As-built-Modellierung erst später im Lebenszyklus – also nicht im Rahmen der Baudokumentation – vorgenommen werden soll, wird auch von einer Bestandsmodellierung oder dem Bestandsmodell gesprochen. In beiden Fällen lassen sich ähnliche KI-Ansätze verwenden. Die Entwicklung solcher Verfahren ist jedoch sehr aufwendig, da die jeweils Verantwortlichen für alle unterschiedlichen Bauteile, Baustoffe und technischen Systeme geeignete Daten für das Training von maschinellen Lernverfahren bereitstellen müssen. Aktuell gibt es noch keine umfassenden Lösungen oder kommerziellen Systeme, die eine automatisierte Baudokumentation auf Basis eines As-built-Modells ermöglichen würden.

Betrieb und Instandsetzung

In Zukunft sollen digitale Bauwerksmodelle auch in den Betrieb einfließen. Sind diese Modelle nicht vorhanden, braucht es zunächst entsprechende Bestandsmodelle. Neben Verfahren auf Basis von Bildern spielen insbesondere Punktwolken und konventionelle 2-D-Pläne eine große Rolle. Auch wenn Punktwolken ein Bauwerk sehr gut visuell repräsentieren, ist die semantische Information (z. B. welche Bauteile und Materialien) gering. Daher müssen die Punktwolken im ersten Schritt segmentiert und klassifiziert werden. Auch das machen maschinelle Lernverfahren. Wie bei Bildern sind sehr viele Lerndaten – in diesem Fall sehr viele Punktwolken – notwendig.

Aktuell gibt es nur wenige Anwendungen, die eine vollautomatische Erzeugung von semantischen und geometrischen Objekten anhand einer Punktwolke ermöglichen. Bei einfachen und regelmäßigen Geometrien (z. B. ebene Wände oder sichtbare Leitungen mit einem standardisierten Durchmesser) kamen KI-Verfahren bereits zur Anwendung. Wenn das System die Elemente auf Basis einer Bauteilbibliothek erkennen und in das digitale Bauwerksmodell übernehmen kann, braucht es nur eine Übereinstimmung mit einem standardisierten Bauelement, das anschließend in das Bestandsmodell eingesetzt wird (Pang et al. 2015). Besitzen die Standardbauteile veränderliche Parameter, lässt sich das Modell

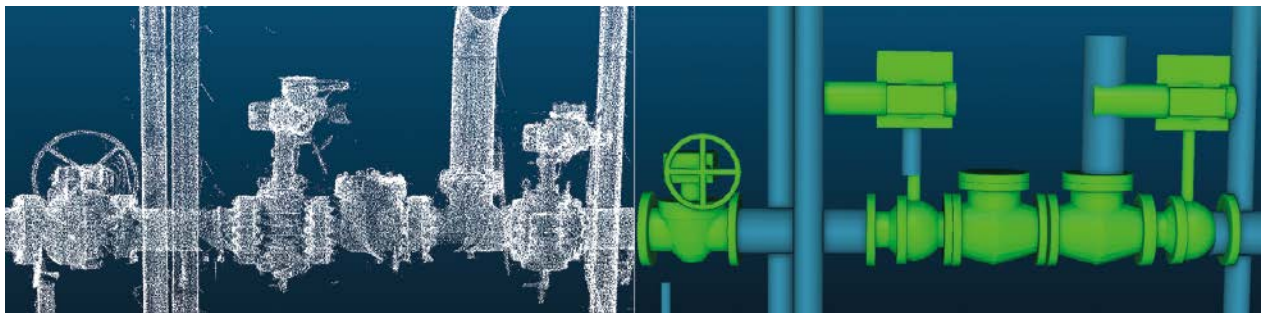
auch anpassen: Wenn erkannt wurde, welches Bauteil vorliegt, wird die Geometrie des Bauteils im Bestandsmodell an die Punktwolke angepasst.

Neben den reinen Punktwolken lassen sich mit KI-Verfahren auch 2-D-Pläne auswerten. Dafür werden Beschriftungen, Maße oder auch die 2-D-Geometrie extrahiert. Eine große Herausforderung dabei ist es, die einzelnen Bauteile korrekt

zu verbinden und mit entsprechenden Höheninformationen zu verknüpfen (Jang/Yu/Yang 2020). Des Weiteren müssen auch verschiedene Ansichten vorliegen und die einzelnen Informationen anschließend sinnvoll kombiniert werden. Auch hier sind noch keine Verfahren verfügbar, die komplexe Grundrisse – wie schräge oder runde Wände oder unterschiedliche Räumhöhen in einem Geschoss – gut extrahieren und in ein digitales Bauwerksmodell überführen können.

7

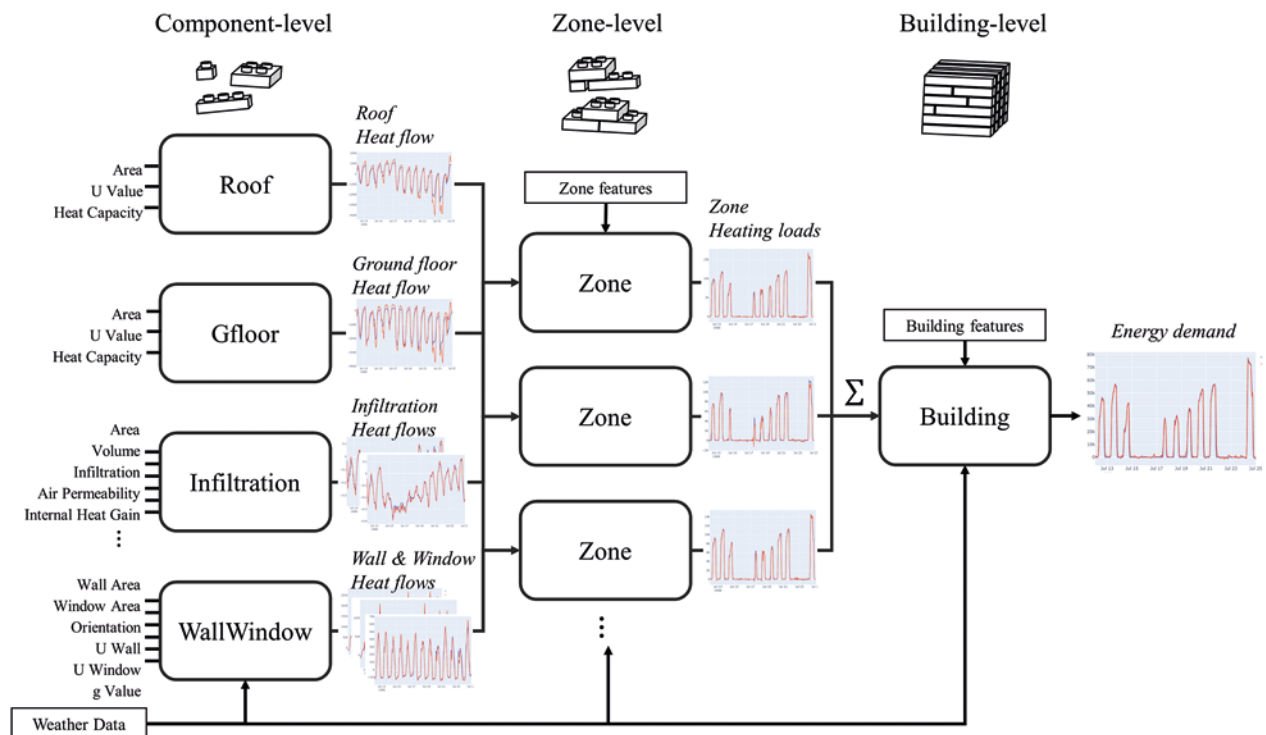
Erzeugung von Leitungen und Ventilen auf Basis einer Punktwolke mithilfe einer Bauteilbibliothek



Quelle: Pang et al. 2015

8

Komponentenbasiertes maschinelles Lernen für die Energievorhersage von Gebäuden



Quelle: TU Berlin; Chen/Singh/Geyer 2021



Quelle: Ruhr-Universität Bochum

Auch wenn keine Bestandsmodelle vorliegen, lassen sich KI-Verfahren in der Betriebsphase einsetzen. Schon seit vielen Jahren untersuchen Fachleute maschinelle Lernverfahren für die Prognose von Energieverbräuchen – und nutzen sie teilweise auch schon. Liegen zu einem Gebäude langjährige Wetter-, Nutzungs- und Energieverbrauchsdaten vor, können sie ein neuronales Netz trainieren, das sich für Prognosen nutzen lässt (Mocanu et al. 2016; Seyedzadeh et al. 2018). Beispielsweise kann das KI-System dann geänderte Nutzungsverhalten oder klimatische Änderungen erkennen und einen möglichen Energieverbrauch berechnen. In einem gewissen Maß können solche Verfahren auch für andere Gebäude verwendet werden, wenn ähnliche Vorausset-

zungen vorliegen, beispielsweise bezogen auf die Gebäudeart, das technische System, das Nutzungsverhalten und das Klima. Ebenso lassen sich KI-Verfahren anhand von sehr vielen realen Betriebsdaten unterschiedlicher Gebäude trainieren. Dafür braucht es jedoch wiederum einheitlich aufbereitete und klassifizierte Trainingsdaten. Insgesamt bieten KI-Verfahren für Prognosen auf Basis von realen Messungen ein sehr großes Potenzial.

Ein weiteres großes Anwendungsgebiet ist die Unterstützung von Wartungsarbeiten sowie die Erfassung des aktuellen Zustands eines Bauwerks. Dafür lassen sich Verfahren verwenden, die automatisiert Bilder auswerten. Einige kommerzielle Anwendungen unterstützen die Erkennung von Schäden, insbesondere von Betonstrukturen, schon sehr gut. Sie können unter anderem Risse erkennen und in einem gewissen Maße auch vermessen (z. B. Rissbreite, Risslänge oder Fläche der Fehlstelle). Dies gilt nicht nur für Oberflächenschäden. Ebenso können entsprechende Systeme die Bilder von Wärmebildkameras automatisiert auswerten. Prinzipiell können sie mit geeigneten Bildern und manuellen Kennzeichnungen sehr viel erlernen, was der Mensch anhand von bestimmten und eindeutigen Eigenschaften auch mit den Augen erkennt.

KI-Anwendungen zur Wartung von technischen Anlagen stehen gerade im Fokus vieler weiterer Forschungsaktivitäten. Einige Akteure nutzen sie sogar schon. Augmented-Reality-Brillen können Bilder automatisch aufnehmen und auswerten. Anschließend können sie einer Person Hinweise zur Wartung geben oder gefährliche Situationen im Sichtfeld direkt anzeigen. Aktuell sind solche AR-Systeme jedoch sehr teuer und eignen sich teilweise noch nicht für den Außeneinsatz. Mit fortschreitender Entwicklung dieser Technologien werden sich KI-Anwendungen in diesem Bereich weiterentwickeln.

Zukunftsszenarien

Der Beitrag konnte nur auf wenige KI-Verfahren im Bauwesen eingehen, jedoch sind die Möglichkeiten sehr vielfältig. Die vorangegangenen Abschnitte verdeutlichen, dass KI verschiedene Aufgaben vereinfachen und einige Prozesse automatisieren kann. Insbesondere die Bauablaufplanung, das Baustellenmanagement, die Logistik und auch das Facility Management profitieren künftig voraussichtlich im großen Umfang von KI-Verfahren (Roland Berger GmbH

2021). Jedoch gilt dies nicht für alle Aufgaben entlang der Wertschöpfungskette Bau.

Die Entwicklung von KI-Verfahren schreitet stetig voran. Dennoch hängt deren praktischer Einsatz – insbesondere von Deep Learning – von verfügbaren Daten ab. Für das Training zur visuellen Erkennung von Objekten auf Baustellen braucht es sehr viele Bilder. Nicht nur die Aufnahme ist auf-

wendig, vielmehr müssen diese Bilder alle einzeln geprüft und gelabelt werden. Aus diesem Grund versuchen unterschiedliche Firmen, dieser Herausforderung mit Crowd-Sourcing-Ansätzen zu begegnen. Beispielsweise müssen Nutzerinnen und Nutzer beim Einloggen auf einer Webseite Bilder nach gesuchten Objekten klassifizieren. Diese Daten dienen nicht nur zur Abwehr von unberechtigten Zugriffen, sondern auch zum Training von KI-Verfahren. Weltweit versuchen Akteure, geeignete Datensätze für das Training zusammenzustellen. Ein aktueller Ansatz ist auch die Verwendung von synthetisch generierten Daten für das Anlernen von KI-Verfahren. Dafür lassen sich zum einen virtuelle Umgebungen und Situationen nutzen (Neuhausen/Herbers/König 2020). Zum anderen dienen reale Bilder als Basis für ein generiertes Bild. Solche Ansätze werden aktuell verwendet, um künstliche Bilder mit Charakteristiken von großen Malerinnen und Malern oder sogenannte Fake-Bilder realer Personen zu erzeugen.

Neben Bildern, Punktwolken und Messdaten sind auch strukturierte Daten in Form von digitalen Bauwerksmodellen für KI-Anwendungen sehr wichtig. Somit lassen sich nicht nur KI-Verfahren für die Erstellung, Anreicherung und Aktualisierung von BIM-Modellen verwenden. Auch die Informationen

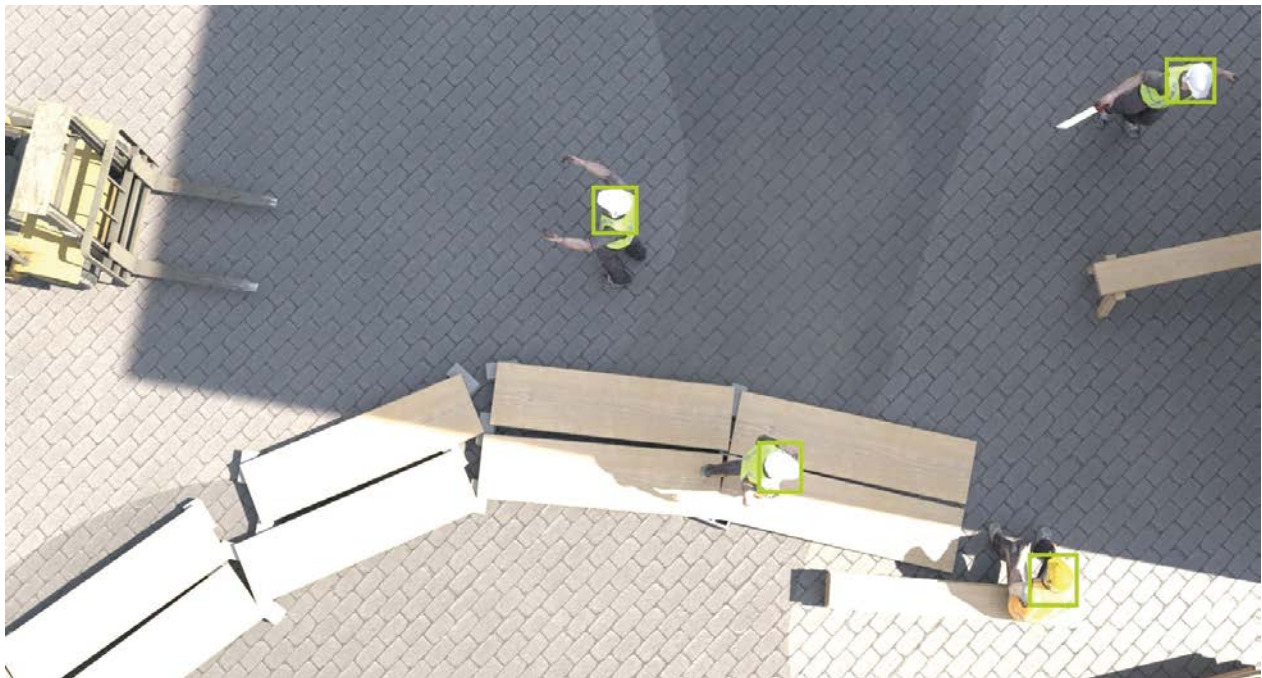
über Geometrien und Semantik können eine Erkennung und einen Abgleich, zum Beispiel von Objekten auf einer Baustelle, deutlich vereinfachen. Anschließend kann eine BIM-basierte Bauablaufplanung aktualisiert werden.

Ebenso bietet das Zusammenspiel zwischen KI-Verfahren und parametrischer Modellierung während der Entwurfsphase ganz neue Möglichkeiten. Durch die einfache Veränderung von Entwurfsparametern und anschließende Generierung eines BIM-Modells entstehen Entwürfe, die KI-Systeme wiederum analysieren können. Somit sind digitale Bauwerksmodelle eine sehr gute Grundlage für die Einführung von KI-Verfahren in Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse. Wie bereits dargestellt, ist BIM keine notwendige Voraussetzung. KI-Verfahren können auch ohne BIM bei einigen Aufgaben zielgerichtet und praxisnah eingesetzt werden. Hier liefern dann Sensoren auf der Baustelle und im Gebäude die notwendigen Daten.

An dieser Stelle muss jedoch ein kritischer Blick erfolgen, bezogen auf die Auswirkungen auf die Arbeitswelt. Natürlich kann eine kontinuierliche Erfassung von Personen und Maschinen auf einer Baustelle die Arbeitssicherheit erhöhen. Gleichzeitig kann ein Arbeitgeber dadurch auch die Arbeits-

10

Synthetische Daten unter Verwendung einer virtuellen Umgebung



Quelle: Ruhr-Universität Bochum; Neuhausen/Herbers/König 2020

leistung der Beschäftigten überwachen. Im Einzelfall muss daher geprüft werden können, wer welche Daten erhebt und wie verarbeitet.

Sich ausschließlich auf die KI zu verlassen, kann ebenfalls gefährlich sein. Was passiert, wenn eine autonome Maschine eine Person nicht erkennt? Aktuell muss bei gefährlichen Situationen eine Eingriffsmöglichkeit vorgesehen werden. Vieles hängt dann von den Trainingsdaten ab. In diesem Kontext geht es auch immer wieder um eine erklärbare KI. Insbesondere bei Deep Learning ist es sehr schwierig nachzuvollziehen, was genau ein System gelernt hat und warum es etwas erkennt oder eben nicht.

Festzuhalten ist jedoch, dass aktuell schon einige KI-Verfahren im Bauwesen einsatzbereit wären. Momentan gibt es jedoch zu wenige konkrete Werkzeuge, die eine einfache Integration in die bestehenden Prozesse ermöglichen. Viele der an der Planung und an der Bauausführung Beteiligten beschäftigen sich gerade erst mit der Digitalisierung und der Einführung von BIM. Daher nehmen viele die Möglichkeiten, die die Künstliche Intelligenz für das Bauwesen bietet, noch nicht wirklich wahr. In einigen Bereichen würden KI-Verfahren die Einführung von BIM eventuell vereinfachen und somit beschleunigen. Es braucht jedoch Personen, die dies übernehmen können. Leider gibt es nur sehr wenige KI-Expertinnen und -Experten für das Bauwesen.

Für KI-Anwendungen im Bauwesen besteht daher noch großer Bedarf an praxisnaher Forschung, also an der Ent-

wicklung von Verfahren zusammen mit Unternehmen. Die Weiterentwicklung von KI-Verfahren hängt maßgeblich von verfügbaren Daten ab. Der Zugang zu realen Daten ist für viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine große Hürde. Eine unkomplizierte Bereitstellung wäre sehr hilfreich, um zuverlässige und praxisnahe KI-Verfahren entwickeln zu können. Eine weitere Herausforderung ist die Validierung der entwickelten Systeme zusammen mit Anwenderinnen und Anwendern. Ein aktueller Trend ist die Kombination von verschiedenen KI-Verfahren. Dabei wird sehr häufig spezielles Expertenwissen aufbereitet und integriert. Solche hybriden KI-Systeme eignen sich insbesondere für den Einsatz in sehr komplexen, von Unsicherheit geprägten Anwendungen und Situationen.

In den vergangenen Jahren sind dazu einige große Forschungsprojekte gestartet. Zu nennen sind hier unter anderem die Projekte Kalkulation.KI (Strabag AG 2021), ESKIMO (Actimage GmbH 2021), SDaC (KIT 2021) oder BIMKIT (Hottgenroth Software GmbH & Co. KG 2021). Auch das neue Georg Nemetschek Institute of Artificial Intelligence for the Built World an der TU München wird sich dem Thema künftig widmen (TU München 2021, siehe auch Beitrag Borrmann in diesem Heft). Die Einführung von KI im Zusammenspiel mit BIM und neuen Möglichkeiten der Robotik wird das Bauwesen nachhaltig verändern. Dafür braucht es jedoch neue Kompetenzen. Digitale Transformation bedeutet somit auch immer Weiterbildung.

Literatur

- Actimage GmbH**, 2021: Mit Künstlicher Intelligenz die Baustelle genau im Blick. Zugriff: <https://www.eskimo-projekt.de> [abgerufen am 30.04.2021].
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung** (Hrsg.), 2021: Abschlussbericht. Projekt: Konzept für die nahtlose Integration von Building Information Modeling (BIM) in das behördliche Bauantragsverfahren. Zugriff https://bim-bauantrag.blogs.ruhr-uni-bochum.de/wp-content/uploads/2020/09/Abchlussbericht_2020-09-14_rev1.pdf [abgerufen am 30.04.2021].
- Braun, A.; Tuttas, S.; Borrmann, A.; Stilla, U.**, 2020: Improving progress monitoring by fusing point clouds, semantic data and computer vision. *Automation in Construction* 116 (C): 1–16.
- Chen, X.; Singh, M. M.; Geyer, P.**, 2021: Component-based machine learning for predicting representative time-series of energy performance in building design. 28th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2021, Berlin, Germany.
- Eisenstadt, V.; Langenhan, C.; Althoff, K.-D.**, 2019: Generation of Floor Plan Variations with Convolutional Neural Networks and Case-based Reasoning – An Approach for Unsupervised Adaptation of Room Configurations within a Framework for Support of Early Conceptual Design. eCAADe SIGraDi Conference, Porto.
- Han, K.; Gwak, J. Y.; Golparvar-Fard, M.; Saidi, K.; Cheok, G.; Franaszek, M.; Lipman, R.**, 2013: Vision-based field inspection of concrete reinforcing bars. In 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, London, UK: 272–281.
- Hottgenroth Software GmbH & Co. KG**, 2021: Bestandsmodellierung von Gebäuden und Infrastrukturbauwerken Mittels KI zur Generierung von Digital Twins. Zugriff: <https://bimkit.eu> [abgerufen am 30.04.2021].
- IntSite Ltd.**, 2021: Enhancing Safety and Efficiency of Heavy Machinery through AI-powered Automation. Zugriff: <https://www.intsite.ai> [abgerufen am 30.04.2021].
- Jang, H.; Yu, K.; Yang, J.**, 2020: Indoor reconstruction from floorplan images with a deep learning approach. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(2), 65.
- KIT – Karlsruher Institut für Technologie**, 2021: Intelligente Planung und Realisierung von Bauwerken durch Künstliche Intelligenz. Zugriff: <https://sdac.tech> [abgerufen am 30.04.2021].
- Kropp, C.; Koch, C.; König, M.**, 2018: Interior construction state recognition with 4D BIM registered image sequences. *Automation in construction*, Bd. 86: 11–32.
- Mocanu, E.; Nguyen, P. H.; Gibescu, M.; Kling, W. L.**, 2016: Deep learning for estimating building energy consumption. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 6: 91–99.
- Nagy, D.; Lau, D.; Locke, J.; Stoddart, J.; Villaggi, L.; Wang, R.; Zhao, D.; Benjamin, D.**, 2017: Project Discover: An application of generative design for architectural space planning. In: Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design: 1–8.
- Nauata, N.; Chang, K. H.; Cheng, C. Y.; Mori, G.; Furukawa, Y.**, 2020: House-GAN: Relational generative adversarial networks for graph-constrained house layout generation. In: European Conference on Computer Vision: 162–177.
- Neuhausen, M.; Herbers, P.; König, M.**, 2020: Using synthetic data to improve and evaluate the tracking performance of construction workers on site. *Applied Sciences*, Bd. 10, Nr. 14, 4948.
- Neuhausen, M.; Pawlowski, D.; König, M.**, 2020: Comparing classical and modern machine learning techniques for monitoring pedestrian workers in top-view construction site video sequences. *Applied Sciences*, Bd. 10, Nr. 23, 8466.
- Pang, G.; Qiu, R.; Huang, J.; You, S.; Neumann, U.**, 2015: Automatic 3D Industrial Point Cloud Classification and Modeling. In: SPE Western Regional Meeting. Society of Petroleum Engineers.
- Printstones GmbH**, 2021: The New Standard in Construction Robotics. Zugriff: <https://www.baubot.com> [abgerufen am 30.04.2021].
- Rausch, C.; Haas, C.**, 2021: Automated shape and pose updating of building information model elements from 3D point clouds. *Automation in Construction*, 124, 103561.
- Roland Berger GmbH**, 2021: Artificial Intelligence in the Construction Industry. Zugriff: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Artificial-intelligence-in-the-construction-industry.html> [abgerufen am 30.04.2021].
- Sacks, R.; Girolami, M.; Brilakis, I.**, 2020: Building information modelling, artificial intelligence and construction tech. *Developments in the Built Environment*, 4, 100011.
- Seyedzadeh, S.; Rahimian, F. P.; Glesk, I.; Roper, M.**, 2018: Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review. In: *Vis. in Eng.* 6 (1).
- Singaravel, S.; Suykens, J.; Geyer, P.**, 2019: Deep convolutional learning for general early design stage prediction models. *Advanced Engineering Informatics*, 2019, 42. Jg., 100982.
- Song, J.; Lee, J.-K.; Choi, J.; Kim, I.**, 2020: Deep learning-based extraction of predicate-argument structure (PAS) in building design rule sentences. *Journal of Computational Design and Engineering*, Volume 7, Issue 5, October 2020: 563–576.
- Strabag AG**, 2021: Kalkulation.KI – Forschungsprojekt der STRABAG AG und der Universität Oldenbur. Zugriff: <https://www.kalkulation-ki.com> [abgerufen am 30.04.2021].
- Teizer, J.; Vela, P. A.**, 2009: Personnel Tracking on Construction Sites using Video Cameras. *Advanced Engineering Informatics*, Special Issue, 23(4), 452–462. Zugriff: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2009.06.011> [abgerufen am 17.05.2021].
- TU München**, 2021: Georg Nemetschek Institute of Artificial Intelligence for the Built World. Zugriff: <https://www.mdsi.tum.de/gni/startseite> [abgerufen am 30.04.2021].



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IM ARCHITEKTURENTWURF

Der Beitrag beschreibt neue Möglichkeiten für den Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz in Architektur und Städtebau – und steckt diesbezüglich die Grenzen des Machbaren ab. Wie verändern diese Methoden die Arbeit von Architektinnen und Architekten? Und wie kann die kreative Nutzung neuer Technologien zu einem zukunftsweisenden Selbstverständnis in ihrem Berufsfeld führen?



Quelle: Pol Foreman

Prof. Dr. Reinhard König

ist Junior-Professor für Computational Architecture an der Bauhaus-Universität Weimar und Principal Scientist am AIT Austrian Institute of Technology.

reinhard.koenig@uni-weimar.de

Prof. Dr. Sven Schneider

ist Vertretungsprofessor für den Lehrstuhl für Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar und Mitbegründer der DecodingSpaces GbR.

sven.schneider@uni-weimar.de

Dr. Martin Bielik

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar und Mitbegründer der DecodingSpaces GbR.

martin.bielik@uni-weimar.de

Iuliia Osintseva

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Computational Architecture an der Bauhaus-Universität Weimar und Mitarbeiterin der CG Elementum AG.

julia.osintseva@gmail.com

Ekaterina Fuchkina

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar.

ekaterina.fuchkina@uni-weimar.de

Aktuell kommen immer mehr digitale Werkzeuge auf den Markt, die Teile der bisherigen Arbeit von Architektinnen und Architekten unterstützen, automatisieren oder ganz überflüssig machen. Die Entwicklung ist vergleichbar mit der Einführung von CAAD-Systemen (Computer-Aided Architectural Design) in den 1980er-Jahren. Sie gestalten die zeichnerische Arbeit von Planerinnen und Planern bis heute wesentlich effizienter. Trotz der damals teils heftigen Widerstände haben sich diese Systeme heute durchgesetzt und das händische Zeichnen auf dem Reißbrett vollständig verdrängt. Von den neuen Systemen, die auf Künstlicher Intelligenz (KI) basieren, ist ein noch viel tiefgreifender Einfluss auf die Arbeitsweise von Akteurinnen und Akteuren aus Architektur und Städtebau zu erwarten. Sie berühren deren Kernkompetenz: den kreativen Entwurfsprozess.

Im Zuge der Digitalisierung aller Planungsprozesse mithilfe von digitalen Gebäudemodellen verbergen sich bereits heute KI-Algorithmen in verschiedenen Teilen gängiger Softwarelösungen: von der Fehlererkennung in digitalen Gebäudemodellen über die Lichtsimulation bis hin zu Vorschlagssystemen zur Materialwahl. Dieser Beitrag konzentriert sich auf jene Entwicklungen der KI, die anhand der Integration von Simulationen, Optimierungsmethoden und maschinellem Lernen den Entwurfsprozess verändern – also jene Phase des kreativen Lösens von gestalterischen Aufgaben. Aus Sicht der Autorinnen und Autoren ist die entscheidende Frage nicht, ob und wann sich KI-basierte Entwurfssysteme durchsetzen. Da diese mit einer enormen Effizienzsteigerung einhergehen, werden sie früher oder später traditionelle Arbeitsweisen verdrängen. Die wesentliche Frage besteht darin, wie sich Planende und Gestaltende der neuen Technologien bemächtigen können, um die Kontrolle über die Gestaltung und Qualität der gebauten Umwelt nicht aus der Hand zu geben. Die menschlichen Bedürfnisse an lebenswerte und nachhaltige Städte und Gebäude müssen über der ökonomischen Effizienz stehen.

Dieser Beitrag stellt einige der neuen digitalen Planungsmethoden dar. Er skizziert Möglichkeiten für deren kreative

Nutzung, die aufgeschlossenen Architektinnen und Architekten zu zukunftsorientierten Tätigkeitsbereichen und damit neuen Marktanteilen in der Planungsindustrie verhelfen kann. Die Struktur des Beitrags orientiert sich an den Kernkomponenten des architektonischen und städtebaulichen Entwurfsprozesses. Entwerfen gilt hier als Problemlösungsprozess, wobei Entwurfsprobleme allgemein als „schlecht strukturiert“ oder „bösaartig“ bezeichnet werden (Rittel/Webber 1973; Simon 1973). Für solche Probleme gibt es keine klaren Handlungsanweisungen, um zu einem guten Ergebnis zu gelangen. Folglich sind die Ansätze zur Lösung von Entwurfsproblemen zahlreich. Ein gemeinsames Muster haben aber alle gemeinsam: den Generieren-Testen-Explorieren-Zyklus (angelehnt an: Mitchell 1975; Simon 1994). Dabei handelt es sich im Wesentlichen um einen iterativen Prozess, der auf drei Phasen basiert:

- einer kreativen Phase, in der Entwurfsvorschläge (Hypothesen) generiert werden
- einer Testphase, in der bewertet wird, wie gut sich die Hypothesen bestätigen lassen
- einer Explorationsphase, in der ein Pool von Entwurfsalternativen untersucht wird

Der folgende Text ist in drei Abschnitte gegliedert, die zeigen, wie digitale Methoden diese drei Phasen unterstützen und teilautomatisieren können: (i) effiziente Generierung (führt zu Vielfalt an Lösungen); (ii) objektive Analyse (führt zu evidenzbasierter Bewertung); (iii) systematische Lösungssuche (führt zu Transparenz bei der Entscheidungsfindung).

Die im Folgenden gezeigten Beispiele stammen aus Projekten der Zukunft-Bau-Förderung (DigiWo, ILCO, Neufert 4.0). Das Programm Zukunft Bau des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) fördert Forschungsprojekte, die einen Wissenstransfer von technischen, baukulturellen und organisatorischen Innovationen mit Praxispartnern realisieren. Hinter allen Maßnahmen steht der Anspruch, eine nachhaltige Entwicklung des Gebäudesektors insgesamt zu befördern.

Entwürfe automatisiert entwickeln, effizient Varianten erstellen

Gebäude bestehen aus zahlreichen Elementen, zwischen denen komplexe Abhängigkeiten bestehen. Deshalb kann sich die Änderung eines Elements auf viele andere Elemente auswirken. Architektinnen und Architekten sind gut darin, diese Abhängigkeiten zu erkennen. Allerdings ist es aufgrund

der begrenzten menschlichen kognitiven Kapazitäten (Miller 1956) schwierig, komplexe Systeme zu kontrollieren. Beim Entwerfen ist es daher kaum möglich, immer alle Wechselwirkungen im Blick zu behalten. Das gilt insbesondere, wenn auch noch viele Entwurfsvarianten auszuarbeiten sind.

Digitale, generative Modelle bieten hier die Möglichkeit, zahlreiche Elemente und deren Beziehungen abzubilden, nachzuverfolgen und in ihrer Wirkung im Gesamtsystem zu verstehen.

Im von den Autorinnen und Autoren durchgeführten Forschungsprojekt DigiWo entstand eine praxistaugliche Methodik, mit der sich Entwurfsvarianten für komplexe Wohnbauprojekte systematisch generieren lassen. Die Projektverantwortlichen entwickelten und kombinierten verschiedene Generierungs- und Analysemodule, um einen Entwurfsprozess über die verschiedenen Maßstabsebenen abzubilden (Gebäudevolumen, Erschließung/Wohneinheiten und Wohnungsgrundrisse).

Dabei helfen parametrische Modelle, Planungsvarianten geometrisch zu erstellen. Verschiedene formgebende Randbedingungen kontrollieren diese Modelle. Die Schwierigkeit bei der Anwendung parametrischer Modelle liegt darin, die zahlreichen maßstabsübergreifenden Abhängigkeiten zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen. Aspekte auf

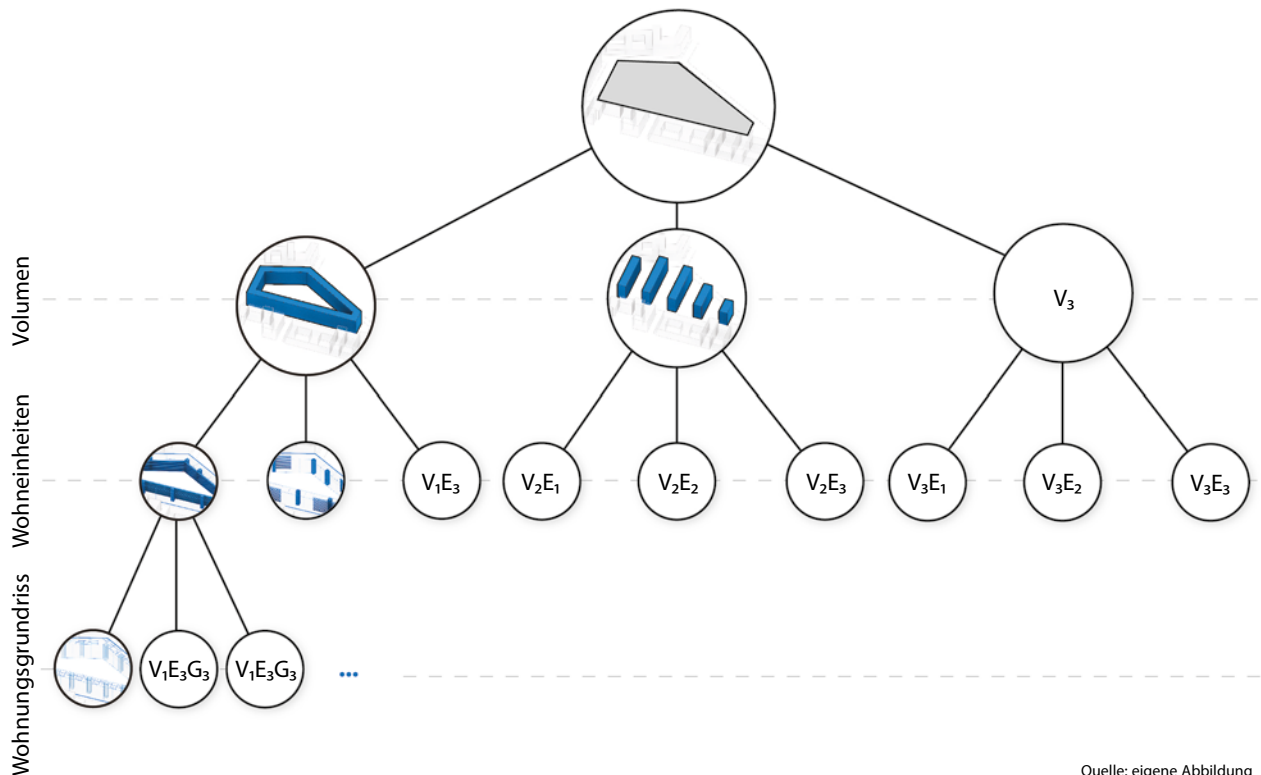
unterschiedlichen Maßstabsebenen beeinflussen sich dabei gegenseitig und sind daher nicht getrennt voneinander zu bearbeiten. Zum Beispiel beeinflussen sich die Definition des Gebäudevolumens und die Möglichkeiten zur Definition des Erschließungssystems gegenseitig stark.

