Hochschule Konstanz
Fakultät Bauingenieurwesen

Entwicklung von Anwendungsfällen aus dem Bereich Bauwirtschaft für offene, föderierte digitale Plattformen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
MASTER OF ENGINEERING (M. ENG.)

Vorgelegt von: Jennifer Krüger
[redacted]
Studiengang: Wirtschaftsingenieurwesen Bau
Matrikelnummer: [redacted]
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Michael Max Bühler
Abgabedatum: 05.08.2021

Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Masterarbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe und alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, als solche gekennzeichnet sind. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Datum 05.08.2021 Unterschrift [redacted]

Gendervermerk

Zur besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Bei jeglichen geschlechtsspezifischen Formulierungen, die nur zum Zweck der besseren Lesbarkeit verwendet werden, sind alle Geschlechter gleichermaßen gemeint.

Zusammenfassung

Die fortschreitende Urbanisierung sowie die voranschreitende digitale Transformation stellen viele Städte vor großen Herausforderungen. Um den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Veränderungsprozessen gerecht zu werden, braucht es innovative Lösungen. Die Nutzung digitaler Technologien und Daten eröffnen Städten neue Möglichkeiten, um sich zukunftsfähig zu gestalten. So wird die Stadt der Zukunft eine Stadt der Daten sein. Sie ist smart, vernetzt und entwickelt intelligente, digitale Lösungen für sich und ihre Bürger. Digitale, offene föderierte Plattformen bilden hierbei das Herzstück. Als zentraler Zugangspunkt zu Daten schaffen sie eine grenzenlose Vernetzung und generieren einen Mehrwert für Stadt, Bürger und Wirtschaft. Sie vereinen smarte Dienste und Services, verbessern die digitale Teilhabe und erhöhen die Lebensqualität in einer Stadt.

Das Ziel in der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung von Anwendungsfällen aus dem Bereich der Bauwirtschaft für offene, föderierte digitale Plattformen. Der Fokus liegt hierbei auf der Online-Plattform für sogenannte digitale Zwillinge, die ein virtuelles Abbild der Realität erschaffen. Der virtuelle Stadtzwilling bildet das Fundament zahlreicher Smart City-Konzepte. Er ist ein Smart City-Werkzeug, das aufgrund seiner vielfältigen Einsatzfähigkeit für Städte großes Potenzial bietet.

Der Stadt Konstanz eröffnen sich mit der Etablierung eines digitalen Stadtzwillings neue Möglichkeiten für eine resiliente und umweltschonende Gestaltung ihres urbanen Raums. Der digitale Zwilling findet in den unterschiedlichsten Feldern Anwendung. So kann er beispielsweise für die Entwicklung klimaoptimierter Bebauungsszenarien eingesetzt oder für intelligent vorausschauende Verkehrsleitsysteme genutzt werden. Darüber hinaus ermöglicht er neue Formen mit der Öffentlichkeit zu interagieren, indem er geplante Bauvorhaben und deren Auswirkungen realitätsgetreu abbildet. Dennoch stellt die Etablierung und die vollumfängliche Nutzung des digitalen Zwillings die Stadt Konstanz vor großen Herausforderungen. So setzt die Anwendung smarter städtischer Lösungen einen ausreichenden Datenschutz voraus. Darüber hinaus ist die digitale Transformation ein zeitintensiver und kostenaufwendiger Prozess, für den entsprechende Ressourcen benötigt werden. Zudem bedarf es einen gesellschaftsübergreifenden Paradigmenwechsel, der bislang nur langsam voranschreitet. Dennoch ist es unerlässlich, dass die Stadt Konstanz die Herausforderungen annimmt und die Chancen ergreift, um zu einer zukunftsfähigen und digitalen Stadt zu werden. Denn der digitale Zwilling bildet einen zentralen Baustein auf dem Weg zu einer Smart City.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstaatliche Erklärung ..... **I**

Gendervermerk ..... **II**

Zusammenfassung ..... **III**

Abkürzungsverzeichnis ..... **VI**

Abbildungsverzeichnis ..... **VII**

1 Einleitung **1**

1.1 Motivation und Zielsetzung 1

1.2 Aufbau der Arbeit 2

2 Theoretische Analyse **4**

2.1 Städte im Wandel 4

2.1.1 Urbane Herausforderungen 5

2.1.2 Digitale Transformation 6

2.2 Smart Cities 7

2.2.1 Definition 7

2.2.2 Handlungsfelder 8

2.2.3 Reifegradmodell 10

2.3 Digitale Plattformen 13

2.3.1 Arten 13

2.3.2 Smart City-Datenplattformen 16

2.4 Die smartesten Städte 21

2.5 Stadt Konstanz 25

2.5.1 Status Quo 25

2.5.2 Auswertung Status Quo 35

3 Methodisches Vorgehen **37**

3.1 Aufbau und Inhalt der Interviews 37

3.2 Auswahl und Beschreibung der Experten 39

3.3 Datenerhebung und Auswertung 41

4 Ergebnisse 47

4.1 Anwendungsfälle 47

4.1.1 Smart Environment 47

4.1.2 Smart Governance 56

4.1.3 Smart Economy 59

4.1.4 Smart Mobility 61

4.1.5 Smart Living 63

4.1.6 Smart People 66

4.2 Chancen 67

4.2.1 Stadtklima 67

4.2.2 Mobilität 71

4.2.3 Stadtplanung und -entwicklung 72

4.2.4 Bürgerbeteiligung 73

4.2.5 Untergrund 75

4.2.6 Plattformökonomie 76

4.2.7 Neue und erweiterte Geschäftsmodelle 77

4.3 Herausforderungen 81

4.3.1 Datengrundlage und -aktualität 81

4.3.2 Finanzielle und personelle Ressourcen 82

4.3.3 Paradigmenwechsel 83

4.3.4 Bürgerbeteiligung 84

4.3.5 Datenschutz und Datensicherheit 85

4.4 Handlungsempfehlungen 87

5 Schlussbetrachtung 91

5.1 Fazit 91

5.2 Kritik und Ausblick 93

6 Literaturverzeichnis 95

Anlagen IX

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
BIM	Building Information Modeling
DIN	Deutsche Institut für Normung e. V.
E-Government	Electronic-Government
GIS	Geographische Informationssysteme
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IoT	Internet of Things
LOD	Level of Detail
MIV	Motorisierter Individualverkehr
OUP	Offene Urbane Plattformen
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PV-Anlagen	Photovoltaikanlagen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Handlungsfelder einer Smart City 8
Abbildung 2: Schematisches Smart City-Reifegradmodell 12
Abbildung 3: Drei gängige Plattformtypen, die Transaktionen, Interaktionen und Mobilisierung erleichtern 15
Abbildung 4: Lernplattformen, die Teilnehmer zusammenbringen, um neues Wissen zu erlangen 15
Abbildung 5: Schematische Darstellung von Smart City-Komponenten 17
Abbildung 6: Datenanforderungen eines digitalen Zwillings 19
Abbildung 7: Die fünf LODs eins digitalen 3D-Modells 20
Abbildung 8: Zielbild der Smart Green City Konstanz 27
Abbildung 9: Auszug Serviceportal Stadt Konstanz 28
Abbildung 10: Auszug Open Data Plattform Konstanz 29
Abbildung 11: Mobile Anwendung "ParkOride" 31
Abbildung 12: Digitales 3D-Modell der Stadt Konstanz 32
Abbildung 13: Licht- und Schattenwurf 3D-Modell Konstanz 33
Abbildung 14: Screenshots "Mein Konstanz"-App 34
Abbildung 15: Einschätzung der befragten Personen zum Digitalisierungsgrad von Konstanz 41
Abbildung 16: Einschätzung der befragten Personen zur Zufriedenheit des Digitalisierungsgrades in Konstanz 42
Abbildung 17: Einschätzung der befragten Personen zur aktiven Bürgerbeteiligung bei Planungsvorhaben 43
Abbildung 18: Einschätzung der befragten Personen zur Nutzung verschiedener Informationsquellen 43
Abbildung 19: Einschätzung der befragten Personen zum Thema Datenschutz 44
Abbildung 20: Einschätzung der befragten Personen zur digitalen Überwachung in einer Stadt 44
Abbildung 21: Handlungsansätze zur Klimasimulation 48
Abbildung 22: Klimasimulation des Bullingerplatzes, Zürich 49
Abbildung 23: Bebauungsszenario in 3D 50
Abbildung 24: Solarpotenzialanalyse im 3D-Modell 51
Abbildung 25: Visualisierung der simulierten Jahres-Heizwärmebedarfe in kWh/m²a 52
Abbildung 26: Simulation zur Lärmausbreitung 53
Abbildung 27: Kartierung der Luftverschmutzung in London im 3D-Modell 53
Abbildung 28: Darstellung der Luftschadstoffbelastung als vertikale Linie (oben) und als vertikale Punkte (unten) 54

Abbildung 29: Beleuchtungssimulationen, Szene bei Tag und Nacht (oben) und Szene bei unterschiedlicher Lichtintensität (unten) 55
Abbildung 30: Sichtbarkeitsanalysen im 3D-Stadtmodell 56
Abbildung 31: Digitale 3D-Bürgerbeteiligung 57
Abbildung 32: Visualisierung unterirdischer Strukturen 58
Abbildung 33: Eingereichte Wettbewerbsbeiträge, integriert in das 3D-Stadtmodell 59
Abbildung 34: Nachbildung des Züricher Stadtteils Affoltern im Computerspiel Minecraft (links) sowie Testpersonen für die JavaScript-Anwendung von ESRI (rechts) 60
Abbildung 35: Direktanalyse unterschiedlicher Verkehrsmaßnahmen im 3D-Stadtmodell 61
Abbildung 37: Überflutungsszenario im 3D-Stadtmodell 63
Abbildung 38: Starkregensimulation mit Kanalnetzkopplung 64
Abbildung 39: Visualisierung einer geplanten Hochwasserschutzmaßnahme, Ist-Siutation (oben), Planung Hochwassershutz (mitte), Hochwasserschutz mit HQ 100 (unten) 65
Abbildung 40: Visualisierung eines zukünftig geplanten Bauprojektes mit Hilfe von AR 66
Abbildung 41: Visualisierung unterirdischer Strukturen mit Hilfe von AR 76
Abbildung 42: Bildsprache zur Kennzeichnung von IoT-Sensoren 89

1 Einleitung

„Alles, was digitalisiert werden kann, wird digitalisiert."

Dieser Satz stammt von der ehemaligen Hewlett Packard Chefin Charly Fiorina aus dem Jahr 2000 und ist aktueller denn je. Digitale Transformationsprozesse verändern mit rasanter Geschwindigkeit alle Bereiche unseres Lebens und Handelns. Die Digitalisierung bestimmt zunehmend unser Leben und ist aus unserem heutigen Alltag nicht mehr wegzudenken. Auch für die Politik und Gesellschaft ist die Bedeutung der Digitalisierung ein zentraler Themenbereich. Kommunen stehen wegen der rasant voranschreitenden Digitalisierung vor neuen Herausforderungen. (vgl. Etezadzadeh 2020: IX) Sie sind gezwungen sich mit den neuen technischen Möglichkeiten, die der digitale Wandel mit sich bringt, auseinanderzusetzen. Sie müssen neue Bausteine und technische Innovationen implementieren, um den gesellschaftlichen Veränderungen gleichzukommen. Viele Städte haben begonnen ihre digitalen Angebote zu erweitern. Sie bedienen sich digitalen Plattformen, um nicht nur die Versorgung ihrer Bürger zu verbessern, sondern auch ihre Lebensqualität und ihre wirtschaftliche Attraktivität zu steigern. (vgl. Schmid 2019: X)

1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Einwohnerzahlen in vielen großen Städten steigen seit Jahren. Auch die Stadt Konstanz hat seit Jahren ein zunehmendes Bevölkerungswachstum zu verzeichnen. Im Jahr 2040 könnte Konstanz die Großstadt-Grenze von 100.000 Einwohnern überschreiten (vgl. Stadt Konstanz 2021c). Gerade junge Menschen zieht es vermehrt in Ballungszentren. Die Vorteile liegen auf der Hand. Zahlreiche Jobmöglichkeiten, Vielfalt an Kultur- und Freizeitangeboten, Mobilität sowie eine gute medizinische Versorgung. Jedoch bedeuten die größer werdenden Städte für viele Menschen zunehmend Stress. Die Gründe hierfür sind vielfältig: beengter Wohnraum, lange Wartezeiten in den Behörden oder eine überlastete Infrastruktur. Um diese Herausforderungen zukünftig zu bewältigen, stellen digitale Technologien ein wichtiges Instrument dar. So ist die „Stadt von morgen" digital vernetzt. Bürger können sich über digitale Plattformen informieren, austauschen und vernetzen. Es entsteht eine ganze neue Art von Bürgerbeteiligung und Kommunikation zwischen den Bürgern und der Stadt. Doch nicht nur die Bürger sollen von einer digitalen Stadt profitieren. Auch die Kommunen können mit Hilfe digitaler Lösungen kommunalpolitische Entscheidungen beschleunigen oder Verkehrsflüsse opti-

mieren. Doch die Digitalisierung einer Stadt bedeutet nicht nur eine effektivere Verwaltung oder eine höhere Lebensqualität. Es bedeutet auch das Preisgeben sensibler Informationen und Daten.