Die im DigiWo-Projekt verfolgte generative Methode ist als Top-down-Ansatz konzipiert. Das in Abbildung 1 illustrierte Konzept gliedert die Planung in drei Maßstabsebenen: (i) Volumen, (ii) Erschließungen und Aufteilung in Wohneinheiten, (iii) Wohnungsgrundrisse. Diese Aufteilung erlaubt es zum einen, die komplexen Herausforderungen der einzelnen Ebenen gezielter anzugehen. Zum anderen sorgt sie dafür, dass sich übergeordnete Bauregeln besser integrieren lassen.

Die für die Gebäudegenerierung erforderlichen Angaben teilen sich in zwei Gruppen auf: Generierungsparameter und Kontextfaktoren. Die Kontextfaktoren bestehen aus geometrischen Daten (Kontextgeometrie) und nicht-geometrischen Daten (Bebauungsregeln). Die Kontextgeometrie

1

Darstellung des Top-down-Ansatzes: Gebäudevolumen werden auf einem Grundstück (Ebene 1) erstellt, weiter in Wohneinheiten aufgeteilt (Ebene 2) und bis in die Grundrisse (Ebene 3) ausgearbeitet



Quelle: eigene Abbildung

setzt sich aus dem Grundstück und, falls verfügbar, zusätzlichen Informationen wie Straßen, öffentlichen Räumen und der Nachbarbebauung zusammen.

Basierend auf diesen Kontextfaktoren kann das DigiWo-Generierungssystem schnell zahlreiche Varianten erstellen. Die Grundlage für dieses Generierungssystem bilden gängige Wohnungsbautypologien und typische Planungsschritte (z. B. das Erzeugen von Rücksprüngen, das Unterteilen von Baukörpern oder das Einfügen zusätzlicher Gebäuderiegel im Innenhof). Diese der Praxis entlehnte Methodik zur Eingrenzung des Variantenraums schließt unbrauchbare Lösungen von vornherein aus. Das macht den Entwurfsraum überschaubarer und die generative Methodik in der Praxis anwendbar. Abbildung 2 zeigt eine kleine Auswahl der generierten Gebäudevarianten.

Für jede Variante des generierten Gebäudevolumens werden verschiedene Erschließungssysteme generiert. Dafür werden die Geschosse der erzeugten Kubaturen nach bestimmten Regeln in Segmente unterteilt und mit vertikalen Erschließungen versehen. Ein zentraler Generierungsparameter ist dabei der Wohnungsmix: Um wie viele Wohnungen in welchen Größen geht es? Die geometrische Umsetzung

dieses Mixes ist nicht trivial, da bei größeren Wohnungsbauprojekten auf einem Grundstück in der Regel mehrere Gebäude liegen, die verschiedene Geschosshöhen haben. Die Wohnungen sind in der Regel aus konstruktiven Gründen in allen Geschossen übereinander gleich verteilt. Daraus folgt, dass sich der Wohnungsmix, der sich aus der geometrisch möglichen Unterteilung aller Regelgeschossflächen in Wohneinheiten ergibt, deutlich vom gesamten Wohnungsmix unterscheiden kann, der aus der einfachen Multiplizierung der Wohnungszahl mit entsprechender Geschosshöhe pro Gebäude resultiert. Die Wohnungen so zu verteilen, dass sich der gewünschte Wohnungsmix ergibt, ist dementsprechend ein multivariates Optimierungsproblem, bei dem man zwischen der Minimierung der Restflächen und der Einhaltung des Wohnungsmix abwägen muss.

Die Aufteilung erfolgt basierend auf den im Wohnungsbau typischen Erschließungstypologien: Spänner, Flur und Laubengang. Abbildung 3 zeigt exemplarisch fünf Varianten für die Spänner-Typologie für eine Gebäudeform.

Basierend auf den Varianten für Erschließung und Wohnungsaufteilung ergeben sich die Wohnungsgrundrisse. Das erfolgt über ein Optimierungsverfahren, dank dem die Plat-

2

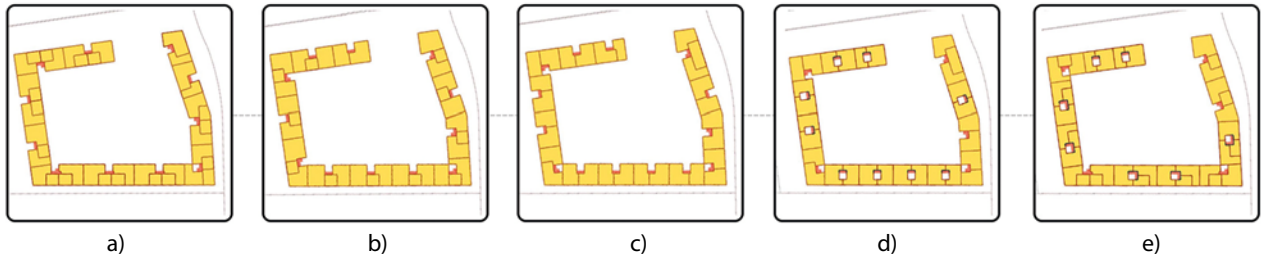
Ausschnitt aus 10.000 generierten Varianten für Gebäudevolumen auf einem Testgrundstück



Quelle: eigene Abbildung

3

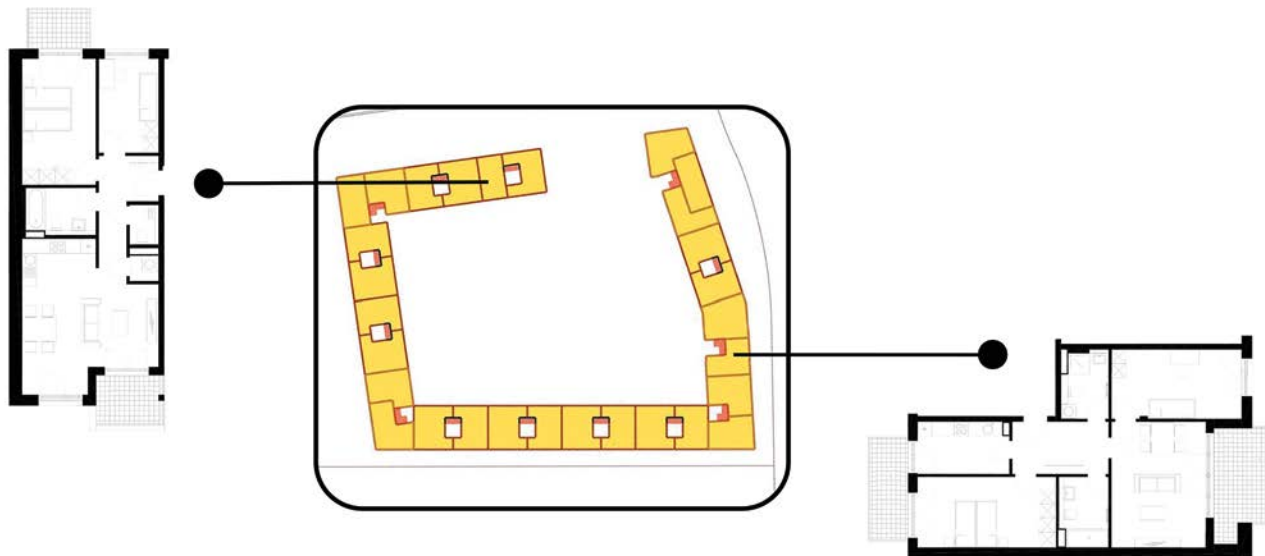
Erschließungsvarianten (v. l. n. r.: mit außenliegendem Vierspänner, mit außenliegendem Dreispänner, mit außenliegendem Zweispänner, mit innenliegendem Zweispänner, mit innenliegendem Dreispänner)



Quelle: eigene Abbildung

4

Schematische Darstellung der Suche an passenden Grundrissen mit auf maschinellem Lernen basierenden Algorithmen



Quelle: eigene Abbildung

zierung der Zimmer den Anforderungen an Raumgrößen, -beziehungen und natürlicher Belichtung entspricht. Dafür erstellten Studierende manuell eine Grundrissbibliothek aus 271 Wohnungslayouts, die neben der Grundrissgeometrie auch Daten zu Flächen, der Zimmeranzahl, Außenwänden und der Erschließung enthält. Mit einer auf maschinellem Lernen basierenden Methode (Zaghoul 2017) lassen sich für neue Grundrisse die ähnlichsten bereits bekannten Lösungskandidaten aus der Grundrissbibliothek ermitteln. Das Ergebnis ist die Näherung zwischen diesen Kandidaten (vgl. Abb. 4). Neben gut messbaren Analysekr iterien, um die es im nächsten Kapitel geht, gibt es in der Regel auch kontext-

beziehungsweise situationsabhängige Anforderungen. Diese lassen sich nicht quantitativ abbilden, sondern haben einen qualitativen, gestalterischen oder raumbezogenen Charakter. Daher ist es wichtig, dass der Entwerfende den Generierungsprozess beeinflussen kann. Der Prozess ist demnach so zu gestalten, dass er nicht nur anhand numerischer Anforderungen kontrolliert werden kann. Vielmehr muss der Entwerfende seine Erfahrungswerte in den Prozess einbringen. Das DigiWo-Projektteam hat die generativen Module so konzipiert, dass Entwerfende die Formgenerierung über einfache Interaktionstechniken – wie der Manipulation geometrischer Elemente – direkt beeinflussen können.

Automatisierte Analyse zur objektiven Entwurfsbewertung

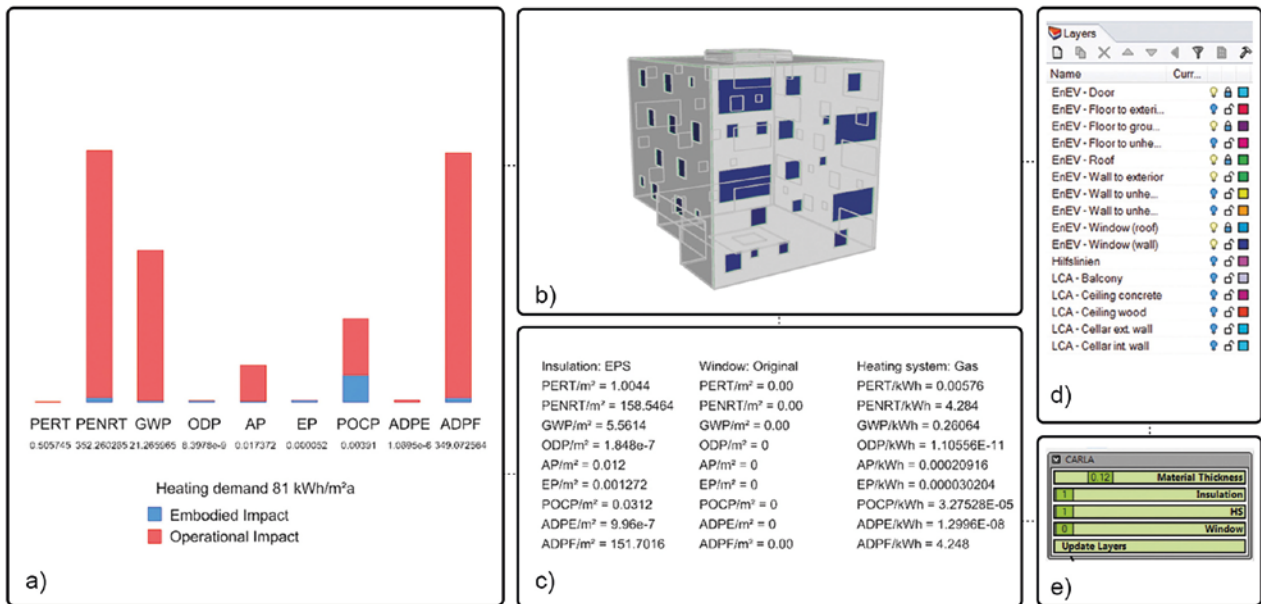
Es ist unerlässlich, die generierten Varianten zu bewerten, um zu guten Entwurfsergebnissen zu gelangen. Die Bandbreite der Bewertungsaspekte ist dabei sehr groß: Sie reicht von der Standfestigkeit des Gebäudes über den Energiebedarf bis hin zu Fragen des Nutzungskomforts und der Ästhetik. Digitale Assistenzsysteme ergänzen die derzeit nach wie vor oft intuitive und analoge Entwurfsbewertung. Sie ermöglichen zum einen eine schnelle Ermittlung der benötigten Kennzahlen. Zum anderen sind die Analyseergebnisse objektiv und nicht durch kognitive Verzerrungen oder individuelle Meinungen beeinflusst. Zu bedenken ist selbstverständlich, dass nur das berechnet werden kann, was sich klar formulieren lässt. Aspekte, für die das nicht gilt – zum Beispiel die Ästhetik – müssen der menschlichen Intuition überlassen bleiben.

Im Zukunft-Bau-Projekt ILCO entwickelten die Autorinnen und Autoren dieses Beitrags eine Methodik zur automatischen Lebenszyklusanalyse in frühen Entwurfsphasen. Das System liest lebenszyklusrelevante Bauteile wie Wände, Böden, Decken, Fenster oder Türen und deren Mengen sowie Flächen aus digitalen Gebäudemodellen (vgl. Abb. 5). Die ausgelesenen Bauteile werden dann mit unterschiedlichen Materialien und Materialstärken belegt. Eine Datenbank

mit Kennwerten zur eingebundenen Energie und des Erneuerungsbedarfs der Bauteile hilft dem System, die Energie zu berechnen, die es zur Erstellung und Erhaltung des Gebäudes braucht. Die Energie zum Betrieb des Gebäudes berechnet sich über ein etabliertes quasistatisches Monatsbilanzverfahren. Die Lebenszyklusperformance selbst ergibt sich dann aus der Summe aus eingebundener Energie und Betriebsenergie über die Nutzungsdauer. Aufgrund der verwendeten Berechnungsverfahren erfolgt die Analyse in Sekundenbruchteilen. Mittels parametrischer Entwurfsmodelle können so schnell verschiedene Material- oder Geometrievarianten analysiert und miteinander verglichen werden. Zusätzlich lassen sich komplexe Fragen untersuchen – zum Beispiel, welchen Effekt ein teureres Material, eine höhere Dämmstärke oder eine alternative Gebäudeform über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes haben.

Neben Analysen, die auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten oder wirtschaftlichen Modellen beruhen, gibt es auch Methoden zur Analyse des Wohnkomforts. Sie zeigen zwar nicht direkt, wie sich Menschen im Gebäude fühlen oder verhalten. Dies ist aufgrund der Komplexität menschlichen Verhaltens zum gegenwärtigen Stand nicht modellierbar. Vielmehr ermitteln sie wahrnehmungs- und nutzungsrelevante

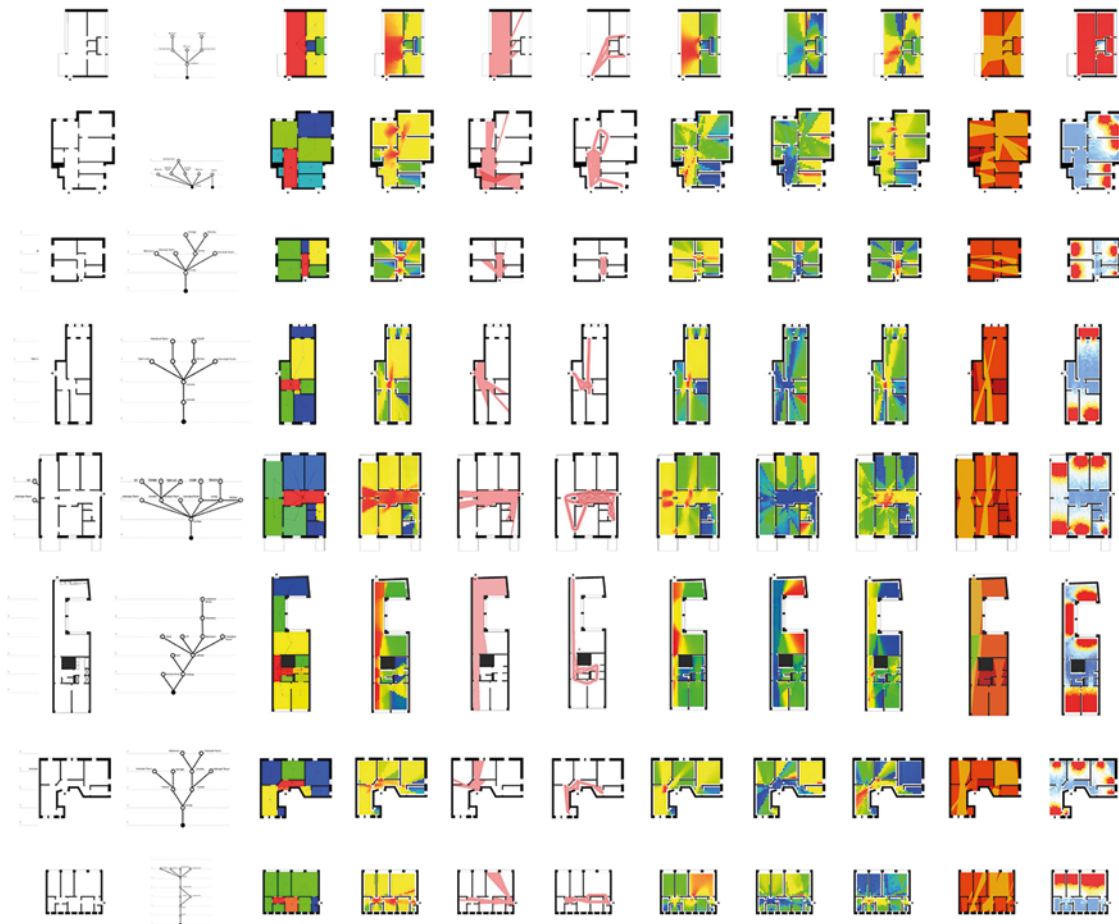
5 Prototyp zur parametrischen Lebenszyklusanalyse: (a) LCA-Ergebnisse, (b) 3-D-Modell, (c) Materialübersicht, (d) Ebenen für die Geometrieingabe, (e) Parameter zur Variantenerzeugung



Quelle: eigene Abbildung

6

Computerbasierte Analyse von Wohnungsgrundrissen (Spalten v. l. n. r.: 1: Grundriss, 2, 3: Erschließung, 4: Erreichbarkeit, 5: Sichtbarkeit vom Wohnungseingang, 6: Bewegungsräume, 7, 8, 9: versch. Sichtbarkeitseigenschaften, 10: Ausblick und 11: Tageslicht)



Quelle: eigene Abbildung

vante Eigenschaften eines Gebäudes und deuten auf Potenziale für bestimmte Nutzungen und Emotionen hin.

Über Tageslichtanalysen lässt sich beispielsweise errechnen, wie hell jeder Raum in einem künftigen Gebäude ist. So kann das System bewerten, ob die Räume hell genug sind, um bestimmte Aktivitäten (z. B. Lesen) bequem durchzuführen. Sichtbarkeitsanalysen können quantifizieren, wie sichtbar bestimmte Räume oder Objekte in einer Umgebung sind. Die Ergebnisse einer solchen Analyse liefern hilfreiche Hinweise, beispielsweise für die Orientierbarkeit in komplexen Gebäuden, den Grad an Privatheit oder die Qualität des Ausblicks: Sind die Gebäudeeingänge gut sichtbar? Kann man vom Eingang einer Wohnung ins Schlafzimmer schauen? Und wieviel Grün oder Himmel sieht man von den Zimmern einer Wohnung? Erreichbarkeitsanalysen ermög-

lichen zudem, die wahrscheinlichsten Wege zu berechnen, die Menschen gehen, wenn sie sich durch ein Gebäude oder eine Wohnung bewegen. Die Ergebnisse der Analyse lassen sich beispielsweise nutzen, um zu beurteilen, welche Räume potenziell am ehesten als Kommunikationsbereiche oder private Rückzugsbereiche dienen.

Die Analysen können Architektinnen und Architekten wie in Abbildung 6 dargestellt auf Wohnungsgrundrisse anwenden. Sie dienen dann als Grundlage für die Bewertung von Wohnqualitäten. Das Team im Zukunft-Bau-Projekt Neufert 4.0 bewertet auf diese Weise 35.000 Grundrisse. Die Ergebnisse verwendet es anschließend dazu, um über Methoden des maschinellen Lernens Entwurfsheuristiken für neue Wohnungsgrundrisse mit definierten Qualitäten zu entwickeln.

Systematische Entwurfsraumexploration

In einem automatisierten Entwurfsprozess lassen sich wie beschrieben in kürzester Zeit zahlreiche Varianten erzeugen und hinsichtlich zahlreicher Aspekte analysieren. Die Chance ist deshalb groß, nicht nur eine, sondern mehrere gute Lösungen zu finden. Das ist insbesondere für Entwurfsprobleme sehr wichtig: Für sie gibt es aufgrund der teilweise gegensätzlichen Anforderungen (hoher Nutzerkomfort, niedrige Kosten, hohe Lebenszyklusperformance) oft nicht die eine optimale Lösung, sondern nur mehrere Kompromisslösungen.

Um diese Kompromisslösungen zu identifizieren, entwickelten die Autorinnen und Autoren dieses Beitrags im Projekt ILCO eine Methode zur Entwurfsraumexploration (Design Space Explorer Framework, DSEF, Fuchkina et al. 2018). Der Entwurfsraum ist dabei die Menge aller erzeugten Varianten und deren Analysekenwerte. Eine Entwurfsvariante ist somit ein Datensatz, der sich mit anderen vergleichen lässt. Der Vorgang des Vergleichens und der daraus resultierende Erkenntnisgewinn nennt sich Entwurfsraumexploration.

Für diese Exploration bietet das DSEF verschiedene Methoden zur Datenanalyse und Visualisierung an – und erlaubt es, diese interaktiv miteinander zu verknüpfen. Beispielhaft zu nennen sind hier das Parallelkoordinatensystem und selbstorganisierende Karten. Das Parallelkoordinatensystem (vgl. Abb. 7, links) stellt die Entwurfsvarianten in einem Diagramm mit mehreren Y-Achsen dar. Diese Achsen sind die Bewertungskriterien (z. B. Tageslicht, Solareintrag, Kosten).

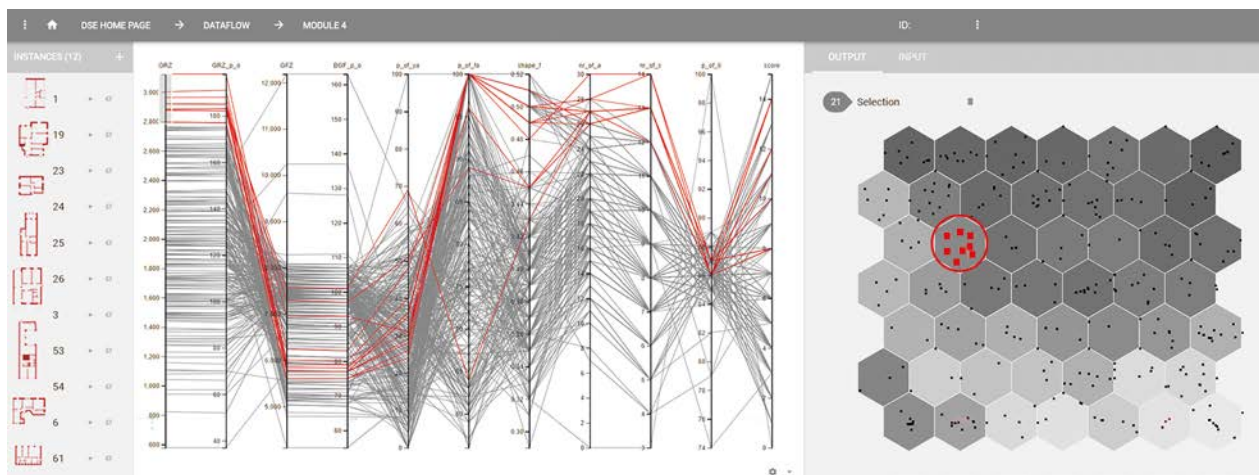
Selektiert man nun den gewünschten Wertebereich eines Bewertungskriteriums (z. B. hohe bis mittlere solare Gewinne), hebt das System alle Varianten hervor, die diese Eigenschaft aufweisen (rote Linien in Abb. 7). Verfolgt man diese Linien über alle Achsen des Diagramms, kann man erkennen, wie selektierte Varianten bei anderen Bewertungskriterien abschneiden. Durch weitere Eingrenzung des Wertebereichs bei unterschiedlichen Kriterien lassen sich die Varianten identifizieren, die den meisten Anforderungen entsprechen. Darüber hinaus zeigen sich so auch Zusammenhänge zwischen den Bewertungskriterien.

Eine Self-Organizing Map (SOM) ist eine zweidimensionale Karte, auf der die Entwurfsvarianten so angeordnet sind, dass Varianten mit möglichst vielen ähnlichen Eigenschaften nah beieinander liegen (vgl. Abb. 7, rechts). Haben Architekten und Architekten in einem Projekt beispielsweise schon eine Vorzugsvariante ermittelt, so können sie in der Karte die benachbarten Varianten anschauen und Alternativlösungen mit ähnlichen Eigenschaften finden.

Diese Entwurfsraumexploration lässt sich auch bei mehrstufigen Entwurfsprozessen – wie im Abschnitt zur Generierung beschrieben – durchführen. Dort wurden zunächst Varianten für die Gebäudeform erzeugt; für jede dieser Gebäudeformen Varianten für die Erschließung und Wohnungsanordnung und zuletzt für jede der Wohnungen Varianten für die Wohnungsgrundrisse. Die Varianten jeder dieser Generierungsstufen lassen sich dann, wie in Abbildung 8 darge-

7

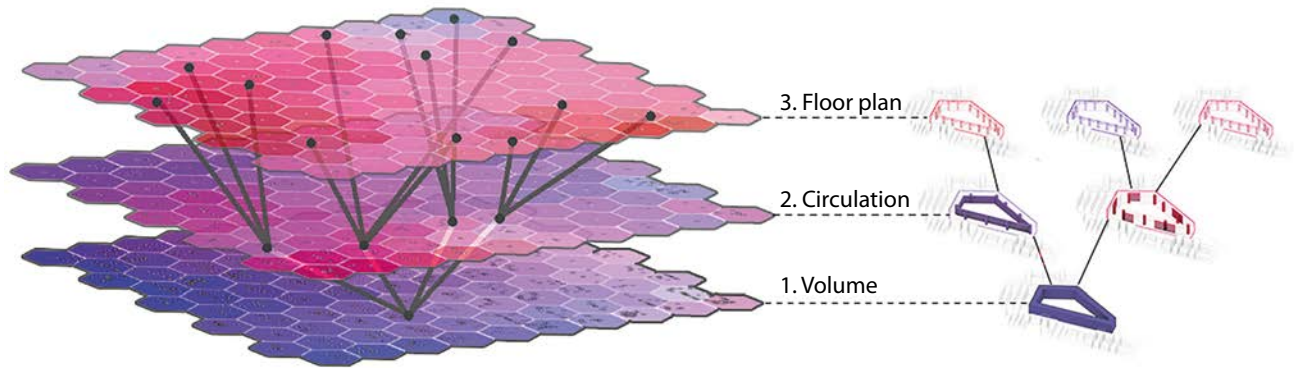
Zwei Methoden zur Entwurfsraumexploration: Parallelkoordinatensystem (links) und Self-Organizing Map (rechts)



Quelle: eigene Abbildung

8

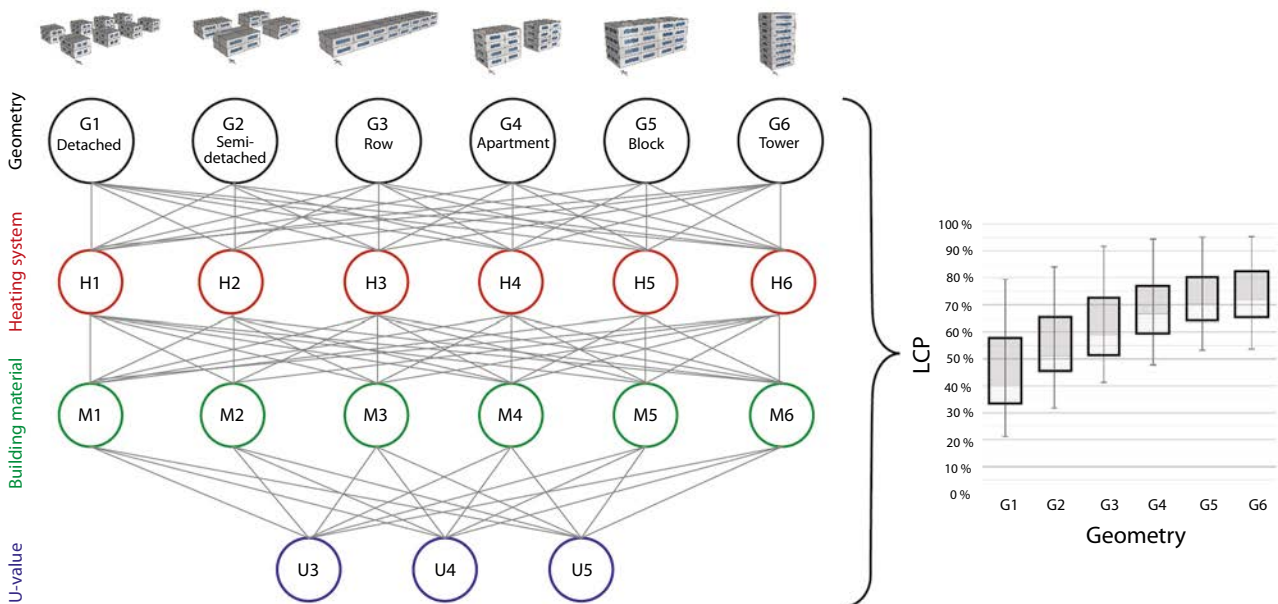
Hierarchisch gegliederte Entwurfsräume/Maßstabsebenen (Volumen, Wohnungsaufteilung, Wohnungen)



Quelle: eigene Abbildung

9

Errechnung der potenziellen Lebenszyklusperformance für sechs verschiedene Bebauungsvarianten (freistehende Einfamilienhäuser, Doppelhäuser, Reihenhäuser, Punkthäuser, Wohnblock und -turm)



Quelle: eigene Abbildung

stellt, auf mehreren SOMs anordnen. Durch Visualisierung der Beziehungen jeder Variante zu ihrer Ursprungsvariante lässt sich beispielsweise verfolgen, wie erfolgreich eine bestimmte Gebäudeform ist, um die gewünschten Grundrissqualitäten sicherzustellen.

Diese mehrstufige Exploration erlaubt es außerdem abzuschätzen, wie gut Entscheidungen auf einer höheren Maßstabsebene sind, ohne schon die Details auf einer niedrigeren Ebene festzulegen. Dies ist vor allem für frühe

Entwurfsphasen von großer Bedeutung, da die Informationen hier oft noch unvollständig sind. Im Projekt ILCO entstand dafür ein neues Bewertungskriterium: die potenzielle Lebenszyklusperformance (PLCP). Dabei erstellt das System für die Maßstabsebene „Gebäudeform“ verschiedene Varianten für infrage kommende Materialien, Materialstärken und Heizsysteme. Daraus ergibt sich die Lebenszyklusperformance (LCP) für alle Varianten. Die Durchschnittswerte und die Streuung der Analyseergebnisse liefern dann Hinweise darauf, welches Potenzial eine Gebäudeform hat, eine mög-

lichst hohe LCP zu erreichen. In Abbildung 9 ist dies beispielhaft für die Anordnung von sechs Wohneinheiten dargestellt. Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 9, rechts) lässt sich erkennen, dass die Variante mit acht Einfamilienhäusern (G1) die niedrigste durchschnittliche LCP (40 %) und die größte Streuung aufweist. Sie ist damit viel stärker von der Material- und Technikauswahl abhängig als beispielsweise die Variante des Wohnblocks (G5). Diese weist eine hohe durchschnitt-

liche LCP (70 %) und eine niedrige Streuung auf. Zusätzlich ist es möglich, die gesammelten Daten mit Lernalgorithmen auszuwerten und Vorhersagemodelle zu entwickeln. Dies könnte in Zukunft aufwendige Teile des Entwurfsprozesses vorwegnehmen: Im Sinne eines „vorausschauenden Entwerfens“ können Architektinnen und Architekten bereits bei frühen Entwurfsentscheidungen antizipieren, welche folgenden Entwurfsschritte sich lohnen.

Neues Selbstverständnis – ein Ausblick

Eine der Hauptaufgaben von Akteurinnen und Akteuren aus Architektur und Städtebau ist es, kreative Lösungen für komplexe Entwurfsaufgaben zu finden. Neue digitale Entwurfsmethoden setzen dabei auf ein Zusammenspiel zwischen menschlichen Fähigkeiten des kreativen Denkens und den überragenden Rechenkapazitäten moderner Computer. Sie zielen darauf ab, Gebäude und Städte unmittelbarer zu planen, also schneller und trotz ihrer Komplexität nachvollziehbarer. Mithilfe des Computers lassen sich die Wechselwirkungen vieler unterschiedlicher Einflussgrößen auf einen Entwurf zudem besser verstehen. Der Einsatz moderner Techniken der Datenanalyse und von Simulationen ermöglicht es, vielfältige ökologische, ökonomische und soziale Kriterien zu messen und für informierte Entscheidungen zur Verfügung zu stellen. Ein wesentlicher Gewinn beim Einsatz von computerbasierten Entwurfswerkzeugen liegt darin, dass Lösungen komplexer Probleme nicht mehr an die kognitiven Grenzen des Menschen gebunden sind – was in der Regel eine Komplexitätsreduktion mit sich bringt. Vielmehr lassen sich auf innovativen Wegen neue Antworten für Entwurfsprobleme finden.

Der Automatisierungsgrad von Entwurfsprozessen wird mit der Entwicklung von Methoden der Künstlichen Intelligenz unaufhaltsam fortschreiten. Wie in anderen Berufen könnte

das auch Architektinnen und Architekten aus ihren bisherigen Tätigkeiten verdrängen. Das zwingt sie, ihre Rolle neu zu definieren. Im Gegensatz zum klassischen Selbstverständnis werden Pläne schon länger nicht mehr gezeichnet, sondern immer häufiger automatisch generiert (Fritz 2002). Viele Tätigkeitsfelder der Architektinnen und Architekten werden automatisiert – das stellt auch ihre gestalterische und künstlerische Hoheit infrage.

Die neuen Möglichkeiten digitalisierter Entwurfsprozesse bestehen ferner in einem effizienten Austausch von Fachwissen, der Einbindung von Fachleuten sowie Nutzerinnen und Nutzern, einer hohen Variabilität des Designs und der Transparenz der Entscheidungsfindung. Zweifelsohne bleibt es unerlässlich, dass wir Menschen die Gestaltung unserer Welt kontrollieren und steuern. Viele Aspekte des Entwurfsprozesses lassen sich jedoch als Synthese des digital verfügbaren Wissens von Computern effizienter und effektiver verarbeiten. Architektinnen und Architekten kommt in Zukunft eine völlig neue und ebenso komplexe Rolle zu: als Vermittelnde zwischen den unterschiedlichen Anforderungen von Interessengruppen und den Möglichkeiten, Computerprogramme bei der Entwicklung künftiger gebauter Lebenswelten zurate zu ziehen.

Literatur

Fritz, Oliver, 2002: Programmieren statt zeichnen? Vom Einfluss digitaler Technologie auf den architektonischen Entwurf. *Archithese*, Bd. 4: 14–19.

Fuchkina, Ekaterina; Schneider, Sven; Bertel, Sven; Osintseva, Iuliia, 2018: Design Space Exploration Framework – A modular approach to flexibly explore large sets of design variants of parametric models within a single environment. *Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design (eCAADe)*. Lodz, Bd. 2: 367–376.

Miller, George A., 1956: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*. Bd. 63(2): 81–97.

Mitchell, William J., 1975: The theoretical foundation of computer-aided architectural design. *Environment and Planning B: Planning and Design*. Bd. 2(2): 127–150.

Osintseva, Iuliia; Koenig, Reinhard; Berst, Andreas; Bielik, Martin; Schneider, Sven, 2020: Automated Parametric Building Volume Generation, a Case Study for Urban Blocks. *SimAUD: Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design*. Wien: 211–218.

Rittel, Horst; Webber, Melvin, 1973: Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, Bd. 4: 155–169.

Simon, Herbert A., 1994: Die Wissenschaft vom Künstlichen. Wien: Springer.

Simon, Herbert A., 1973: The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, 4, 181-201.

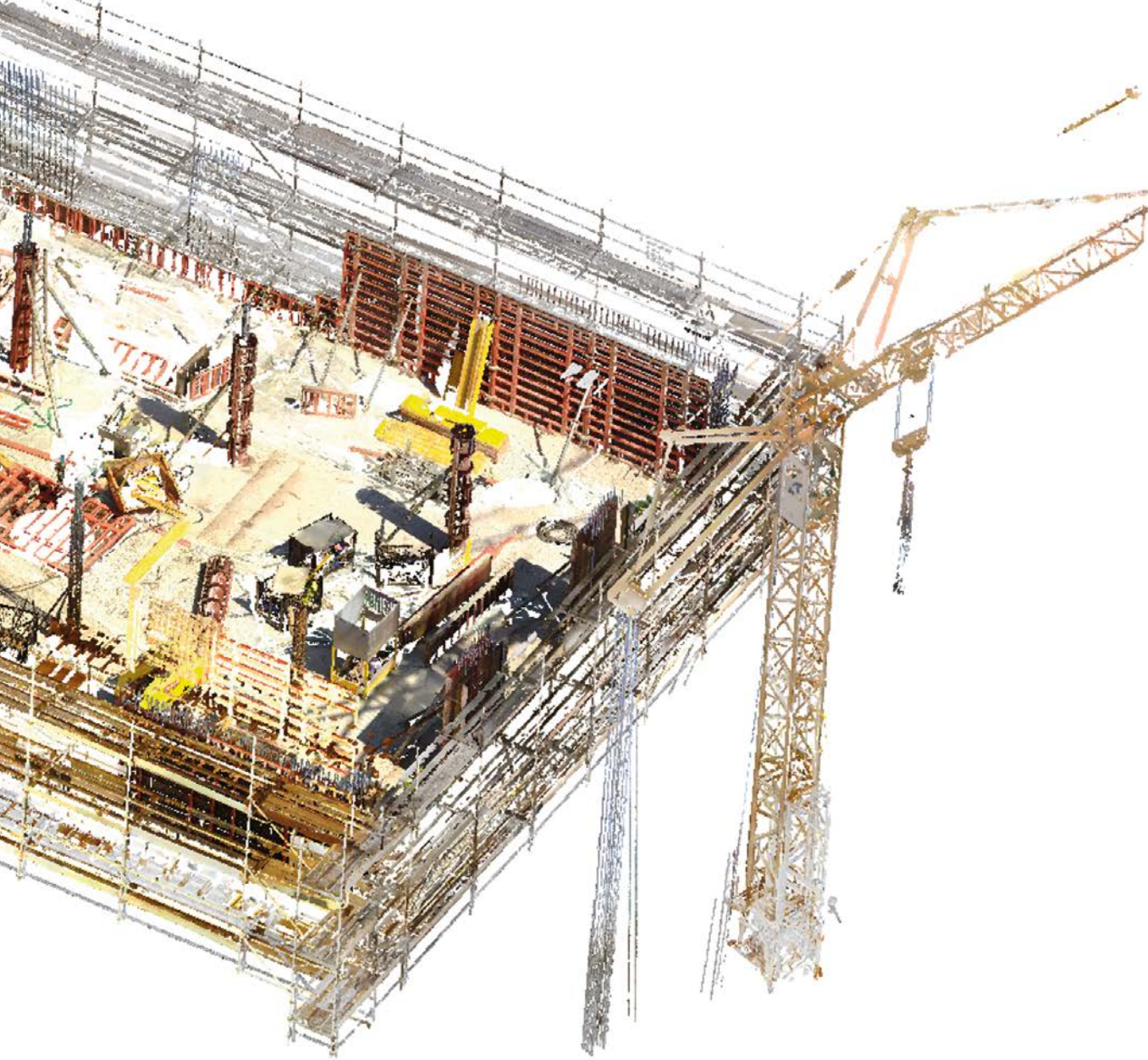
Zaghoul, Mohamed, 2017: Machine-Learning aided Architectural Design – Synthesize Fast CFD by Machine-Learning. ETH Zürich.

Projekte

DigiWo (2018–2020): Digitale Methodik für eine integrierte maßstabsübergreifende Generierung, Analyse und Exploration von Planungsvarianten für Wohnungsbauprojekte
<https://toolbox.decodingspaces.net/digiwo>

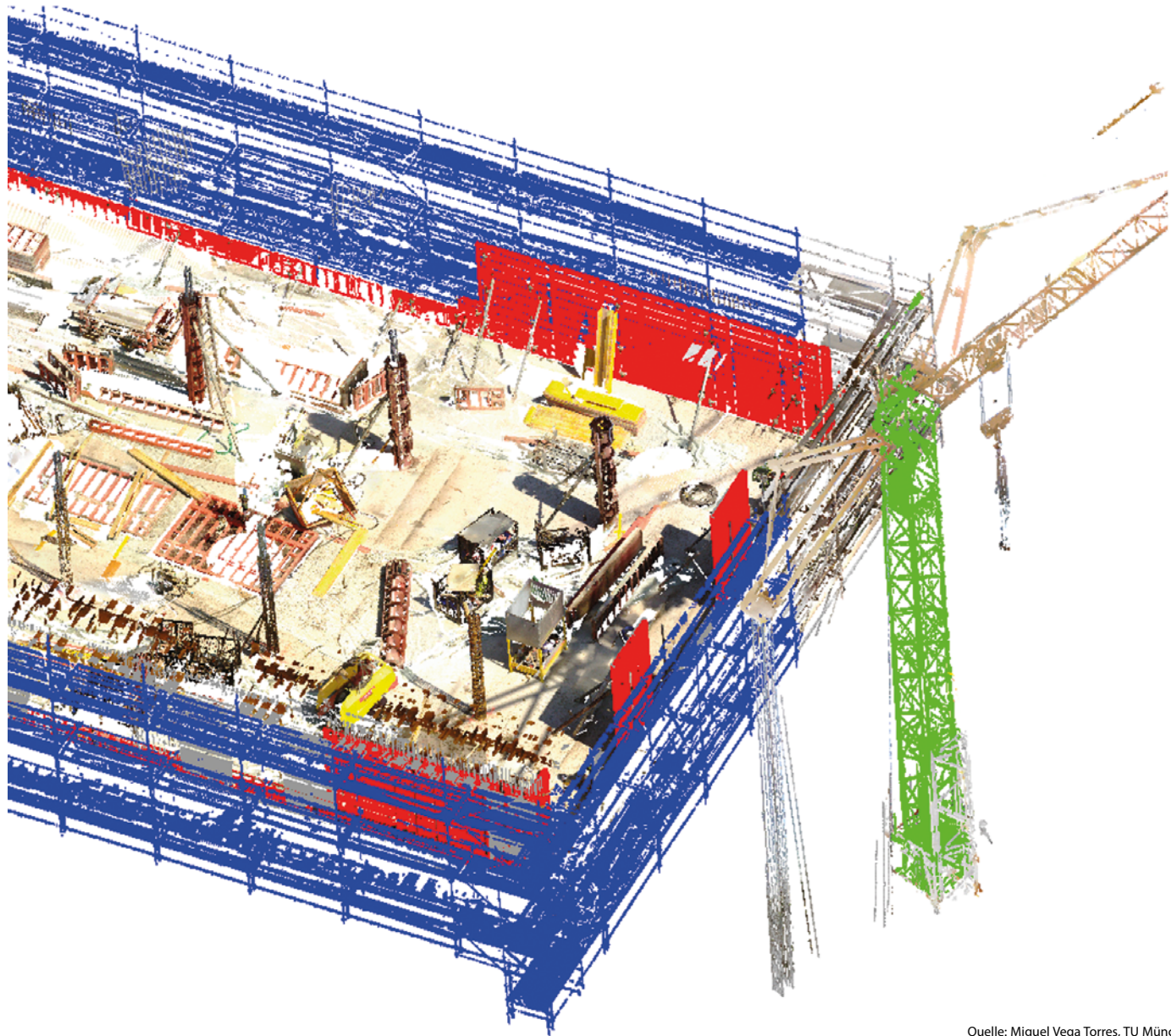
ILCO (2015–2017): Integrierte Lebenszyklusoptimierung. Methoden zur systematischen Variantenexploration in frühen Phasen der Planung unter besonderer Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten
<https://www.uni-weimar.de/de/architektur-und-urbanistik/professuren/infar/research/titel/ilco-integrated-life-cycle-optimization-2015-2017>

Neufert 4.0 (2021–2023): Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Erzeugung evidenzbasierter Entwurfsheuristiken für den nutzerzentrierten Wohnbau



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ FÜR DIE GEBaute UMWELT

Künstliche Intelligenz wird auch die Art und Weise, wie wir in Architektur und Bauwesen künftig arbeiten, tiefgreifend verändern. Der Beitrag gibt einen Überblick über die technischen Hintergründe und stellt einige der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten vor, angefangen bei der Bildverarbeitung über die Verarbeitung von Punktwolken bis zur Vorhersage von Personenströmen.



Quelle: Miguel Vega Torres, TU München

Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

ist Leiter des Lehrstuhls für Computergestützte Modellierung und Simulation und Kommissarischer Direktor des Georg-Nemetschek-Instituts an der Technischen Universität München. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich des Building Information Modeling, des Erzeugens von digitalen Zwillingen und der Anwendung von Verfahren der Künstlichen Intelligenz im Bauwesen.
andre.borrmann@tum.de

Grundlagen von KI-Verfahren

Viele Analytinnen und Analysten sehen Künstliche Intelligenz (KI) als eine der wichtigsten Technologien, die in den nächsten Jahren zahlreiche Industriebranchen erheblich beeinflussen wird. Während einige spezifische Verfahren bereits Anwendungsreife erreicht haben, braucht es bei anderen noch Forschung und Entwicklung.

Die Künstliche Intelligenz ist bereits seit den 1960er-Jahren ein aktives Forschungsfeld, das viele Teilgebiete umfasst. In den frühen Jahren war insbesondere die symbolische KI Gegenstand des wissenschaftlichen Interesses. In diesem Zuge wurden insbesondere Verfahren für das logische Schließen (engl. Reasoning) entwickelt, die in Programmiersprachen wie PROLOG und umfangreiche Expertensysteme für verschiedene Domänen eingeflossen sind. Mit dieser Technologie lässt sich aus vorgegebenem Faktenwissen durch Anwendung von logischen Regeln neues Wissen generieren.

Seit den 1980er-Jahren stehen vor allem Verfahren des Machine Learning im Mittelpunkt der Untersuchungen. Algorithmen des maschinellen Lernens bauen ein Modell basierend auf „Trainingsdaten“ auf, um Vorhersagen oder Entscheidungen zu treffen, ohne explizit darauf programmiert zu sein. In diesem Zusammenhang entstanden verschiedene Ansätze wie Entscheidungsbäume, Support Vector Machines, Bayes-Netzwerke oder evolutionäre Algorithmen. Eine Support Vector Machine dient beispielsweise dazu, Daten selbstlernend zu klassifizieren, indem sie für eine Menge von

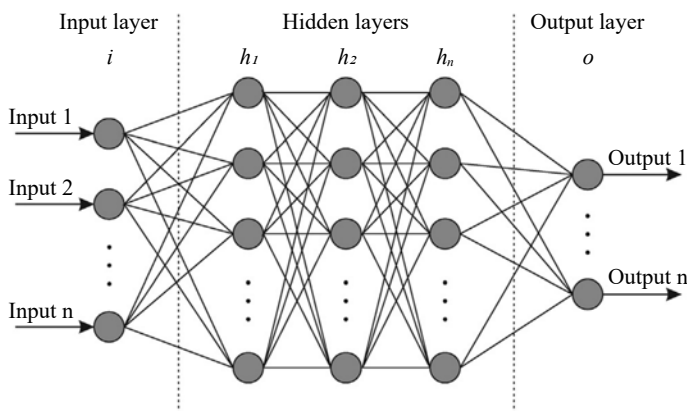
Datenpunkten automatisiert Klassengrenzen findet. Evolutionäre Algorithmen wiederum bilden ein Problem auf eine künstliche Gensequenz ab und machen sich Prinzipien der biologischen Evolution wie Mutation, Rekombination und Selektion zunutze, um für ein gegebenes Kriterium eine möglichst optimale Parameterkonfiguration zu finden.

Zum Machine Learning gehört auch das Prinzip der künstlichen neuronalen Netze (KNN), das sich mittlerweile zu einer der vielversprechendsten Techniken der Künstlichen Intelligenz entwickelt hat. Wesentliche Idee ist dabei die Imitation des menschlichen Gehirns durch den Aufbau eines Netzwerks von miteinander verbundenen künstlichen Neuronen. Im Rechner entsteht ein Graph, dessen Knoten die Neuronen repräsentieren und dessen Kanten der biologischen Axon-Synapse-Dendrit-Verbindung entsprechen. Jede Verbindung wird mit einem Gewicht versehen, das den Einfluss des jeweiligen Eingangssignals auf das Neuron beschreibt. Diese Gewichte werden während des Trainingsvorgangs kontinuierlich angepasst, um am Ende für die präsentierten Eingangsdaten ein korrektes Ausgangssignal zu erzeugen.

Dieses Grundprinzip, das seit den 1980er-Jahren bekannt ist, wurde in den vergangenen Jahren kontinuierlich weiterentwickelt und verfeinert. Ergebnis sind unter anderem die Convolutional Neural Networks (CNN), die für das Deep Learning unter anderem bei der Bildverarbeitung eingesetzt werden. Der Begriff Deep Learning stammt daher, dass eine große Zahl verborgener Schichten (Hidden Layers) zum Einsatz kommt, die eine klar definierte Struktur und Funktion aufweisen. Zusammen bilden die Schichten die Architektur des Netzwerks. Sie selbst sind nicht mehr eindimensional wie noch bei den einfachen KNN, sondern sehr häufig zwei- oder sogar dreidimensional angeordnet.

Zudem wird bei den Verbindungen zwischen den Schichten auf die Erhaltung der Lokalität geachtet. Demnach werden nicht mehr alle Knoten einer Schicht mit allen Knoten der folgenden Schicht verbunden, sondern nur die, die in räumlicher Nähe zueinanderstehen. Bei der Berechnung des Einflusses der vorgelagerten Neuronen kommt die mathematische Operation der Convolution zum Zuge: Die gleitende Multiplikation einer Input-Matrix (die z. B. die Pixel eines Bildes repräsentiert) mit einem Kernel (Filtermatrix) führt Informationen aus benachbarten Neuronen zusammen. Dadurch lassen sich unter anderem Filteroperationen auf Bildern umsetzen, die dann zum Beispiel zur Kantendetektion dienen.

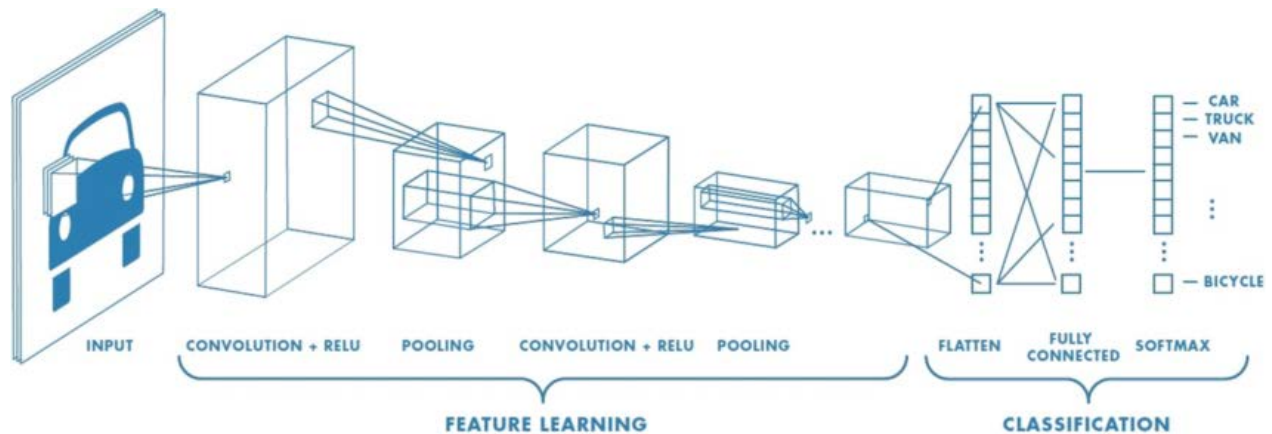
1 Schematische Darstellung eines künstlichen neuronalen Netzes



Quelle: Bre et al. 2018

2

Typische Struktur eines Convolutional Neural Network (CNN)



Quelle: mathworks.com

Eine typische Anwendung der CNN liegt in der Verarbeitung von Bildern (meist Fotografien). Dabei lassen sich je nach Ziel der Anwendung die Klassifikation, die Detektion und die Segmentierung unterscheiden. Bei der Klassifikation wird ein Bild einer vorgegebenen Kategorie zugeordnet, wie Hund/Katze oder Pkw/Lkw/Fahrrad. Mit der Detektion hingegen lässt sich ein vorgegebener Objekttyp (z. B. ein Kran) auf einem Bild entdecken und der umhüllende rechteckige Bildausschnitt (seine Bounding Box) zurückgeben. Die Segmentierung wiederum geht noch einen Schritt weiter und

identifiziert alle Pixel eines Bildes, die zu einem vorgegebenen Objekttyp gehören.

Neben den CNNs für die Bildverarbeitung gibt es immer ausgeklügeltere Varianten von Deep Neural Networks, die auf bestimmte Fragen und die spezifische Struktur von Eingangsdatensätzen zugeschnitten sind. Dazu gehören beispielsweise KNN für die Verarbeitung von Punktwolken und von Graphen.

Forschungs- und Anwendungsbereiche für die gebaute Umwelt

Das Themen- und Arbeitsfeld der gebauten Umwelt – als Überbegriff für Disziplinen wie Architektur, Bauingenieurwesen, Geodäsie sowie raumbezogene Wissenschaften – ist mit einer Unmenge an Daten verbunden. Diese fallen zum Beispiel bei der Planung, Ausführung und insbesondere beim Betrieb von Bauwerken an. Sie liegen häufig in einer unstrukturierten, rohen Form vor. Hier kommen die Verfahren der Künstlichen Intelligenz beziehungsweise des Machine Learning zum Einsatz: Sie ermöglichen es, Muster und Strukturen in Daten zu erkennen und daraus höherwertige Informationen zu generieren.

Wichtige Anwendungsfelder sind das Erfassen der gebauten Umwelt und das Schaffen von hochwertigen digitalen

Zwillingen für Bestandsbauwerke. Hintergrund ist, dass ein überwiegender Teil der baulichen Infrastruktur in Europa und weiten Teilen der entwickelten Welt bereits seit vielen Jahren existiert und digitale Informationen beziehungsweise Modelle im Regelfall nicht vorliegen. KI-Verfahren können hier sehr gut dazu beitragen, hochwertige digitale Zwillinge weitgehend automatisiert zu erzeugen.

Im Folgenden führt der Autor einige Beispiele zur KI-Forschung aus der Arbeit des Lehrstuhls für Computergestützte Modellierung und Simulation (CMS) an der Technischen Universität München auf, die in das im November 2020 gegründete Georg-Nemetschek-Institut (siehe Infokasten am Ende des Beitrags) einfließen werden.

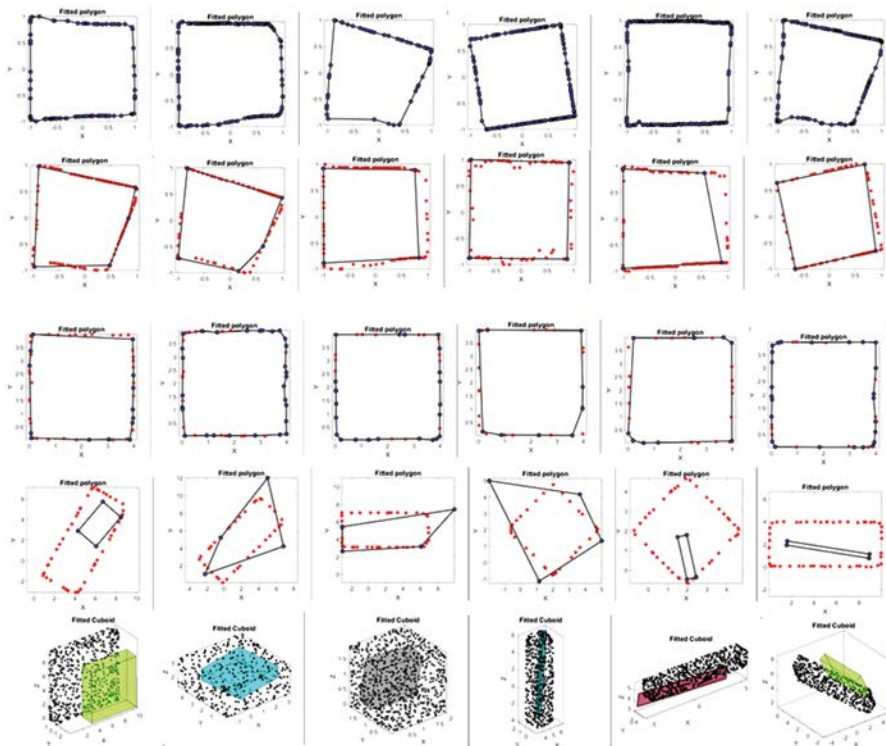
Ein Beispiel für den Einsatz von KI-Verfahren zur Digitalisierung des Bestands ist das Projekt TwinGen. Das Projektteam arbeitet hier unter anderem daran, aus Punktwolken von Brücken hochwertige digitale Zwillinge zu generieren. Der Lehrstuhl CMS hat dazu ein Verfahren entwickelt, bei dem sich hochparametrisierte vorkonfigurierte Modelle von Standardbrücken automatisiert in die aufgenommene Punktwolke einpassen (Mafipour et al. 2021). Dafür kommen unter anderem KI-Verfahren aus dem Bereich der evolutionären Optimierung zum Einsatz. Der Vorteil dieses Top-down-Ansatzes gegenüber den sonst üblichen Bottom-up-Verfahren liegt in der hohen geometrischen, topologischen und semantischen Qualität des entstehenden Bauwerksmodells. Neben der Technischen Universität München (TUM) beteiligen sich an diesem Projekt auch die RWTH Aachen und die Ruhr-Universität Bochum. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) fördert das Vorhaben.

Eine weitere sehr wichtige Quelle für das Erstellen digitaler Zwillinge von Bestandsbauwerken ist die Verarbeitung von vielfach vorliegenden Bauzeichnungen. Im vor kurzem ab-

geschlossenen Projekt RailTwin entwickelten der Lehrstuhl CMS und das Unternehmen Signon erste vielversprechende Ansätze in dieser Richtung. Die Bayerische Forschungsförderung förderte das Projekt. Dabei konzentrierten sich die Arbeiten zunächst auf das Detektieren von Symbolen des Eisenbahnbaus in den Zeichnungen, da diese dank ihrer Standardisierung eine sehr hohe Aussagekraft besitzen. Ein entsprechend trainiertes CNN lieferte sehr gute Ergebnisse (Vilgertshofer et al. 2020).

Ein besonderer Mehrwert entsteht durch die Kombination von Informationen aus Planunterlagen mit Informationen aus Bildern oder Videos. Dieses unter dem Begriff Sensor Fusion bekannte Verfahren kam ebenfalls im RailTwin-Projekt zum Einsatz: Dabei detektiert das entwickelte System Ausrüstungsgegenstände des Schienenbaus in Videos aus Schienenbefahrungen. Im Anschluss gleicht es ihre Existenz und Position mit den Planunterlagen ab (Vilgertshofer et al. 2020). Auf diese Weise lässt sich ein digitaler Zwilling entwickeln, der sich aus Informationen unterschiedlicher Quellen speist.

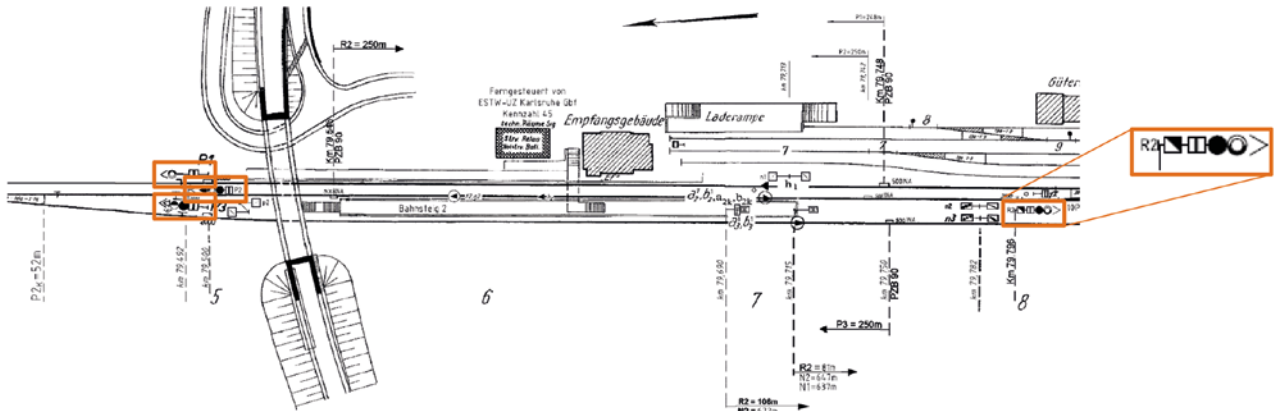
3 KI-basiertes „Model fitting“ im Rahmen des TwinGen-Projekts



Quelle: Mafipour et al. 2021

4

Detektion von Symbolen des Schienenbaus in Planunterlagen



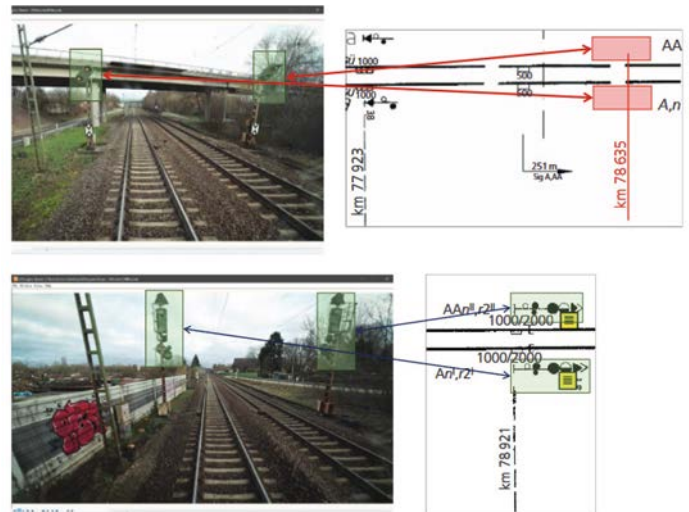
Quelle: Vilgertshofer et al. 2020

Neben der Erfassung der existierenden Bebauung können KI-Verfahren auch den Planungsvorgang unterstützen. Im derzeit laufenden Projekt BEYOND untersucht das Projektteam beispielsweise, wie CNNs rechenaufwändige Personenstromsimulationen ersetzen können. So ließen sich in frühen Phasen des Entwurfs von Bahnhöfen und U-Bahnhöfen schnell unterschiedliche Varianten in Hinblick auf Passagierströme untersuchen (Clever et al. 2021, vgl. Abb. 7). Dafür entwickelt das Projektteam eine KNN-Architektur, die als Input das Bild des Entwurfsgrundrisses verwendet und als Output ein Bild mit vorhergesagten Personenströmen generiert. Dieses Verfahren führte zu ersten vielversprechenden Ergebnissen, die eine hohe Übereinstimmung von Simulation und CNN-Ergebnis aufweisen. Das Projekt führt der Lehrstuhl CMS zusammen mit der Deutschen Bahn und dem TUM-Startup Accu:rate durch. Das BMVI fördert es über sein Programm mFund.

Auch in Bauvorhaben, die auf der modernen modellgestützten Arbeitsweise des Building Information Modeling (BIM) beruhen, müssen aus rechtlichen Gründen neben den Modellen bis auf Weiteres auch Pläne an den Bauherrn, die Genehmigungsbehörden oder die ausführenden Unternehmen übergeben werden. Dabei müssen die Projektteams sicherstellen, dass es keine Inkonsistenzen zwischen den beiden Repräsentationen gibt, um Unstimmigkeiten und daraus resultierende Fehler zu vermeiden. Im Projekt DeepLink untersucht der Lehrstuhl CMS im Auftrag der Allplan GmbH, auf welche Weise sich BIM-Modelle und 2-D-Pläne kombinieren lassen (Trzeciak et al. 2019). Dazu setzen sie KI-Verfahren ein, um entsprechende Objekte in den Plänen zu detektieren und diese Passpunkte mit den Modellen abzugleichen.

5

Abgleich der Position von Ausrüstungsgegenständen in aufgenommenen Videos und in Planunterlagen



Quelle: Vilgertshofer et al. 2020

In der Bauausführung lassen sich KI-Verfahren ebenfalls gewinnbringend einsetzen. Der Lehrstuhl CMS hat dazu Verfahren entwickelt, die die Detektion von Bauteilen und Baubehelfen in Aufnahmen von Krankeras oder Drohnen ermöglichen (Braun et al. 2019). So lässt sich der Baufortschritt automatisiert bestimmen und überwachen und die Sicherheit auf der Baustelle erhöhen. In Kombination mit einem 4-D-Bauwerksmodell, das die 3-D-Geometrie der Bauteile mit ihren geplanten Bauzeiten verknüpft, hat die TUM zu dem Verfahren des automatisierten Trainings entwickelt.

6

Detektion von Bauteilen in Fotoaufnahmen zur Bestimmung des Baufortschritts



Quelle: Braun et al. 2019

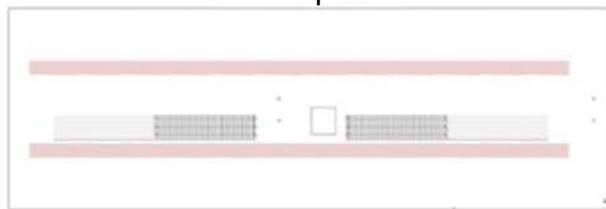
Im Übergang von Bauausführung zum Betrieb besteht häufig die Herausforderung, dass die verantwortlichen Akteure die BIM-Modelle der Planung nicht an die tatsächlich ausgeführte Realität anpassen. Entsprechend liegen keine „Wie-gebaut-Modelle“ vor. Eine Masterarbeit, die zusammen mit der ETH Zürich und der Siemens AG betreut wurde, untersuchte daher, wie sich Punktwolken mithilfe von KI-Verfahren semantisch segmentieren und damit Abweichungen zwischen Modell und Realität erkennen lassen (Collins et al. 2021). Dabei kam ein Graph Neural Network für die Segmentierung zum Einsatz. Im Einzelnen wird zunächst die Punktwolke zu einem Dreiecksnetz vermascht und dieses Netz anschließend in einen Graphen überführt, der als Eingangsgröße für das Graph Neuronal Network dient. Resultat ist die korrekte Segmentierung der Punktwolke, das heißt das Zuordnen der einzelnen Punkte zu vorgegebenen Klassen wie Wand, Decke, Treppe und Rohrleitung.

Die aufgeführten Beispiele stellen nur einen kleinen Teil der Anwendungsmöglichkeiten von KI-Verfahren im Bauwesen dar. Der Lehrstuhl CMS und andere Institute und Einrichtungen betreuen derzeit viele weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu diesem Thema. Ein Beispiel sind die Aktivitäten im Bereich der Physics-informed Neural Networks, mit denen sich physikalische Phänomene beschreiben lassen (Raissi et al. 2019). In den entsprechenden KNN-Architekturen kommen dabei häufig physikalisch-mathematisch motivierte Operationen zum Einsatz – beispielsweise zur Bildung der Ableitung von physikalischen Größen in verschiedene Raumrichtungen.