Diese Masterarbeit hat zum Ziel Anwendungsfälle für offene, föderierte digitale Plattformen aus dem Bereich der Bauwirtschaft für die Stadt Konstanz zu entwickeln. Bei der Entwicklung der Anwendungsfälle liegt das Hauptaugenmerk auf der kollaborativen Online-Plattform für digitale Stadtzwillinge. Im Rahmen der Zielsetzung werden die Chancen, Risiken und Herausforderungen einer solchen digitalen Datenplattformen herausgearbeitet und der Stadt Handlungsempfehlungen zur Etablierung der Plattform gegeben. Die Analyse und Erkenntnisse dieser Arbeit basieren sowohl auf Literaturrecherche als auch auf diversen Experteninterviews. Zusätzlich wird eine Online-Bürgerbefragung durchgeführt. Ziel ist es herauszufinden, was für die Bürger eine lebenswerte Stadt ausmacht, wie ihre Wünsche und Bedürfnisse aussehen, in welchen Bereichen Konstanz digital bereits gut aufgestellt ist und wo sie sich noch verbessern kann.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Masterarbeit besteht aus insgesamt 5 Kapiteln, die Einleitung miteingeschlossen. Der inhaltliche Schwerpunkt dieser Arbeit liegt hierbei auf Kapitel 4.

Das **zweite Kapitel** befasst sich mit der theoretischen Analyse, die auf Literaturrecherche aufbaut. Die theoretische Analyse beinhaltet allgemeine, für die Arbeit relevante Themenbereiche. Zu Beginn wird auf die fortschreitende Urbanisierung von Städten und die damit verbundenen Herausforderungen sowie auf die digitale Transformation von Städten eingegangen. Daraufhin erfolgt eine Einführung in das Thema Smart City. Hierbei werden die Definition und die für eine Smart City wesentlichen Handlungsfelder genannt. Im Anschluss daran wird auf digitale Plattformen eingegangen und die verschiedenen Arten von Plattformen beschrieben. Abschließend erfolgt eine Status Quo Analyse der Stadt Konstanz hinsichtlich ihres Digitalisierungsgrades.

Im **dritten Kapitel** wird auf das methodische Vorgehen eingegangen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden mehrere Experteninterviews sowie eine Online-Bürgerbefragung durchgeführt. In diesem Kapitel wird auf den Aufbau und den Inhalt der Interviews sowie auf die Auswahl und Beschreibung der Experten eingegangen. Abschließend erfolgt die Auswertung der Online-Befragung.

Das **vierte Kapitel** beinhaltet die Ergebnisauswertung. Hierbei werden die Ergebnisse der Literaturrecherche und der Experteninterviews vorgestellt und die daraus erarbeiteten Anwendungsfälle beschrieben. Die Anwendungsfälle sind den entsprechenden Handlungsfeldern einer Smart City zugeordnet. Darüber hinaus wird aufgezeigt, welche Chancen der digitale Zwilling der Stadt Konstanz bietet und mit welchen Herausforderungen er verbunden ist. Zudem werden der Stadt Konstanz Handlungsempfehlungen für den künftigen Einsatz des digitalen Zwillings gegeben.

Die Arbeit schließt im **fünften** und damit letzten **Kapitel** mit einer Zusammenfassung der gesammelten Erkenntnisse sowie einer kritischen Betrachtung der Ergebnisse und einem Ausblick ab.

2 Theoretische Analyse

Einleitend wird in diesem Kapitel auf den Wandel, in denen sich Städte aktuell befinden, eingegangen. In diesem Zusammenhang werden die urbanen Herausforderungen, mit denen Städte zu kämpfen haben, genannt und die digitale Transformation der Städte beschrieben. Anschließend erfolgt die Definition für den Begriff Smart City sowie eine Beschreibung der charakterisierenden Eigenschaften und Handlungsfelder einer Smart City. Es wird auf digitale Plattformen, die als zentrales Element einer Smart City dienen, eingegangen und deren Funktionsweise erläutert. Außerdem wird ein Reifegradmodell vorgestellt, dass Städte im Hinblick auf die Entwicklung zur Smart City klassifiziert. Zum Vergleich werden die erfolgreichsten Smart Cities welt-, europa- und deutschlandweit vorgestellt. Hierfür werden die Städte Singapur, Zürich und Hamburg betrachtet. Im Anschluss daran wird ein aktueller Überblick über die Stadt Konstanz hinsichtlich ihrer digitalen Plattformen und Angebote gegeben und ihre zukünftigen Ziele im Rahmen der Digitalisierung genannt. Abschließend erfolgt eine kurze Auswertung des Status Quos und eine Einteilung der Stadt Konstanz in das Reifegradmodell.

2.1 Städte im Wandel

Städte sind einem stetigen Wandel unterworfen. Das 21. Jahrhundert ist durch eine globale Urbanisierung geprägt. Immer mehr Menschen wollen in Städten leben. So leben bereits etwa 70 % der deutschen Bevölkerung in Städten (vgl. Leitl et al. 2020). Dies hat zur Folge, dass vor allem Ballungsgebiete unter den klimatischen und lufthygienischen Veränderungen leiden. Darüber hinaus wird der Wohnraum immer knapper und die Städte kommen mit dem Bau neuer Wohnungen nicht mehr hinterher. (vgl. Bareiß und Pralle 2020: 396) Neben den städtischen Veränderungsprozessen ändern sich auch die Lebensweisen der Bürger und ihre Visionen vom künftigen Leben in der Stadt (Rubin 2017: 44). So werden städtische Grünflächen für Bürger immer bedeutender. Öffentliche Parkanlagen dienen der Naherholung und bieten viele Möglichkeiten für Jung und Alt. Zudem verbessern sie die Luftqualität und das Stadtklima, dämpfen Lärm und geben Tieren und Pflanzen einen Lebensraum. (vgl. Kümper-Schlake 2016: 107) Der gesellschaftliche und der digitale Wandel bedeuten Veränderungen und beeinflussen die Entwicklung von Städten in hohem Maß. Die Digitalisierung bringt neue Möglichkeiten für Stadt und Bürger mit sich, erfordert jedoch auch Umdenken und entsprechende Ressourcen. (vgl. zur Nedden 2017: 291)

2.1.1 Urbane Herausforderungen

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, stellt die Urbanisierung Städte vor großen Herausforderungen. Städte sind von den Auswirkungen des Klimawandels besonders betroffen und verstärken diesen Effekt zusätzlich. Das steigende Verkehrsaufkommen belastet zunehmend die Umwelt. Städte haben vermehrt mit Luftverschmutzung, CO_2-Emissionen und Straßenlärm zu kämpfen. Um Städte klimafreundlicher zu gestalten und Treibhausgase zu reduzieren, entwickeln immer mehr Städte neue Mobilitätskonzepte, bei denen die Themen Klimaschutz und Nachhaltigkeit im Vordergrund stehen. (vgl. Umweltbundesamt 2020) Darüber hinaus sind der Erhalt von bestehenden und die Entwicklung neuer Grünflächen ein wichtiger Bestandteil der modernen Stadtplanung geworden, um eine nachhaltige Stadtentwicklung zu gewährleisten. (vgl. Arndt et al. 2015: 8)

Der demografische Wandel stellt Städte vor eine weitere Herausforderung. Städte wachsen stetig, während ländliche Regionen schrumpfen. Zudem werden die Menschen immer älter. Der Anteil an älteren Menschen im Gegensatz zu jüngeren steigt. Dies hat zum einen zur Folge, dass der Pflegebedarf für Menschen über 65 Jahre steigt. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass ältere Menschen am Leben in der Gesellschaft teilnehmen. Das bedeutet, dass sie auf verschiedene Angebote und Dienstleistungen angewiesen sind, um die Lebensqualität im Alter zu erhalten. (vgl. Schmid 2019: 32–33)

Die stetig wachsende Stadtbevölkerung bringt einen wachsenden Bedarf an Wohnraum mit sich. Städte sind gezwungen mehr und schneller zu bauen, um der Wohnungsknappheit in Städten entgegenzuwirken. Dies stellt neue Anforderungen an Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Bauvorhaben. (vgl. Bareiß und Pralle 2020: 396) Eine dieser Anforderungen ist beispielsweise der Umgang mit der Ressourcenknappheit. Die Erstellung von Gebäuden bringt einen enormen Energie- und Ressourcenverbrauch mit sich. Natürliche Ressourcen wie Kies und Sand werden knapper. Vor diesem Hintergrund ist es notwendig klima- und ressourcenschonend zu bauen. (vgl. Schmidt 2019)

Auch für die Bürger selbst ist Nachhaltigkeit in ihrer Stadt zu einem bedeutenden Thema geworden. So wollen sie im Rahmen von Bürgerbeteiligungen aktiv in die geplanten Projekte der Stadtplanung und Stadtentwicklung miteinbezogen werden, um die Visionen einer zukünftigen ökologisch nachhaltigen Stadt mitzugestalten. (vgl. Fischer und Neumann 2020)

2.1.2 Digitale Transformation

Der digitale Wandel ist in Städten längst angekommen. Das Modell der Smart City gewinnt zunehmend an Bedeutung und ist für Städte Chance und Herausforderung zugleich. Im Zuge der Digitalisierung wird eine immer größer werdende Menge an Daten produziert. Städte müssen in der Lage sein mit diesen Daten effizient umzugehen und diese zu nutzen, um dem Konzept einer Smart City gerecht zu werden (zur Nedden 2017: 291).

Immer mehr Städte sehen die Notwendigkeit zur Digitalisierung und die Möglichkeit mit ihrer Hilfe innovative Lösungen für urbane Herausforderungen zu schaffen. Städte entwickeln Digitalisierungsstrategien, um eine lebenswerte und damit zukunftsfähige Stadt für ihre Bürger zu werden. So hat bereits jede zweite deutsche Stadt mit mehr als 20.000 Einwohnern ein Konzept für eine Digitalisierungsstrategie entwickelt. Was in der Theorie funktioniert, wird in der Praxis oftmals noch nicht umgesetzt. Denn lediglich weniger als 20 % der Städte verwirklichen ihre Digitalisierungsstrategie. Die Gründe hierfür liegen insbesondere in fehlenden personellen und finanziellen Ressourcen. (vgl. Initiative Stadt.Land.Digital 2020: 8) Während Großstädte wie Hamburg, München oder Köln ihre digitalen Angebote und Dienstleistungen für Bürger und Stadt stetig ausbauen und damit als digitale Spitzenreiter gelten, haben es Kleinstädte oftmals schwerer. Sie können mit dem rasanten Digitalisierungstempo der Großstädte nicht Schritt halten. (vgl. Erb 2020)

Die Corona-Pandemie hat die digitale Transformation in Städten beschleunigt. Der Einsatz digitaler Technologien für Stadt, Bürger und Unternehmen sind wichtiger denn je. Städte haben besonders in der Krisenzeit den Nutzen der Digitalisierung erkannt. Sie sehen sie als Pflichtprogramm an und sind bereit mit der Unterstützung von Bund und Ländern in die Digitalisierung zu investieren. Das öffentliche Leben und die Wirtschaft ist wegen des Corona-Virus stark eingeschränkt. Städte und Gemeinden können jedoch mit effizienten digitalen Lösungen handlungsfähig bleiben. Die Corona-Pandemie hat gezeigt, dass in den meisten Städten digitale Defizite bestehen. (vgl. Bitkom e.V. 2020) Um es mit den Wörtern von Dr. Bernhard Rohleder, Hauptgeschäftsführer des Bitkom, zu sagen: *„Genau jetzt ist der Moment, den Schwung mitzunehmen, weiter Tempo zu machen und alle Städte und Gemeinden in die digitale Welt zu bringen.“* (2020)

2.2 Smart Cities

Mit der Digitalisierung verändern sich nicht nur die Bedingungen, sondern auch die Anforderungen und Bedürfnisse an die Stadtentwicklung und den Städtebau. Die Komplexität von Bauprojekten nimmt zu, Ressourcen werden knapper, Städte werden dichter. Zudem werden Klimaschutz und Nachhaltigkeit immer wichtigere Faktoren. Diese neuen Herausforderungen zwingen den Städtebau und die Stadtentwicklung zum Umdenken. Mit der Digitalisierung stehen ihnen neue Werkzeuge zur Verfügung, um dem neuen Zielbild für eine lebenswerte und nachhaltige Stadt gerecht zu werden. Digitale, städtische Plattformen bilden das Herzstück einer Smart City und ermöglichen neuartige Konzepte der Zusammenarbeit zwischen Stadt, Bürger und Unternehmen. (vgl. Bareiß und Pralle 2020: 396)

2.2.1 Definition

Es existiert bislang keine einheitliche, rechtliche Definition für den Begriff der Smart City. Der Begriff wird auf vielfältige Weise verwendet und unterliegt oftmals persönlichen Interpretationen. Die Ziele einer Smart City sind jedoch einheitlich definiert. Sie soll den Lebensstandard der Stadtbevölkerung durch Vernetzung und Nachhaltigkeit verfolgen und dies mit Hilfe von digitalen Technologien erreichen.

Nach Warnecke et al. (2019: 13–14) sind Smart Cities *„Städte, die in menschliche und soziale Entwicklung sowie innovative Transport- und Kommunikationsinfrastrukturen investieren und somit vordergründliche nachhaltige Ziele verfolgen. Smart Cities zeichnen sich insbesondere durch ihre Infrastruktur im Bereich von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) aus, die als Treiber eines modernen, vernetzten und nachhaltigen Stadtkonzeptes gelten.“* Für Saebisch (2020: 57) bildet das Erheben und Verarbeiten urbaner Daten, die durch Bürger erzeugt werden, die Grundlage einer Smart City. Die gesammelten und ausgewerteten Daten sollen eine Verbesserung und Optimierung der Gesamtprozesse im Rahmen der Stadtplanung und Stadtentwicklung ermöglichen. Für das Technologieunternehmen IBM ist eine Smart City *„an interconnected system of systems. A dynamic work in progress, with progress as its watchword. A tripod [infrastructure, operations, people] that relies on strong support for and among each of its pillars, to become a smarter city for all” (IBM 2015, zitiert nach Müller-Seitz et al. 2016: 4).*

2.2.2 Handlungsfelder

Nach Giffinger et. al umfasst eine Smart City sechs Handlungsfelder. Die Handlungsfelder wurden für europäische Mittelstädte[1] definiert. Diese sind Smart Economy, Smart People, Smart Governance, Smart Mobility, Smart Environment und Smart Living (s. Abbildung 1). Jedem Handlungsfeld sind spezifische Merkmale zugeordnet. Je mehr Merkmale für eine Stadt zutreffen, desto smarter ist sie. (vgl. Giffinger et al. 2007: 12)

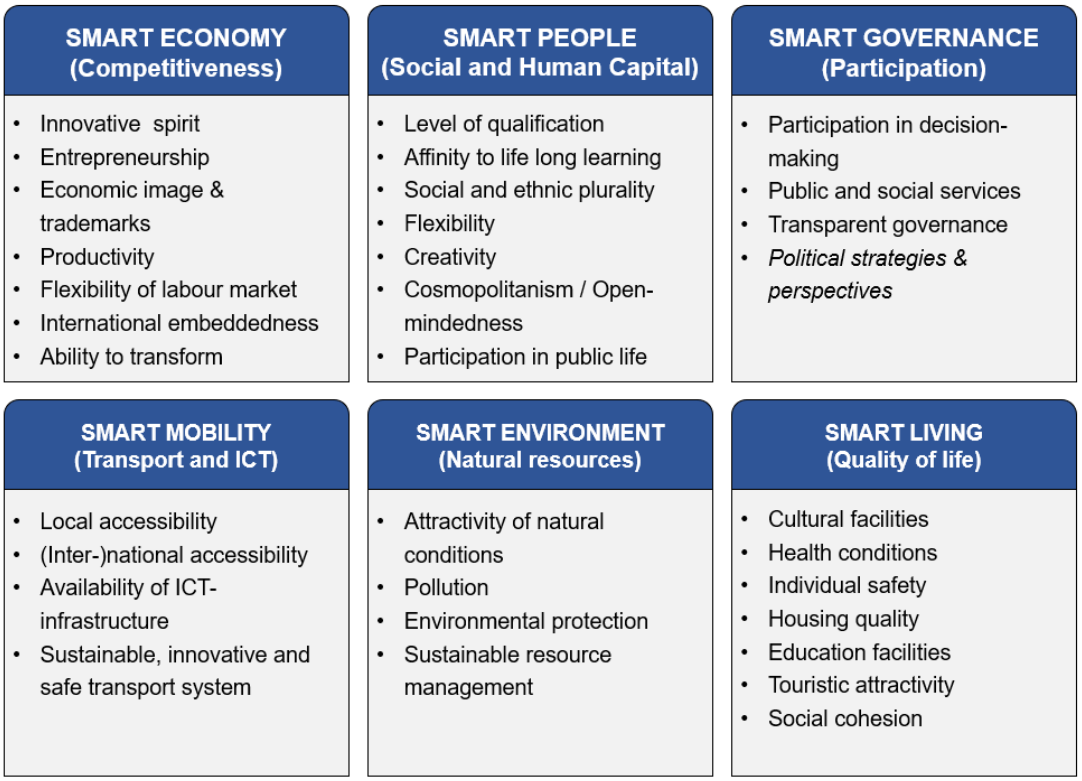

Abbildung 1: Handlungsfelder einer Smart City (in Anlehnung an Giffinger et al. 2007: 12)

Smart Economy (Wettbewerbsfähigkeit)

Das Handlungsfeld Smarte Wirtschaft befasst sich mit der Änderung von Bedürfnissen, Prozessen und Strukturen der Wirtschaft und der Unternehmen, die die Digitalisierung mit sich bringt. Es entstehen neue Geschäftsmodelle und Akteure am Markt. Ziel einer Smart City ist die Steigerung des Wirtschaftswachstums und damit auch den Wohlstand einer Stadt. Smart Economy umfasst Faktoren, die den Erhalt und die Verbesserung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit beeinflussen. Hierzu gehören Innovation, Unternehmertum, wirtschaftliches Image und Markenzeichen, Produktivität, Flexibilität des

[1] Einwohnerzahl zwischen 50.000 und 500.000

Arbeitsmarktes sowie die Integration des (inter-)nationalen Marktes. Intelligente Technologien sind in einer Smart Economy der Schlüssel, um effektive und reaktionsfähige Regierungsmechanismen zu gewährleisten.

Smart People (Sozial- und Humankapital)

Smart People zielt auf eine neue Art und Weise der Kommunikation und Interaktion zwischen Bürgern ab. Die Bürger leben in einer weltoffenen Stadt und nehmen alle gleichberechtigt am gesellschaftlichen Leben teil. Darüber hinaus wird das Handlungsfeld durch das Qualifikations- und Bildungsniveau der Bürger charakterisiert. Bildung, Kreativität und Lernen werden gefördert, indem neue digitale Angebote geschaffen werden, zu denen jeder Zugang erhält.

Smart Governance (Partizipation)

Das Handlungsfeld Smart Governance beschreibt die Interaktion zwischen der Stadt und ihrer Bevölkerung. Durch den Einsatz elektronischer Technologien entsteht ein Electronic-Government (E-Government). Es werden Entscheidungen von Verwaltung und Bürgern gemeinsam getroffen und neue Dienstleistungen für die Bürger geschaffen. Die Stadtpolitik ist bürgernah und transparent.

Smart Mobility (Transport und IKT)

Smart Mobility beinhaltet die Aspekte einer intelligenten Mobilität. Durch den Einsatz von IKT soll ein modernes und nachhaltiges Verkehrssystem geschaffen werden. Mit Hilfe neuer umweltfreundlicher Verkehrsformen wie z. B. Car-Sharing, E-Scooter oder öffentliche Fahrradverleihsysteme sollen CO_2-Emissionen reduziert werden. Somit soll die Stadt für die Bürger weiterhin als attraktiver Lebensort erhalten bleiben.

Smart Environment (Natürliche Ressourcen)

Das Handlungsfeld Smart Environment zielt auf ein nachhaltiges Ressourcenmanagement ab, bei dem der Umweltschutz im Fokus steht. Der Erhalt und Schutz städtischer Grünflächen gewinnt im Zuge des Klimawandels immer mehr an Bedeutung und ist ein zentraler Aspekt einer nachhaltigen Stadtentwicklung. Es werden neue nachhaltige und ressourcenschonende Konzepte sowie digitale Lösungen entwickelt, um die Umweltbelastung zu reduzieren. So können z. B. intelligente Straßenbeleuchtungen, die Licht nur nach Bedarf spenden, den Energieverbrauch senken.

Smart Living (Lebensqualität)

Das Handlungsfeld Smart Living umfasst diejenigen Faktoren, die die Gesundheit und das Wohlbefinden der Gesellschaft betreffen. Hierzu gehören kulturelle Einrichtungen, individuelle Sicherheit, Bildungseinrichtungen, Wohnqualität, touristische Attraktivitäten sowie sozialer Zusammenhalt. Das Handlungsfeld hat zum Ziel das Leben der Bürger mithilfe digitaler Technologien komfortabler und sicherer zu gestalten. Beispiele hierfür sind die mobile Steuerung der Geräte im Haus über das Smartphone oder die digitale Transformation von Dienstleistungen in Bereichen wie Gesundheitswesen, Bildung und Verwaltung.

2.2.3 Reifegradmodell

Ein Reifegradmodell ermöglicht die Klassifizierung von Städten im Hinblick auf die Entwicklung zur Smart City (s. Abbildung 2). Dabei bewertet es die Städte anhand verschiedener Gesichtspunkte wie beispielsweise die Umsetzung einer Digitalisierungsstrategie oder die Nutzung einer Open Data[2] Plattform. Es ist zu erwähnen, dass das betrachtete Reifegradmodell nur eines von vielen ist. Grundsätzlich existieren verschiedene Arten von Reifegradmodellen, mit denen der Grad einer Smart City bewertet werden kann. Das in der Abbildung 2 betrachtete Modell gliedert sich in fünf Entwicklungsstufen.

Level 0 – Keine Smart City

In der ersten Entwicklungsstufe existiert noch keine Smart City, da noch kein Smart City-Konzept vorliegt.

Level 1 – Absprungbasis einer Smart City

In diesem Level wurden bereits städtische Smart City-Voraussetzungen analysiert und ein theoretisches Verständnis für eine Smart City angeeignet. Es wird eine höhere Transparenz städtischer Prozesse, Strukturen und Aktivitäten geschaffen. Ziel ist es eine Smart City-Vision zu entwickeln, die im Einklang mit der Vision einer Stadt ist. Diese enthält jedoch noch keine klare Strategie.

[2] Daten ohne Personenbezug, die für jeden frei zur Verfügung stehen. Sie können nach Belieben genutzt, weiterverarbeitet und veröffentlichen werden, ohne Einschränkungen durch Urheberrechte, Patente o.ä. (vgl. Balbach 2018)

Level 2 – Minimum Smart City

Bei dieser Entwicklungsstufe wurden bereits theoretische und praktische Grundlagen einer Smart City geschaffen sowie wichtige Stakeholder des Smart City-Vorhabens identifiziert und gebunden. Es wird das Ziel verfolgt eine Smart City-Vision mit einer klaren Strategie zu entwickeln und erste Smart City-Pilotprojekte oder -programme zu starten. Smart City-Programme zielen in erster Linie auf eine Verbesserung der städtischen Prozesse und Strukturen sowie einen ökonomischen Ressourceneinsatz ab.

Level 3 – Integrierte Smart City

Auf dieser Stufe wurden bereits diverse Smart City-Programme in mehreren Handlungsfeldern einer Smart City umgesetzt. Zielsetzung ist die Vernetzung der Programme in den Handlungsfeldern sowie das Benchmarking mit vernetzten Smart City-Programmen anderer Smart Cities. Der Smart City-Gedanke festigt sich. Smart City-Konzepte werden umgesetzt und es entstehen Open Data Plattformen.