7

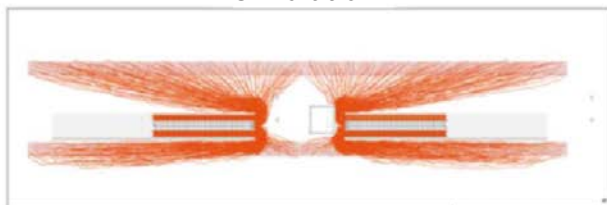
Nutzung eines künstlichen neuronalen Netzes zur Vorhersage von Personenströmen in Bahnhöfen

Floorplan

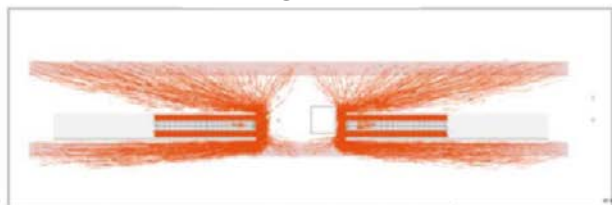


- floors = 2
- width = 15
- tracks = 2
- length = 150
- height = 25
- stairs = 3
- agents = 20

Simulation



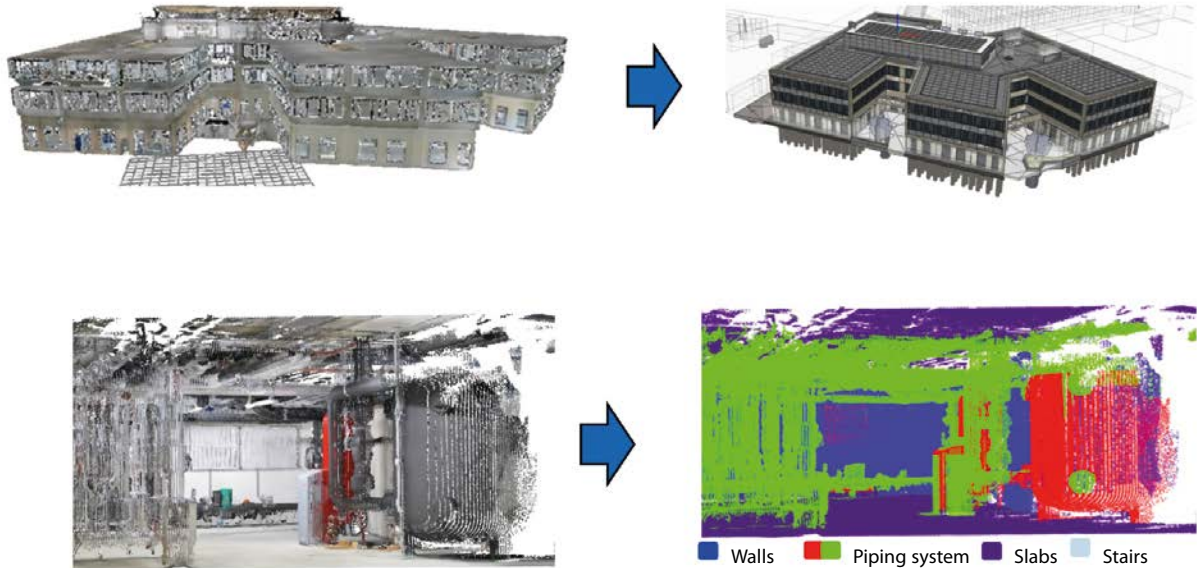
CNN



Quelle: Clever et al. 2021 (verändert)

8

Semantische Segmentierung einer Punktwolke zur Erstellung eines „Wie-gebaut-Modells“



Quelle: Collins et al. 2021

Herausforderungen und Einschränkungen

Die Erwartungen an die Verfahren der Künstlichen Intelligenz sind sehr hoch. Um ihre Möglichkeiten und Einschränkungen realistisch einschätzen zu können, braucht es jedoch ein grundlegendes Wissen über ihre Funktionsweise. Bei einem neuronalen Netz spielt beispielsweise die Phase des Trainings eine sehr wichtige Rolle, während der dem Netz Daten (z. B. Bilder) und die jeweils dazugehörige korrekte Antwort (z. B. eine Klassifikation) präsentiert werden. Für eine hohe Qualität des resultierenden Netzes sind die folgenden Punkte zu erfüllen:

- (a) sehr viele Datensätze für das Training
- (b) die Datensätze decken den Bereich der möglichen Eingangsdaten weitgehend vollständig ab
- (c) die Datensätze sind möglichst ausgewogen

Für (a) ist im Regelfall eine menschliche Bewertung erforderlich, beispielsweise in Form des Labelings – also der manuellen Markierung eines Ausschnitts auf den betreffenden Bildern. Hier liegt eine der Herausforderungen für die Anwendung von KI im Bauwesen, da eine umfangreiche

manuelle Aufbereitung sehr aufwendig und auch entsprechend teuer sein kann. Anders als in anderen Bereichen steht bei den spezifischen Anwendungen des Bauwesens nur in seltenen Fällen eine große internationale Community zur Verfügung, die kostenfrei an Trainingsdatensätzen mitwirkt. Einige Forscherinnen und Forscher setzen daher auf die Generierung und Nutzung von synthetischen Daten für das Training. Damit ist jedoch die nicht unerhebliche Gefahr verbunden, dass diese Daten zu ideal sind, also beispielsweise keine Verschattungen aufweisen. Das trainierte Netzwerk versagt dann bei der Anwendung auf Realdaten. Ebenso kritisch ist das Auftreten eines unbewussten Bias in den Trainingsdaten. Dies betrifft unmittelbar die Forderungen (b) und (c), die auch bei „natürlichen“ Daten eine sorgfältige Auswahl und Überwachung erfordern.

Für einen erfolgreichen Einsatz von KI-Verfahren im Bauwesen braucht es künftig daher öffentlich zugängliche Datenpools, die sich aus aufbereiteten Daten von verschiedenen öffentlichen Institutionen und privaten Unternehmen spei-

sen. Nur so lassen sich die Anforderungen an eine breite Datenbasis zu erfüllen. Das Prinzip der „geteilten Daten“ ist insbesondere vor dem Hintergrund der stark fragmentierten Baubranche eine unumgängliche Notwendigkeit für einen breiten Einsatz von KI-Methoden.

Unabhängig davon sind KI-Verfahren im Wesentlichen statistische Verfahren, die entsprechend wahrscheinlichkeitsbehaftete Aussagen tätigen können. Je nach Anwendungsdomäne ist die Zuverlässigkeit der Vorhersage sorgfältig zu prüfen, bevor derartige Verfahren in die praktische Anwendung gelangen. Dies betrifft vor allem Bereiche, bei denen Leib und Leben von Personen potenziell gefährdet sind – also unter anderem auch Anwendungen im Bereich der baustatischen Berechnungen oder der Bestimmung von Materialeigenschaften.

Fazit

Die Verfahren der Künstlichen Intelligenz zeigen in vielen Bereichen ein erhebliches Potenzial für die weitere Automatisierung und Effizienzsteigerung. Dazu gehören insbesondere auch die gebaute Umwelt und die damit verbundenen Wirtschaftsteile. Hier fallen sehr häufig große Mengen unstrukturierter Daten an, die sich mithilfe von KI-Verfahren zu höherwertigen Informationen verarbeiten lassen. Mögliche Einsatzgebiete erstrecken sich von der Erfassung bestehender Bauwerke und der Erzeugung digitaler Zwillinge über die Teilautomatisierung und Assistenz beim Entwurf und

Damit in Zusammenhang steht, dass KI-Methoden häufig als Black-Box-Verfahren eingesetzt werden, ein genaues Verständnis der Funktionsweise des Netzwerks also nicht besteht. Für manche Anwendungen ist dies auch nicht nötig, solange das Netzwerk im Rahmen einer festgelegten Zuverlässigkeit funktioniert. Für die genannten kritischen Bereiche ist jedoch ein vertieftes Verständnis erforderlich. Das ist auch wichtig, um abschätzen zu können, wie das Netzwerk auf „Outlier“ reagiert – also Eingangsdatensätze, die weit außerhalb des Wertbereichs der Trainingsdatensätze liegen. In diesem Sinne verweisen Forscherinnen und Forscher häufig darauf, dass sich KNN zwar gut für Interpolationsaufgaben einsetzen lassen (also zur Vorhersage von Werten zwischen bekannten Werten), aber nur eingeschränkt für Extrapolationsaufgaben (also zur Vorhersage von Werten außerhalb des bekannten Wertebereichs).

der Planung von Bauwerken bis zur Verarbeitung von Monitoringdaten, die bei Baustellen oder im Betrieb anfallen. Für einen sachgerechten Einsatz braucht es jedoch immer ein vertieftes Wissen über die Verfahren und insbesondere ihrer Grenzen. Um das große Potenzial zu erschließen, ist noch viel Forschung und Entwicklung nötig. Dazu wird das im November 2020 gegründete Georg-Nemetschek-Institut an der Technischen Universität München einen wichtigen Beitrag leisten.

Das Georg-Nemetschek-Institut an der Technischen Universität München (TUM)

Das „Georg Nemetschek Institute of Artificial Intelligence for the Built World“ an der TUM konnte Ende 2020 dank einer umfangreichen Spende der Nemetschek-Innovationsstiftung eingerichtet werden. Kernaufgabe des Instituts ist die Förderung von interdisziplinären Forschungsprojekten, bei denen Forscherinnen und Forscher aus den angewandten Bereichen der gebauten Umwelt mit Grundlagenwissenschaftlerinnen und -wissen-

schaftlern der Informatik und der Mathematik zusammenarbeiten. Neben der wichtigen Grundlagenforschung betreibt das Georg-Nemetschek-Institut auch angewandte Forschung mit industriellen und öffentlichen Partnern. Als Teil der School of Engineering and Design wird das Institut zudem neue Lehrangebote für die Studiengänge Bauingenieurwesen, Umweltingenieurwesen und Architektur schaffen.

Literatur

- Braun, A.; Borrmann, A., 2019:** Combining inverse photogrammetry and BIM for automated labeling of construction site images for machine learning, *Automation in Construction* 106: 1–13.
- Bre, F.; Gimenez, J. M.; Fachinotti, V. D., 2018:** Prediction of wind pressure coefficients on building surfaces using artificial neural networks. *Energy Build.* 158: 1429–1441.
- Clever, J.; Abualdenien, J.; Borrmann, A., 2021:** Deep learning approach for predicting pedestrian dynamics for transportation hubs in early design phases, 28th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2021, Berlin, Germany.
- Collins, F. C.; Braun, A.; Ringsquandl, M.; Hall, D. M.; Borrmann, A., 2021:** Assessing IFC classes with means of geometric deep learning on different graph encodings, *Proc. of the 2021 European Conference on Computing in Construction, Greece.*
- Mafipour, M. S.; Vilgertshofer, S.; Borrmann, A., 2021:** Deriving Digital Twin Models of Bridges from Point Cloud Data Using Parametric Models and Metaheuristic Algorithms, 28th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2021, Berlin, Germany.
- Raissi, M.; Perdikaris, P.; Karniadakis, G. E., 2019:** Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 378: 686–707.
- Trzeciak, M.; Borrmann, A., 2019:** Towards Registration of Construction Drawings to Building Information Models using Knowledge-based Extended Geometric Hashing. 26th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2019, Leuven, Belgium.
- Vilgertshofer, S.; Stoitchkov, D.; Borrmann, A.; Menter, A.; Genc, C., 2020:** Recognising Railway Infrastructure Elements in Videos and Drawings Using Neural Networks, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction* 172 (1): 19–33.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Universaler Alleskönner oder digitales „Weiter so“?

Die Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz machen weitreichende Veränderungen von Planungs- und Handlungsweisen erwartbar, auch neue Bewertungsmaßstäbe und Handlungszwänge. Dabei stehen übergroße Erwartungen einem verbreiteten Unbehagen gegenüber. Der Beitrag ordnet vor diesem Hintergrund die unter dem Begriff Künstliche Intelligenz betriebenen Veränderungsprozesse techniksoziologisch ein. Er diskutiert die Chancen und Risiken dieser Prozesse und fragt nach den Möglichkeiten ihrer gesellschaftlichen Mitgestaltung und Beherrschbarkeit.

Prof. Dr. Cordula Kropp

ist Professorin für Soziologie mit dem Schwerpunkt Risiko- und Technikforschung an der Universität Stuttgart und leitet das Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung der Universität Stuttgart (ZIRIUS). Sie beschäftigt sich mit soziotechnischen Transformationsprozessen und ihrer nachhaltigkeitsorientierten Gestaltung, insbesondere in den Bereichen Infrastruktur und Stadtentwicklung.
cordula.kropp@sowi.uni-stuttgart.de

KI als soziotechnischer Transformationsprozess

Künstliche Intelligenz (KI) ist in aller Munde und verwandelt die Art und Weise, wie die Gesellschaft Problemlösungen gesellschaftlich und technisch konzipiert. In der Stadt- und Raumentwicklung sowie im Bauwesen waren lange Zeit Gebietskategorien, politische Planungsziele (Leitbilder, Entwicklungspläne) und Fachwissen handlungsleitend. Informations- und Kommunikationstechnologien haben schon in den vergangenen Jahrzehnten einen Strukturwandel durch andere Referenzen wie raumbezogene Daten, Karten und Modelle ausgelöst (Christmann/Schinagl 2021: 185).

Die Künstliche Intelligenz verschiebt den Blick nun auf Big Data, Automatisierung und Vernetzung. Woran aber orientiert sich die maschinelle Sammlung und Auswertung großer Datenmengen im Kern der neuen KI-Technologien? Mit dem Begriff der soziotechnischen Transformation weist die Techniksoziologie darauf hin, dass neue technische Möglichkeiten die gesellschaftlichen Erwartungsmuster und Organisationsformen verändern und zugleich organisatorische Zusammenhänge und gesellschaftliche Prioritätensetzungen die Entwicklung und Nutzung dieser technischen Möglichkeiten beeinflussen.

Auch die Entwicklung Künstlicher Intelligenz reagiert auf soziale, wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen. Sie greift aber auch in diese ein, indem ihre Anwendung die Entscheidungsgrundlagen verändert und andere Erwartungen und Akteure ins Spiel bringt. Dabei trägt KI die Merkmale früherer Querschnittstechnologien und großtechnischer Infrastruktursysteme wie der Elektrifizierung: Unter ihrem Namen verbergen sich zahlreiche Technologien und Prozeduren, deren weitreichende und netzwerkartige Implementierung nahezu alle Lebensbereiche und gesellschaftlichen Teilsysteme erfasst, neue Standards setzt, neue Geschäftsmodelle, Akteurskonstellationen und Regelungssysteme anstößt – aber auch von all diesen Verknüpfungen beeinflusst wird (Hughes 1983).

Aufgrund dieser wechselseitigen Rückwirkungen verlaufen soziotechnische Transformationsprozesse nicht als radikale Brüche. Sie entfalten sich im Zuge längerer und verzweigter Restrukturierungs- und Anpassungsprozesse, „die durch eine Vielzahl aufeinander bezogener technologischer und sozioökonomischer Veränderungen geprägt“ (Dolata 2011: 265) sind. Der Hype um Künstliche Intelligenz und ihre weitreichenden Lösungsversprechen verstärken die öffentliche Wahrnehmung von KI als einer revolutionären, disruptiven Technologie zwar. Im Grunde schließt sie jedoch an ältere Entwicklungstrends an und führt diese mit ihren Mitteln fort.

Im Mittelpunkt der Erfassung, Sammlung und Verarbeitung großer Datenmengen finden sich zwei bekannte gesellschaftliche Fortschrittserzählungen: die der statistischen *Optimierung* und die der integrativen *Vernetzung* (Kropp/Braun 2021). Die Optimierung führt das Versprechen der Rationalisierung durch immer bessere Einsicht und Beherrschbarkeit fort, das Max Weber als wesentliches Merkmal moderner Gesellschaften beschrieben hat. In ihrem Kern steht der Glaube, dass man zwar nicht alles weiß, aber „alle Dinge – im Prinzip – durch *Berechnen beherrschen* könne“ (Weber 2002: 448, herv. im Orig.). Die weltumspannende Vernetzung und datenbasierte Integration knüpft mit der kybernetischen Erzählung von informationsbasierter Inklusion in gewisser Weise an die als hegemonial kritisierten Versprechen von Universalismus und Integration an. Sie erhebt allerdings keinen Anspruch auf universale Wahrheit.

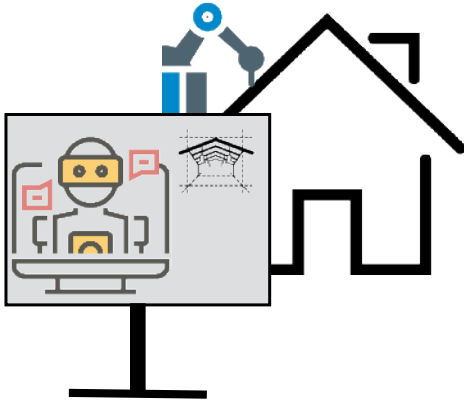
Dem Denken in Daten, Kommunikationsstrukturen und relationalen Netzwerken geht es letztlich nicht um „Informationen über die Welt, sondern darum, dass sich die Welt nur informationsförmig beschreiben lässt und dass dies unentzerrbare Formen der Geschlossenheit erzeugt“ (Nassehi 2019: 88). Beide Versprechen, Optimierung und Vernetzung, sind Teil der großen Erzählung von Aufklärung, Industrialisierung und Fortschritt in der Moderne. Durch die Nutzung von KI nimmt *Optimierung* die Form stochastischer Kalküle an: Mittelwerte, Verteilungen und Wahrscheinlichkeiten werden herangezogen, um aus bestehenden Zusammenhängen Kenntnisse über zukünftige abzuleiten.

Die integrative *Vernetzung* bewegt sich im Rahmen der digitalen Möglichkeiten, über elektronische Impulse zu kommunizieren. Informationen lassen sich über digitale Wege schneller und flexibler austauschen, als analoge, kontextualisierte Kommunikation dies je könnte. Die digitale Vernetzung integriert über mathematische Operationen und digitale Steuerungsprogramme je nach zugrunde liegendem Modell Datensätze, Kalkulationen, Zuweisungs- und Handlungsanweisungen, auch Gütermengen, Ressourcenflüsse, Maschinen und Präferenzen. Damit führt sie die Motive der Standardisierung und Ökonometrie der vorhergehenden industriellen Revolutionen 1–3 fort. Optimierung und Vernetzung haben seit jeher einen Aufforderungscharakter. Sie regen eine zweckorientierte, planerische Auseinandersetzung mit der Welt an und beanspruchen eine generalisierbare, „neutrale“ Rationalität.

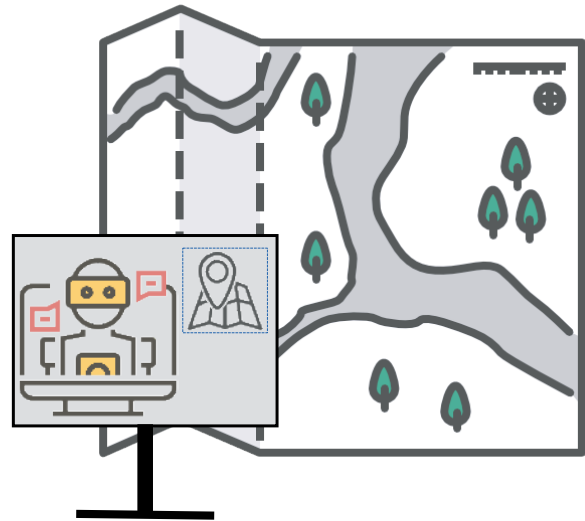
Diese der KI zugrunde liegende Denkweise orientiert sich weniger am Besonderen oder an utopischen Entwicklungs-

1

Statistische Optimierung und integrative Vernetzung im Rahmen von KI



Optimierung



Vernetzung

Quelle: Kropp 2021

zielen. Es geht vielmehr um beobachtete Ordnungsmuster, verallgemeinerbare Regelmäßigkeiten und die Möglichkeiten ihrer Verknüpfung (*connectivity*). Im Zentrum von KI stehen daher Verteilungen, Mittelwerte, Korrelationen und die Verknüpfungsfähigkeit von Daten mit Daten – wie in einer Art Universalsprache des kleinsten gemeinsamen Nenners. Seit den Anfängen der Sozialstatistik werden so Zusammenhänge zwischen verschiedenen Aspekten, beispielsweise zwischen Wanderungsbewegungen und Räumen, als Wahrscheinlichkeitsaussagen über die Relationen mathematischer Wissensobjekte dargestellt. Die Ergebnisse dienen dann planerischen Entscheidungen. KI hat allerdings da ihre Grenzen, wo Informationen nur mit Verlust digitalisiert werden können, weil es um qualitative, schwer messbare Aspekte geht – wie etwa die soziokulturell unterschiedliche Wahrnehmung von Aufenthaltsqualität.

Die Verbreitung digitaler Endgeräte, die Entwicklung avancierter Sensortechnologien und die heutigen Rechenleistungen erlauben nun nicht nur die permanente Produktion ungleich größerer Datenmengen zu diesen und vielen weiteren Beziehungen in einem unendlichen Echtzeitkontinuum. Zugleich ermöglichen sie auch die automatisierte Erfassung und mathematische Weiterverarbeitung dieser Daten. Die erfassten Daten transportieren spezifische Verzerrungen, die sich unter anderem aus der sozial ungleichen Nutzung digitaler Endgeräte sowie aus den zugrunde gelegten Modellen zur Relevanz erfassbarer Daten ergeben. Algorithmen und

mathematische Berechnungstechniken organisieren die Flut der digitalen Informationen. Sie ersetzen an vielen Stellen die menschliche Expertise der Einordnung, Beurteilung und Entscheidungsfindung. Ihre Operationen übersetzen das Erfasste im Rückgriff auf implizit und explizit hinterlegte Zusammenhangsmodelle in berechnete Klassifikationen, Steuerungs- und Handlungsanweisungen oder Entscheidungen, beispielsweise in datenbasierte Profile, Rankings, Strategien oder Ressourcensteuerung (vom Microtargeting bis zur Verkehrsplanung). Dabei kalkulieren sie die soziotechnischen Zusammenhänge der Raumplanung, ohne sie zu repräsentieren oder darzustellen (Cardon 2017).

Für diese Operationen werden immer öfter Algorithmen trainiert, „selbstlernend“ beziehungsweise „maschinell“ relevante Zusammenhänge zu identifizieren und für weitere Prozeduren und Prognosen zu nutzen. Dies geschieht durch den automatisierten Vergleich von Input- und Output-Daten. Beim maschinellen Lernen greifen Programmierinnen und Programmierer dafür durchaus absichtsvoll vorhandene Modelle auf, etwa zu Verkehrsmittelwahl, Energieverbrauch oder Materialverhalten. Sie lassen mithilfe regelbasierter, algorithmischer Analysen neue entstehen, die sie selbst nicht immer vollständig nachvollziehen können.

Diese begrenzte Nachvollziehbarkeit (*opacity*; Burrell 2016) tritt zum Teil als Ergebnis der Komplexität der analysierten Zusammenhänge und Netzwerke ein, in denen zahlreiche

heterogene Elemente variabel interagieren. Das gilt beispielsweise für das komplexe Verkehrsgeschehen einer lebendigen Stadt. Teils ist die begrenzte Nachvollziehbarkeit auch das Ergebnis proprietärer Software, unzureichender Kompetenzen und fehlender Definitionsmöglichkeiten in der „Black Box Society“ (Pasquale 2015). Black-Box-Entscheidungen liegen vor, wenn Behörden oder Mandatsträgerinnen und -träger nur partiell oder gar nicht nachvollziehen können, auf Basis welcher Daten und Analyseschritte Optimierungen stattfinden. Mitunter können Optimierungsparameter und Verarbeitungsschritte nicht mehr flexibel und herstellerunabhängig angepasst werden oder die Kenntnis über die Daten und die Verarbeitungsalgorithmen verbleibt bei den beauftragten IT-Dienstleistern. In diesen Fällen können die Zuständigen in den Kommunen nicht mehr die volle Verantwortung für Entscheidungen beispielsweise in infrastrukturellen Angelegenheiten wie Energieversorgung oder Verkehrssteuerung übernehmen. Es drohen Abhängigkeiten

von extern beauftragten IT-Unternehmen, ein eingeschränkter Zugriff auf planungsrelevante Daten und insgesamt eine Gefährdung der digitalen Souveränität der Kommunen (Nentwich et al. 2019; Deutscher Städtetag 2020).

Die Ergebnisse automatisierter Verfahren treten nicht aus den Zahlen und Daten selbst hervor, sondern entstehen eingebettet in kulturelle Kontexte und sozioökonomische Hintergründe der Modellierung und Lösungssuche (AlgorithmWatch 2021). Trotzdem sprechen wir von Künstlicher Intelligenz, wenn die Resultate aussehen, als verdankten sie sich menschlicher Intelligenz, die Verantwortung für ihr Zustandekommen aber Computern zugerechnet wird. KI trägt insofern dazu bei, dass Planungsentscheidungen nicht mit wissenschaftlich-technischen Gesetzmäßigkeiten, Expertenurteilen oder Präferenzen begründet werden, sondern zukünftige Fakten und Optima aus bisherigen Korrelationen konstruiert werden.

Mathematische Lösungen für „Wicked Problems“?

Horst Rittel charakterisierte Planungsprobleme gemeinsam mit Melvin Webber als „Wicked Problems“ (Rittel/Webber 1973). Sie seien „böartige Probleme“, weil zu ihrer Lösung nicht auf eindeutig definierte Fragen, bestimmbare Lösungsschritte und konsensuale Ziele zurückgegriffen werden könne, für die man bei jedem Schritt richtig und falsch beurteilen könne. Sie sahen die Planung mit ihren typischen Aufgaben deshalb vor einer Herausforderung: mit nicht vollständig definierten Erwartungen und widersprüchlichen Zielen umzugehen, für die es keine festgelegten Lösungswege gibt, deren Zielkonflikte auch mit gesellschaftlichen Wünschen, versteckten Interessen und idealisierten Möglichkeiten zu tun haben, die sich zudem permanent wandeln. Demnach lasse sich jede Lösung nur als Einzelfall und als mehr oder weniger gut oder schlecht bewerten. Jede Problemdefinition, so bemerkten sie, trage aber in ihrem Kern schon eine spezifische Lösungsvorstellung in sich, jeder Erklärungsansatz sei ein Kind spezifischer Denkweisen, mit der planerische Entscheidungen die (nicht nur gebaute) Wirklichkeit konstituieren.

Im Umgang mit Vielfalt, Mehrdeutigkeit und Komplexität stimmen Planerinnen und Planer also bestmögliche Lösungswege gegenüber vielfältigen Belangen ab. Sie müssen diese unter Berücksichtigung vorhandener Ressourcen und Präferenzen geltend machen. Aus dieser Notwendigkeit sei „ein sehr pluralistisches Vorgehen“ entstanden, das in

der Öffentlichkeit den Eindruck der Beliebigkeit erzeugen könne, schreiben Fürst/Scholles (2010: 15). Auf diese stoße durch das „Vordringen der Informations- und Kommunikationstechnik“ nun ein „Zwang zur Verwendung formalisierter, strukturierter Methoden“, denn nur sie seien „in formalen Algorithmen umsetzbar“.

Wie in anderen Bereichen auch, verspricht die digitale Transformation damit, nicht „beliebige“ oder „abgestimmte“ Antworten zu liefern, sondern datenbasierte, berechnete Entscheidungen, die höhere Effizienz, Transparenz und Integration erlauben. Diese Versprechen sind bei genauerer Betrachtung aber nicht pauschal aufrechtzuerhalten. Tatsächlich muss der Technikoptimismus erstaunen, mit dem verschiedene Akteure beispielsweise bezogen auf Smart Cities oder digitale Bauwerksmodelle mehr Planungssicherheit, optimale Prozesse und weniger Fehler versprechen. Als könnten Algorithmen die uneindeutigen Lösungserwartungen, die Zielkonflikte und veränderlichen Werte und Interessen aus der Welt schaffen! Ihr Lösungsbeitrag liegt vielmehr darin, dass sie rechnerische Klarheit schaffen, indem sie die vielfältigen, unscharfen und ambivalenten Möglichkeitsräume auf mathematische Objekte und Items reduzieren.

Entsprechend konstatieren Christmann/Schinagl (2021: 192) für die Planung eine „Datafizierung, also eine ‚Übersetzung‘ von physisch-materiellen Qualitäten spezifischer Orte in

computerisierte Daten“. In deren Rahmen nehme die unmittelbare Anschauung von zu beplanenden Räumen ab, weil ihre vielfältigen Aspekte nun digital vermittelt werden.

Chancen einer datenbasierten Komplexitätsreduktion entstehen in einigen Fällen: zum einen dort, wo sich komplizierte sozioräumliche Zusammenhänge regelbasiert und polykontextual aufeinander beziehen, analysieren und visualisieren lassen, die sonst in voneinander abgeschotteten Denk- und Entscheidungsräumen verblieben. Das gilt beispielsweise für Standortentscheidungen und Bildungsangebote, Materialeigenschaften und Architektur, Verkehrsströme und Hitzeereignisse. Zum anderen erlauben programmierte Berechnungen, verschiedene Lösungswege zu modellieren und zu vergleichen oder die Lösungssuche entlang definierter Parameter zu optimieren.

KI kann in dieser Hinsicht den Lösungsraum erweitern, Gesichtspunkte ergänzen und integrieren, auch über die Grenzen der menschlichen Fähigkeit hinaus Komplexität verarbeiten.

Aber auch die Resultate dieser Berechnungen und Simulationen hängen von einigen Aspekten ab:

- von kulturell und ökonomisch geprägten Modellierungsentscheidungen
- von der jeweiligen Daten- und Modellqualität
- von der Validität der Rückschlüsse zwischen digitalen Operationen, ihren Elementen und Parametern sowie den betrachteten Realitätsausschnitten

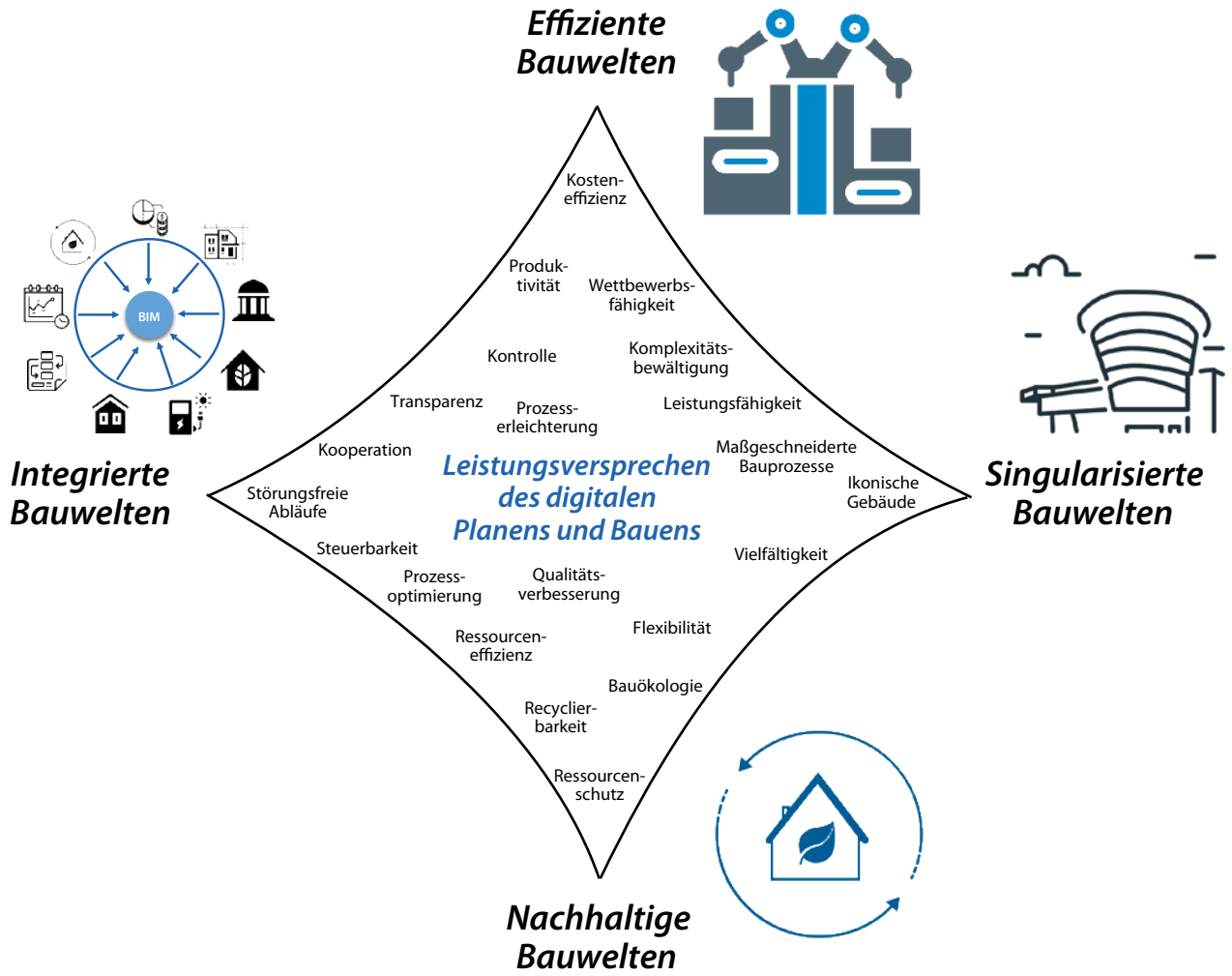
Je weniger nachvollziehbar die modellierten Entscheidungen sind und je mehr sie sich einseitigen Vorannahmen verdanken, desto größer sind die Risiken einer unsachgemäßen Komplexitätsreduktion und einer einseitigen Verzerrung auf Kosten von Minderheitenbedarfen und noch unerschlossenen Optionen. In solchen Fällen trägt KI dann nicht zu umfassenderen Betrachtungen und besser fundierten Entscheidungen bei, die als ihre große Chance wahrgenommen werden. Vielmehr erhöht sie die Risiken verzerrter Entscheidungen und solcher Lösungswege, die eher auf den Pfadabhängigkeiten bisheriger Verständnisse, Entscheidungen und Raummuster basieren (Gillespie 2014) als auf zukünftigen Notwendigkeiten und prinzipiellen Möglichkeitsräumen.

Zudem verlangt der souveräne Umgang mit KI entsprechende Kompetenzen, sonst bestimmt die Technik den Lösungsraum. Christmann/Schinagl (2021: 198) stellen fest, dass den Visualisierungen räumlicher Entwürfe von Studierenden anzusehen sei, mit welcher Software sie gemacht wurden. Immer wieder wird auf die Risiken hingewiesen, die dadurch entstehen, dass Anwenderinnen und Anwender schlechte KI-Ergebnisse sorglos übernehmen, weil sie die technische Präzision überschätzen, Neutralität unterstellen und mathematische Überlegenheit voraussetzen (Beer 2017; Kitchin 2017; Zweig 2019). Das gilt beispielsweise für Einstellungsverfahren und für die Kreditvergabe, aber auch im Qualitätsmanagement.

Fehlschlüsse und Verzerrungen (*bias*), unzulässige Vereinfachungen, (konservative) Pfadabhängigkeiten und die fehlende Nachvollziehbarkeit in den Systemen probabilistischer Rückschlüsse des maschinellen Lernens gefährden aber nicht nur die Ergebnisse für die Stadt- und Raumentwicklung sowie das Bauwesen. Sie bedrohen auch die Demokratiefähigkeit planerischer Entscheidungen und ihre Handlungsfähigkeit insgesamt (Brauneis/Goodman 2018).

Vor diesem Hintergrund ist die Analyse der gegenwärtigen Versprechungen digitaler Bau- und Planungszukünfte von Braun/Kropp (2021) interessant. Sie zeigt, dass über die verschiedenen Dokumente von Behörden, Verbänden, Thinktanks und Beratungsunternehmen hinweg folgende Vorteile je nach individueller Schwerpunktsetzung propagiert werden: eine bessere datenbasierte Kontrolle, eine höhere Effizienz und Produktivität, eine Automatisierung von Planungs- und Bauprozessen, ein souveränerer Umgang mit komplizierten oder gar komplexen Zusammenhängen sowie eine quasi automatisch mitlaufende Verbesserung der Nachhaltigkeitbilanz.

Diese Visionen unterscheiden sich allerdings teils deutlich, teils sind sie auch widersprüchlich. Gemeinsam ist ihnen, dass Hinweise fehlen auf Ziel- und Interessenkonflikte, Ungewissheiten sowie Probleme verzerrter oder unsachgemäßer Vereinfachung und Abstraktion oder zur Verfestigung pfadabhängiger Konventionen. Vielmehr feiert die alte Hoffnung auf eine allumfassende Planung eine erstaunliche Wiederkehr.



Quelle: Braun/Kropp 2021

Risiken sehen, Chancen nutzen und KI mitgestalten

Die Ausführungen zeigen, dass KI nicht als universale Lösungsformel zu betrachten ist. Trotz der beanspruchten Innovationshöhe geht sie nicht per se über bisherige Ansätze der Stadt- und Raumentwicklung oder des Bauwesens hinaus. Vielmehr sind auch weiterhin die Planungsziele zu klären, um die Chancen zu nutzen und die Risiken zu minimieren. Zusätzlich braucht es auch eine demokratische Berücksichtigung legitimer Belange. Die Diskussion der Chancen und Risiken findet bislang aber oft in getrennten Diskursarenen statt. Geht es vor allem um den Nutzen, erscheinen die Risiken gering und vermeidbar. Stehen die Risiken im Mittelpunkt, werden die Chancen skeptisch und als wenig realistisch betrachtet (Störk-Biber et al. 2020).