Level 4 – **Etablierte Smart City**

Bei dieser Entwicklungsstufe ist eine Stadt über alle Handlungsfelder einer Smart City vernetzt. Sie hat zum Ziel neue bedarfsorientierte und intelligent vernetzte Dienstleistungen in den Smart City-Handlungsfeldern zu entwickeln und bereitzustellen. Dadurch entsteht ein stabiles Regulationsmuster, bei dem neue Technologien integriert werden, neue Regeln und Strukturen entstehen und eine Kollaboration aller Stakeholder einer Smart City stattfindet. Darüber hinaus verfügt die Etablierte Smart City über vernetzte Open Data Plattformen.

Level 5 – Lernende Smart City

Die letzte Entwicklungsstufe des Reifegradmodells bildet die Lernende Smart City. Sie ist hochvernetzt und verfügt über endogene und exogene Netzwerke. Ihr Ziel besteht darin auf technologische, wirtschaftliche, kulturelle und soziale Herausforderungen und Veränderungen umgehend zu reagieren. Durch ihre hohe Adaptionsfähigkeit werden neue Smart City-Regulationsmuster entwickelt, die die Wettbewerbsfähigkeit und Attraktivität einer Smart City für alle Akteure steigern. In der Lernenden Smart City ist eine holistische Smart City Plattform etabliert, die mit Plattformen anderer Smart Cities vernetzt ist. (vgl. Jaekel 2015: 163–167)

Reifegradniveau (Entwicklungsstufe)	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Klassifikation	**Keine** Smart City	**Absprungbasis** Smart City	**Minimum** Smart City	**Integrierte** Smart City	**Etablierte** Smart City	**Lernende** Smart City
Ausprägung	Smart City-Konzept unbekannt	Analyse städtischer Smart City-Voraussetzungen Theoretisches Verständnis einer Smart City	Theoretische und praktische Grundlagen der Smart City	Integrierte Smart City-Programme über mehrere Handlungsfelder	Vernetzte Smart City über alle Handlungsfelder	Selbstlernende und adaptionsfähige Smart City mit endogenen und exogenen Netzwerken
Ziel	-	Bestimmung der Smart City- Voraussetzungen einer Stadt Entwicklung einer Smart City-Vision im Einklang mit der Vision einer Stadt	Smart City-Strategie mit Projektplan Wichtigste Akteure (Stakeholder) des Smart City-Vorhaben identifiziert und eingebunden	Vernetzung der Programme in den Handlungsfeldern einer Smart City Benchmarking mit vernetzten Smart City-Programmen anderer Smart Cities	Bedarfsprognosen der Anforderungen von Akteuren einer Smart City und Entwicklung präventiver Services in den Smart City-Handlungsfeldern Benchmarking mit anderen Smart Cities	Hohe Adaptionsfähigkeit der Smart City auf technologische, wirtschaftliche, kulturelle, soziale… Herausforderungen Benchmarking mit anderen Regulationsmustern vernetzter Smart Cities
Ergebis	-	Transparenz über städtische Strukturen, Ressourcen und Prozesse erzeugen Smart City-Vision ohne klare Strategie Kein Business Case	Smart City-Vision mit klarer Strategie und grundlegender Governance-Struktur. Pro-aktive Kollaboration der Akteure einer Smart City Isolierte Smart City-Pilotprojekte oder -Programme Business Case mit RIO-Analysen von Pilotprojekten / -Programmen in Smart City-Handlungsfeldern	Etablierung einer Smart City-Kultur. Effizienzsteigerung beim Ressourceneinsatz durch Vernetzung Erste Open Data Smart City Cloud Computing-Plattformen entstehen Business Case über n-Handlungsfelder einer Smart City	Stabiles Regulationsmuster einer über alle Handlungsfelder vernetzten Smart City Hochvernetzte Apps-Anwendungswelten über vernetzte Open Data Cloud Computing-Plattformen Business Case über alle Handlungsfelder einer Smart City	Neue Smart City-Regulationsmuster zur Erhaltung/Steigeurng der Wettbewerbsfähigkeit und Attraktivität einer Smart City Holistische Smart City Cloud Computing-Plattform vernetzt mit Plattformen andererer Smart Cities Business Case für neue Smart City Regulationsmuster

Abbildung 2: Schematisches Smart City-Reifegradmodell (in Anlehnung an Jaekel 2015: 163)

2.3 Digitale Plattformen

Die Stadt der Zukunft baut auf Daten auf, ist digital und vernetzt. Digitale Plattformen bilden das technische Kernstück einer Smart City. Sie gewinnen in einer digitalen Stadt zunehmend an Einfluss, da sie eine grenzenlose Vernetzung zwischen Bürger, Stadt und Wirtschaft schaffen.

Digitale Plattformen sind in der Lage große Datenmengen in Echtzeit zu erfassen, zu speichern und auszuwerten. Durch die Zusammenführung von Daten auf einer digitalen Plattform entsteht ein ganzheitliches System, das intelligente Stadtlösungen ermöglicht. Es werden neue, datenbasierte Anwendungen erschaffen, die sowohl für Bürger und Unternehmen als auch für die Stadt einen Mehrwert bringen. Urbane Daten bieten somit die Möglichkeit das Leben in der Stadt nachhaltig zu gestalten, die Lebensqualität zu erhöhen und die Daseinsvorsorge zu verbessern. (vgl. BABLE GmbH 2020)

2.3.1 Arten

Für John Hagel, Co-Vorsitzender des Deloitte´s Center for the Edge und Autor, sind digitale Plattformen mehr als nur cloudbasierte Technologien. Für ihn sind sie vielmehr Verwaltungsstrukturen, die dabei helfen können die Aktivitäten einer Vielzahl an Teilnehmern zu steuern. (vgl. Hagel 2015: 4) Sie legen dabei fest „*wer teilnehmen kann, welche Rolle er spielen darf, wie er interagieren darf und wie Konflikte gelöst werden" (Hagel 2015: 4).* Darüber hinaus bestehen sie aus *„einem zusätzlichen Satz an Protokollen und Standards, die Verbindung, Koordination und Zusammenarbeit der Teilnehmer erleichtern" (Hagel 2015: 4).* Nach Hagel lassen sich Plattformen in vier Kategorien unterteilen. Jede Plattform bietet hierbei verschiedene Anwendungs- und Nutzungsmöglichkeiten.

Aggregationsplattformen

Bei der ersten Kategorie handelt es sich um Aggregationsplattformen. Hierbei werden unterschiedliche Nutzergruppen auf einer Plattform zusammengeführt, um kurzfristige Transaktionen durchzuführen. Bei diesen Plattformen kann es sich um Daten- oder Informationsaggregationsplattformen, Markt- und Vermittlungsplattformen oder Wettbewerbsplattformen handeln. Beispiele für Daten- und Informationsaggregationsplattformen sind wissenschaftliche Datenbanken, die Nutzern elektronische Ressourcen wie z. B. Fachartikel oder E-Books zur Verfügung stellen. Markt- und Vermittlungsplattformen, wie z. B. eBay oder Airbnb, sind Plattformen, auf denen Händler ihre Produkte

anbieten und Kunden diese orts- und zeitunabhängig erwerben können. Wettbewerbsplattformen, wie InnoCentive oder Kaggle, sind Plattformen, auf denen Nutzer ihre Fähigkeiten in diversen Wettbewerben unter Beweis stellen und damit Preise gewinnen können.

Soziale Plattformen

Die zweite Kategorie bilden Soziale Plattformen. Auch hier liegt der Fokus, wie bei Aggregationsplattformen, auf der Zusammenführung von Teilnehmern. Die Plattformen, wie beispielsweise Facebook oder Instagram, ermöglichen soziale langfristige Interaktionen zwischen den Nutzern.

Aggregations- und Soziale Plattform stellen heutzutage die gängigsten Arten von Plattformen dar. Laut Hagel existieren jedoch noch zwei weitere Plattformarten, die weitaus mehr Potenzial bieten, um die sich ändernden Bedürfnisse im digitalen Zeitalter zu erfüllen. (vgl. Hagel 2015: 6)

Mobilisierungsplattformen

Die dritte Kategorie sind Mobilisierungsplattformen, die in der Praxis jedoch eher selten zu finden sind. Die Plattformen haben zum Ziel möglichst viele Teilnehmer zu mobilisieren, um gemeinsam zu handeln. Unterschiedlichste Teilnehmer kommen auf dieser Plattform zusammen und entwickeln zusammen ein Ergebnis bzw. Produkt. Der Fokus der Plattform liegt hierbei nicht auf einer kurzfristigen Transaktion, sondern auf dem Aufbau und Förderung langfristiger Beziehungen. Ein klassisches Beispiel für solch eine Plattform ist Wikipedia. Unterschiedlichste Teilnehmer erstellen auf der Plattform eine gemeinsame Enzyklopädie. (vgl. Hagel 2015: 7)

Hagel (2021) sieht in den Mobilisierungsplattformen bisher ungenutztes Potenzial bei der Entwicklung und Verwaltung neuer Infrastrukturen. Es können Mobilisierungsplattformen geschaffen werden, auf denen Teilnehmern aus einer Vielzahl unabhängiger Organisationen zusammenkommen, um gemeinsam neue Infrastrukturen zu entwickeln, einzusetzen, zu verwalten und weiterzuentwickeln.

Abbildung 3 zeigt die drei Arten von Plattformen, die Transaktion, Interaktion und Mobilisierung ermöglichen.

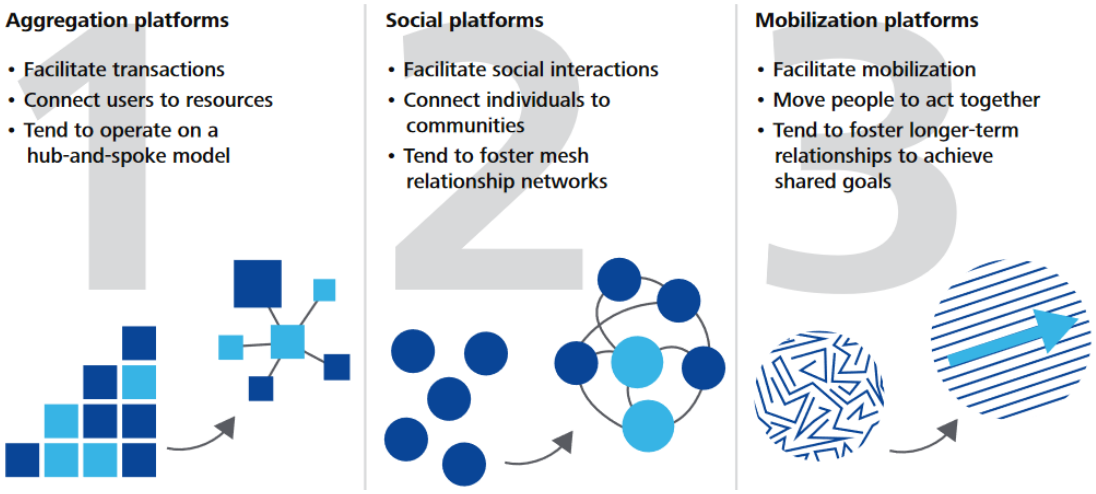

Abbildung 3: Drei gängige Plattformtypen, die Transaktionen, Interaktionen und Mobilisierung erleichtern (Hagel 2015: 7)

Lernplattformen

Die vierte und für Hagel (2015: 9) die wertvollste Kategorie sind sogenannte Lernplattformen (s. Abbildung 4). Sie befinden sich noch ein einer frühen Phase der Entwicklung, besitzen für ihn jedoch das größte Potenzial. Auf einer Lernplattform kommen unterschiedlichste Teilnehmer zusammen, um voneinander zu lernen, zusammen zu arbeiten und Herausforderungen gemeinsam anzugehen. Lernplattformen bieten Teilnehmern die Möglichkeit ihr bestehendes Wissen zu erweitern und neues Wissen zu erlangen. Für Hagel liegt die Quelle des Erfolgs in der Schaffung von neuem Wissen, um in einer Welt, die sich rasend schnell verändert, überleben zu können.

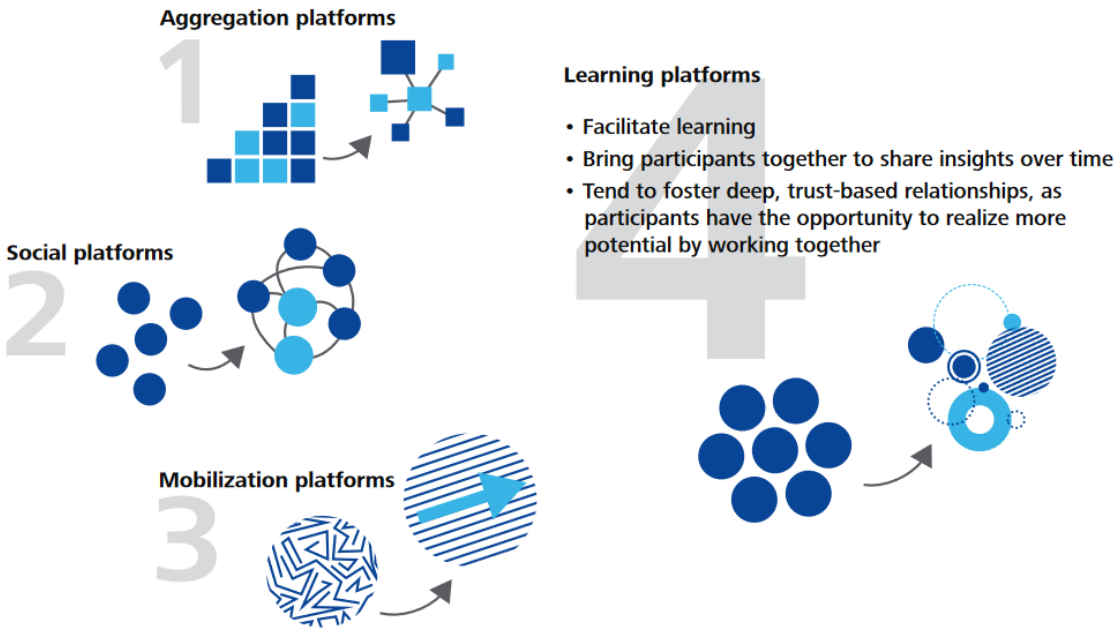

Abbildung 4: Lernplattformen, die Teilnehmer zusammenbringen, um neues Wissen zu erlangen (Hagel 2015: 9)

Bisher existieren in der Praxis nur wenige solcher Lernplattformen. In den Bereichen des Online-Gamings und der Musik haben sich jedoch bereits einige solcher Plattformen etabliert. Ein Beispiel hierfür ist das Online-Spiel „World of Warcraft“, bei dem die Teilnehmer lernen Herausforderungen in verschiedenen Situationen zu meistern und ihre Fähigkeiten zu verbessern. (vgl. Hagel 2015: 9)

Grundsätzliche können sich alle drei Plattformtypen zu Lernplattformen weiterentwickeln. Besonders Mobilisierungsplattformen besitzen für Hagel (2021) das größte Potenzial hierfür. Heutige Mobilisierungsplattformen sind lediglich darauf ausgerichtet vorhandenes Wissen zusammenzubringen und zu teilen. Sie zielen bisher nicht darauf ab neues Wissen zu erlangen.

Für Hagel (2021) besteht das Konzept einer Lernplattform aus dem Erschaffen gemeinsamer Arbeitsbereiche. Hierbei kommen Gruppen aus drei bis fünfzehn Personen zusammen und vernetzen sich, um gemeinsam schneller zu lernen. Sie diskutieren, stellen Fragen, tauschen sich über neue Erkenntnisse aus, geben sich gegenseitig Tipps und holen Ratschläge ein. Das neu erworbene Wissen ermöglicht es, auf ein sich schnell wandelndes Umfeld agiler reagieren zu können.

Eine solche Lernplattform bietet vor allem im Bereich der Smart City viele Vorteile. Eine Smart City basiert auf Datensätzen und erschließt damit neue Anwendungsfelder in einer Stadt. Mit der Verarbeitung und Verknüpfung der Daten entstehen neue Erkenntnisse, mit denen sich eine Smart City stetig weiterentwickelt. Es entsteht ein fortlaufender Lernprozess. Lernplattformen könnten für Städte den Erfahrungs- und Wissenstransfer sowohl auf kommunaler als auch auf (inter-)nationaler Ebene unterstützen und einen gemeinsamen Austausch ermöglichen.

2.3.2 Smart City-Datenplattformen

In einer Smart City bilden IKT-Plattformen die Grundlage für zahlreiche Smart City-Anwendungen. Abbildung 5 zeigt die schematische Darstellung von Smart City-Komponenten. Hierbei werden Daten von Sensoren gesammelt, die einen gesamtheitlichen Überblick über den Zustand der Stadt liefern. So können beispielsweise Daten zu Verkehr, Müll oder Umwelt gesammelt werden. Neben den Sensoren kommen auch Aktoren zum Einsatz, die bestimmte Befehle erhalten und entsprechend reagieren, wie z. B. das Umschalten einer Ampel. Die Sensoren kommunizieren über verschiedene drahtlose Zugangsnetze, die wiederrum zu den IKT-Plattformen weitergeleitet werden.

Hierbei lässt sich zwischen Internet of Things[3] (IoT)-Plattformen und Datenplattformen unterscheiden. IoT-Plattformen verwalten die verteilten Sensoren. Datenplattformen sind für das Zusammenführen und Kombinieren von Daten aus mehreren unterschiedlichen Quellen zuständig, sodass datenbasierte Smart City-Anwendungen geschaffen werden können. Durch die Analyse und Visualisierung der verarbeiteten Datenmengen können Abweichungen von Normwerten und Standardprozessen frühzeitig erkannt und ihnen rechtzeitig gegengesteuert werden. Die Auswertung der Daten ermöglicht datenbasierte Entscheidungen und Empfehlungen für die Zukunft sowie automatisierte Prozesse, um Strukturen und Abläufe zu optimieren. Darüber hinaus können die Daten für Apps sowohl von der Stadt als auch von Dritten genutzt werden. Hierbei kann es sich um kommerzielle und nicht-kommerzielle Apps handeln, die dem Bürger als Alltagshilfe dienen sollen. (vgl. Baumgarten et al. 2020: 5–6)

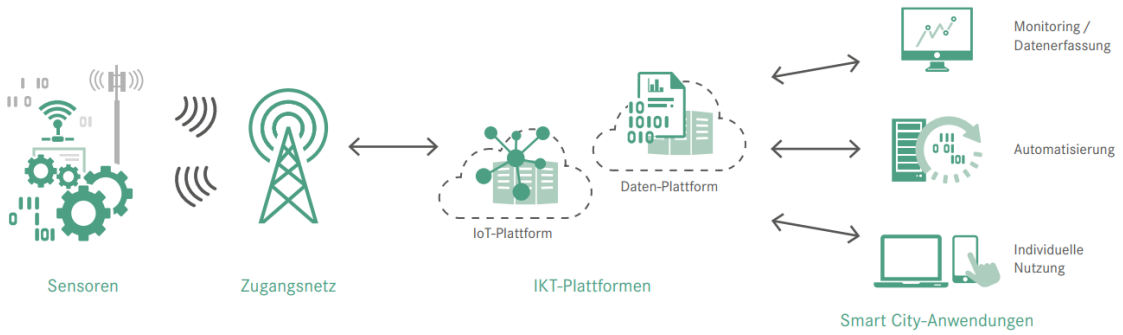

Abbildung 5: Schematische Darstellung von Smart City-Komponenten (Baumgarten et al. 2020: 5)

Im Zuge der digitalen Transformation wird der Bedarf an Offenen Urbanen Plattformen (OUP) für Städte immer größer. Die Plattform ermöglicht das Bereitstellen und die gemeinsame Nutzung urbaner Daten und Informationen aus unterschiedlichsten städtischen Bereichen und ist für Stadt, Bürger und Wirtschaft leicht zugänglich. Im Jahr 2017 hat das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN) die „DIN SPEC 91357 – Referenzarchitekturmodell OUP“ für Smart Cities verabschiedet. Die DIN schafft damit ein standardisiertes Rahmenwerk. Sie beschreibt ein Referenzarchitekturmodell einer OUP, das offene Standards und Schnittstellen verwendet, um Kompatibilität und Interoperabilität mit anderen Systemen und anderen städtischen Plattformen zu gewährleisten. Die DIN sieht eine OUP als eine neue digitale urbane Infrastruktur, die die Umsetzung der übergreifenden Smart City-Strategie erleichtert, um die strategischen Ziele zu unterstützen.

[3] Physische Objekte, die über Sensoren mit dem Internet vernetzt sind und über den Austausch von Daten miteinander kommunizieren (vgl. Kaspersky Labs GmbH 2021)

Hierbei handelt es sich z. B. um Klimaschutzziele, die Steigerung der Energieeffizienz, die Reduzierung von Verkehrsstaus und Emissionen oder die Schaffung von (digitalen) Innovationsökosystemen für Wachstum und Wohlstand der Gemeinschaft.
Durch das Sammeln und Verarbeiten digitaler Daten und Informationen ist es möglich ein virtuelles dreidimensionales Abbild einer Stadt zu erschaffen. Grundlage für das Erstellen eines solchen digitalen 3D-Stadtmodells bilden geographische Informationssysteme (GIS). Das 3D-Modell wird auf einer webbasierten Plattform bereitgestellt und dient als Integrations- und Informationsplattform für sämtliche Akteure einer Stadt. (vgl. Schneider 2021)

Digitaler Stadtzwilling

Während das 3D-Stadtmodell lediglich eine dreidimensionale visuelle Kopie von Gebäuden, Straßen und Bäumen ist, ist der digitale Zwilling viel mehr als das. Durch einen permanenten Informations- und Datenaustausch und die Integration von GIS- und BIM-Daten enthält der digitale Zwilling Eigenschaften und Funktionen von seinem realen Gegenstück. Durch Echtzeit-Sensordaten oder Daten aus der Vergangenheit steht der digitale Zwilling mit der realen Welt in Verbindung. (vgl. Trometer 2020)
Kuhn (2017: 440) definiert digitale Zwillinge als *„digitale Repräsentanzen von Dingen aus der realen Welt. Sie beschreiben sowohl physische Objekte als auch nicht physische Dinge wie z. B. Dienste, indem sie alle relevanten Informationen und Dienste mithilfe einer einheitlichen Schnittstelle zur Verfügung stellen. Für den digitalen Zwilling ist es dabei unerheblich, ob das Gegenstück in der realen Welt schon existiert oder erst existieren wird.“*
Der digitale Stadtzwilling besitzt im Wesentlichen vier Merkmale:

- Sensoren zur aktuellen Zustandsüberwachung
- Konnektivität, die den physischen und den virtuellen Zwilling vernetzt
- Definierte Datenstrukturen für die Verwaltung der Daten als Einheit
- Eine geeignete Benutzeroberfläche, auf der zeitliche und räume Daten visualisiert werden (vgl. Esser et al. 2017: 5)

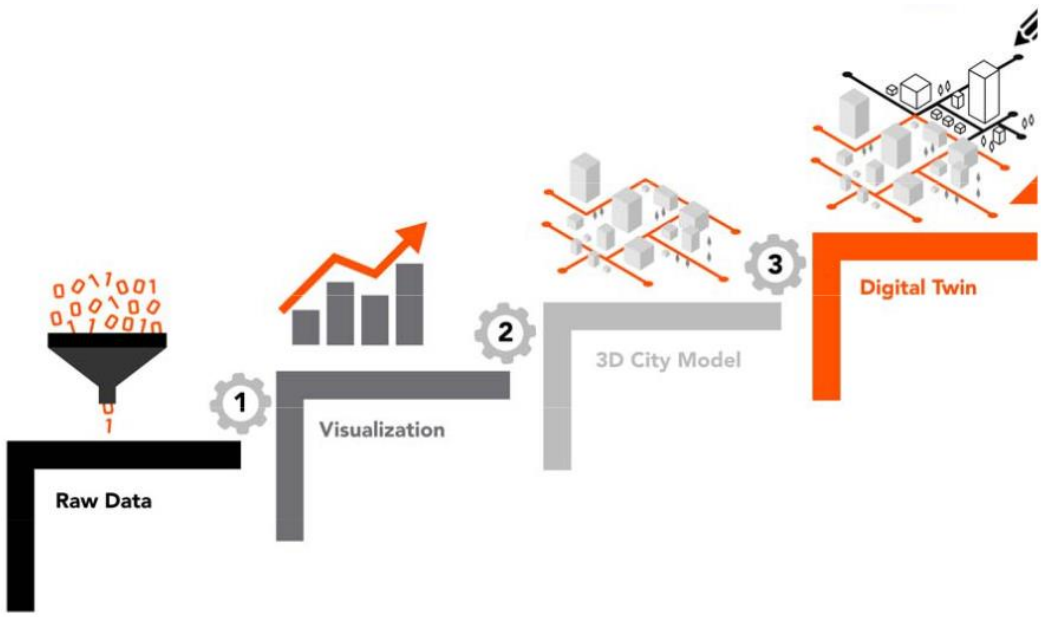

Abbildung 6: Datenanforderungen eines digitalen Zwillings (Ruohomaki et al. 2018: 157)

Der digitale Zwilling ist, im Gegensatz zu reinen 3D-Modellen, auf eine hohe Datenanforderung und -qualität angewiesen (s. Abbildung 6). Für die Erstellung eines digitalen Zwillings werden im ersten Schritt Rohdaten gesammelt und gespeichert. Hierbei handelt es sich um Geodaten[4], die z. B. durch 3D-Laserscanning oder Photogrammmetrie erfasst und aufgemessen werden. Die Erfassung und Bereitstellung dieser Daten erfolgt sowohl von den unterschiedlichen Fachbereichen der öffentlichen Verwaltung als auch von privaten Unternehmen. Die realen Daten werden in einem virtuellen 3D-Modell visualisiert. Durch den Austausch und die Integration von GIS- und BIM-Daten entsteht der digitale Zwilling.