Hinzu kommt, dass Akteure im Bereich von Stadt- und Raumentwicklung sowie Bauwesen zwar viel über die Chancen der Nutzung von Technologien der Künstlichen Intelligenz sprechen. Sie erproben sie aber bisher überwiegend in Forschungsprojekten und als Prototypen oder für sehr eng umrissene Planungsaufgaben. Diese Pilotanwendungen sind oftmals nicht rechtlich abgesichert und wenig legitimiert. KI stößt sowohl bei den Zuständigen als auch in der Verwaltung und der Bevölkerung auf Unbehagen und fehlende digitale Kompetenzen (Kropp et al. 2021; Späth/Knieling 2018). So entfaltet sich KI hier langsamer als allgemein erwartet. Zudem setzt die bereichs- und unternehmensübergreifende digitale Vernetzung einheitliche Infrastrukturen des Datenaustauschs (Interoperabilität) und verlässliche Standards für Datenschutz und -weiterverarbeitung voraus. Diese fehlen (in Deutschland) noch weitgehend und erfordern ebenfalls eine breitere Diskussion über erwünschte und unerwünschte Folgen.

Die Erkundung der Chancen und Risiken kann sich nicht nur an wirtschaftsnahen Erwartungen oder dem Status quo der Stadt- und Raumentwicklung orientieren. Eine breiter aufgestellte Technikfolgenabschätzung, wie sie zuletzt die Enquete-Kommission „Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale“ (2020) vorgelegt hat, muss vielmehr die Herausforderungen der Zukunft in diesem Bereich (Hofmeister

et al. 2021) berücksichtigen. Sie muss beleuchten, inwiefern die Nutzung von KI in der Raumplanung und den räumlich-sowie baulich-gestalterischen Entwürfen die nicht-nachhaltigen bisherigen Entwicklungspfade vertieft (Machen/Nost 2021) – oder aber neue und zukunftsfähige Handlungs- und Möglichkeitsräume eröffnet. Dafür gilt es, im Gespräch mit den verschiedenen Zuständigen, Involvierten und Stakeholdern mit ihren spezifischen Kompetenzen und Interessen viele Fragen zu klären: Welche Informationen und Beobachtungsparameter sind bezogen auf die Datensammlung und -verarbeitung relevant? Wie sollen die generierten Daten und Analysen für Entscheidungsträgerinnen und -träger in Politik, Gesellschaft und Unternehmen zugänglich gemacht werden? Und welche unterlegten Modelle sind ethisch, sozial und ökologisch akzeptabel?

Der weite Begriff Künstliche Intelligenz steht nicht nur für innovative Technologien, die sich mehr und mehr in der Gesellschaft etablieren. Er geht auch mit einem eigenen Denkansatz zur Lösung von Planungsproblemen durch Automatisierung einher. Damit eröffnet er spezifische Wege der Organisation von Gesellschaft und Entscheidungsfindung. KI-basierte Datenanalysen lassen sich nahezu universell verwenden und vernetzen. Die Entscheidung aber, welche Ziele damit verfolgt werden, welche Rahmenseetzungen zu treffen sind und welche zukünftigen Handlungsmöglichkeiten damit eröffnet und verschlossen werden, kann nicht technisch erfolgen. Sie fordert die Gesellschaft als Ganze heraus.

KI ist letztlich weder die technische Universallösung für alle Probleme noch die Fortsetzung des Status quo mit digitalen Mitteln. Anstelle einer euphorischen Überhöhung ihrer Möglichkeiten oder einer fatalistischen Übernahme ihrer Denkweise ist es an uns zu bestimmen, welche Planungsentscheidungen datenbasiert getroffen werden sollen und welche nicht. Die große Frage ist deshalb, wie vor den skizzierten Hintergründen eine auf KI bezogene Technologie- und Innovationspolitik aussehen kann, die einer sozial- und klimagerechten Raumentwicklung verpflichtet ist und auch in Zukunft Anpassungen und Korrekturen erlaubt.

Literatur

- AlgorithmWatch**, 2021: Automating Society 2020. Berlin.
- Beer, D.**, 2017: The social power of algorithms. *Information Communication and Society* 20: 1–13.
- Braun, K.; Kropp, C.**, 2021: Schöne neue Bauwelt? Versprechen, Visionen und Wege des digitalen Planens und Bauens. In: dies (Hrsg.): *In digitaler Gesellschaft. Neukonfigurationen zwischen Robotern, Algorithmen und Usern*. Bielefeld: Transcript. Im Erscheinen.
- Brauneis, R.; Goodman, E. P.**, 2018: Algorithmic Transparency for the Smart City. *20 Yale Journal of Law & Technology* 103.
- Burrell, J.**, 2016: How the machine 'thinks': Understanding opacity in machine learning algorithms. *Big Data and Society* 3: 1–12.
- Cardon, D.**, 2017: Den Algorithmus dekonstruieren. In: Seyfert, R.; Roberge, J. (Hrsg.): *Algorithmenkulturen. Über die rechnerische Konstruktion der Wirklichkeit*. Bielefeld: Transcript: 131–150.
- Christmann, G. B.; Schinagl, M.**, 2021: Digitale Planung, digitalisiertes Planungshandeln und mediatisierte Konstruktionen von Räumen. In: Löw, M.; Sayman, V.; Schwerer, J.; Wolf, H. (Hrsg.): *Am Ende der Globalisierung. Über die Refiguration von Räumen*. Bielefeld: Transcript: 183–204.
- Deutscher Städtetag**, 2020: Digitale Souveränität von Kommunen stärken. Diskussionspapier des Deutschen Städtetags. Berlin: Deutscher Städtetag. Zugriff: <https://www.staedtetag.de/positionen/positionspapiere/diskussionspapier-digitale-souveraenitaet-kommunen-staerken> [abgerufen am 10.05.2021].
- Dolata, U.**, 2011: Soziotechnischer Wandel als graduelle Transformation. *Berliner Journal für Soziologie* 21: 265–294.
- Enquete-Kommission „Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale“**, 2020: Abschlussbericht. Drucksache 19/2370. Deutscher Bundestag.
- Fürst, D.; Scholles, F.** (Hrsg.), 2010: *Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung*. Dortmund: Verlag Dorothea Rohn.
- Gillespie, T.**, 2014: The Relevance of Algorithms. In: Gillespie, T.; Boczkowski, P. J.; Foot, K. A. (Hrsg.): *Media Technologies: Essays on Communication, Materiality and Society*. Oxford: Oxford University Press: 167–194.
- Hofmeister, S.; Warner, B.; Ott, Z.** (Hrsg.), 2021: *Nachhaltige Raumentwicklung für die grosse Transformation. Herausforderungen, Barrieren und Perspektiven für Raumwissenschaften und Raumplanung*. Hannover: ARL Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft.
- Hughes, T. P.**, 1983: *Networks of power: Electrification in Western Society, 1880–1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Kitchin, R.**, 2017: Thinking critically about and researching algorithms. *Information Communication and Society* 20: 14–29.
- Kropp, C.; Braun, K.**, 2021: In digitaler Gesellschaft. Herausforderungen, Risiken und Chancen einer demokratischen Technikgestaltung. In: Braun, K.; Kropp, C. (Hrsg.): *In digitaler Gesellschaft. Neukonfigurationen zwischen Robotern, Algorithmen und Usern*. Bielefeld: Transcript. Im Erscheinen.
- Kropp, C.; Ley, A.; Ottenburger, S. S.; Ufer, U.**, 2021: Making intelligent cities in Europe climate-neutral. *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 30: 11–16.
- Machen, R.; Nost, E.**, 2021: Thinking algorithmically: The making of hegemonic knowledge in climate governance. *Transactions of the Institute of British Geographers* 1: 1–15.
- Nassehi, A.**, 2019: *Muster. Theorie der digitalen Gesellschaft*. München: C. H. Beck Verlag.
- Nettwich, M.; Jäger, W.; Embacher-Köhle, G.; Krieger-Lamina, J.**, 2019: Kann es eine digitale Souveränität Österreichs geben? Herausforderungen für den Staat in Zeiten der Digitalen Transformation. ITA Manuscripts Nr. ITA-19-01 Zugriff: epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_19_01.pdf [abgerufen am 12.05.2021].
- Pasquale, F.**, 2015: *The Black Box Society. The Secret Algorithms That Control Money and Information*. Cambridge, MA, London: Harvard University Press.
- Rittel, H. W. J.; Webber, M. M.**, 1973: Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences* 4: 155–169.
- Späth, P.; Knieling, J.**, 2018: Endlich Smart-City-Leuchtturm. In: Bauriedl, S.; Strüver, A. (Hrsg.): *Smart City. Kritische Perspektiven auf die Digitalisierung der Städte*. Bielefeld: Transcript: 345–356.
- Störk-Biber, C.; Hampel, J.; Kropp, C.; Zwick, M.**, 2020: Wahrnehmung von Technik und Digitalisierung in Deutschland und Europa: Befunde aus dem TechnikRadar. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 57: 21–32.
- Weber, M.**, 2002: *Schriften 1894–1922* (hrsg. v. D. Kaesler). Stuttgart: Kröner.
- Zweig, K. A.**, 2019: *Algorithmische Entscheidungen: Transparenz und Kontrolle. Analysen & Argumente Digitale Gesellschaft*.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC 2120/1 – 390831618

DIGITALISIERUNG UND KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Rheinland-Pfalz 2050: Rahmenbedingungen für gemeinwohlorientierte Entwicklungen

Wie lassen sich digitale Technologien im Allgemeinen und Künstliche Intelligenz (KI) im Speziellen für eine gemeinwohlorientierte Stadt- und Raumentwicklung nutzen? In einem Workshop entwickelten Expertinnen und Experten verschiedene Szenarien zu zukünftigen Lebenssituationen mit KI in Stadt und Land. Die Autorinnen und Autoren stellen einen utopischen Entwurf für Rheinland-Pfalz im Jahr 2050 in Ausschnitten vor. Sie zeigen auf, welche steuernden Eingriffe es braucht, damit der Einsatz von KI gelingt.

Prof. Dr. Annette Spellerberg

ist Professorin für Stadtsoziologie an der TU Kaiserslautern. Mit einem Methodenmix aus quantitativen, qualitativen und beteiligungsorientierten Studien untersucht sie Fragen des Wohnens, der Digitalisierung, sozialräumliche Disparitäten, soziale Lagen und Lebensstile. Spellerberg ist Mitglied im Beirat für Raumentwicklung der Bundesregierung und derzeit gewählte Vizepräsidentin der Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft. spellerberg@ru.uni-kl.de

Dr. Matthias Berg

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Digital Society Ecosystems“ am Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern. Dort leitet er unter anderem das Projekt „Digitale Dörfer“ und forscht zu Themen wie dem digitalen Wandel im ländlichen Raum, kommunaler Digitalisierung und Smart City. Matthias Berg hat in Bremen Kulturwissenschaft studiert und ist promovierter Kommunikations- und Medienwissenschaftler. matthias.berg@iese.fraunhofer.de

Dr. Martin Memmel

studierte Mathematik und Informatik an der TU Kaiserslautern und arbeitet seit 2003 als Wissenschaftler und Berater im Rahmen verschiedenster Projekte mit Partnern aus Forschung, Industrie und öffentlicher Verwaltung am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI). Er leitet das Smart City Living Lab im DFKI und ist in der Kooperation mit der Stadt Kaiserslautern mitverantwortlich für das urbane Datenmanagement. martin.memmel@dfki.de

Ricarda Walter

war von 2018 bis 2021 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Stadtsoziologie an der TU Kaiserslautern und arbeitete zu Entwicklungen von Künstlicher Intelligenz und Digitalisierung in Kommunen sowie zur digitalen Vernetzung älterer Menschen. Sie hat in Heidelberg Ethnologie mit Fokus auf Visuelle und Medienanthropologie studiert. In der freien Kunstszene Mannheims arbeitet sie derzeit an der künstlerischen Umsetzung aktueller politischer und gesellschaftlicher Themen. ricarda.walter@ru.uni-kl.de

Ein Team des Fachgebiets Stadtsoziologie der TU Kaiserslautern, des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) und des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE erarbeitete in einem Workshop mit Expertinnen und Experten Zukunftsszenarien. Im Fokus standen „Veränderungen durch KI und Digitalisierung in Rheinland-Pfalz“ – sowohl für den städtischen als auch den ländlichen Raum. Dabei beachteten die Beteiligten ganz bewusst nicht nur rein auf Digitalisierung und KI fokussierte, technische Aspekte: Eine aussagekräftige, holistische Vision einer möglichen Zukunft lässt sich nicht sinnvoll ohne andere gesellschaftliche Entwicklungen entwerfen. So identifizierten die Expertinnen und Experten treibende Kräfte für den technologischen und gesellschaftlichen Wandel, skizzierten lebensbereichsspezifische Entwicklun-

gen und deren Zusammenwirken, um auf dieser Basis eine Dystopie und eine Utopie für das Jahr 2050 zu entwickeln. Gleichsam entstand so zwischen den Extrempolen Utopie und Dystopie ein Möglichkeitsspektrum der tatsächlichen zukünftigen Entwicklung.

Der Workshop umfasste drei Phasen. Der ersten Phase des „Brainwriting“ folgte in der zweiten Phase die Ausarbeitung von Szenarien-Entwürfen, die in der dritten Phase zur Dystopie und Utopie verdichtet wurden. Als Einflussfaktoren benannten die Expertinnen und Experten Technik, Klima und Demografie sowie die zentralen Lebensbereiche Mobilität, Arbeit und Wirtschaft, Gesundheit und Pflege, Verwaltung und Sicherheit sowie Politik und soziale Bewegungen.

Ausschnitte aus dem utopischen Entwurf Rheinland-Pfalz 2050

Eine zentrale Frage des Entwurfs betraf die Regulierung von digitalen Techniken und Künstlicher Intelligenz (KI) in den Kommunen. Fragen des Datenschutzes und der Datenhoheit sind relevante Themen, die den Einsatz maßgeblich beeinflussen. In der Utopie darf niemand Daten von Bürgerinnen und Bürgern verkaufen und zu individuellen Profitinteressen nutzen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops hatten eine offene, demokratische, am Gemeinwohl orientierte Gesellschaft mit einem handlungs- und steuerungs-fähigen Staat vor Augen. In der Utopie wurden als positiv bewertete Szenarien in verdichteter Form skizziert – wobei das Wie, also konkrete Umsetzungsschritte, nur randständig ausformuliert wurde.

Wir befinden uns gedanklich in Rheinland-Pfalz 2050: Weiterhin vertreten demokratisch legitimierte Bürgermeisterinnen und Bürgermeister sowie Gremien auf politischer Ebene Dörfer und Quartiere. Bei komplexeren Entscheidungen stützen sie sich mittlerweile auf datenbasierte, rationale Bewertungen einer KI. Diese gibt auch Inputs, wie Gremien optimal zusammengesetzt sein können. Gemeindeverfassungen bleiben Kernelemente des kommunalen Lebens, zudem verfügen Gemeinden auf allen Ebenen dank der KI über optimierte Geld-, Sach- und Personalressourcen. Verwaltungen sind, so es diese für größere Einheiten noch braucht, komplett digitalisiert. Flexibel zusammengesetzte, projektorientierte Organisationsteams ersetzen abgeschlossenen arbeitende Referate, was zahlreiche Kompetenzen und Perspektiven sicherstellt und die dynamische Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen erlaubt. Da Algo-

rithmen im Sinne der Transparenz öffentlich sind, schätzen Bürgerinnen und Bürger Entscheidungs- und Steuerungsprozesse insgesamt als egalitärer und demokratischer ein als noch in den 2020er-Jahren.

Mobiles Arbeiten, Telearbeit, Ehrenamt und Nahversorgung stärken das Gemeinschaftsgefühl in den Dörfern und Quartieren. Die überwiegend in der Rechtsform einer Genossenschaft gehaltenen Mehrfamilienhäuser verfügen teilweise nicht nur über Wohnräume, sondern auch über Arbeitszimmer, Co-Working-Spaces und Hobbyräume (Sport, Produktionen aller Art, Tauschräume etc.). Digitale Technologien sind in solche Lebenskontexte eingebettet und leisten beispielsweise in Form von Assistenzsystemen im Hintergrund Unterstützung. So dienen die Gebäude der Produktion von Nahrungsmitteln und Energie, wobei die KI die Verteilung von Wohnraum, Rohstoffen und Energie optimiert. Da aber auch individuelle und gruppenbezogene Vorlieben über Gebäudenutzungen entscheiden, sind die von der KI errechneten Ergebnisse als Vorschläge für die Genossenschaften und Orte zu verstehen. Gesetze zur Verpflichtung zu Transparenz und offenen Quellcodes sind etabliert.

Durch die wachsende Produktivität hat sich im utopischen Szenario die allgemeine Arbeitszeit reduziert. Das Arbeitsleben ist insgesamt flexibilisiert (mobiles, projektförmiges Arbeiten). Nicht-profitorientierte Elemente wie Genossenschaften, Commons, Tausch und Sharing sind in erheblichem Maße an die Seite der Marktwirtschaft getreten. Die Veränderungen bewirken, dass die Menschen weniger zwischen

Arbeitszeit, Sorgetätigkeiten, Engagement und Freizeit unterscheiden. Ein individuelles Gemeinschaftspunkte-Konto registriert Freiwilligentätigkeit in Form von zivilem Engagement, das jede und jeder für die Gemeinschaft beziehungsweise Genossenschaft erbringt. Es gibt kein Bargeld mehr, Transaktionen erfolgen nichtsdestotrotz verlässlich, frei von Manipulationen und hochgradig sicher. Ländliche Räume haben bezogen auf ihre Attraktivität und Handlungschancen aufgeholt – nicht zuletzt, weil die Digitalisierung und die zunehmende Vernetzung die Bedeutung von Entfernungen und Erreichbarkeiten im physischen Raum erheblich verringert haben.

Die für die Daseinsvorsorge relevante Infrastruktur ist verstaatlicht, um den Einfluss monopolistischer und zentralistischer Strukturen der Technologieentwicklung einzudämmen. Bürgerinnen und Bürger haben volle Datenhoheit und bestimmen individuell, wann und welche Daten sie teilen.

Die Aufklärung und Beratung übernimmt eine unabhängige öffentliche Stelle.

Da Algorithmen mit Bezug zu öffentlichen Belangen als öffentliches Gut gelten, bewerten und überwachen Gremien diese und neu eingeführte Technologien hinsichtlich ethischer und moralischer Überlegungen. Dabei überprüfen sie unter anderem, welche Trainingsdaten genutzt wurden, ob die Algorithmen diskriminierungsfrei arbeiten und ob die Sicherheit der Daten gewährleistet ist. Darüber hinaus besteht das Recht, Verfahren anhand eigener Kriterien überprüfen zu lassen. Gewählte Repräsentantinnen und Repräsentanten treffen – unterstützt durch eine KI – Entscheidungen über die Zukunft der Kommune und vertreten die Bewohnerinnen und Bewohner gegenüber Unternehmensinteressen, bei Betrugsfällen oder fehlerhaften KI-Entscheidungen. So sollen sie eine Balance zwischen den Potenzialen und den Risiken von Künstlicher Intelligenz herstellen.

Notwendige steuernde Eingriffe für einen gemeinwohlorientierten Einsatz von Digitalisierung und KI

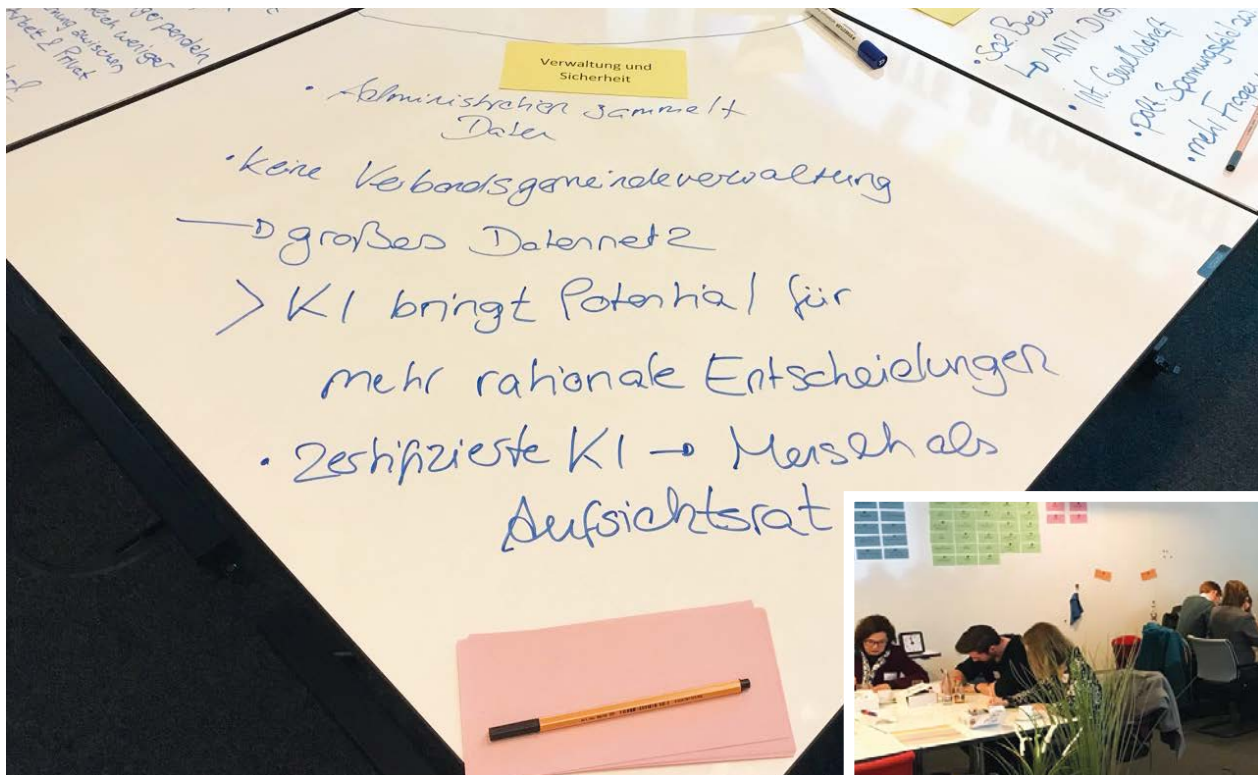
Die im Gutachten dargelegten Entwicklungen für 2050 (vgl. Berg et al. 2019: 55 ff.) beruhen auf der Annahme einer bewusst gesteuerten und gestalteten soziotechnischen Transformation. Ein maßgebliches Ergebnis des Workshops war, dass positive und negative Entwicklungen stark von der Aktivität beziehungsweise Passivität der Akteure aus Politik und Wirtschaft abhängen. Die Expertinnen und Experten entwarfen keine Technikfantasien, sondern gingen vielmehr auf gesellschaftliche Entwicklungen ein, die einen verantwortungsvollen Umgang mit technologischen Innovationen in den Mittelpunkt rücken.

Ein zentraler Punkt des utopischen Szenarios war es, monopolistische und zentralistische Strukturen im Technologiebereich zu überwinden. Auch die Gemeinwohlorientierung bei der Daseinsvorsorge, die Verpflichtung zu Transparenz und neue supranationale Organisationen konnten den Einfluss der Monopole im utopischen Szenario eindämmen. Daraus lässt sich folgern, dass es für eine an Lebensqualität und sozialer Teilhabe ausgerichtete Gesellschaft informierte Entscheidungsträgerinnen und -träger sowie Beteiligungsprozesse auf allen räumlichen Ebenen braucht. Die Skepsis gegenüber KI basiert insbesondere auch auf Fragen zum Datenschutz und zu Eigentumsrechten. Daten sollten demnach nicht an andere Organisationen weitergegeben werden,

ohne klare Grenzen zu setzen und Vereinbarungen über ihre Verwendung und Sicherung zu treffen. KI als hilfreiches Werkzeug erfordert eine spezielle Verantwortung, da personenbezogene Daten, die im Verwaltungsvollzug entstehen, nicht verkauft werden dürfen. Bürgerinnen und Bürger müssen informiert sein, was mit ihren Daten geschieht und wer welche Daten wohin weiterleitet. Die Regeln des Zusammenlebens müssen zudem selbstverständlich auch im Netz gelten (das betrifft u. a. das Verfassen von „Datentestamenten“). Ein verantwortungsvoller Umgang mit Daten basiert maßgeblich auf Gesetzen, die Missbrauch erschweren, und ihrer kompetenten Anwendung.

Ein datengetriebenes Verwaltungssystem kann die Arbeit in den Kommunen erleichtern. Die intelligente Auswertung vorliegender Daten führt zu nachvollziehbaren Entscheidungsempfehlungen und hilft bei Vergleichen mit ähnlichen Vorhaben. Verwaltungsprozesse lassen sich auf diese Weise vereinfachen und versachlichen, so dass kommunale Akteure die Aufgaben zügiger erledigen können. Möglicherweise rücken dann soziale und strategische Fragen stärker in den Fokus der Entscheidungsträgerinnen und -träger.

Abgesehen von staatlichen können auch zivilgesellschaftliche Institutionen von digitalen Technologien profitieren.



Fotos: Steffen Hess

In einem Workshop entwickelten Fachleute verschiedene Szenarien zu zukünftigen Lebenssituationen mit KI in Stadt und Land

Datenbasierte, intelligente Systeme können die Organisation der Vereinsarbeit und anderer ehrenamtlicher Tätigkeiten zum Beispiel erleichtern. Im utopischen Entwurf ist der Gemeininn gestärkt, die KI nutzt der Bevölkerung. Um Einfluss zu nehmen und der Entwicklung nicht nachlaufen zu müssen, ist allerdings eine frühzeitige Auseinandersetzung mit den Themen Digitalisierung und KI wichtig. Grundsätze von Digitalisierung, Vernetzung und Algorithmen müssen verstanden sein, um operatives Vorgehen und Verordnungen formulieren zu können.

Neben dem Datenschutz geht es darum, die neu entstehenden Partizipationsmöglichkeiten zu fördern und sich für Initiativen der Bürgerschaft zu öffnen. Dafür braucht es freie und gestaltbare Software, die mit (organisierten) Bürgerinnen und Bürgern weiterentwickelt wird – was auch die Beteiligung kleinerer, eventuell lokaler Anbieterinnen und Anbieter einschließt. Neu zu schaffende Gremien, Stellen und Kompetenzprofile in den Verwaltungen sollten um die organisierte Zivilgesellschaft erweitert werden. Neben privatwirtschaftlichen Unternehmen sollten auch Genossenschaften sowie nicht privatwirtschaftlich organisierte

Geschäftsmodelle gefördert und in Planungen einbezogen werden, um ökonomische Diversität zu erzeugen und zu erhalten.

Schließlich wird die Konkurrenz um Fachpersonal an Schärfe gewinnen – insbesondere, weil die Babyboomer in den Ruhestand gehen. Die Kommunen müssen die Arbeitsplätze attraktiver gestalten und Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer entsprechend entlohnen, insbesondere diejenigen in IT-Berufen. Die Attraktivität der Arbeitsorte dürfte in wenigen Jahren entscheiden, inwieweit der Einsatz von KI vor Ort gelingt und sich kreative Prozesse anstoßen lassen.

Obwohl jedes Bundesland und jede Region in spezifischer Weise ökonomisch, kulturell und sozial geprägt ist – Rheinland-Pfalz zeichnet sich beispielsweise durch eine vergleichsweise ländliche und sehr kleinteilige kommunale Struktur sowie bestimmte ökonomische Stärken (Chemieindustrie, Wein- und Gemüseanbau) aus – sind von der Digitalisierung und vom Einsatz Künstlicher Intelligenz alle Regionen betroffen. Sollten die Wege in Richtung Utopie gegangen werden, müssen sie an den jeweiligen Gegebenheiten ansetzen.

Literatur

Berg, M.; Giehl, C.; Koch, M.; Memmel, M; Spellerberg, A.; Walter, R., 2019: Gutachterliche Stellungnahme zu den Auswirkungen künstlicher Systeme im Speziellen und der Digitalisierung im Allgemeinen auf das kommunale Leben in Rheinland-Pfalz 2050.

Im Auftrag der Entwicklungsagentur Rheinland-Pfalz e. V.
Zugriff: <https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/index/index/docId/5739> [abgerufen am 19.05.2021].

Den diesem Beitrag zugrundeliegenden Workshop leitete Steffen Hess vom Fraunhofer IESE. Ihm, den Teilnehmenden und Herrn Zeimentz von der Entwicklungsagentur RLP gebührt unser Dank. Die Teilnehmenden waren Vertreterinnen und Vertreter der Stadtsoziologie, des experimentellen Software Engineering, der Künstlichen Intelligenz, der Raum- und Umweltplanung, der Technikfolgenabschätzung und der Praxis in diesen Bereichen,

einige mit Spezialisierung auf den ländlichen Raum. Der Workshop war Bestandteil des Projekts „Gutachterliche Stellungnahme zu den Auswirkungen künstlicher Systeme im Speziellen und der Digitalisierung im Allgemeinen auf das kommunale Leben in Rheinland-Pfalz“, das von Januar bis Dezember 2019 von der Entwicklungsagentur RLP gefördert wurde (vgl. Berg et al. 2019).



Source: iStock.com/hanohiki

THE AI LOCALISM CANVAS

A Framework to Assess the Emergence of Governance of AI within Cities

This article examines the emerging field AI Localism – a global move toward innovative governance of AI at the subnational level. The piece introduces the current state of play in the field, and introduces an “AI Localism Canvas” to help decision-makers identify, categorize and assess instances of AI Localism specific to a city or region.

Stefaan Verhulst

is Co-Founder and Chief Research and Development Officer of The GovLab at New York University Tandon School of Engineering where he is building an action-research foundation on how to transform governance using advances in science, data and technology.
stefaan@thegovlab.org

Andrew Young

is the Knowledge Director at The GovLab, where he leads research efforts focusing on the impact of technology on governance and decision-making.
andrew@thegovlab.org

Mona Sloane

is post-doctoral fellow at the GovLab and sociologist examining the intersection of design and social inequality. Her current research is on AI design and policy in the context of inequality, valuation practice, data epistemology and ethics.
mona@thegovlab.org

“AI Localism offers both immediacy and proximity. Because it is managed within tightly defined geographic regions, it affords policymakers a better understanding of the disparate needs of citizens and the technology’s potential and shortcomings, which may have a wide variety of regional manifestations. By calibrating algorithms and AI policies for local conditions, policymakers have a better chance of creating positive feedback loops that will result in greater effectiveness and accountability.”

(Verhulst/Sloane 2020)

The proliferation of artificial intelligence (AI) technologies continues to illuminate challenges and opportunities for policymakers – particularly in cities (Allam/Dhunny 2019; Kirwan/Zhiyong 2020). As the world continues to urbanize, cities grow in their importance as hubs of innovation, culture, politics and commerce. More recently, they have also grown in significance as innovators in governance of AI, and AI-related concerns. Prominent examples on how cities are taking the lead in AI governance include the Cities Coalition for Digital Rights, the Montreal Declaration for Responsible AI, and the Open Dialogue on AI Ethics. Cities have also seen an uptick of new laws and policies, such as San Francisco’s ban of facial recognition technology or New York City’s push for regulating the sale of automated hiring systems. The same applies for new oversight initiatives and organizational roles focused on AI, such as New York City’s Algorithms Management and Policy Officer, and numerous local AI Ethics initiatives in various institutes, universities and other educational centers.

Considered together, all of these initiatives and developments add up to an emerging paradigm of governance localism, marked by a shift toward cities and other local jurisdictions in order to address a wide range of environmental,

economic and societal challenges (Davoudi/Madanipour 2015). With AI localism, cities take the lead in problem solving, developing context-specific approaches to growth, governance, and innovation (Katz/Novak 2018). Cities are in effect filling gaps left by insufficient state, national or global governance frameworks related to AI, and technology more generally. For example, we are seeing signs of what we might call a “broadband localism” in which local governments are addressing the digital divide by filling service gaps left by major broadband providers and taking on a central role in integrating the Internet into everyday municipal life (Sylvain 2012). We are also seeing a “privacy localism” that encompasses new privacy laws, typically enacted in response to pressing developments such as increased use of data for law enforcement or recruitment (Rubinstein 2018).

AI Localism focuses on governance innovation surrounding the use of AI on a local level. Examples of AI Localism include local bans on AI-powered facial recognition technology, new local procurement rules pertaining to AI technology, public registries of AI systems used in local government, and public education programs on AI that are offered by local governments or institutions (Verhulst/Sloane 2020).

The AI Localism Canvas

Local actors involved in the governance of AI systems, including those associated with COVID-19, are faced with many competing imperatives, and must make difficult decisions weighing opportunity and risk. Their decisions across the design, implementation, and lifespan of an AI system can have significant ramifications – both positive and negative – on people’s lives and local economies.

As it stands, however, the decision-making processes involved in the local governance of AI systems are not very systematized or well understood. Scholars and local decision-makers lack an adequate evidence base and analytical

framework to help guide their thinking. In order to address this shortcoming, we have developed the below “AI Localism Canvas” which can help identify, categorize and assess the different areas of AI Localism specific to a city or region, in the process aid decision-makers in weighing risk and opportunity. The overall goal of the canvas is to rapidly assess and iterate local governance innovation about AI to ensure citizens’ interests and rights are respected.

The category of **transparency** broadly relates to efforts of local governments to create transparency about the acquisition and application of AI systems across different govern-

ment domains. A good example is the use of public AI registries that list the algorithms, AI systems and tools used in public service. Public registries have been published by the cities of Helsinki and Amsterdam, and more recently, the City of New York published a directory of algorithmic tools used by City agencies.

Procurement relates to any innovation pertaining to the procurement of algorithmic or AI products on a local level. A prominent example is the regulation of the acquisition of surveillance technologies by local government agencies, such as in the City of Berkeley, California.

Innovation in **engagement** focuses on novel ways to engage publics into conversation and decisions about AI, and AI-related concerns (such as data). This can mean partnering with local research and education organizations to develop and deliver events or courses about the functionalities of AI and their ethical implications, such as public events hosted by various local universities across the globe. It can mean citizen-focused trainings in AI, such as the Elements of AI course that originated in Finland in collaboration with the University of Helsinki, or it can mean creating platforms for public deliberation about AI, such as the Data Assembly

(thedataassembly.org) — the first remote citizens’ assembly on the responsible reuse of data at the city level.

Accountability and oversight initiatives on a local level focus on enforcing accountability about the use of AI systems. These initiatives are operationalized either internally, for example via internal review boards, ethics codes, or positions within organizations dedicated to oversight and accountability; or externally, for example via audits or external review boards. Examples include the Seattle Surveillance Advisory Working Group, or the New York City Algorithms Management and Policy Officer.

Local **regulation** pertains to local AI laws and policies. These can focus on the regulations about government use of AI, see “Procurement”, or they can focus on local regulations pertaining to how certain AI applications can be used in certain sectors. For example, New York State has temporarily banned the use of facial recognition technology in K-12 schools, and the City of San Diego omitted street light sensors in its draft regulation on public surveillance technology.

The category of **principle** local agencies may develop and use, sometimes in tandem with other agencies or city part-

1 AI Localism Canvas

Transparency	Procurement	Engagement
<p>Overview of how AI transparency is created. For example:</p> <ul style="list-style-type: none"> Public registers of AI systems used in government Vendor transparency Algorithm transparency 	<p>Overview of local approaches to AI procurement regimes. For example:</p> <ul style="list-style-type: none"> Local regulation of procurement Transparency about AI assessment (metrics for success) Algorithm transparency 	<p>Overview of engagement around the AI technology. For example:</p> <ul style="list-style-type: none"> Public engagement Collaboration with local research institutions Engagement with local advocacy groups Toolkits Free online tutorials and trainings Literacy projects, such as accessible explainers
Accountability and Oversight	Regulation	Principles
<p>Overview of the relevant processes and mechanisms that ensure accountability and oversight. For example:</p> <ul style="list-style-type: none"> Standards Internal oversight (internal review boards, ethics codes and guidelines, ethics owners) External oversight (audits, external review boards) 	<p>Overview of local laws and policies focused on AI. For example:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bans Reporting mandates Regulation specific to certain AI applications Mandatory risk assessments 	<p>Overview of principles are deployed to ensure responsible AI use. For example:</p> <ul style="list-style-type: none"> Declarations Manifestos Set of principles

Source: The GovLab

ners, to ensure the responsible use of AI at a local level. Prominent examples of these non-binding agreements are the Barcelona declaration for the proper development and usage of artificial intelligence in Europe, or the Montreal Declaration for a Responsible Development of Artificial Intelligence.

The canvas is a tool to capture all these local initiatives. It has multiple functions: It allows users to map innovations and think about the relevant and dynamically changing elements together, while also serving as a research template. As such, it allows users to identify points at which fragmentation occurs.

The canvas also has a prescriptive function in that it provides a comprehensive framework for checking all the elements that comprise AI Localism. Information and insight that is iteratively collected and analyzed via the AI Localism Canvas can facilitate the much-needed pragmatic and critical approach to local policymaking in the age of AI. It allows users to account for the fast-moving nature of both the technology and the local environments that policymakers face and have to rapidly innovate in. The AI Localism Canvas can help frame reality and inform action.

The implementation of the AI Localism Canvas can be applied to a specific AI technology (e. g. facial recognition software), a specific challenge or problem (e. g. mitigating the spread of the virus SARS-CoV-2 in an urban setting), or a geographic context (e. g. a neighborhood). Individuals who wish to use the canvas should fill in as many tiles as possible and use the canvas iteratively.

We want to note that this canvas is a living document and we anticipate that it will change as AI becomes increasingly important at the city level – and with it the need for understanding the governance response. New questions will continue to emerge, such as whether we should have particular governance innovations for particular functions of AI. Or for particular areas in which AI is used on a local level, for example resource triage in emergencies, public safety and law enforcement, public consultation (whereby the democratic process is delegated to an algorithm), or “digital twins” used in simulations for urban planning. The AI Localism Canvas can help ask these important questions by identifying the emerging governance responses and structures for these new technologies. We welcome your views on the issue of AI Localism, and in particular on the possibilities (or limitations) of a canvas-based approach.

Literature

Allam, Z.; Dhunny, Z. A., 2019: On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities* Volume 89: 80–91.

Davoudi, S.; Madanipour, A., 2015: *Reconsidering Localism*. New York, London: Routledge.

Katz, B.; Novak, J., 2018: *The New Localism. How Cities Can Thrive in the Age of Populism*. Washington, D. C.: Brookings Institution Press.

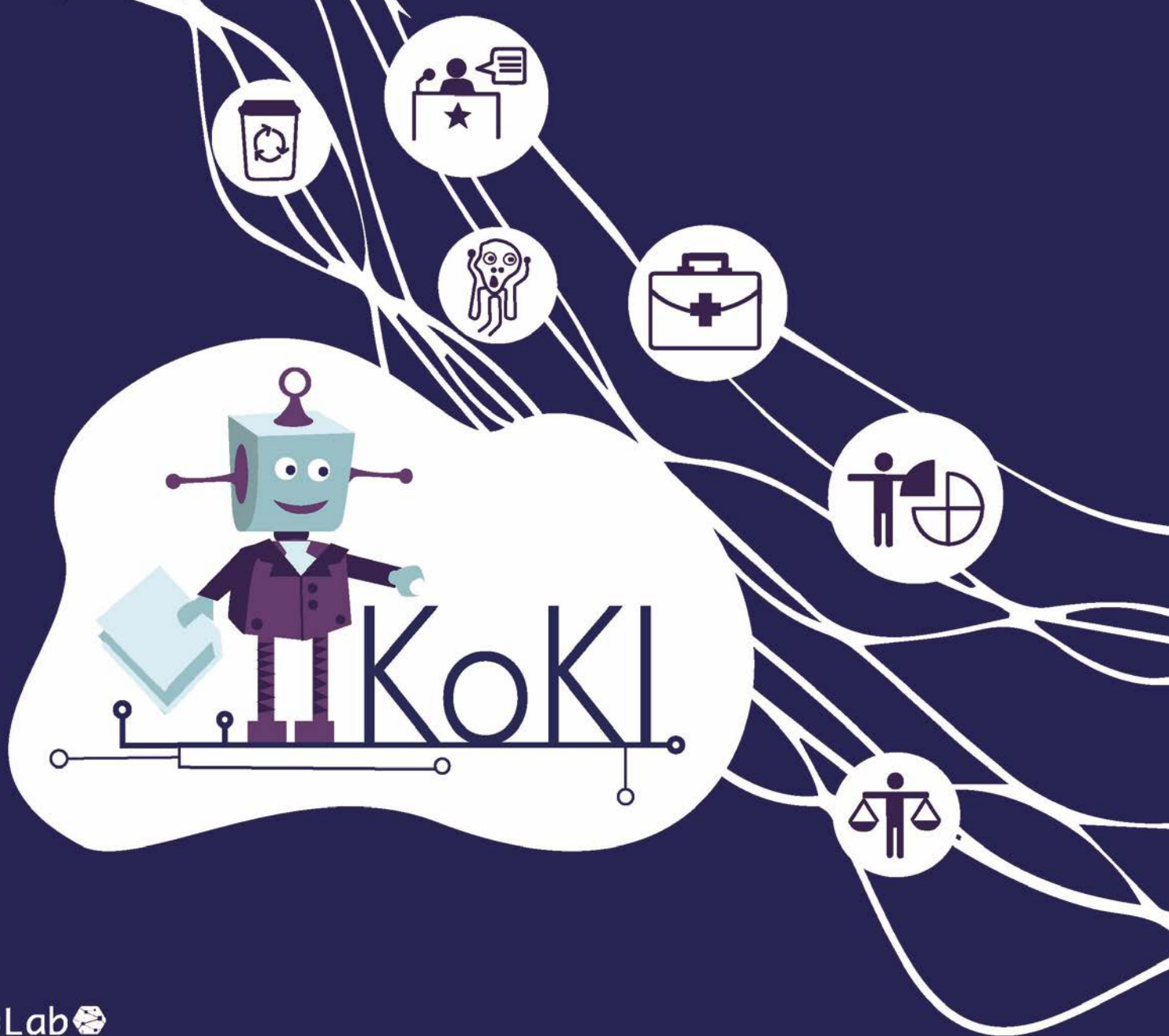
Kirwan, C.; Zhiyong, F., 2020: *Smart Cities and Artificial Intelligence*. Amsterdam: Elsevier.

Rubinstein, I. S., 2018: Privacy Localism, 93 *Wash. L. Rev.* 1961. Access: <https://digitalcommons.law.uw.edu/wlr/vol93/iss4/8> [retrieved on 17.05.2021].

Sylvain, O., 2012: Broadband Localism, 73 *Ohio ST. L. J.* 795. Access: http://ir.lawnet.fordham.edu/faculty_scholarship/61 [retrieved on 17.05.2021].

Verhulst, S.; Sloane, M., 2020: *Realizing the Potential of AI Localism*. Project Syndicate. Access: <https://www.project-syndicate.org/commentary/local-regulation-of-artificial-intelligence-uses-by-stefaan-g-verhulst-1-and-mona-sloane-2020-02?barrier=accesspaylog> [retrieved on 17.05.2021].

More information on AI Localism at <https://ailocalism.org>



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND KOMMUNEN

Wie lässt sich ein gemeinsames Verständnis von KI und potenziellen Einsatzszenarien in den unterschiedlichen Gestaltungsfeldern entwickeln? Damit beschäftigt sich die Initiative „KI in Kommunen“, kurz #KoKI.

Willi Wendt

ist Senior Consultant bei der Fichtner IT Consulting GmbH und Experte der #KoKI-Initiative.
willi.wendt@fit.fichtner.de

Gerald Swarat

ist Co-Vorsitzender des Co:Lab e. V.
gerald@colab-digital.de

Wir befinden uns inmitten eines disruptiven technologischen Wandels. Künstliche Intelligenz (KI) spielt bei der (künftigen) Transformation der Wirtschaft, der öffentlichen Verwaltung und der Gesellschaft eine entscheidende Rolle. Die Frage nach dem gesellschaftlichen, politischen und rechtlichen Ordnungsrahmen für KI hat sich also zu einer zentralen Frage unserer Zeit entwickelt. Diese ist allerdings nicht nur auf der europäischen und nationalen Ebene zu diskutieren, sondern auch dort, wo die Menschen leben und arbeiten: in den Kommunen. Kaum jemand spricht aber aktuell darüber, welche Chancen und Risiken mit „selbstlernenden Maschinen“ in Kommunen verbunden sind, welche Debatten rund um KI auch im örtlichen Kontext geführt werden sollten und welche guten Beispiele für KI es auf kommunaler Ebene schon heute gibt. Die Kommunen – der Ort, wo jede Anwendung im Boden verschraubt und mit der Bürgerschaft reflektiert werden muss – bleiben in den aktuellen Diskussionsprozessen unterrepräsentiert.

Für die Kommunen wird es also allerhöchste Zeit, eigene Konzepte vorzuweisen. Zudem ist gerade der Austausch auf kommunaler Ebene unerlässlich, um der örtlichen Gemeinschaft eine positive Vision zu vermitteln und Ängste in Bezug auf KI zu nehmen. Es geht also nicht um das technisch Mögliche, sondern vielmehr um die Haltung und Einstellung der Menschen, um Aufklärung und Überzeugungsarbeit. Kommunale Entscheiderinnen und Entscheider sowie Bürgerinnen und Bürger müssen die Technologien der Gegenwart verstehen und für die Gemeinschaft nutzen können.

Dafür müssen sie ein gemeinsames Verständnis von KI und potenziellen Einsatzszenarien in den unterschiedlichen Gestaltungsfeldern entwickeln. Es geht um die Bedeutung von Daten sowie ethische und rechtliche Fragen.

Genau hier setzt die erste Initiative des „Co:Lab Denklabor & Kollaborationsplattform für Digitalisierung & Gesellschaft e. V.“ an: „KI in Kommunen“ (kurz: #KoKI) bringt Expertinnen und Experten aus ganz unterschiedlichen Sektoren und Bereichen zusammen und in den Austausch. Die rund 100 Menschen hinter #KoKI beleuchten multidisziplinär unterschiedliche Themen im kommunalen Kontext. Zentrale Thesen und Learnings fassen zusammen, was dieses Gremium unabhängig und im direkten Diskurs miteinander erarbeitet hat (vgl. Abb. 1–3). Diese Ergebnisse kommunal verwertbar zu machen, die KI zu „entmystifizieren“ und so zu einer guten kommunalen Zukunft beizutragen, das ist die Motivation der Initiative.

Die interdisziplinäre Expertenrunde beschäftigte sich beispielsweise mit der Frage, welche Rolle KI in der Stadt- und Regionalplanung bereits einnimmt und welche sie zukünftig

spielen kann. Stadt- und Regionalplanung muss seit jeher gesellschaftliche und technische Veränderungen erfassen und die zukünftige Entwicklung von Quartieren, Städten oder ganzen Regionen an ihnen ausrichten. Dabei gehören gesellschaftliche Aushandlungsprozesse ganz natürlich zum täglichen Aufgabenspektrum. In Zeiten des Klimawandels müssen gesamtgesellschaftliche Interessen mit höchst divergenten Individualinteressen abgewogen und Entscheidungen herbeigeführt werden. Beispiele sind der Ausbau erneuerbarer Energien oder der Umbau von Infrastruktur zuungunsten des motorisierten Individualverkehrs.

Gelänge es also aufzuzeigen, wie KI die Disziplin der Stadt- und Regionalplanung nachhaltig stärken und verbessern kann, so ließe sich auch der Wert für alle gesellschaftlichen Akteure in Stadt und Land besser fassen. Doch wie kann man diesen Wert ermitteln oder strukturieren?

Ein Blick auf die Digitalisierung kann hier helfen, da sich KI im Kern als Resultat der vorangeschrittenen Digitalisierung verstehen lässt. Der Mehrwert, den KI für Stadt- und Regionalplanung und damit auch für Städte und Gemeinden aufweist, lässt sich daher mit den gleichen Wirkdimensionen beschreiben:

- Erhöhung von (gesellschaftlicher) Teilhabe
- Effizienzsteigerung und Ressourcenentlastung
- Ermöglichung evidenzbasierter Entscheidungen

KI kann diese drei Dimensionen positiv beeinflussen. Zu diesem Ergebnis kam die #KoKI-Initiative auch in einem gemeinsamen Workshop mit kommunalen Vertreterinnen und Vertretern. Die kommunalen Akteure nannten zahlreiche Bedarfserfelder, die sich über alle drei Wirkdimensionen erstrecken: von der tieferen Durchdringung von Beteiligungsprozessen durch die Überwindung von Sprachbarrieren über verbesserte Auswertemöglichkeiten immer umfangreicherer Beteiligungsprozesse bis hin zu Verkehrsdaten zur intelligenten sowie automatisierten Steuerung kommunaler Abläufe.

Dass KI diesen Bedarfen tatsächlich gerecht wird, zeigt sich auch darin, dass es bereits zahlreiche adäquate Lösungsansätze gibt. In groß angelegten Beteiligungsprozessen kommen beispielsweise Natural-Language-Processing-Methoden zum Einsatz (kurz NLP). Sie ermitteln automatisiert Kernbedürfnisse und Themenfelder von Einwendungen. Das stellt einerseits sicher, dass wirklich alle Einwendungen Berücksichtigung finden. Andererseits kann die Stadt- und Regionalplanung ihre Kapazitäten effizienter einsetzen und sich auf solche Problemstellungen konzentrieren, die sich nicht automatisiert analysieren und bearbeiten lassen. Ebenso nützlich sind KI-gestützte Methoden der Bildanalyse, die viele Akteure bereits jetzt zur automatisierten Erfassung von

Straßen oder Grünflächen nutzen. Aus diesen automatisiert ermittelten Informationen lassen sich Instandhaltungsmaßnahmen ableiten und sogar zukünftige Baumaßnahmen abschätzen und planen.

Intelligente Verkehrsleitsysteme oder Risikomanagementsysteme stellen hierzulande sicher die weitverbreitetste Nutzung von KI dar. Sie erfassen Daten in Monitoringsystemen und bereiten dann Entscheidungen vor beziehungsweise steuern zum Teil vollautomatisch Prozesse. Da sie aber im kommunalen Aufgabenspektrum zumeist anders verortet sind, stehen die Informationen in der Regel nicht für die Stadt- und Regionalplanung bereit. Das macht auch deutlich, dass der Wunsch nach mehr KI für eine nachhaltige und lebenswerte Stadtentwicklung auf ähnliche Herausforderungen trifft wie die Digitalisierung. Beides gelingt nur, wenn die technischen Voraussetzungen erfüllt sind, aber vor allem auch Daten siloübergreifend gemeinsam genutzt werden. Die Flächennutzungsplanung würde beispielsweise durchaus davon profitieren, wenn sie agil auf die sich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen eingestellt werden kann (z. B. bei der Ausweisung von Hochwasserschutzgebieten, wenn sich der Grundwasserspiegel in einem bestimmten Raum verändert).

Die #KoKi-Fachleute und die beteiligten kommunalen Akteure sind sich darin einig, dass die Stadt- und Regionalentwicklung die Mehrwerte von KI unbedingt nutzen muss. Auf dem Weg dahin liegen allerdings noch viele infrastrukturelle und kulturelle Hausaufgaben vor uns, an denen wir in Zeiten der Digitalisierung nicht vorbeikommen. Dazu gehören beispielsweise die technischen Rahmenbedingungen, um die umfangreichen Datensätze aller städtischen Akteure

für die Stadtplanung und alle anderen kommunalen Aufgaben nutzen zu können. Nur mit einer solchen ganzheitlichen Datenbasis können KI-Anwendungen realisiert werden. Von besonderer Bedeutung ist aber vor allem ein Wandel im Umgang mit Veränderungen und neuen innovativen Lösungen auf kommunaler Ebene. Offenheit für neue Wege und gelebte Fehlerkultur sind Kernbedingungen für eine bedarfs- und zielgerichtete Nutzung neuer Technologien wie KI.

Kommunen nehmen bei der Digitalisierung von Staat und Gesellschaft eine besondere Rolle ein. Sie gestalten den unmittelbaren Lebens- und Arbeitsraum der Bürgerinnen und Bürger und müssen lokal die zentralen Probleme der Menschen lösen. Die kommunale Daseinsvorsorge ist in das digitale Zeitalter zu übersetzen. Damit einher gehen zum einen ganz neuartige Bedarfe, die immer schneller an Relevanz gewinnen. Zum anderen gilt es, neue digitale Möglichkeiten wie die KI als eine Gestaltungsoption für vorhandene Leistungen zu adaptieren.

Grundlegend ist allerdings, dass es einen angepassten Ordnungsrahmen sowie regulatorische Freiräume gibt und, dass eine konsequente Einbindung oder zumindest Konsultation der Kommune und der Zivilgesellschaft in die Entwicklung von bundesweiten Strategien und Programmen (KI-Strategie/Datenstrategie etc.) erfolgt. Kommende gesellschaftliche Herausforderungen sind mit technischen Innovationen allein nicht zu lösen. Wir brauchen vor allem neue und veränderte Denk- und Handlungsweisen. Transparenz über die Möglichkeiten und Kommunikation zu den Chancen sowie positive Narrative tragen zu mehr Motivation, Verständnis und Akzeptanz in der Gesellschaft bei.

Co:Lab Denklabor & Kollaborationsplattform für Gesellschaft & Digitalisierung e. V.

Das Co:Lab ist eine Plattform, über die Menschen – unabhängig von Institution, Funktion und Status – über gesellschaftliche Auswirkungen der Digitalisierung diskutieren und neue Denkmodelle für unser Leben entwickeln können. Das Co:Lab versteht sich als Community (of Practice), die sowohl die engagierte Zivilgesellschaft vor Ort als auch die Vordenkerinnen und Vordenker in den Institu-

tionen und Unternehmen miteinschließt. Durch das Co:Lab sollen Meinungen von Expertinnen und Experten aus dem Netz für eine breitere Öffentlichkeit übersetzt und der gesellschaftliche Pluralismus abgebildet werden. Fachdiskussionen, Berichte und Empfehlungen münden dabei in Argumente und Positionen, die ein Motor für Diskussionen oder Aktionen sein können.



Thesen Recht:

- Auch ohne Erwähnung des Digitalen, der KI oder der Blockchain gelten die prinzipiellen Wertentscheidungen des Grundgesetzes im digitalen Zeitalter.
- Das aus dem Rechtsstaatsgrundsatz zu entnehmende Prinzip der Funktionsfähigkeit und Effektivität der Verwaltung kann auch dazu verpflichten, verfügbare technische Instrumente wie etwa KI einzusetzen.
- Die Grundrechte sind nicht nur Abwehrrechte der Bürger:innen gegenüber dem Staat, sondern haben auch eine Schutzfunktion. Der Staat und seine Kommunen sind zum Handeln verpflichtet, wenn etwa die Menschenwürde durch fehlerhaften Einsatz von KI privater Unternehmen verletzt wird oder intransparente Programmierungen Diskriminierungen auslösen.

Thesen Ethik:

- Der Weg zu einer KI-basierten oder automatisierten Anwendung ist gepflastert mit **Werte-Entscheidungen**. Ein Diskurs über diese gemeinsamen Werte ist wichtig für die weitere Prozessgestaltung.
- Angefangen mit der Konzeption über das Design und die Konstruktion der Anwendung bis hin zu ihrem ersten Einsatz zieht sich im besten Fall geteilte Verantwortung und **Verantwortungsübernahme** durch alle einzelnen Schritte.
- Vertrauen in kommunal eingesetzte KI-Systeme kann über **Transparenz** im Vorgehen und Möglichkeiten der Teilhabe geschaffen werden. Herausforderungen offen zu kommunizieren, kann zusätzlich Vertrauen stiften.

Learning:

- Kommunen sollten den Diskurs über zugrunde gelegte Werte und ethische Grundannahmen nicht ausschließlich IT-Kolleg:innen überlassen und sich an verschiedenen Punkten in den Designprozess von KI-Systemen aktiv einbringen.
- Als Beteiligte in der Etablierung eines KI-Systems für Kommunen wird nicht nur die **Verantwortung** geschultert, dass die technische Umsetzung gelingt. Vielmehr ist dem die inhaltliche Verantwortungsübernahme vor- und nachgeschaltet. Dafür ist es sinnvoll, sich vor Augen zu führen, was die zu entwickelnde KI-basierte Anwendung für die unterschiedlichen Menschen innerhalb der Kommune bedeuten kann und wo sie hilfreich ist.
- Das frühzeitige Einbeziehen aller beteiligten Akteur:innen steigert die Akzeptanz und nachhaltige Verankerung von KI-basierten Systemen. Es ist gut, **Transparenz** nicht nur über Ergebnisse oder Endprodukte zu schaffen, sondern auch den Design- und Konstruktionsprozess transparent und offen für Interessierte zu gestalten.

#GemeinsamdieStadtplanen
#Beteiligung
#NaturalLanguageProcessing

KI in der Stadt- & Regionalplanung



Thesen:

- Digitale Partizipation ermöglicht eine echte, inklusive, zugängliche und effiziente Co-Creation. KI kann hier den Bürger:innen dabei helfen, sich zu informieren und aktiv an der Stadtplanung zu beteiligen, und gleichzeitig die Planer:innen in der Evaluation der Beiträge unterstützen.
- KI birgt für die Stadt- und Regionalplanung das Potenzial, den Klimawandel als wesentliche rahmensetzende Bedingung für die Stadtentwicklung der heutigen Zeit besser zu erfassen.

Learning:

- Eine auf offenen urbanen Daten basierende Beteiligung, die online und on-site digital verbindet, liefert die erforderliche Infrastruktur, um die in der digitalen Beteiligung auftretenden Textmengen effizient verwalten, priorisieren und zusammenfassen zu können.
- Die Anwendungspotenziale von KI im Kontext des Klimawandels beschränken sich derzeit weitgehend auf vereinzelte wissenschaftliche Projekte. Zukünftig könnte eine stärkere Einbindung der ausführenden Stadt- und Regionalplanung eine höhere Praktikabilität der klimabezogenen KI-Ansätze herbeiführen.

Quelle: Co:Lab e. V.



Nachhaltigkeit: Handlungsmaxime in der digitalen Transformation

#KIundNachhaltigkeit
#Nachhaltigkeitsbilanz
#Designprinzip

Thesen:

- Wertschöpfungsketten müssen gerecht gedacht werden. KI darf die Nachhaltigkeitsbilanz (beispielsweise CO₂-Bilanz) des Anwendungsfalls nicht zerstören.
- KI muss sinnhaft und ganzheitlich gedacht werden.
- KI muss echte Mehrwerte bieten.

Learning:

- Technologie, Ökologie, Ökonomie und Soziales als Design-Prinzip verstehen.
- Nachhaltigkeit ist mehr als Umwelt und Effizienzsteigerung und kann nicht nur auf technologischem Wege gelöst werden.
- KI ist (nur) unterstützende Technologie im Kontext der Nachhaltigkeit – vorausgesetzt sie wird wirksam eingesetzt.

Quelle: Co:Lab e. V.



Foto: Deutsches Museum Bonn

MISSION KI

Das Deutsche Museum Bonn auf dem Weg zum Forum für Künstliche Intelligenz

Im Gespräch mit Orhan Güleş vom BBSR erklärt Ralph Burmester, welche Motivation hinter der Weiterentwicklung des Deutschen Museums Bonn zu einem Forum für Künstliche Intelligenz (KI) steht und welche technischen und gesellschaftlichen Trends das Museum damit aufgreift. Er erläutert die Konzeption der Neuausrichtung, stellt Anwendungsbeispiele vor und skizziert den Bildungsauftrag des KI-Forums als digitalen Lernort in Bonn.

Ralph Burmester
ist Projektleiter im Deutschen Museum Bonn.
r.burmester@deutsches-museum-bonn.de

Herr Burmester, was hat Sie dazu motiviert, das Angebot des Deutschen Museums zu einem Forum für Künstliche Intelligenz (KI) weiterzuentwickeln?

Dahinter steckt eine Entwicklungsgeschichte, die 2001 mit der Übernahme der Leitung des Hauses durch Andrea Niehaus begann. Seitdem entwickelten wir es zu einem erlebnisorientierten Mitmachmuseum weiter. Wir haben die damalige Dauerausstellung überarbeitet, eigene Sonderausstellungen gemacht und sind seitdem intensiv in der Kinder- und Jugendarbeit und Erwachsenenbildung aktiv. Wir haben viel ausprobiert, setzen verstärkt auf interaktive Elemente und mischen alles im positiven Sinne, um in lebendiger Form Wissenschaft und Forschung zu vermitteln. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Menschen intensiver und direkter mit uns kommunizieren wollen. Wir treten daher mit unseren Besucherinnen und Besuchern verstärkt in den Dialog und sprechen mit ihnen über Herausforderungen und Chancen, aber auch Risiken von Technologien. Mit mehr Kommunikation und interaktiven Ansätzen transportieren wir so die Idee des dynamischen und besucherorientierten Museums in die Gegenwart.

In den letzten Jahren haben wir dann auch darüber reflektiert, dass wir unseren Ansatz mit der Technologie weiterführen wollen, die für uns alle in den nächsten Jahren und Jahrzehnten vielleicht die einflussreichste ist. Und dies ist eben die Künstliche Intelligenz. Wenn wir jetzt das Museum von Grund auf erneuern, dann wird KI unser Leitthema: Das Thema berührt die Lebenswelt der Menschen bereits jetzt in allen Bereichen. Dies wird sich künftig noch stärker ausprägen. Wir möchten die Menschen befähigen, sich abseits der technologie- und ökonomiegetriebenen Entwicklung zu emanzipieren, selber einen Zugang zu entwickeln und zu verstehen, wie KI funktioniert. Die Pflichtaufgabe des Deutschen Museums ist, wie es der Museumsgründer Oskar von Miller bereits formuliert hat, Technik transparent zu machen und zu erklären, wie die Dinge funktionieren. Daher ist auch der Einsatz von Demonstrationen und Modellen wichtig. Die Wahl der Mittel ist frei, aber das Ziel bleibt immer gleich. Die Menschen sollen verstehen, wie hochkomplexe Systeme funktionieren und welche Auswirkungen sie auf ihr Leben haben. Zentral dafür ist der Dialog über die gesellschaftlichen Auswirkungen. Und das ist alles zusammen das, was wir mit unserer Vision für das Forum für KI machen wollen.

Herr Burmester, wir haben noch eine Zwischenfrage, bevor wir zu den nächsten Fragen kommen: Für KI gibt es keine einheitliche Definition. Wie ordnen Sie Ihr Grundverständnis für KI ein?

Wir ordnen lernende Systeme unter den Begriff KI, die nicht einfach Algorithmen abarbeiten, sondern in der Lage sind, sich selbst zu optimieren, Daten selbstständig aufzubereiten und Schlüsse aus Datenmengen zu ziehen. So operationalisieren wir den Begriff ganz pragmatisch und wählen auf der Basis die Beispiele aus, die wir hier präsentieren.

Mit den gesellschaftlichen Auswirkungen sind wir bei einem wichtigen Stichwort: Sie haben in der Vorstellung erläutert, dass Sie mit der Weiterentwicklung auf bestimmte aktuelle technische und gesellschaftliche Trends reagieren. Welche gesellschaftlichen und technischen Trends greifen Sie mit der Neuausrichtung des Museums konkret auf?

Ein technisches und zugleich gesellschaftlich relevantes Kernthema von KI ist die Entwicklung von Algorithmen und künstlichen neuronalen Netzen, die immer weiterentwickelt, verfeinert und angepasst werden und immer mehr Bereiche unseres Lebens durchdringen. Allerdings bleibt das Grundprinzip des maschinellen Lernens immer gleich. Dazu ein Beispiel: Der Roboter RHINO, der Ende der 1990er-Jahre im Museum eingesetzt wurde, musste autonom durch das Museum navigieren und Besucherinnen und Besuchern ausweichen. Er musste Objekte an Orten erkennen, wo sie vorher nicht waren, wenn Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Museum diese umgestellt hatten. Dabei musste RHINO auch noch freundlich bleiben. Dies war bereits damals im Vergleich zu früheren Systemen ein Entwicklungssprung.

Mittlerweile sind wir mehr als 20 Jahre weiter: Die Systeme sind deutlich komplexer geworden. Ein zentraler Trend heute ist beispielsweise das autonome Fahren. Das Deutsche Museum Bonn war mit RHINO eine der Keimzellen für autonomes Fahren. An RHINO forschte auch der deutsche Informatiker Sebastian Thrun mit. Er war ab den 1990er-Jahren in der universitären KI-Forschung und engagierte sich Mitte der 2000er-Jahre in der Entwicklung eines der ersten autonomen Fahrzeuge für die US-amerikanische Militärbehörde DARPA (Anm. d. Red.: Defense Advanced Research Projects Agency). Ab Ende der 2000er-Jahre kümmerte er sich um die Entwicklung des Google-Autos.

Im Hinblick auf gesellschaftliche Implikationen ist es wichtig, dem Einsatz von KI einen klaren rechtlichen und ethischen Rahmen zu geben. Wir verbinden auf der einen Seite mit KI die Hoffnung eines bequemen und besseren Lebens. Das zeigt das Beispiel des KI-Einsatzes in der Landwirtschaft: Die Landwirtinnen und Landwirte brauchen weniger Wasser, Dünger und Pestizide und erzielen bessere Ernten. Dafür benötigt die KI allerdings immer mehr Daten. Die Sammlung

und Nutzung der Daten kann außerhalb der Nutzung durch die Landwirtschaft kritisch werden, wenn es um die Nahrungsmittelsicherheit einzelner Staaten oder der Europäischen Union geht. Daher gilt es auf der anderen Seite, klare Rechtsstandards für den KI-Einsatz zu setzen und diese parallel zur Weiterentwicklung von KI-Technologien ebenfalls weiterzuentwickeln.

Wie gestaltet sich die Konzeption der Neuausrichtung im Museum hin zu einem Forum für KI? Auf welche KI-Anwendungsbeispiele fokussieren Sie Ihre Angebote künftig?

Wenn Sie KI ausstellen wollen und ein Museum dazu entwickeln, stehen Sie immer vor dem gleichen Problem. KI ist Software. Am anschaulichsten ist zumeist die Robotik. Allerdings stehen wir dort in Konkurrenz mit vielen anderen Institutionen, die diese Objekte ebenfalls zeigen wollen. Wir möchten daher möglichst viele Demonstrationen entwickeln, die KI erlebbar machen. Daher bauen wir auch verstärkt eigene Modelle mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Dabei gestalten aber auch die Besucherinnen und Besucher mit. Beim Betreten des Museums haben sie zunächst meist nur eine vage Vorstellung von dem, was sie bei uns erwartet. Sie bekommen im Museum dann Informationen, die sie vorher nicht hatten, machen sich Gedanken dazu und werden neugierig auf die neue faszinierende Welt der Technik und insbesondere der KI. Das hat nachhaltige Effekte. Wir möchten, dass die Menschen ihre Vorstellungen erweitern und sich mit uns Fragen zum Einsatz der Technologien stellen.



Foto: Deutsches Museum Bonn

**Das Deutsche Museum Bonn:
Zentral ist der Erlebnis- und Vermittlungscharakter**

Daher starten wir die Besuche mit kurzen „KI:ckstart“-Rundgängen und treten dabei mit den Besucherinnen und Besuchern in einen Dialog auf Augenhöhe. Das ist dann keine klassische Führung durch ein Museum, sondern ein dialogorientierter Rundgang, in dem unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Impulse zum Nachdenken setzen. Das war und ist schon immer unsere Mission, nunmehr als Mission KI.

Sprachassistenten sind ein Beispiel für KI, die wir überall in unserem Alltag finden und die daher ein wichtiger Aspekt unseres Umgangs mit KI sind. Auf Smartphones und anderen smarten Geräten ist dies noch eine recht simple Technik, die aber ständig weiterentwickelt wird. Sprachassistenten sind eine tolle Technologie, zeigen aber zugleich die Janusköpfigkeit von KI auf. Wenn ich mich nicht bewegen kann und im Rollstuhl sitze, erleichtern die Sprachassistenten das Leben, beispielsweise die Organisation des Alltags. Zugleich habe ich aber die besten Überwachungsgeräte aller Zeiten in meiner Wohnung. Datenethik und Datenschutz sind hier besonders relevante Aspekte von KI.

Die Besucherinnen und Besucher machen sich hier bewusst, dass die Geräte permanent zuhören. Wenn sie vorher nicht darüber nachgedacht haben, hat es diesen Besuch gebraucht. Wollen wir, dass solche Systeme unser Leben immer weiter überwachen, auswerten und analysieren? Wohin schicken die Geräte die Daten? Das plakative Beispiel China zeigt das Ausmaß potenzieller Überwachung: 200 Millionen KI-Systeme überwachen mit Gesichtserkennung den öffentlichen Raum und arbeiten mit der Vergabe von Sozialpunkten.

Ein anderes Beispiel ist der gesteuerte Einfluss durch KI bei der letzten Wahl in den USA. Wollen wir das so haben? So regen wir die Menschen zum Nachdenken an und sensibilisieren sie. Bequemlichkeit ist quasi der Tod der informationellen Selbstbestimmung. Relevant ist, dass wir dies auf eine einfache Formel bringen. So tragen wir zur gesellschaftlichen Diskussion darüber bei, ob wir so etwas haben wollen oder nicht. Dazu gehört auch die Diskussion über den gesetzlichen Rahmen, den wir für KI brauchen.

Ein Beispiel ist zudem das Thema Hate Speech. Wir müssen dringend die Kommunikationshygiene im Netz verbessern. Daher wollen wir auch analysieren, wie wir mit KI solche Kommentare in Livedaten identifizieren und so einen Beitrag zur Demokratiestabilisierung leisten können. Ab diesem Spätsommer wollen wir das System in Kooperation mit der Ars Electronica spielerisch im Museum als Demonstrationsobjekt einsetzen. Zugleich wollen wir damit gesellschaftlich das Spannungsfeld zwischen Hate-Speech-Identifikation und Zensur austarieren.

Sie haben erläutert, wie Sie das Gesamtkonzept des Museums weiterentwickeln. Bitte erläutern Sie uns auch noch mal detaillierter, wie das Forum für KI konkret gestaltet wird.

Das Museum wird weiterhin Deutsches Museum heißen. Der Untertitel ist „Forum für Künstliche Intelligenz“. Durch die begrenzte Verfügbarkeit historisch relevanter Exponate wird die Objektdichte im Haus geringer, aber diese wenigen Ausstellungstücke werden instruktive Leuchtturmobjekte sein, so wie RHINO.

Wir entwickeln gemeinsam mit Wissenschaft, Wirtschaft und Kunst die Präsentationen im KI-Forum. Zentral ist der Erlebnis- und Vermittlungscharakter. Wir wollten mit der Entwicklung der Technologie Schritt halten. Deshalb nennen wir unser Präsentationsformat „fluides Format“. Das ist die Abkehr von der bisherigen „Dauerausstellung“. Wir wollen immer wieder neue Reize setzen. Die Menschen, die in das Museum kommen, möchten unterschiedliche Erfahrungen mitnehmen, erleben und verstehen. Wir machen verständlich, was die Menschen an der abstrakten Technologie KI noch nicht verstehen und tragen dazu bei, dass sie die digitale Zukunft selbstständig mitgestalten können.

Der Ansatz hat aber auch den Hintergedanken, unsere Besucherinnen und Besucher aktiv einzubeziehen. Wir evaluieren unsere Präsentationen und befragen die Besucherinnen und Besucher zu ihren Erfahrungen und Ideen. So können wir das Forum auch anhand ihrer Bedürfnisse kontinuierlich weiterentwickeln.