Für eine Smart City stellt der digitale Zwilling ein zentrales Instrument für eine moderne Stadtplanung und -entwicklung dar. Der digitale Zwilling ist eine digitale kollaborative Plattform, die durch die Vernetzung raumbezogener Daten interaktives Planen, Analysieren und Simulieren ermöglicht und damit neue Lösungsansätze für urbane Herausforderung bietet. (vgl. Trometer 2020)

[4] Digitale Informationen über ein physisches Objekt, dessen räumliche Lage und andere Eigenschaften in einem geographischen Koordinatensystem durch numerische Werte dargestellt werden kann (TechTarget Germany GmbH 2016)

Nach dem CityGML[5]-Konzept können digitale 3D-Modelle grundsätzlich in unterschiedlichen Informationsgehalten und Detaillierungsgraden, den sogenannten „Level of Detail“ (LOD) dargestellt werden (s. Abbildung 7). Insgesamt existieren fünf LOD, wobei LOD 0 den abstraktesten und LOD 4 den detailliertesten Grad darstellt. (vgl. Biljecki et al. 2016)

Abbildung 7: Die fünf LODs eins digitalen 3D-Modells (Biljecki et al. 2016)

LOD 0 ist die 2D-Darstellung eines Gebäudes und beschreibt dessen Grundfläche. LOD 1 wird als Block- oder Klötzchenmodell mit einem Flachdach dargestellt. LOD 2 ist ein Gebäudemodell, das eine vereinfachte Dachform enthält. LOD 3 repräsentiert ein detailliertes Gebäudemodell mit diverseren Dachformen, Fenstern und Türen. In LOD 4 wird das LOD 3 durch die Darstellung innerer Strukturen erweitert. (vgl. Biljecki et al. 2016)

Die verschiedenen LODs ermöglichen eine horizontale Skalierbarkeit, sodass zahlreiche Anwendungen in dem Modell möglich sind. So eignen sich beispielsweise LOD 1-Modelle für eine Feinstaubmodellierung, während LOD 2-Modelle mit ihrer integrierten Dachform für Solarpotenzialberechnungen verwendet werden können. Da LOD 3-Modelle Öffnungen wie Fenster und Türen besitzen, können diese Modelle für Energieanalysen eingesetzt werden. LOD 4-Modelle eignen sich für Innenraumanwendungen und finden im Facility Management Anwendung. (vgl. Löwner und Gröger 2017)

[5] offenes, standardisiertes Anwendungsschema zur Speicherung und zum Austausch digitaler 3D-Modelle (vgl. Löwner und Gröger 2017)

2.4 Die smartesten Städte

Weltweit verteidigt der Stadtstaat Singapur den Titel der smartesten Stadt. In Europa gelten Kopenhagen, Wien, Zürich und Barcelona als die smartesten Städte. (vgl. Günthner et al. 2017: 18) In Deutschland verteidigt Hamburg schon seit langem den Titel als smarteste Stadt, dicht gefolgt von München und Köln (vgl. Bitkom e.V. 2019). Doch was macht diese Städte so smart?

Singapur

Singapur, als einer der am dichtest besiedelten Länder der Welt, nimmt eine zentrale Vorreiterrolle zum Thema Smart City ein. Sie verfolgen das Ziel sich als digitales Innovationszentrum stetig weiterzuentwickeln, um die Lebensqualität ihrer Bewohner zu erhöhen. Sie wollen ihren Bürgern mit digitalen Lösungen höchsten Komfort und Schutz bieten. Mit fortlaufenden Investitionen in Smart City-Projekte wird Singapur zum Vorreiter in den Bereichen Mobilität, Gesundheit und öffentliche Sicherheit. (vgl. Gautam 2020)

Singapur hat ein intelligentes und vernetztes Verkehrssystem entwickelt, um den Verkehr und Umweltbelastungen zu reduzieren und Verkehrsströme zu optimieren. Mit Sensoren und Kameras, die in der gesamten Stadt verteilt sind, werden Echtzeitdaten zum aktuellen Verkehrsaufkommen gesammelt und ausgewertet. Mit einer angepassten Ampelschaltung und einem Mautsystem, bei dem die Gebühren je nach Tageszeit und Verkehrsaufkommen variieren, kann der Verkehr entlastet und Staus verhindert werden. (vgl. Thales Group 2020) Darüber hinaus hat Singapur eine Auto-Obergrenze von 600.000 eingeführt. Das bedeutet, dass die Verkehrsbehörde ab 600.000 Autos keine weiteren privaten Neuzulassungen mehr zulässt. (vgl. Perras 2018) Singapur hat jedoch seinen Nahverkehr so gut ausgebaut, dass das Auto als Transportmittel nicht mehr benötigt wird. Mit der Einführung von autonomen Bussen und U-Bahnen, E-Scootern, Car- und Bikesharing hat Singapur urbane Mobilitätslösungen geschaffen. (vgl. Gautam 2020)

Singapur will mit daten- und technologiegetriebenen Initiativen eine nachhaltige Urbanisierung schaffen. Mit einer flächendeckenden Videoüberwachung und dem Einbau von Sensoren in 110.000 Laternenmasten werden Daten zu Verkehr, Umwelt, Wetter, Gesundheit, Wirtschaft etc. gesammelt und analysiert. Die Daten werden auf der „Smart National Sensor Platform“ öffentlich zur Verfügung gestellt. Die Datenplattform soll

städtische Dienstleistungen und Sicherheit verbessern und der Bevölkerung als Entscheidungsgrundlage für ein besseres Leben dienen. (vgl. Government Technology Agency of Singapore 2021) Neben dieser Plattform entwickelte Singapur die dynamische kollaborative Datenplattform „Virtual Singapore“, die die Stadt als virtuelles 3D-Modell darstellt. Plattformnutzer können sich frei in der virtuellen Stadt bewegen und erhalten zu jedem Objekt detaillierte Informationen wie z. B. Art und Größe des Gebäudes. Darüber hinaus ermöglicht der digitale Zwilling eine nachhaltige Planung über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Zudem kann das extrem detaillierte und semantische Modell für virtuelle Experimente wie beispielsweise Strömungs- oder Erdbeben-Simulationen genutzt werden. Singapur sieht keine Grenze für die Plattform. Der Stadtstaat verfolgt das Ziel stetig neue Lösungen für komplexe urbane Herausforderungen zu entwickeln. (vgl. Government Technology Agency of Singapore 2017)

Zürich

Die Stadt Zürich setzt im Rahmen ihres Smart City-Konzepts auf Innovationsförderung, eine nachhaltige Entwicklung und eine hohe Lebensqualität. Die Stadt ist der Meinung, dass ein vernetztes E-Government die Grundlage einer Smart City bildet. Aus diesem Grund setzt Zürich ihre Schwerpunkte auf die Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung. Mit der App „Mein Konto“ wurde bereits ein zentraler Zugang zu den Online-Dienstleistungen der Stadt entwickelt, die die Kommunikation und Interaktion zwischen Bürgern, Unternehmen und Stadt optimieren soll. Die Stadt fördert eine offene Dateninfrastruktur und stellt Daten aller Verwaltungsebenen auf einer zentralen Plattform frei zu Verfügung. Die Datenbestände werden stetig aktualisiert und erhöht. Darüber hinaus zielt die Stadt auf die Förderung innovativer Ideen innerhalb der Stadtverwaltung ab. Beispiel hierfür ist das Intrapreneurship-Programm „StadtBox“, welches Mitarbeiter der Stadtverwaltung dazu auffordert ihre eigenen Ideen und Verbesserungsvorschläge für eine smartere Verwaltung einzureichen. Die Mitarbeiter mit den besten Ideen erhalten 70 Stunde freie Arbeitszeit und ein Budget von 1000 Schweizer Franken, um ihre Idee umzusetzen. Mit dem „Smart City Lab“ wurde ein kreativer Arbeitsort geschaffen. Sowohl interne Fachleute aus der Stadtverwaltung als auch externe von Hochschulen oder Unternehmen kommen an diesem Ort zusammen, um gemeinsam an neuen Smart City-Projekten zu arbeiten.

Für die Stadt Zürich hat eine ressourcenschonende und nachhaltige Stadtentwicklung oberste Priorität. Bei der Errichtung und Sanierung von Gebäuden steht die Gesamtenergiebilanz im Fokus. Mit der Entwicklung eines digitalen Stadtzwilling hat Zürich eine Plattform geschaffen, auf der zukünftig geplante Bauprojekte und städtebauliche Szenarien simuliert werden. Für Hauseigentümer wurde die Informationsplattform „EnerGIS“ als Smart City-Pilotprojekt geschaffen, die Eigentümer bei der Umstellung fossiler Brennstoffe auf erneuerbare Energien unterstützt. Die Plattform basiert auf einem GIS, das Energie- und Gebäudedaten städtischer Energieversorger und kommunaler Energieplanung miteinander verknüpft. Eigentümer können sich auf der Plattform darüber informieren, welche regenerativen Energiequellen sie in ihrer Umgebung nutzen können und wie der Umstieg reibungsfrei funktioniert. Die Stadt Zürich unterscheidet bei der Verwendung der Energieplattform zwischen verschiedenen Nutzerkreisen. So können Bürger bei der „EnerGIS Public-Version“ die Plattform als Informationsplattform öffentlich zugänglich nutzen. Auf die „EnerGIS Pro-Version“ hingegen kann aus Datenschutzgründen lediglich ein beschränkter Nutzerkreis zugreifen. Hier zugehören Energieplaner, -berater und -versorger. Detaillierte Energiedaten können gebäudespezifisch abgerufen werden und dienen als Planungs- und Entscheidungsgrundlage.
Die Stadt Zürich verfolgt das Ziel einer modernen und nachhaltigen Mobilität. Zürich besitzt ein breites Angebot an Fahrradverleih- und Carsharingsystemen und möchte den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) durch autonome Fahrzeuge ergänzen. Bis zum Jahr 2030 soll der ÖPNV vollständig elektrifiziert werden. Die Mobilitätsplattform „ZüriMobil“ ermöglicht den Zugang zu digitalen Mobilitätsangeboten und damit ein verkehrsmittelübergreifendes Reisen. (vgl. Stadt Zürich 2021)

Hamburg

Die Hansestadt möchte mit technischen Innovationen die Lebensqualität der Bürger erhöhen, den Ressourcenverbrauch reduzieren und Umweltbelastungen minimieren. Mit der „Urban Data Platform Hamburg“ legte die Stadt im Jahr 2013 den Grundstein für eine Smart City. Auf der Plattform befinden sich eine Vielzahl an Daten aus den Bereichen Umwelt, Verkehr, Bauwesen, Wirtschaft und Soziales. Die standardisierte Datenintegration führt zu einer besseren Vernetzung mit den Schnittstellen. Der Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg hat auf Grundlage der urbanen Datenplattform das webbasierte Kartenportal „Geo-Online“ entwickelt. Das Portal gibt u. a. Informationen zur aktuellen Verkehrslage und Bebauungsplänen, zeigt Ladestationen für

Elektroautos an und prüft deren aktuelle Belegung. Eine weitere integrierte Anwendung bildet das Digitale Partizipationssystem „DIPAS“, das eine neue Form der Bürgerbeteiligung ermöglicht. Auf der Plattform können die Bürger digitale Karten, Geodaten, 3D-Modelle, Pläne und Luftbilder der Stadt abrufen und sich über aktuelle Planungsvorhaben informieren. Zudem können sie Bedenken zu Planungsvorhaben äußern oder Anregungen geben. Mit dem Einbau von über 2000 Wärmebildkameras an Ampeln werden Echtzeitdaten des Verkehrs gesammelt und auf der Urban Data Platform bereitgestellt. Dies ermöglicht eine zielgenaue Erfassung der Verkehrsmenge, eine optimalere Planung der Straßenführung sowie eine vorteilhaftere Koordination von Baustellen.

Den Hamburger Bürgern und Touristen stehen eine Vielzahl an Mobilitätsangeboten zur Verfügung. Diverse Carsharing-, Ridesharing und Bikesharing-Dienste bieten überwiegend umweltfreundliche Elektrofahrzeuge an. Zudem fahren bereits 50 emissionsfreie Busse in Hamburg. Ab diesem Jahr soll der ÖPNV durch autonome Shuttlebusse ergänzt werden. Bereits im Jahr 2019 startete mit den autonom fahrenden Kleinbussen eine Testphase auf einer rund 2 km langen Strecke in der HafenCity.

Mit der App „hvv switchh“ wurde eine Plattform geschaffen, die einen nahtlosen Umstieg zwischen den einzelnen Verkehrsmitteln gewährleistet. Über die App können Tickets gekauft und Sharing-Dienste gebucht und bezahlt werden.

Im Rahmen des EU-Projekts „mySMARTLife“ werden Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Stadt entwickelt. So werden beispielsweise im Stadtteil Bergedorf Gebäude energetisch saniert. Gleichzeitig entstehen rund 1.500 neue Wohneinheiten. Der Energieverbrauch der Gebäude wird durch den Einbau von intelligenten Stromzählern und Smart-Home-Funktionen digital erfasst und kann so effizient gesteuert werden. (vgl. Stadt Hamburg 2021)

2.5 Stadt Konstanz

Die Stadt Konstanz ist die größte Stadt am Bodensee und erfreut sich wachsender Beliebtheit. Konstanz beherbergt 85.000 Einwohner, davon 17.000 Studierende. Als bedeutender Wirtschaftsstandort zählt Konstanz 4000 Betriebe. Hinzu kommen rund 7 Millionen Tagesgäste. Eine herrliche Uferpromenade, eine historische Altstadt, eine exzellente Uni und Hochschule, eine aktive Wirtschaft und die Nähe zu den Bergen – Konstanz lebt von seiner Attraktivität. Wegen der hohen Attraktivität stößt die Stadt jedoch an ihre räumlichen Grenzen. Konstanz hat bereits seit Jahren mit knappem Wohnraum und einem erhöhten Verkehrsaufkommen zu kämpfen. Überfüllte Straßen und Staus stehen, vor allem an den Wochenenden und Feiertagen, auf der Tagesordnung. Die Zahl der Baustellen steigt. Grün- und Freiflächen werden immer weniger. Um sich den Herausforderungen zu stellen und die Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, hat die Stadt Konstanz die Notwendigkeit zur Digitalisierung erkannt. Mit der Entwicklung und Umsetzung einer Digitalisierungsstrategie sollen innovative, digitale Lösungen geschaffen werden, um zukünftige Aufgaben zu unterstützen. (vgl. Marketing und Tourismus Konstanz GmbH 2021)

2.5.1 Status Quo

Die Stadt Konstanz zählt zu den 50 smartesten Städten in Deutschland. Zu diesem Ergebnis kam der Digitalverband Bitkom. In Kooperation mit dem Frauenhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering sowie weiteren Partnern untersuchten sie in ihrer Studie „Smart-City-Atlas“ den Digitalisierungsgrad deutscher Städte. Es wurden vorab bestimmte Kriterien festgelegt, anhand derer eine Entscheidung getroffen wurde. Die Schwerpunkte wurden hierbei auf die digitale Agenda und die Organisationsstrukturen der Städte sowie auf die lokalen Partnernetzwerke in den Städten gesetzt. Der Studienbericht gibt einen umfassenden Überblick über die Entwicklung und Umsetzung der Digitalisierungsstrategien der einzelnen Städte sowie entsprechende Projektbeispiele. Zudem wurde die Einbindung von Bürgern und diversen Partnern im Prozess der Digitalisierung berücksichtigt (vgl. Bitkom e.V. 2019: 9)

Die Stadt Konstanz hat den Megatrend der Digitalisierung erkannt. Um sich dem digitalen Wandel anzupassen und aktiv mitzugestalten, hat die Stadt Konstanz im Jahr 2018 ein neue Koordinierungsstelle im Referat des Oberbürgermeisters geschaffen. Die Koordinierungsstelle „Digitalisierung“ ist für die Konzipierung und Steuerung verwaltungsinterner und -externer Digitalisierung zuständig. (vgl. Bitkom e.V. 2019: 104)

Darüber hinaus wurde aus 23 Ämtern und Bereichen der Stadtverwaltung je einen Mitarbeiter ausgewählt, der die Rolle des „Digitalen Lotsen“ übernimmt. Die Digitalen Lotsen gestalten Digitalisierungsprojekte mit und bringen Vorschläge und Ideen zur Umsetzung der Digitalisierung in ihren Ämtern. Zudem fungieren sie als Multiplikator und informieren ihre Mitarbeiter über aktuelle Projekte und Aktivitäten rund um das Thema der Digitalisierung. (vgl. Stadt Konstanz 2021a)

Die Stadt Konstanz möchte die Digitalisierung zukünftig in fünf Handlungsfeldern erreichen (s. Abbildung 8). In den Handlungsfeldern **Smartes Leben, Smarte Mobilität, Smarte Wirtschaft, Smarte Verwaltung** und **Smarte Stadt** sollen mit Hilfe digitaler Technologien nutzerorientierte Lösungen entstehen. (vgl. City & Bits GmbH 2021: 4) Die Stadt Konstanz entwickelte hierzu die „Smart Green City Strategie“, die die strategische Zielrichtung der Digitalisierung beinhaltet. Die Digitalisierungsstrategie hat zum Ziel die Stadtentwicklung nachhaltig zu gestalten, Ressourcen effizient einzusetzen und Klimaneutralität zu erreichen. Die Umsetzung der Strategie erfolgt mit Hilfe der Digitalen Agenda 1.0, die sich aus der Smart Green City Strategie ableitet. Im Januar 2021 gab die Stadt bekannt, die Digitale Agenda 1.0 im April/Mai 2021 zu erarbeiten und im November/Dezember 2021 im Gemeinderat zu präsentieren. (vgl. Stadt Konstanz 2020: 5–6)

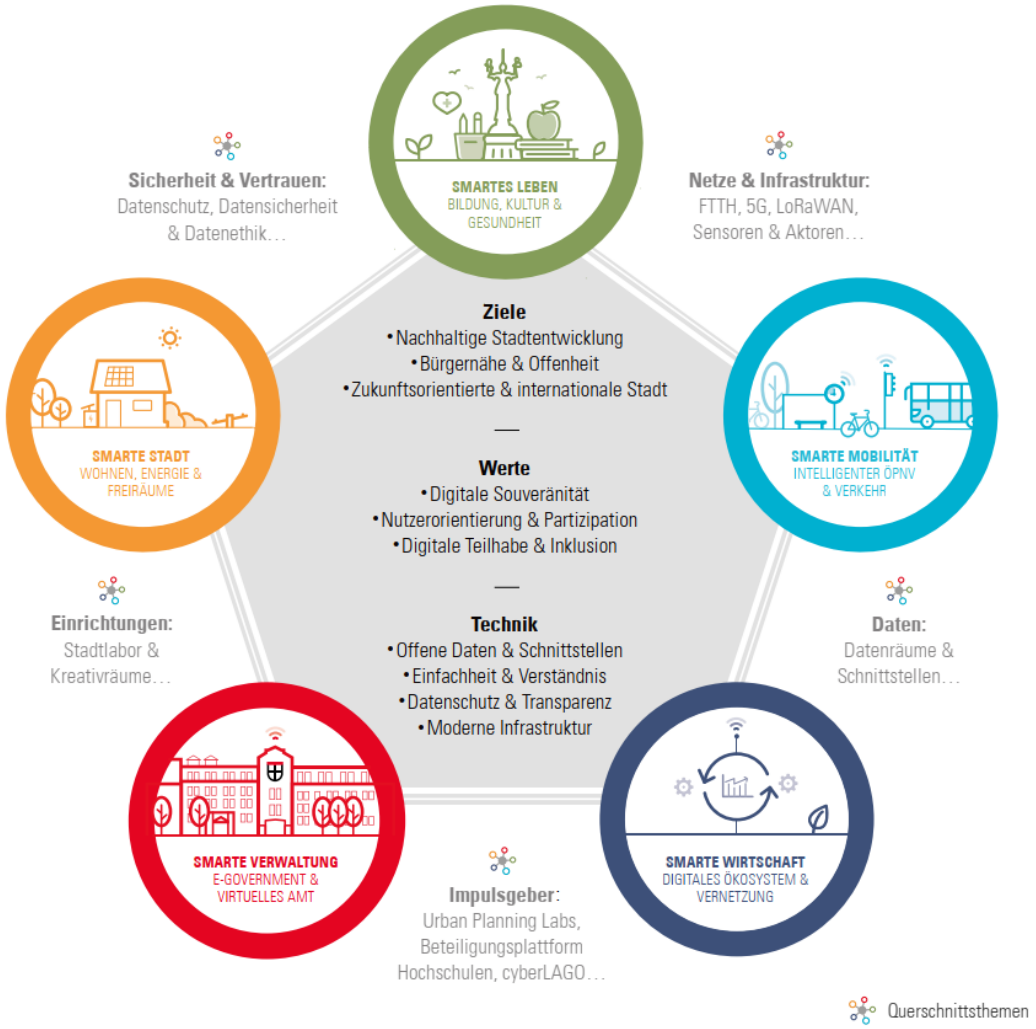

Abbildung 8: Zielbild der Smart Green City Konstanz (City & Bits GmbH 2021: 4)

Smarte Verwaltung

Im Handlungsfeld Smarte Verwaltung hat die Stadt Konstanz das Ziel mit dem Aufbau moderner E-Government-Strukturen die Stadtverwaltung zu digitalisieren. Hierbei sollen sowohl interne als auch externe Behördenprozesse beschleunigt werden. Es sollen Bürgerdienste online angeboten und neue Dienstleistungen für Bürger und Besucher geschaffen werden. (vgl. City & Bits GmbH 2021: 34) Zusammen mit dem Konstanzer IT-Beratungs- und Dienstleistungsunternehmen Seitenbau hat die Stadt Konstanz mit dem Serviceportal bereits eine digitale Plattform geschaffen, die städtische Verwaltungsdienstleistungen anbietet. Seit 2017 können Konstanzer Bürger das „Virtuelle Rathaus“ per Smartphone oder Computer rund um die Uhr nutzen. Über das Serviceportal können beispielsweise Online-Termine im Bürgerbüro vereinbart, Urkunden angefordert, Formulare ausgefüllt oder der Bearbeitungsstand des Ausweises eingesehen werden. Eine Suchleiste auf der Startseite des Portals ermöglicht es durch Eingeben eines

Schlagwortes spezifizierte Informationen und Angebote schnell zu finden. (vgl. Stadt Konstanz 2021d)

Das Serviceportal bietet rund 8000 Behördendaten, 900 Leistungsbeschreibungen und gibt mit 1500 Texten Hilfestellungen zu 54 Lebenslagen. Mit dem Serviceportal ist Konstanz die erste Stadt in Baden-Württemberg, die ihre Daten auf dem Portal mit dem Serviceportal des Landes Baden-Württemberg verknüpft. So werden beispielsweise landesgesetzliche Änderungen und Verordnungen automatisch in das Portal übernommen (vgl. Pugliese 2017)

In der Lebenslage „Bauen und Modernisieren“ erhalten Konstanzer Bürger nützliche Informationen und hilfreiche Tipps zur Planung und Vorbereitung ihrer Bauvorhaben (s. Abbildung 9). Es können notwendige Formulare zu Kenntnisgabeverfahren oder zur Berechnung der Stellplätze für Kraftfahrzeuge ausgefüllt und die zuständigen Stellen ermittelt werden. Außerdem können Bauherren und Architekten den aktuellen Bearbeitungsstand eingereichter Bauanträge abfragen.