In kommenden Formaten wie der „KI-Sprechstunde“ oder „KI-Kontrovers“ wollen wir über verschiedene Inhalte mit unseren Besucherinnen und Besuchern diskutieren: Dazu geben Forscherinnen und Forscher Werkstattberichte und Mitarbeitende aus der Industrie erzählen, wo sie eventuell noch Schwierigkeiten im Einsatz haben oder wo es Schwierigkeiten in der Akzeptanz gibt. Unterschiedliche Standpunkte zu kontroversen Themen sollen vorgebracht und mit dem Publikum diskutiert werden. So wollen wir mit lokalen Experten wie dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik sowie Datenschützerinnen und Datenschützern darüber reden, wie wir in einer datengesteuerten Welt die Sicherheit aufrechterhalten können und jeder Einzelne weiterhin autonom agieren kann.

Alle relevanten Themen, die ich hier umreißte, wollen wir anhand der passenden Beispiele aufgreifen und vermitteln. Dann können wir auch über Themen wie Stadtentwicklung reden.

Gibt es spezifische Gruppen von Nutzerinnen und Nutzern, die Sie mit der Neuausrichtung ansprechen möchten? Auch mit Blick auf die Funktion von Museen als digitale Lernorte zur Vermittlung digitaler Kompetenzen für zivilgesellschaftliche Akteure und die Bürgerinnen und Bürger der Stadt?

Das Deutsche Museum ist für alle da. Wichtig ist unter anderem die Arbeit mit Kindern und Jugendlichen. Die Jugendlichen sind die Entwicklerinnen und Entwickler und Nutzerinnen und Nutzer der KI in der Zukunft und werden diese in ihren Berufen einsetzen. Hier unterstützen wir die Arbeit der Schulen und ergänzen mit der Vermittlung digitaler Kompetenzen zum Thema KI das, was vielleicht in den Schulen nicht möglich ist. Damit führen wir Kinder und Jugendliche an Themen wie Coding heran. Wir verfolgen aber auch einen niedrigschwelligen, spielerischen und bei Bedarf analogen und unorthodoxen Ansatz, zum Beispiel mit einem Puppentheater zum Thema 0 und 1, also Programmierung.

Wir hoffen, dass wir als digitaler Lernort ein Baustein in der digitalen Bildungskette sein können. Meine Kollegin aus der Bildungsarbeit engagiert sich hier intensiv und sorgt dafür, dass wir möglichst viele Anknüpfungspunkte finden und anschlussfähig an die Lehrpläne der Schulen und Bildungsinstitutionen bleiben. So liefern wir lebendige Beiträge für die digitale Bildung und unterstützen die Kids bei der Berufswahl: Digitalisierung und auch KI werden künftig wahrscheinlich bei fast allen Menschen eine Rolle spielen. Bereits jetzt ist der sichere Umgang mit digitalen Technologien für viele Jugendliche ein Kriterium für die Berufswahl. Das neu eingerichtete „Touch Tomorrow Lab“ unseres strategischen Partners, der Dr. Hans Riegel-Stiftung, bietet zum Beispiel Einblicke in die digitale Arbeitswelt von morgen.



Foto: Deutsches Museum Bonn

**Verkehrsprobleme mit KI lösen:
Unterwegs in „Future City“**

In der Stadtentwicklung steht der Einsatz von KI häufig noch am Anfang. Beispiele finden wir beim Klimaschutz mit Crowd Data, im Energiemanagement und natürlich beim Kernthema städtische Mobilität mit dem autonomen Fahren. Haben Sie hier weitere Anwendungsbeispiele?

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat zur Demonstration von KI-Anwendungen das Spiel „Unterwegs in Future City“ entwickelt. Das Spiel demonstriert verschiedene KI-Szenarien, zum Beispiel Organisations-, Verkehrs- und Kommunikationsprobleme im öffentlichen Raum. Die Besucherinnen und Besucher können im Rahmen eines virtuellen Rundgangs im Stadtraum an verschiedenen Stationen exemplarisch durchspielen, wie der Einsatz von KI zur Lösung von Aufgaben in der Stadt beiträgt. Darüber hinaus entwickeln wir gerade eine Demonstration zum Neuromorphic Computing, die ab 2022 zu sehen sein wird: Das ist ein relevanter Ansatz mit Blick auf den Klimawandel und das Thema Energiemanagement. Die Server, Big Data und viele weitere digitale Anwen-

dungen verbrauchen unglaublich viel Energie, so wie auch jede Google-Suche Energie benötigt. Das können wir nicht unendlich weitertreiben. Deshalb brauchen wir KI-Systeme mit neuronalen Netzen mit neuartigen Synapsen zur Speicher- und Weiterleitungsfunktion, die nicht ständig Strom verbrauchen. Eine solche Technologie wird gerade entwickelt. Wenn sie zum Einsatz kommt, kann der Energieverbrauch in deutlichen Größenfaktoren gesenkt werden.

Sie haben das Thema „autonomes Fahren“ erwähnt. Das ist auch für uns ein wichtiges Thema und dementsprechend präsent ist es auch in unserem Erlebnisraum KI. Den Roboter RHINO als einen der „Urahn“ der heutigen autonomen Fahrzeuge hatte ich ja schon erwähnt. Er ist Teil eines Ensembles, zu dem auch ein Fahrzeugmodell gehört, in dem Sie mittels Virtual Reality eine Fahrt in einem semi-autonomen und auch in einem autonomen Fahrzeug erleben können. Dabei handelt es sich aber nicht um eine reine Demonstration, sondern um ein aktuelles Forschungsprojekt der Universität Osnabrück. In den VR-Brillen befinden sich



Foto: Deutsches Museum Bonn

Über Virtual Reality eine Fahrt im autonomen Fahrzeug erleben

Sensoren für die Augenrichtung, die registrieren, auf was die Besucherinnen und Besucher ihre Aufmerksamkeit während der Fahrt richten und auch, welche ethischen Entscheidungen die KI-Algorithmen im semiautonomen Modus treffen. Damit wirken unsere Besucherinnen und Besucher aktiv an der Forschung über die Nutzung und den Einsatz von autonomen Fahrzeugen mit. Ergänzt wird dieses Ensemble durch ein KI-System der Universität Bonn, das die Gelenkstellung von Menschen analysiert und so die nächsten Schritte vorhersagen kann. Auch dies ist ein Baustein der Technologie, die benötigt wird, damit autonome Fahrzeuge zuverlässig Gefahrensituationen erkennen, um bremsen oder ausweichen zu können.

Wie gestaltet sich konkret die Förderung des Landes NRW für das Projekt?

Wir haben 2019 beim Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen einen Antrag auf Förderung gestellt und unsere Idee einer Transformation unseres Hauses zu einem dialogischen Forum für Künstliche Intelligenz vorgestellt. Unser Förderverein „Wissenschaf(f)t Spaß“ hat uns dabei maßgeblich unterstützt. Das Ministerium hat den Antrag bewilligt und fördert die Weiterentwicklung zum KI-Forum in den Jahren 2020 bis 2022 mit jährlich 500.000 Euro. Unsere Museumsarbeit ist personalintensiv: Wir brauchen kompetente Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die den Dialog mit den Besucherinnen und Besuchern führen. Darüber hinaus sind die potenziellen Besucherzahlen aufgrund unseres dialogorientierten Ansatzes limitiert. Diese Qualität impliziert höhere Personalausgaben und setzt den Einnahmen Grenzen. Daher ist zukünftig die Sicherstellung eines stabilen Budgets wesentlich für die Weiterentwicklung unseres Konzeptes. Unser Ziel ist vor allem Klasse statt nur Masse: Mit dem passenden Budget können wir unseren Bildungsauftrag umsetzen und Tiefe

und Qualität der Vermittlung sichern. Der Ansatz als dialogorientiertes Forum mit involvierenden Erlebnisräumen ist der künftige Weg im Deutschen Museum Bonn. Der Erlebnisraum ist eben keine klassische Ausstellung mehr, sondern wir synthetisieren die Formate „Ausstellung“ und „Vermittlung“.

Herr Burmester, zum Abschluss möchten wir wissen, ob Sie Botschaften oder Punkte haben, die Sie uns noch zum KI-Thema mitgeben möchten?

Ja. Kommen Sie alle in das Deutsche Museum Bonn und führen Sie mit uns den Dialog. Das Museum lebt von Menschen, von Besucherinnen und Besuchern, Förderinnen und Förderern und Menschen, die sich engagieren. Die COVID-19-Pandemie war für uns schon eine besondere Herausforderung. Wir hatten kaum Besucherinnen und Besucher und konnten unser vielseitiges Bildungs- und Veranstaltungsprogramm nicht anbieten. Wir haben die Zeit aber für umfangreiche Umbauten genutzt und freuen uns sehr, wieder Besucherinnen und Besucher empfangen zu können.

Vielen Dank für das Gespräch!

Weitere Informationen zur Weiterentwicklung des Deutschen Museums Bonn zum Forum für KI finden Sie auf folgender Webseite: <https://www.deutsches-museum.de/bonn/information/aktuell/veranstaltungen-2021/mission-ki>

Das Interview wurde mithilfe von KI transkribiert.



IOT, KI, BLOCKCHAIN UND QUANTENCOMPUTER

Transformationen durch Technologiekonvergenzen

Der Beitrag widmet sich den disruptiven Potenzialen der Blockchain-Technologie und den vielfältigen Zusammenhängen zwischen dem Internet der Dinge (IoT) und der Künstlichen Intelligenz (KI). Der Autor erläutert, warum das Zusammenwirken dieser Technologien für die Prozesse im Bauwesen und in der Stadt- und Raumentwicklung wichtig ist – und warum es sich jetzt schon lohnt, einen Blick auf Quantencomputer, Quantenalgorithmen und die Post-Quanten-Kryptografie zu werfen.



BLOCKCHAIN AND INTERNET OF THINGS

SMART DEVICES AND NETWORKS

Quelle: iStock.com/elenabs

Michael Lautwein

ist wissenschaftlicher Referent im Referat WB 4 „Digitale Transformation des Bauwesens“ des BBSR. Er ist gelernter Tischler und Architekt.
michael.lautwein@bbr.bund.de

Wir leben in einer Zeit des ständigen Wandels und hohen technischen Fortschritts. Die Digitalisierung aller Wirtschaftsbereiche führt zu neuen Prozessketten mit einer immer stärkeren Vernetzung unterschiedlicher Akteure. Diese Akteure tauschen Daten und Informationen mit einem stark steigenden Datenvolumen aus. Ein zunehmend wichtiger Datenlieferant ist das Internet der Dinge (Internet of Things – IoT): Es bezeichnet die Automatisierung und Vernetzung von Prozessen durch elektronische Systeme. Beim IoT erkennen Sensoren an physischen Objekten automatisch relevante Zustandsinformationen und legen diese in einem lokalen Netzwerk in einer Datenbank ab oder stellen sie über das Internet zur Weiterverarbeitung zur Verfügung (vgl. BMVI 2019: 51).

Die gesammelten Daten lassen sich über maschinelles Lernen und intelligente Algorithmen verarbeiten und analysieren – auf diese Weise können Muster erkannt werden. Die Ergebnisse können dann direkt in die Optimierung von laufenden Prozessen einfließen (vgl. Sander/Groß 2020). Am Beispiel einer vernetzten Baustelle bedeutet dies, dass Sensoren an Maschinen und Bauteilen in Echtzeit Daten liefern. Diese Daten werden automatisch durch Algorithmen verarbeitet – im laufenden Prozess wird die Auslastung der Baumaschinen oder der ideale Materialfluss der Bauteile optimiert. Die anfallenden Daten von IoT-Sensoren können aber auch als Trainingsdaten der Entwicklung neuer Algorithmen dienen und über dezentrale Marktplätze basierend auf der Blockchain-Technologie gehandelt werden.

Bei immer komplexeren Abhängigkeiten, die durch Algorithmen optimiert werden sollen, und immer größeren Datenmengen, die zu verarbeiten sind, steigen die Anforderungen an die Rechenleistung der Hardware. Die anfallende Datenmenge lässt sich effektiv reduzieren, indem man die Informationen lokal am Sensor verarbeitet und nicht direkt zentral in einer Cloud oder einem Netzwerk ablegt. Dieses verteilte Lernen auf den datenerzeugenden Endgeräten ermöglicht es, die Lernalgorithmen lokal über leistungsstarke Hardware (Microcomputer) auszuführen. „Die zentrale Idee

dieses Vorgehens ist es, trainierte Modelle anstelle von Rohdaten auszutauschen“ (Sicking et al. 2019). Das reduziert die zu transferierende Datenmenge signifikant.

Das Verschmelzen und Optimieren der unterschiedlichen Prozesse in Echtzeit setzt voraus, dass diese Prozesse und die anfallenden Daten effizient bewältigt werden, sichere und resiliente Datennetze zur Verfügung stehen und gleichzeitig die Souveränität über die Systeme und die Daten bestehen bleibt. Es braucht also verlässliche elektronische Komponenten und Systeme. Sie müssen die Sicherheit und Kontrolle bei global verflochtenen Liefer- und Wertschöpfungsketten und einen vertrauensvollen Umgang mit den Daten gewährleisten.

Die Zukunftstechnologie der Blockchain hilft dabei, die Souveränität über die Systeme und der sensiblen Daten auch außerhalb der eigenen Rechenkapazitäten und Netzwerke zu erhalten. Laut Roman Beck, dem Leiter des European Blockchain Center, bietet Blockchain „die Möglichkeit, Bürgern und Verbrauchern gleichermaßen wieder die Kontrolle über ihre Daten und digitalen Profile zurückzugeben“ (Acatech 2018). Dank Blockchain-Technologie lassen sich Informationen sicher über dezentral betriebene Datenbanken transferieren und weiterverarbeiten. Viele kennen die Technologie vermutlich nur im Zusammenhang mit volatilen Kryptowährungen wie Bitcoin. Sie bietet jedoch vielfältige Anwendungsfelder: Mit ihr könnten sich künftig beispielsweise dezentrale Echtzeit-Geschäftsprozesse, digitale Vertragskonstellationen, effiziente Zahlungsprozesse und – ganz allgemein – der sichere Transfer von Informationen über dezentrale Netzwerke etablieren. Die Blockchain bildet aber auch die Basis dafür, dass in der Stadt- und Raumentwicklung Menschen und Maschinen stärker über sichere Netzwerke miteinander verbunden und Prozesse automatisierter und effizienter gestaltet werden. Gleichzeitig sind alle Interaktionen und Transaktionen innerhalb der dezentralen Netzwerke transparent, manipulationssicher gespeichert und jederzeit überprüfbar (Geißler/Schmitz 2021).

Was ist eigentlich Blockchain?

Hinter der Blockchain-Technologie verbirgt sich ein kryptografisches Verfahren für ein dezentral von vielen Teilnehmerinnen und Teilnehmern geführtes elektronisches Register. Vereinfacht ausgedrückt ist eine Blockchain eine kontinuierlich erweiterbare, digital geführte Liste von Da-

ten, Ereignissen oder Transaktionen, die validierte Personen über ein dezentrales Netzwerk kontinuierlich austauschen und verwalten (vgl. Schlatt et al. 2016). Jede Teilnehmerin und jeder Teilnehmer im Netzwerk ist gleichberechtigt, verbindet sich mit einem Computer und bildet

damit einen Knoten. Knoten können aber beispielsweise auch von Fahrzeugen oder Maschinen erstellt werden.

Jeder Knoten im Netzwerk erhält eine Identität über eine digitale Signatur, womit die anderen Knoten erkennen können, wer den jeweiligen Datensatz erstellt hat. Die digitale Signatur besteht aus einem Schlüsselpaar, einem öffentlichen und einem privaten Schlüssel. Mit dem privaten Schlüssel identifiziert sich jede Nutzerin und jeder Nutzer im Netzwerk und kann Transaktionen ausführen. Mithilfe des öffentlichen Schlüssels können die anderen Teilnehmerinnen und Teilnehmer innerhalb des Netzwerks die Authentizität des Datensatzes verifizieren (vgl. Bundesnetzagentur 2019: 7 f.).

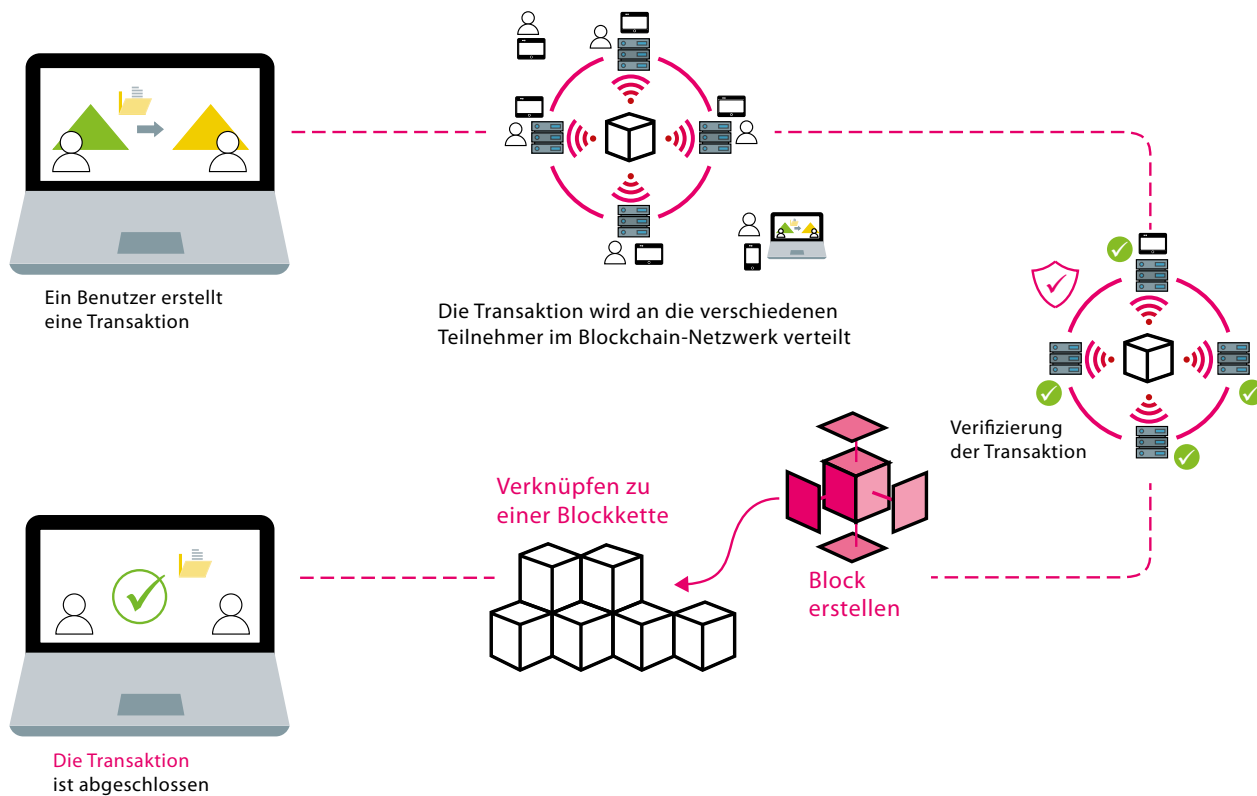
Jeder neue Datensatz wird vom gesamten Netzwerk verifiziert und mittels eines kryptografischen Verfahrens, der „Hashfunktion“, manipulationssicher gespeichert. Der Hashwert ist eine eindeutige Bit-Kette, bestehend aus Zahlen und Buchstaben mit einem Zeitstempel. Er enthält alle relevanten Informationen zu den einzelnen Transaktionen und referenziert auf die anderen Blöcke innerhalb einer Blockchain

(vgl. BMVI 2019: 31 f.). Das verhindert, dass nachträglich Manipulationen vorgenommen werden können, da andere Teilnehmerinnen und Teilnehmer Inkonsistenzen innerhalb des Netzwerks an der Blockchain erkennen. Zunächst einmal ist es für eine Blockchain unerheblich, was dokumentiert wird. Entscheidend ist, dass die Datensätze miteinander verkettet sind und aufeinander aufbauen, wodurch eine nachvollziehbare Historie entsteht (vgl. Hülsbömer/Genovese 2021). Diese Art der dezentralen und stets aktuellen „Dokumentationstechnik“ nennt sich auch Distributed-Ledger-Technologie (DLT).

Maurizio Ferraris (2018) hat die Blockchain-Technologie in einem Beitrag für die Neue Zürcher Zeitung mit der analogen Technik des Kerbstocks aus dem Neolithikum verglichen: „Die Grundidee des Kerbstocks ist äußerst einfach: Bei dieser genauso primitiven wie raffinierten Technik werden zwei Stöcke nebeneinandergelegt und quer eingeritzt, wobei jede Kerbe einer Schuld entspricht. Der Gläubiger nimmt einen Stock, der Schuldner den anderen. Der Gläubiger wird keine Kerbe hinzufügen und der Schuldner keine beseitigen können, da

1

Vereinfachte Darstellung einer Blockchain-Transaktion



Quelle: Universität Duisburg-Essen/Institut für Baubetrieb und Baumanagement (IBB) – Jacqueline Peter/HUSS-MEDIEN GmbH

der Vergleich der zwei Stöcke die Fälschung sofort offenbaren würde. [...] Denn die Blockchain [...] ist nichts anderes als ein weltweites, auf unzählige Computer ausgeweitetes Kerbholz. Anstelle eines von zwei Personen geteilten Zählstabs haben wir es mit einer Spur zu tun, die auf möglichst vielen Festplatten gespeichert wird, damit das Hinzufügen oder Löschen von Spuren (Blöcken) verhindert wird.“

Der Vergleich ist sehr vereinfacht, zeigt aber auch anschaulich und überzeugend die Grundidee hinter dieser Technologie. Durch das dezentrale Ablegen der Daten in einem verteilten Netzwerk ist ein Totalverlust der Informationen nahezu ausgeschlossen. Wenn Nutzerinnen und Nutzer die Daten einmal im digitalen Register verifiziert haben, sind sie unveränderbar und jeder Änderungsversuch ist nachvollziehbar. Somit lassen sich die einzelnen Transaktionen reproduzieren, personenspezifisch zuordnen und die Vertragspartner identifizieren. Die hohe Datenintegrität, System- und Ausfallsicherheit führt zu einer hohen Netzwerkfunktionalität und gewährleistet eine permanente Datenverfügbarkeit. Sie trägt zu einer Vertrauensbildung und hohen Akzeptanz zwischen den verschiedenen Akteuren innerhalb des Netzwerks bei (vgl. Bundesnetzagentur 2019: 5 ff.).

Mehrere Transaktionen bilden dabei einen neuen Block. Über ein Konsensfindungsverfahren innerhalb des Blockchain-Netzwerks wird entschieden, wer diesen neuen Block bilden darf. Es gibt zahlreiche solcher Verfahren, wobei die gebräuchlichsten Verfahren im Folgenden exemplarisch am Beispiel der derzeit viel diskutierten Kryptowährungen erläutert werden. Die Kryptowährungen sind unabhängig von Banken oder öffentlichen Institutionen und können nur digital gekauft und verkauft werden. Dabei verwaltet – anders als bei klassischen Finanztransaktionen – keine zentrale Instanz wie eine Bank das elektronische Register. Vielmehr tauschen sich die verifizierten Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Netzwerks über ein verteiltes Rechnernetz kontrolliert und permanent aus. Das Register und somit die Identität der Teilnehmerinnen und Teilnehmer sind nicht einsehbar.

Der Begriff der Kryptowährungen ist eigentlich zu verkürzt. Hinter der Kryptowährung Ethereum steckt zum Beispiel eine Plattform für dezentrale Applikationen (Decentralized Apps – Dapps). Diese verwendet für die Zahlungsabwicklung bei den Transaktionen die Kryptowährung Ether. Mit einer speziellen Programmiersprache (Solidity) lassen sich über die Plattform intelligente Verträge (Smart Contracts) anlegen und verwalten. Die Smart Contracts innerhalb der Blockchain bilden die Basis für dezentrale Geschäftsprozesse. Sie können verglichen mit manuellen Vertragsprozessen zu deutlich effizienteren Geschäfts- und Zahlungsprozessen beitragen (vgl. BMWi/BMF 2019: 38 f.).

Zurzeit setzen noch viele Kryptowährungen auf das Konsensfindungsverfahren „Proof-of-Work“ (PoW). Bei diesem Arbeitsnachweis erstellen Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Netzwerk über das Lösen kryptografischer Rätsel neue Blöcke. Dieser Prozess gilt auch als Mining (Schürfen) – die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhalten für jede gelöste Aufgabe von einem Algorithmus eine Entlohnung (vgl. BMVI 2019: 32 ff.). Das Lösen der sehr komplexen kryptografischen Rätsel erfordert eine sehr hohe Rechenleistung. Dies führt zu einem enormen Energieverbrauch und ist ein häufig zurecht kritisiertes Skalierungsproblem für diese Technologie. Das „Centre for Alternative Finance“ der Universität Cambridge veröffentlicht täglich den notwendigen Stromverbrauch, der für das Schürfen und die Transaktion innerhalb des Bitcoin-Netzwerks benötigt wird (vgl. University of Cambridge 2021). Dabei zeigen die Berechnungen, dass alleine das Bitcoin-Netzwerk (115 TWh) jährlich mehr Strom verbraucht als die Niederlande (110 TWh). Deutlich umweltschonender – und für die angesprochene und notwendige Skalierbarkeit auch viel wirkungsvoller – wäre es, auf effizientere und leistungsfähigere Hardware und neue Konsensfindungsverfahren bei der Blockchain-Technologie zu setzen.

Für wirkliche Echtzeit-Geschäftsprozesse mit einer hohen Transaktionsgeschwindigkeit dauert das Erstellen neuer Blöcke mit dem Konsensfindungsverfahren „Proof-of-Work“ aber zu lange (vgl. BMVI 2019: 35 ff.). Daher versuchen aktuell viele Kryptowährungen, auf das Konsensfindungsverfahren „Proof-of-Stake“ (PoS) umzustellen (vgl. t3n 2021). Bei diesem Verfahren erfolgt die Validierung neuer Blöcke nicht durch das Schürfen komplexer Rechenaufgaben, sondern durch einen Konsens-Algorithmus innerhalb des Netzwerks. Dabei dürfen nur noch ausgewählte und als vertrauenswürdig eingestufte Personen als Teil des Blockchain-Netzwerks agieren (vgl. Bundesnetzagentur 2019: 12 f.). Durch die Zugriffsbeschränkung „bei privaten und konsortialen Blockchains wird das hohe technische Sicherheitsniveau des Proof-of-Work zugunsten einer verbesserten Handhabung (geringerer Energieverbrauch, geringere Komplexität, höhere Skalierbarkeit) eingeschränkt, weil bei diesen Blockchains davon ausgegangen wird, dass die einzelnen Teilnehmer vertrauenswürdig sind“ (Bundesnetzagentur 2019: 21). Laut Wagener (2018) zielen die beschriebenen neuen Verfahren vor allem auf das Internet der Dinge ab, „wo Transaktionen zwischen einzelnen Maschinen und Geräten dezentral abgebildet werden sollen. Für diese Vorgänge ist weder Zeit noch die notwendige Energie für ein aufwändiges Mining- und Validierungsverfahren vorhanden. Zudem sind die Anforderungen an die Manipulationssicherheit hier weit weniger kritisch als das bei einem digitalen Geldsystem wie Bitcoin der Fall ist“.

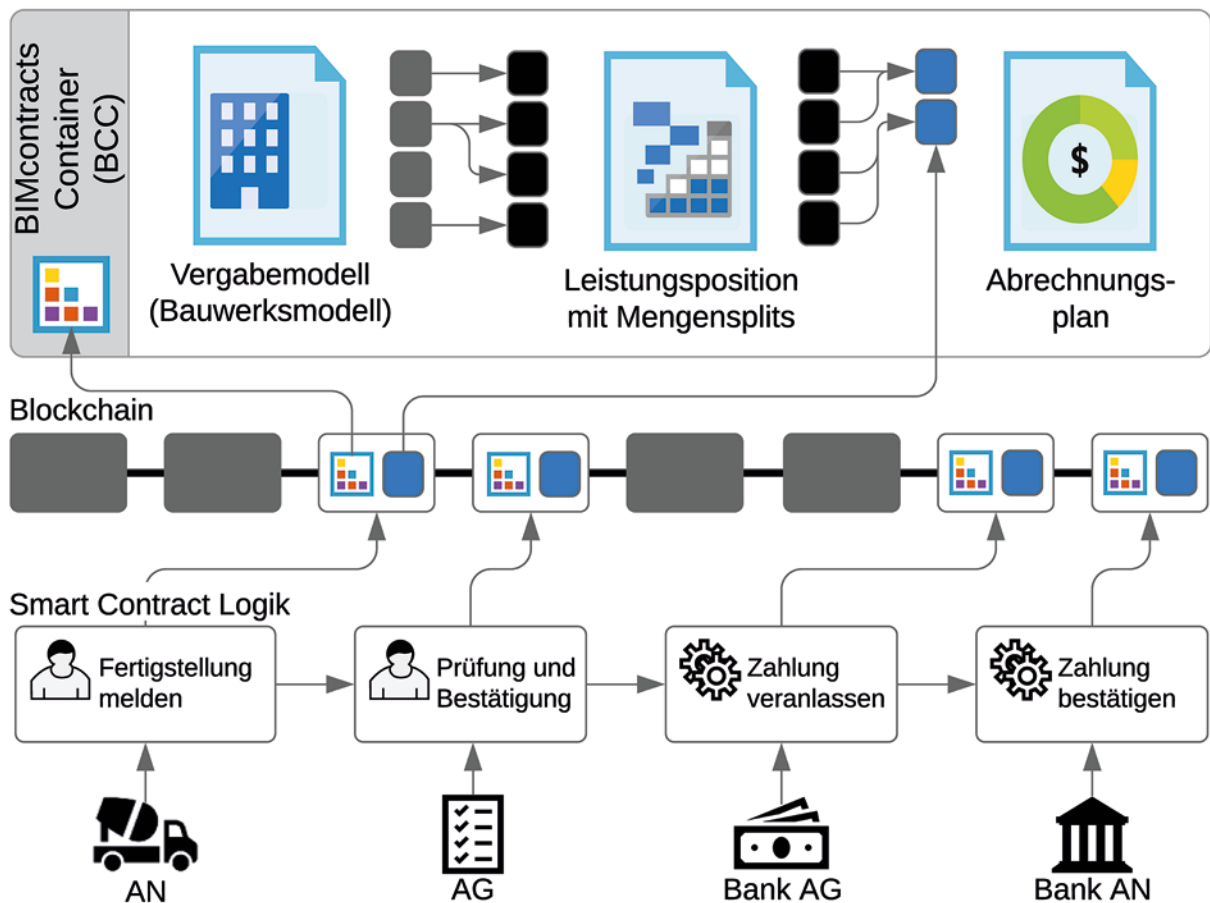
Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Forschungsvorhaben „BIMcontracts“ zur digitalen Zahlungsabwicklung im Bauprozess von der Ruhr-Universität Bochum ist ein Beispiel für ein zugriffsbeschränktes System, das auf der Blockchain-Technologie basiert. Das Vorhaben zielt darauf ab, komplexe Vertragskonstellationen zu vereinfachen und Verzögerungen in der Zahlungskette zu vermeiden. Dabei sollen alle Akteure im Bauprozess in einer digital abgebildeten Vertragskette Teil einer Blockchain sein. Das Forschungsteam möchte durch die Verknüpfung verschiedener digitaler Technologien ein digitales Abrechnungsmodell für ein automatisiertes Zahlungs- und Vertragsmanagement entwickeln. Dabei sind die einzelnen zu erbringenden Leistungen zwischen den Vertragspartnern im Bauprozess in einem digitalen BIM-Modell (Building Information Modeling) beschrieben und über

Smart Contracts geregelt. Fällige Rechnungen für erbrachte Dienstleistungen sollen so beispielsweise direkt nach der Bauabnahme – noch auf der Baustelle – automatisch zur Zahlung freigegeben werden können. Das würde derzeitige Verzögerungen von der Leistungserbringung bis zum Zahlungseingang – aufgrund langwieriger Prüfvorgänge und komplexer Vertragskomplikationen – und daraus resultierende Liquiditätseingänge bei den Unternehmen vermeiden. Die Ergebnisse sollen ab 2022 als Basisversion in Form einer öffentlichen Lösung frei zugänglich gemacht werden (vgl. Eschenbruch et al. 2020).

Dass die Zahlungen in den meisten Projekten weiterhin „klassisch“ über die Bank veranlasst werden, liegt häufig auch an den IT- und Buchungssystemen vieler Unternehmen (vgl. Sander/Groß 2020). Diese Systeme können derzeit keine

2

Automatisierte Leistungsmeldung, Prüfung und Zahlungsabwicklung



Quelle: Smart Service Welt 2021: 58

Kryptowährungen verarbeiten. Aus diesem Grund wäre aus Buchhaltungszwecken bei einem Smart Contract mit einer Finanztransaktion eine personell und finanziell belastende Umrechnung in eine Fiatwährung wie Euro oder US-Dollar notwendig. Diesen Nachteil haben einige Unternehmen und Institutionen erkannt und entwickeln Blockchain-basierte Fiatwährungen, die den geltenden regulatorischen Vorschriften entsprechen (ebd.).

Auch die Europäische Zentralbank (EZB) prüft derzeit, wie sich eine eigene europäische Digitalwährung – der digitale Euro – umsetzen lässt (vgl. Siedenbiedel 2021). Dabei geht es beispielsweise um die Frage, ob die EZB auch für den digitalen Euro bürgen kann, womit eine nahezu ausfallsichere,

preisstabile und unabhängige Digitalwährung für zukünftige Transaktionsprozesse entstehen würde. Allerdings wird die Einführung des digitalen Euros nach Expertenmeinung noch einige Jahre dauern, auch wenn der Druck aus anderen Ländern groß ist. China testet bereits seit 2020 seine staatliche Digitalwährung – Chinese Digital Currency Electronic Payment (DCEP), auch E-Yuan genannt. Zahlreiche Fachleute aus Wirtschaft und Wissenschaft veröffentlichten in einem offenen Brief im Juni 2020 eine High-Level-Roadmap, wie bis 2024 der „digital programmierbare Euro“ eingeführt werden kann (vgl. Sander 2020). Die Expertinnen und Experten sind der Meinung, dass die europäische digitale Währung idealerweise auf der Distributed-Ledger-Technologie, also der Blockchain-Technologie, basieren müsste.

Wohin geht die Entwicklung bei der Blockchain-Technologie?

Im Bereich der Smart Contracts gibt es die Möglichkeit, die Zahlungsfreigabe von einer zusätzlichen Bedingung abhängig zu machen. Dabei wird der Smart Contract mit einer Information außerhalb der Blockchain – zum Beispiel einer Information von einem Sensor in der realen Welt – verknüpft. Erst wenn dieser Sensor gewisse Informationen geliefert hat, erfolgt die Zahlungsfreigabe. Diese zusätzliche Informationsquelle in einem Smart Contract heißt Orakel. Das Orakel erweitert somit den Spielraum von einem geschlossenen Blockchain-Netzwerk (vgl. Bundesnetzagentur 2019: 16). Hiermit könnten Sensoren an Fahrzeugen, Maschinen und Objekten vernetzt werden, automatisch und autonom innerhalb des Netzwerks Informationen austauschen, interagieren und sogar als selbständige Marktteilnehmer autonom Transaktionen ausführen.

Die Bundesregierung versucht seit Ende 2019 über vielfältige Forschungsvorhaben, mit einer eigenen Blockchain-Strategie und -Agenda die vielfältigen Potenziale der Technologie zu fördern (vgl. BMWi/BMF 2019). Diese strategische Forschungsförderung zeigt, wie groß die Potenziale für disruptive Veränderungen durch die Blockchain-Technologie gesehen werden. Dennoch fordert der „Blockchain Bundesverband“, dass Deutschland sich bei dieser disruptiven Technologie klarer positionieren und für die anstehenden Entwicklungen eine innovationsfreundliche Rechtssicherheit etablieren muss (vgl. Blockchain Bundesverband 2021).

Bezogen auf das deutsche Baugewerbe, mit seiner kleinteilig organisierten und stark von Bauvorschriften und Stan-

dards regulierten Struktur, bietet die Blockchain-Technologie die Möglichkeit, wieder ein hohes Maß an Transparenz und Nachvollziehbarkeit in den Strukturen sicherzustellen (vgl. Tapscott/Vargas 2019). Eines der größten Potenziale der Blockchain im Gebäudelebenszyklus liegt in der Nutzungsphase, also in der sicheren datenschutzsensiblen Speicherung von Informationen und Sensordaten (vgl. Turk/Klinc 2017). Anwenderinnen und Anwender könnten alle relevanten Informationen und Nachweise über den gesamten Lebenszyklus von einem Bauwerk in einem Onlineregister unwiderruflich speichern. Dadurch sollen im Bauprozess regulatorische Vorgaben schneller überprüft und notwendige Informationen für die Unterhaltung eines Gebäudes zu späteren Zeitpunkten einfacher aufgerufen werden können. Die Bauteilinformationen könnten daneben für das zukünftige Management von Bau-Recycling-Produkten genutzt werden, und dazu in einem zentralen Register abgelegt werden (vgl. Lüscher 2020). Die Baubranche steckt aber derzeit in einem Dilemma: Einerseits müssen die tradierten Prozessstrukturen auf die gegenwärtigen Entwicklungen und Potenziale der Informationstechnologien transformiert und fundamental überdacht werden – gleichzeitig erfährt die Baubranche aber eine Hochkonjunktur mit einem Fachkräftemangel (vgl. BMWi/BMF 2019: 51). Daher können wenige Firmen derzeit Kapazitäten und Know-how aufbringen, um sich auf diese noch junge Technologie einzulassen.

Das Blockchain-Labor am Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT arbeitet an vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten. In einer Machbarkeitsstudie

wurde beispielsweise untersucht, wie unterschiedliche Mobilitätsdienstleister über eine offene und dezentrale, auf der Blockchain-Technologie basierende Mobilitätsplattform kooperieren können (vgl. Omos 2019). Im Projekt entstanden Konzepte, über die sich mit der Distributed-Ledger-Technologie verschiedene Mobilitätsdienstleister in ein herstellernerutrales und dezentrales Mobilitätssystem integrieren lassen. Die Endkundinnen und Endkunden sollen dadurch nicht mehr einzelne Tickets für unterschiedliche Verkehrsmittel buchen, sondern im Sinne der multimodalen Mobilität mit einer einzigen Buchung und Abrechnung verschiedene Verkehrsanbieter nutzen können. Die Blockchain-Technologie soll die sichere und sofortige Zahlungsabwicklung und Zahlungsverfolgung innerhalb des Netzwerks zwischen den unterschiedlichen Dienstleistern und den Kundinnen und Kunden ermöglichen.

Im Bereich der Energie entwickelt das Fraunhofer FIT in einem Verbundforschungsprojekt zudem einen Demonstrator für ein Blockchain-basiertes Flexibilitätsdatenregister für flexible Verbraucherinnen und Verbraucher sowie Erzeuger am Strommarkt. Damit sollen die volatilen dezentralen Energieerzeugungsanlagen mit einer intelligenten Laststeuerung effizienter in die bestehenden Netzstrukturen eingebunden werden – und beispielsweise ein Elektroauto netzdienlicher geladen werden (vgl. Fraunhofer FIT 2021). Geißler/Schmitz (2021) sehen daneben auch vielfältige An-

wendungsmöglichkeiten für die Blockchain, die zu einem gesamtgesellschaftlichen Mehrwert beitragen: „Die Funktionen der Blockchain und Smart Contracts können zur Digitalisierung der Bürgerrechte, Identitätsprüfung, Besteuerung, transparenten Abstimmung bei Wahlen, Bestätigung des Eigentums an Vermögenswerten, zur papierlosen Verwaltung und zur Automatisierung bürokratischer Prozesse zum Einsatz kommen.“

Wie bereits zu Beginn des Beitrags angemerkt, entsteht durch die Blockchain-Technologie mit dem Handel von sensiblen IoT-Daten, Ergebnissen aus der Echtzeitanalyse oder trainierten Algorithmen über verschlüsselte Datenmärkte ein neues Geschäftsfeld. Das Unternehmen SingularityNet bietet diese spezifisch trainierten KI-Algorithmen an und verkauft sie über Smart Contracts. Das Unternehmen möchte einen Marktplatz und eine Infrastruktur für ein selbständig agierendes, dezentrales Netzwerk von Künstlichen Intelligenzen aufbauen. Damit soll es zukünftig möglich sein, dass sich ein KI-Algorithmus zum Lösen einer spezifischen Aufgabe selbständig Fähigkeiten von einem anderen Algorithmus innerhalb des Netzwerks einkauft (vgl. Forbes 2020). Noch befindet sich das Projekt im Entwicklungsstadium und es ist unklar, ob die Ziele erreicht werden. Es zeigt aber sehr gut, welche disruptiven Potenziale zukünftig entstehen können, wenn die unterschiedlichen Technologien weiter miteinander konvergieren.

Mehr Rechenleistung und weitere Entwicklungssprünge durch Quantencomputer?

Sei es bei der Verarbeitung von IoT-Daten und deren Analyse mit Algorithmen, dem Berechnen von neuen Blöcken bei einer Blockchain oder dem Lösen von vielfältigen Optimierungsproblemen: Überall ist der zentrale Schlüssel die zur Verfügung stehende Rechenleistung. Gerade bei sehr komplexen kombinatorischen Rechenproblemen – wie bei aufwendigen Simulationsprozessen in der Materialtechnologie oder Optimierungsprozessen in der Logistik – stoßen selbst leistungsstarke Großrechner an ihre Grenzen. Daher liegt aktuell große Hoffnung auf der Quantentechnologie und der Einführung von praxistauglichen und skalierbaren Quantencomputern.

Am 15. Juni 2021 sagte die Bundeskanzlerin Angela Merkel bei der Einweihung des ersten kommerziell nutzbaren uni-

versellen Quantencomputers in Deutschland mit dem Namen IBM Quantum System One (Fraunhofer 2021): „Wir stehen [...] erst am Anfang dieser neuen Technologie, doch sie lässt gewaltige disruptive Innovationspotentiale erwarten“.

Die Bundesregierung erhofft sich von den ultraschnellen Parallelrechnern große Leistungsschübe und Effizienzsteigerungen in der Industrie, die insbesondere in Verbindung mit Künstlicher Intelligenz erreicht werden sollen. Beim Mühen um technische und digitale Souveränität sieht sie die Technologie in einer Schlüsselrolle – und fördert konsortiale Forschungsprojekte bis 2025 mit über 2 Milliarden Euro. Das soll die Technologie möglichst schnell für wirtschaftliche Anwendungen nutzbar machen.

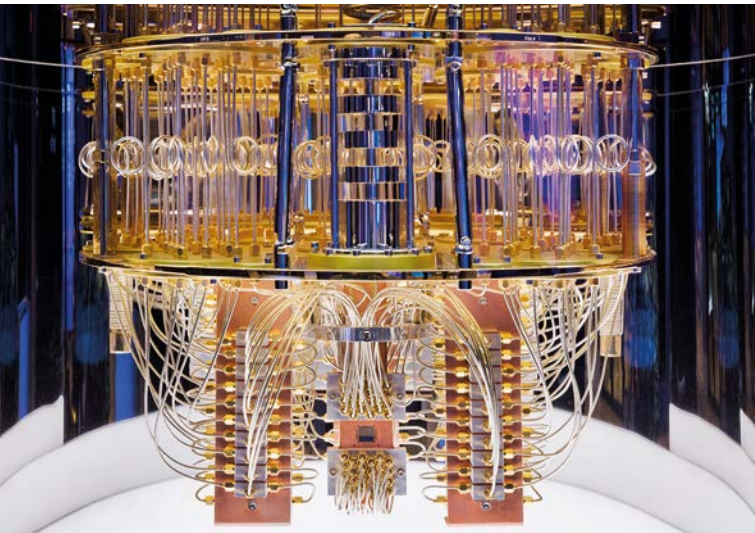


Foto: IBM

IBM Quantum Computer –
Interior of IBM Quantum computing system

Die Technologie der Quantencomputer war lange Zeit eher ein theoretisches Konzept. Im Jahr 2019 erklärte Google in einem Artikel im Wissenschaftsmagazin Nature, zum ersten Mal die Quantenüberlegenheit erreicht zu haben (vgl. Nature 2019). Damit ist der Zeitpunkt gemeint, zu dem ein Quantencomputer eine Rechenaufgabe sehr viel effizienter löst als derzeitige Supercomputer (vgl. Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz 2020).

Wie stark Quantencomputer die Rechenzeit bei der Lösung von komplexen Aufgaben tatsächlich schon reduzieren können, diskutieren Fachleute sehr kontrovers. Die Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz (2020) kommt zu dem Schluss: „Im Quantum Computing steckt das Potenzial, die prinzipiellen Beschränkungen klassischer Computer zu überwinden. Denn viele Aufgaben im Bereich Big Data, Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen sind heute, trotz fortschrittlicher Rechenleistung, nur mit immensem Zeit- und Rechenaufwand lösbar – manche sind sogar so komplex, dass ihre Berechnung mit heutigen Rechnerkapazitäten Jahre dauern würde.“

Unterschiede klassischer Computer zum Quantencomputer

Die Grundeinheit eines Quantencomputers ist das Quantenobjekt Qubit – es unterscheidet sich fundamental von dem Bit eines klassischen Computers und kann viel mehr Informationen darstellen. Das Bit in einem klassischen Computer kann nur den Wert 0 oder 1 annehmen, ein Qubit kann sich dagegen auch für eine gewisse Zeitspanne (Kohärenzzeit) in einem Zwischenzustand aus 0 und 1 befinden. Dieses Phänomen der Überlagerung nennt sich auch Superposition. Neben der Überlagerung gibt es auch noch das Phänomen der Verschränkung: Dabei lassen sich die winzigen Teilchen koppeln. Der Zustand eines Teilchens verändert sich somit, auch wenn das gekoppelte Teilchen weit entfernt ist. Durch die Überlagerung und Verschränkung der Qubit kann der Quantencomputer mehrere Eingaben gleichzeitig berechnen und so die Berechnungsprozesse gegenüber einem klassischen Computer, der jede Eingabe nacheinander verarbeitet, deutlich beschleunigen. Mit jedem zusätzlichen Qubit verdoppeln sich die darstellbaren Zustände eines Quantencomputers. Hier liegt aber auch ein derzeitiges Skalierungsproblem: Je mehr unterschiedliche Zustände abgebildet werden können, umso fehleranfälliger werden die Systeme und desto ungenauer können die Berechnungsergebnisse werden. Die einzelnen Zustände der Qubits zu messen

und die Wechselwirkungen zwischen den Qubits bewusst zu steuern, ist derzeit noch eine zentrale Herausforderung. Diese fehlende Kontrolle über die Qubits nennt sich auch Rauschen. Es tritt bei komplexen Rechenoperationen und bei einer höheren Anzahl von Qubits auf, aufgrund der exponentiell steigenden Anzahl an möglichen Zuständen. Um dies zu vermeiden, zielen viele der massiven Investitionen in die Quantentechnologie darauf ab, die Fehleranfälligkeit bei der Operation mit Qubits zu verringern (vgl. Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz 2020: 18 ff.).

Die fundamentalen Unterschiede zwischen Bits und Qubits erfordern auch neue Formen von Algorithmen. Hier liegt eine besondere Herausforderung in der Überführung „der Daten aus einem klassischen System in ein Quantensystem sowie die entsprechende Transformation der Ergebnisse nach der Berechnung“ (Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz 2020: 35). In vielen Bereichen betreiben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler noch Grundlagenforschung und untersuchen, welche Verfahren des maschinellen Lernens sich wie auf Quantencomputer übertragen lassen und in welcher Form es eine Datenaufbereitung und Überführung in eine Qubit-Kodierung braucht.

Die Entwicklung von universellen und frei programmierbaren Quantencomputern, auf denen jede Art von Rechenoperation durchgeführt werden kann, ist derzeit eher ein theoretisches Konzept. Sie werden auch Quantencomputer der zweiten Generation genannt (vgl. Kagermann et al. 2020). Damit diese Rechensysteme stabil und nahezu fehlerfrei funktionieren, keine Informationen verloren gehen und die fragilen Quanten gegen sämtliche Umwelteinflüsse abgeschirmt sind, erfolgt die Anwendung in einem Tieftemperaturbetrieb nahe dem absoluten Nullpunkt (-273 °C) in einer Laborumgebung. Dadurch ist der Bau von universellen Quantenrechnern technisch sehr anspruchsvoll und kostenintensiv (vgl. Kagermann et al. 2020: 42 ff.). Laut Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz (2020) ist die Technologie der universellen Quantencomputer noch einige Jahre von der praktischen Anwendung entfernt. Bis zur Berechnung großer unsortierter Datensätze und bis zum praktischen Einsatz in einem wirtschaftlichen Umfeld dauert es laut den Expertinnen und Experten noch etwa zehn bis zwanzig Jahre.

Derzeit werden Quantencomputer jeweils für spezielle Probleme und Anwendungen spezifisch entwickelt und konstruiert. Hierzu gibt es mehrere unterschiedliche Hardware-Ansätze und Funktionsprinzipien. Dabei unterscheiden sich die Prinzipien in der Art, wie die Qubits erzeugt werden, sehr grundlegend (vgl. Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz 2020: 20 ff.). Das Prinzip des Quanten-Annealing findet bereits erste praktische Anwendung. Dieses Verfahren eignet sich allerdings nur für das Lösen ganz spezifischer kombinatorischer Optimierungsprobleme (vgl. Streichfuss et al. 2021). Die Automobilkonzerne VW und BMW nutzen seit 2017 in vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsprojekten diese Technik, unter anderem im Bereich der Verkehrsflussoptimierung, der Optimierung von Arbeitsschritten bei Fertigungsrobotern und der Teile-Logistik. Beide Konzerne haben sich 2021 mit zahlreichen anderen Industriepartnern zu dem Quantenkonsortium QUTAC zusammengeschlossen, um neue wirtschaftliche Anwendungsfälle schneller erschließen zu können (vgl. QUTAC 2021).

Die EU fördert Quantencomputer und konsortiale Forschungsprojekte mit dem Horizon-2020-Projekt „Quantum Flagship – The Future is Quantum“ massiv (vgl. European Commission 2021). Sie hofft, dass damit auch in Europa zukünftig Quantencomputer mit einer immer höheren Anzahl an Qubits entwickelt werden und sich dadurch Wettbewerbsvorteile für europäische Firmen durch neue Anwendungsmöglichkeiten für Quantencomputer ergeben. Die finanziellen Ressourcen werden sicherlich dazu beitragen, die Entwicklung der Quantencomputer voranzutreiben. Fraglich

bleibt jedoch, ob Europa es im internationalen Wettlauf bei dieser Schlüsseltechnologie schafft, die hoch qualifizierten Quantenexpertinnen und -experten in der europäischen Forschungslandschaft zu halten. Neben Quantencomputern werden mit den Förderprogrammen aber auch zahlreiche andere Quantentechnologien wie die sichere Quantenkommunikation über ein zukünftiges Quanteninternet gefördert.

Die Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz (2020) sieht künftig vier Hauptfähigkeiten von Quantencomputern: Die Vorhersage dynamischer Systeme (Wetter, Stoffströme), das Finden von Lösungen bei Optimierungsproblemen (Logistik, Finanzwesen, optimierter Einsatz von Ressourcen), die Simulation (Materialeigenschaften vorher-sagen) und die Verschlüsselung (Informationen und Nachrichten sicher verschlüsseln). Im Bauwesen könnten damit sehr komplexe kombinatorische Optimierungsprobleme sehr viel schneller gelöst und damit die Bauprozesse und die Ressourcenplanung verbessert werden. In der Materialforschung könnten sich Strukturen bis auf die kleinste Ebene untersuchen lassen sowie neue Materialeigenschaften vorhergesagt werden. In urbanen Räumen könnten Stabilitätsanalysen von kritischen Infrastruktursystemen oder Kapazitätsoptimierungen von Stromtrassen bei einer zunehmenden Einspeisung von erneuerbaren Energien in das Stromnetz erfolgen (vgl. Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz 2020: 37 ff.).

Bei der vergangenen KI-Konferenz „Rise of AI Summit 2020“ diskutierten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Frage, inwiefern die Entwicklung der Quantencomputer eine Gefahr und inwiefern eine Chance für die Verschlüsselungsverfahren der Blockchain-Technologie ist. Die bisherigen gängigen kryptografischen Verfahren zur Verschlüsselung der Informationen könnten mit der möglichen Rechenleistung von Quantencomputern und Quantenalgorithmien in kürzester Zeit überwunden werden. Damit wären derzeit verschlüsselte Daten nicht mehr sicher (vgl. Kagermann et al. 2020: 62). Daher ist eine wichtige Herausforderung für die Blockchain-Technologie, das derzeitige Sicherheitsniveau auch langfristig zu gewährleisten (vgl. Bundesnetzagentur 2019: 19). Die Arbeit an entsprechend sicheren Verfahren und Konzepten der Post-Quanten-Kryptografie, die auch im Quantenzeitalter den Schutz der digitalen Datenketten gewährleisten, läuft bereits (vgl. BMVI 2019: 48, Streichfuss et al. 2021: 13 f.).

Nach heutigem Stand der Forschung werden die Quantencomputer in absehbarer Zeit nicht die klassischen Digitalcomputer ersetzen. Dafür ist die Technologie noch nicht robust genug und technisch zu sensibel. Die Fraunhofer-AL-

lianz Big Data und Künstliche Intelligenz (2020) konstatiert, dass viele Fachleute der Meinung sind, dass sich mittelfristig die „praktische Anwendung aller Voraussicht nach auf Optimierung und Simulationen beschränkt, da sowohl in der Kryptografie als auch für das Lösen praxisrelevanter linearer Gleichungen deutlich größere Quantencomputer nötig sind“. Sobald das Rauschen der Qubits zuverlässig unterdrückt werden kann, „weitet sich das Feld der Anwendungs- und Wertschöpfungsmöglichkeiten sprunghaft“.

Wichtig ist abschließend zu betonen, dass die anwendungsorientierte Forschung für die Quantencomputer erst am Anfang steht und noch vielfältige Positionierungen in diesem disruptiven Forschungs- und Anwendungsfeld möglich sind.

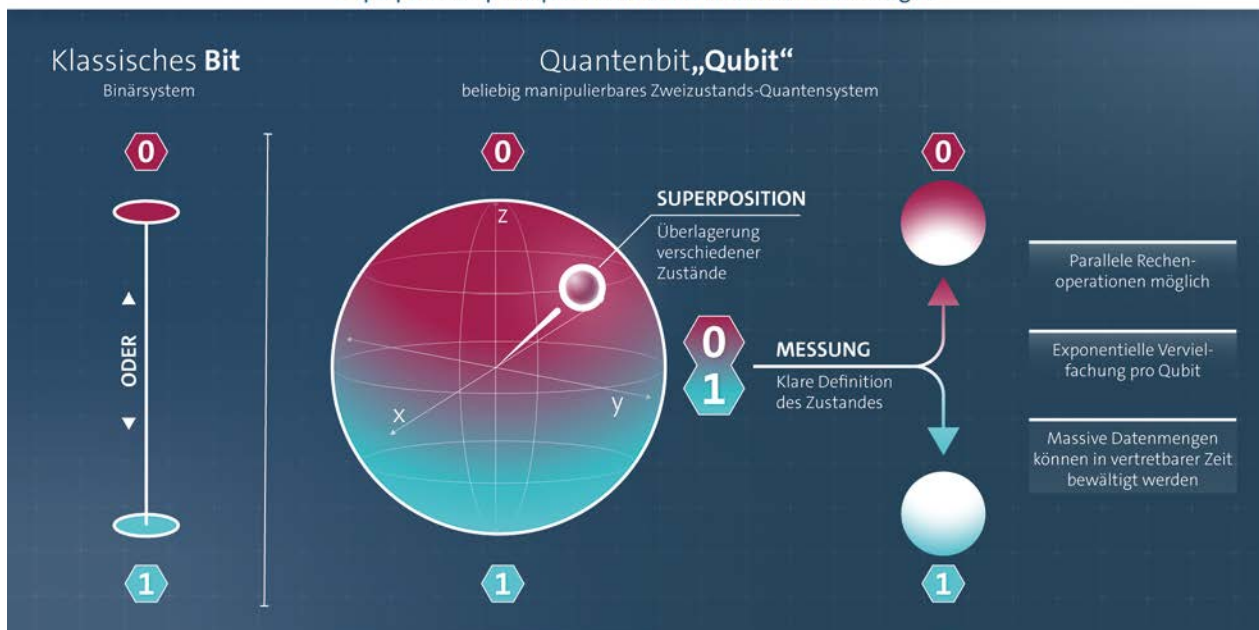
Quantenalgorithmen erfordern jedoch eine hohe Fachkompetenz, wofür es einen starken Wissenstransfer und neue Fachkräfte braucht. Hier bedarf es einer großen Förderung in der Nachwuchsqualifikation für die Weiterentwicklung von Anwendungen bis zur Marktreife sowie einer Umschulung der vorhandenen Expertinnen und Experten für das Programmieren von Quantenalgorithmen. Laut Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz (2020) werden Entscheiderinnen und Entscheider „in Unternehmen [...] zukünftig immer häufiger damit konfrontiert [...], die möglichen Chancen und Risiken dieser Technologie zu bewerten und auf potenzielle Anwendungen ihres Unternehmens zu übertragen“.

3

Klassisches Bit und Quantenbit im Vergleich

SO FUNKTIONIERT EIN QUANTENCOMPUTER

Superpositionsprinzip erlaubt Parallelität in den Rechnungen



Quelle: Volkswagen AG, Volkswagen Stories 2019

Fazit

Damit sich die Transformationspotenziale nutzen lassen, ist es notwendig, die unterschiedlichen Technologien und die vielfältigen Zusammenhänge zu verstehen (vgl. Sander/Groß 2020). Durch die Automatisierung und Vernetzung von Prozessen wächst die Datenmenge rasant. Die Daten und Informationen lassen sich für die Optimierung von laufenden Prozessen durch intelligente Algorithmen nutzen. Durch das Verschmelzen von unterschiedlichen Prozessen entstehen immer komplexere Abhängigkeiten. Die Blockchain-Technologie bietet die Möglichkeit, die digitale Souveränität über die Daten zu behalten und über dezentrale Netzwerke neue Formen von Echtzeit-Geschäftsprozessen und digitalen Vertragskonstellationen zu etablieren. Neue Anwendungsmöglichkeiten der Blockchain-Technologie können zu einem hohen gesellschaftlichen Mehrwert beitragen. Erst durch das Zusammenwirken der innovativen Technologien IoT (Internet of Things), KI (Künstliche Intelligenz) und Blockchain entstehen die wirklichen Transformationspotenziale. Dafür ist es aber elementar, bei allen Transformationen den Menschen und seine Privatsphäre zu schützen und keine einseitige technikzentrierte Sichtweise zu entwickeln.

Quantencomputer haben darüber hinaus enorme Möglichkeiten, bei immer größeren zu verarbeitenden Datenmen-

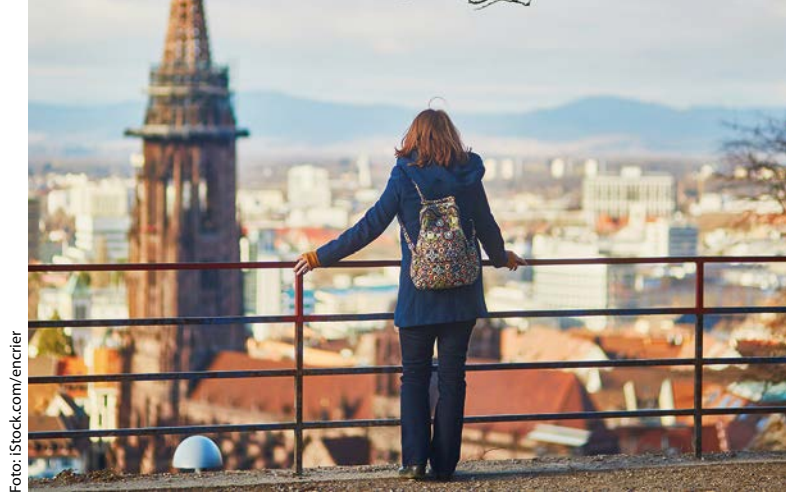
gen und bei komplexen Simulationen neue Optimierungspotenziale zu erschließen. Hierfür sind jedoch noch einige grundlegende Entwicklungsschritte notwendig, um die Technologie in die breite Anwendung zu überführen. Quantencomputer bieten das Potenzial, „die Leistungsfähigkeit von Künstlicher Intelligenz und Machine Learning nochmals deutlich zu erhöhen“ (Kagermann et al. 2020: 27)

Für eine große Interoperabilität zwischen den einzelnen Technologien ist es wichtig, den standardisierten Daten- und Informationsaustausch weiterzuentwickeln und damit sektorübergreifende Anwendungskonzepte zu stärken (vgl. Bundesnetzagentur 2019: 20). Alle in diesem Beitrag benannten Technologien werden zukünftig immer stärker konvergieren. Damit sind grundlegende Veränderungen bei den Prozessen im Bauwesen sowie in der Stadt- und Raumentwicklung zu erwarten. Daher müssen Politik, Gesellschaft und Unternehmen die technologischen Entwicklungen nicht singulär, sondern ganzheitlich in den Blick nehmen. Umso wichtiger ist es, die unterschiedlichen Technologien in praxisnahen und disziplinübergreifenden Forschungsvorhaben weiterzuentwickeln und zu erproben. So lassen sich Vorteile der Technologien aufzeigen und anwendungsorientierte Lösungen schaffen.

Literatur

- Acatech**, 2018: Experteninterview mit Roman Beck, IT University of Copenhagen. Zugriff: <https://www.acatech.de/allgemein/experteninterview-mit-roman-beck-european-blockchain-center> [abgerufen am 28.06.2021].
- Blockchain Bundesverband**, 2021: Kernforderungen. Zugriff: <https://bundesblock.de/de/about-us> [abgerufen am 24.06.2021].
- BMVI** – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), 2019: Chancen und Herausforderungen von DLT (Blockchain) in Mobilität und Logistik.
- BMWi** – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; **BMF** – Bundesministerium der Finanzen, 2019: Blockchain-Strategie der Bundesregierung. Wir stellen die Weichen für die Token-Ökonomie.
- Bundesnetzagentur** (Hrsg.), 2019: Die Blockchain-Technologie – Potenziale und Herausforderungen in den Netzsektoren Energie und Telekommunikation.
- Dalg**, P., 2021: Bär lädt zur Blockchainstandortbestimmung. Tagesspiegel Background vom 22.04.2021. Zugriff: <https://background.tagesspiegel.de/digitalisierung/baer-laedt-zur-blockchain-standortbestimmung> [abgerufen am 18.06.2021].
- Dena** – Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.), 2019: Blockchain in der integrierten Energiewende.
- Digiconomist**, 2021: Bitcoin Energy Consumption Index. Zugriff: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> [abgerufen am 08.06.2021].
- Eschenbruch**, K.; Groß, D.; König, M., 2020: Auf dem Weg zum digitalen Bauvertrag – Automatisierung des Zahlungsverkehrs im Bauwesen mittels BIM und Smart Contracts (BIMcontracts). Bauwirtschaft, 1–2020.
- European Commission**, 2021: Quantum Technologies Flagship. Zugriff: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum-technologies-flagship> [abgerufen am 01.07.2021].
- Ferraris**, M., 2018: Was ist Kapital? Wie steht es zum Geld? Was leistet die Blockchain? Ein Blick ins Neolithikum liefert erstaunliche Antworten. Neue Zürcher Zeitung vom 17.12.2018. Zugriff: <https://www.nzz.ch/feuilleton/blockchain-geld-kerbholz-das-neolithikum-erklaert-das-kapital-ld.1443274> [abgerufen am 06.05.2021].
- Forbes**, 2020: Is Artificial General Intelligence (AGI) on the Horizon? Interview. Zugriff: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2020/07/14/is-artificial-general-intelligence-agi-on-the-horizon-interview-with-dr-ben-goertzel-ceo-founder-singularity-net-foundation/?sh=6878c42459d0> [abgerufen am 18.06.2021].
- Fraunhofer**, 2021: Vorhang auf: Fraunhofer und IBM weihen Quantencomputer ein. Presseinformation. Zugriff: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/juni-2021/fraunhofer-und-ibm-weihen-quantencomputer-ein.html> [abgerufen am 24.06.2021].
- Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz**, 2020: Quantum Machine Learning – Eine Analyse zu Kompetenz, Forschung und Anwendung.
- Fraunhofer FIT**, 2021: FlexHub – Verteiltes Flexibilitätsdatenregister für Strommärkte der Energiewende. Zugriff: <https://www.digitale-energie.fraunhofer.de/de/projekte/flexhub.html> [abgerufen am 01.07.2021].
- Geißler**, O.; Schmitz, P., 2021: Stadt der Zukunft: Smart City – Blockchain und Smart Cities. Zugriff: <https://www.blockchain-insider.de/blockchain-und-smart-cities-a-1019295> [abgerufen am 12.07.2021].
- Hülsbömer**, S.; Genovese, B., 2021: Was ist Blockchain? Computerwoche vom 05.06.2021. Zugriff: <https://www.computerwoche.de/a/blockchain-was-ist-das> [abgerufen am 21.06.2021].
- Joas**, R.; Groß, J.; Sander, P.; Duve, D.; Oehm, T., 2020: Blockchain, IoT und KI – eine perfekte Kombination. Zugriff: <https://jonasgross.medium.com/blockchain-iot-und-ki-eine-perfekte-kombination-f00f3fa36a67> [abgerufen am 10.06.2021].

- Kagermann, H.; Körner, J.; Süssenguth, F.; Liepold, A., 2020:** Innovationspotenziale der Quantentechnologie der zweiten Generation. Hrsg. von Acatech.
- Lüscher, M., 2020:** Blockchain im Bauhauptgewerbe. Schweizerischer Baumeisterverband. Zugriff: <https://baumeister.swiss/blockchain-im-bauhauptgewerbe/> [abgerufen am 04.06.2021].
- Omos – Open Mobility System, 2019:** Omos Concept Paper. MotionWerk GmbH, Fraunhofer FIT.
- QUTAC, 2021:** Industry Quantum Computing Applications – QUTAC Application Group. Positionspapier.
- Sander, P., 2020:** Open Letter: Roadmap towards a Digital Programmable Euro. Zugriff: <https://philippsandner.medium.com/open-letter-roadmap-towards-a-digital-programmable-euro-ab4ede44bac5> [abgerufen am 25.06.2021].
- Sander, P.; Groß, J., 2020:** Blockchain, IoT und KI – eine vielversprechende Mischung. Zugriff: <https://www.capital.de/wirtschaft-politik/blockchain-iot-und-ki-eine-vielversprechende-mischung> [abgerufen am 04.05.2021].
- Schlatt, V.; Schweizer, A.; Urbach, N.; Fridgen, G. (Hrsg.), 2016:** Blockchain White Paper: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale. Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT.
- Sicking, J.; Voss, A.; Wirtz, T.; Paul, N. (Hrsg.), 2019:** Whitepaper Machine Learning on the edge. Fraunhofer IAIS – Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme.
- Siedenbiedel, C., 2021:** Angriff auf die Kryptowährungen. Frankfurter Allgemeine vom 21.06.2021. Zugriff: <https://www.faz.net/aktuell/finanzen/digitaler-euro-angriff-auf-die-kryptowaehrungen-17400352.html> [abgerufen am 25.06.2021].
- Smart Service Welt – Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (Hrsg.), 2021:** Smart Design, Smart Construction, Smart Operation – Einsatz von digitalen Services in der Bauwirtschaft.
- Streichfuss, M.; Alexander, M.; Hammermeister, F.; Heuer, A., 2021:** Quantencomputer | Wann kommt der Durchbruch? Hrsg. von Roland Berger GmbH.
- t3n – digital pioneers, 2021:** Kryptowährungen: Das unterscheidet Proof-of-Work und Proof-of-Stake. Zugriff: <https://t3n.de/news/kryptowaehrungen-proof-work-stake-ethereum-1379011> [abgerufen am 24.06.2021].
- Tapscott, D.; Vargas, V. R., 2019:** How Blockchain will change Construction. Harvard Business Review vom 26.07.2019. Zugriff: <https://hbr.org/2019/07/how-blockchain-will-change-construction> [abgerufen am 24.06.2021].
- Turk, Z.; Klinc, R., 2017:** Potential of Blockchain Technology for Construction Management. Creative Construction Conference. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581733179X> [Zugriff am 24.06.2021].
- University of Cambridge, 2021:** Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. Zugriff: <http://cbeci.org> [abgerufen am 08.06.2021].
- Volkswagen Stories, 2019:** Where is the electron and how many of them. Zugriff: <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/11/where-is-the-electron-and-how-many-of-them.html#> [abgerufen am 10.07.2021].
- Wagner, A., 2018:** Wie KI und Blockchain zusammenwachsen. industry of things, Expertenbeitrag. Zugriff: <https://www.industry-of-things.de/wie-ki-und-blockchain-zusammenwachsen-a-782046> [abgerufen am 08.06.2021].
- Wilhelm, F.; Steinwandt, R.; Langenberg, B.; Liebermann, P.; Messinger, A.; Schumacher P.; Spieldenner, A., 2020:** Status of quantum copmputer development – Entwicklungsstand Quantencomputer. Hrsg. vom BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.



Das nächste Heft:

Aktuelle Positionen zum Städtebau

Die Diskussion um die Zukunft der Städte hat in den vergangenen Jahren an Fahrt aufgenommen. Die sozialen, ökonomischen und ökologischen Gegebenheiten ändern sich – auch auf städtischer Ebene. Gleichzeitig scheinen die Handlungsmöglichkeiten zu schrumpfen. Wie können Akteure aus Architektur, Planung und Städtebau künftige Konflikte in Städten beschreiben und vermitteln? Und vor allem: Wie können sie zu deren Lösung beitragen?

Professorinnen und Professoren aus der deutschsprachigen Forschungslandschaft haben sich vor einiger Zeit zusammengeschlossen, um sich zu diesen Fragen auszutauschen. Sie zielen damit darauf ab, den Städtebau zwischen Planung und Architektur neu zu positionieren. Akteure aus Städtebau und Architektur sollen künftig stärker als bisher konkrete Räume, Programme und Strukturen vermitteln und gestalten, ohne dabei die Verbindung zwischen gebautem Raum sowie sozialen, politischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten zu vernachlässigen.

Im kommenden IzR-Heft stellen die Forscherinnen und Forscher in Zusammenarbeit mit Marlowes, dem Online-Magazin für Architektur und Stadt, ihre aktuellen Positionen vor. Den Schwerpunkt legen sie dabei auf die Gestaltung von (wachsenden) Städten – und auf Themen wie Einfügung, Nutzungsmischung, Bodenpolitik oder die Digitalisierung. Mit Blick auf die städtische Vielfalt sollen die Beiträge den Diskurs über Stadt in Praxis und Lehre öffnen und zu weiteren Überlegungen und Kooperationen führen.

Übrigens...

Auf der IzR-Internetseite bieten wir Ihnen ergänzend zu den Heften Leseproben, ausführliche Autorenporträts und weitere Informationen zum jeweiligen Thema. Dort finden Sie im Archiv 18 Monate nach Erscheinen der Hefte alle Beiträge online. Besuchen Sie daher auch unsere IzR-Seite: www.bbsr.bund.de/izr

Alle Veröffentlichungen des BBSR finden Sie unter www.bbsr.bund.de

Bestellung: Franz Steiner Verlag
Birkenwaldstraße 44
70191 Stuttgart
Telefon +49 711 2582-314
Telefax +49 711 2582-390
www.steiner-verlag.de/izr





**Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung**

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Weitere Informationen
www.bbsr.bund.de/izr