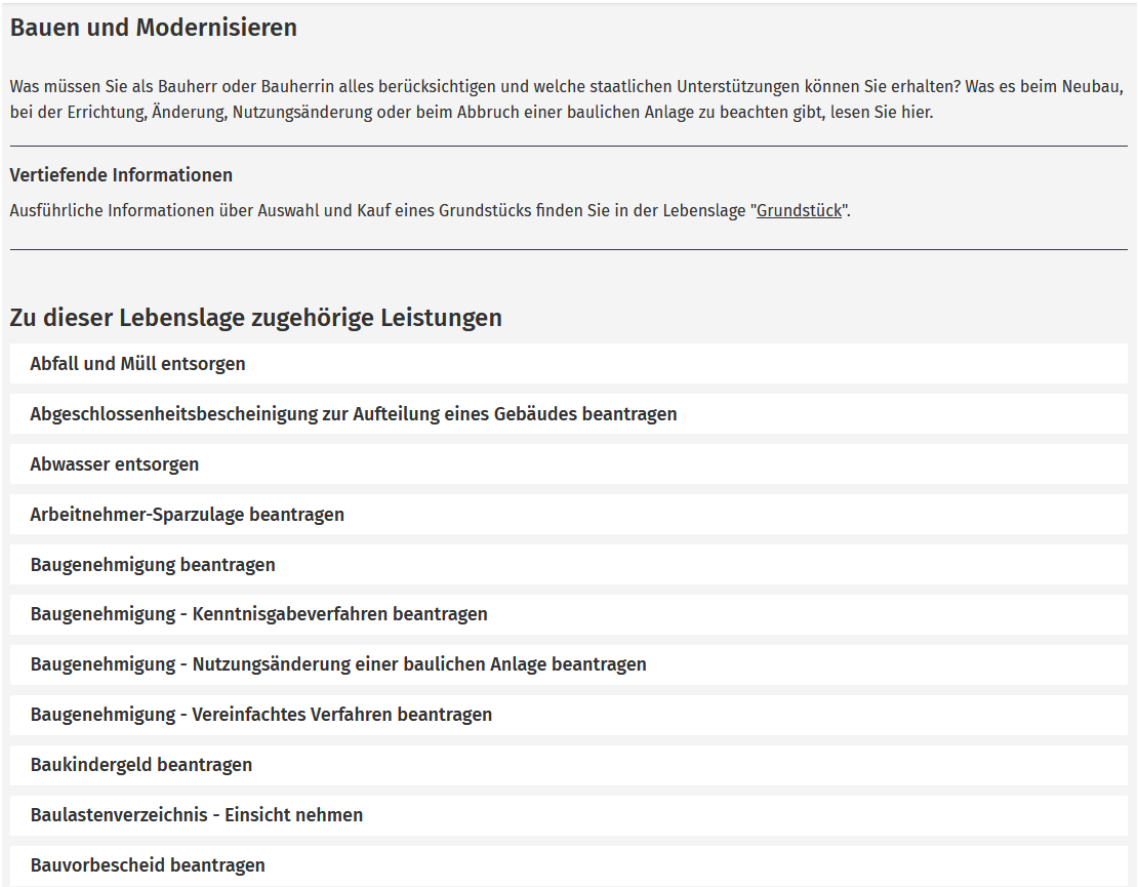

Abbildung 9: Auszug Serviceportal Stadt Konstanz (Stadt Konstanz 2021d)

Neben dem Serviceportal arbeitet die Stadt Konstanz an einer Open Data Plattform. Die dafür im Jahr 2016 gegründete interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Offene Daten Konstanz“ begleitete das Projekt und unterstützte die Stadt beim Aufbau eines urbanen Datenraums. Die Arbeitsgruppe fungiert nun als Ansprechpartner und koordiniert sämtlich Open Data-Aktivitäten. Die im Jahr 2019 online gegangene Datenplattform stellt öffentlich zugängliche Daten bereit. (vgl. Stadt Konstanz 2021a) Die Plattform verwaltet derzeit 79 Datensätze aus 11 verschiedenen Datensatzkategorien wie z. B. Infrastruktur, Bauen und Wohnen oder Umwelt und Klima (s. Abbildung 10).

Abbildung 10: Auszug Open Data Plattform Konstanz (Stadt Konstanz 2021e)

Ob visualisiert oder in maschinenlesbarer Form, knapp oder detailliert – die Daten können von den Nutzern in unterschiedlichsten Formen abgerufen werden. Bei den Daten handelt es sich um nicht personenbezogene kommunale Verwaltungsdaten, die von verschiedenen Ämtern zur Verfügung gestellt werden. Auf der Plattform können Daten-

sätze wie die aktuelle Einwohnerzahl von Konstanz, die Entwicklung des PKW-Bestandes, das Baumkataster Konstanz und andere diverse Statistiken abgerufen werden.
Die Stadt sieht vor, den aktuellen Datenbestand kontinuierlich zu erweitern. Haben Plattformnutzer Interesse an weiteren Datensätzen, können diese unter dem Reiter „Daten anfragen“ angefordert werden. Die Datensätze werden dann, sofern möglich, schnellstmöglich bearbeitet und auf der Plattform bereitgestellt.
Konstanz erhofft sich durch die Open Data Plattform das Fundament für eine transparente Verwaltung gelegt zu haben, die den Bürgern eine Beteiligung an politischen und wirtschaftlichen Entscheidungen und Planungsprozessen ermöglicht. Zudem können aus den Rohdaten Erkenntnisse gewonnen und für wirtschaftliche und gesellschaftliche Zwecke genutzt werden. So profitieren nicht nur die Bürger von den offenen Daten, sondern auch die Stadt, Studierende, Wissenschaftler, Touristen, Unternehmen, Vereine etc. (vgl. Stadt Konstanz 2021e)
Im Rahmen der im Jahr 2018 stattfindenden Soft- und Hardware-Entwicklungsveranstaltung „Hackathon“, entwickelte Lukas Menges die App „ParkOride KN“, die auf Echtzeitdaten basiert. Die mobile Anwendung kontrolliert mit Echtzeitdaten die aktuelle Auslastung in Konstanzer Parkhäusern (s. Abbildung 11). Sie zeigt an, wann es sich empfiehlt mit dem Auto in die Stadt zu fahren oder wann es besser ist ohne Auto und mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu reisen.

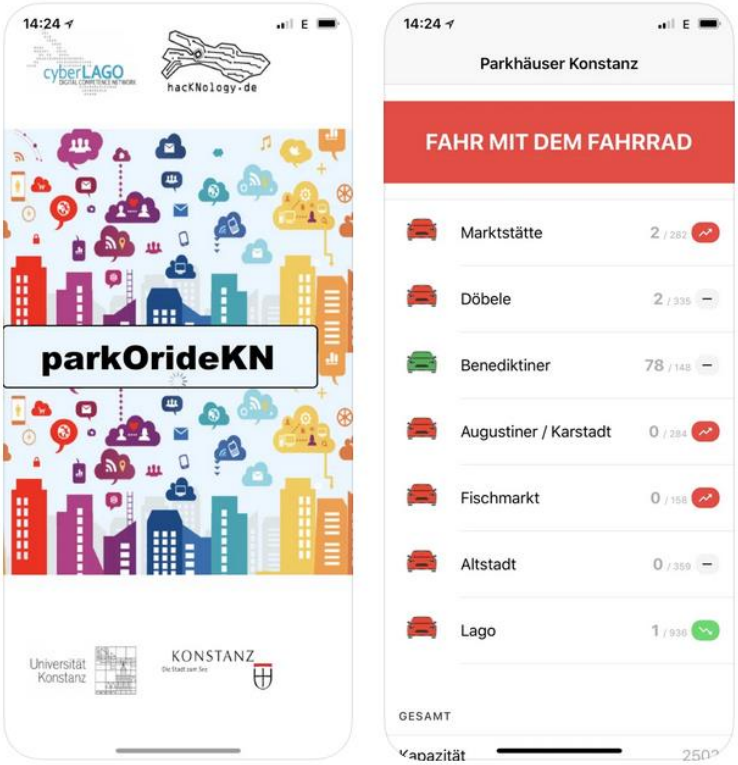

Abbildung 11: Mobile Anwendung "ParkOride" (iPhone Screenshot 2021)

Smarte Stadt

Im Handlungsfeld Smarte Stadt setzt die Stadt Konstanz sich zum Ziel klimaneutral und nachhaltig zu werden und damit eine Vorbildrolle für andere Städte zu sein. Hierbei sieht die Stadt die größten Einflussfaktoren für eine klimafreundliche Stadt in der Mobilität und einer zukunftsweisenden Stadtplanung. Der Klimawandel und der Umweltschutz wirken sich auf das zukünftige Bauen und Wohnen aus. Digitale Technologien werden fester Bestandteil einer ressourcenschonenden und bedarfsorientierten Stadtplanung. (vgl. City & Bits GmbH 2021: 36) Auf der ArcGIS Plattform des Softwareherstellers Esri konnte Konstanz bereits ein virtuelles Abbild ihrer Stadt erschaffen (s. Abbildung 12).

Abbildung 12: Digitales 3D-Modell der Stadt Konstanz (Stadt Konstanz Amt für Liegenschaften und Geoinformation 2021)

Das 3D-Modell steht den Nutzern in der Detaillierungsstufe LOD 2 zur Verfügung. Besucher der Plattform können in dem Stadtmodell frei navigieren. Gebäude, Bäume, Wasser-, Verkehr- und Geländeoberflächen können aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden. Mit Hilfe des Inhaltverzeichnisses in der Menüleiste können die genauen Standorte diverser Einrichtungen wie z. B. Museen, Apotheken oder Bushaltestellen eingesehen werden. Darüber hinaus können aus diversen Grundkarten-Layern unterschiedliche Umgebungen wie z. B. Topografie ausgewählt werden. Das Messungstool ermöglicht ein virtuelles Messen von Flächen und Entfernungen im Modell. Eine weitere Funktion des 3D-Modells ist das Simulieren von Effekten wie der Licht- und Schattenwurf von Gebäuden zu verschiedenen Uhrzeiten (s. Abbildung 13).

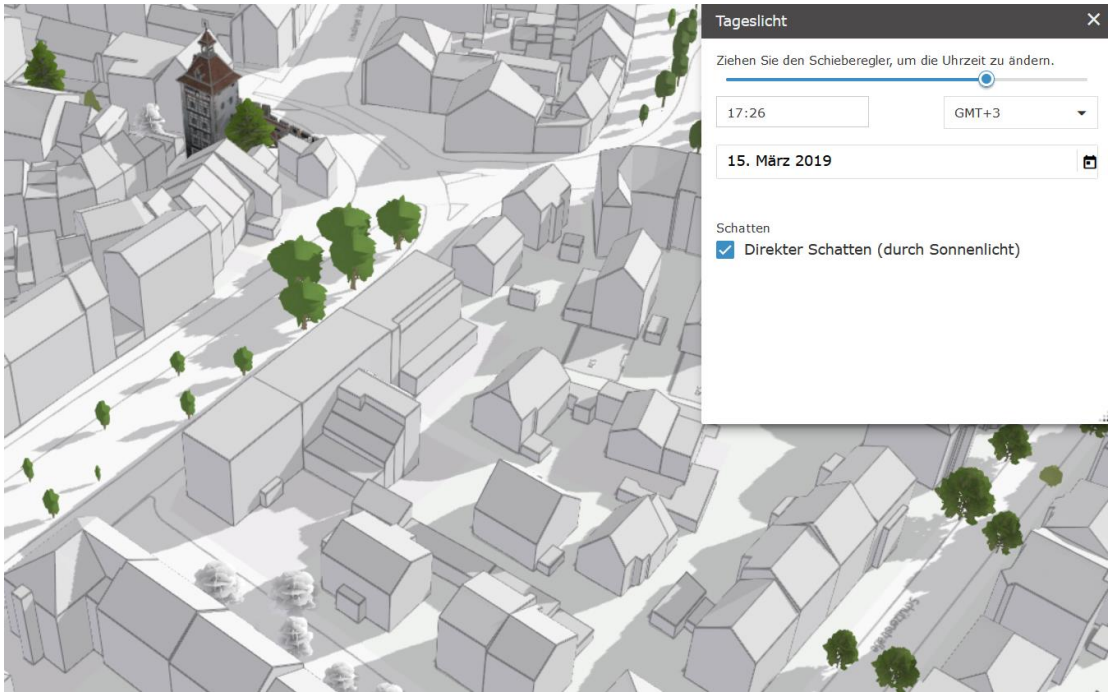

Abbildung 13: Licht- und Schattenwurf 3D-Modell Konstanz (Stadt Konstanz Amt für Liegenschaften und Geoinformation 2021)

Mit der Integration von Building Information Modeling (BIM) im 3D-Stadtmodell will die Stadt Konstanz zukünftig die Abwicklung und Realisierung von Bauvorhaben effizienter gestalten (vgl. City & Bits GmbH 2021: 36). BIM ermöglicht eine optimierte Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Bauvorhaben. Alle relevanten Gebäudeinformationen werden in einem digitalen 3D-Modell erfasst und sind für alle Projektbeteiligten zugänglich. Dies sichert einen stetigen Informationsfluss, vermeidet Missverständnisse und gewährleistet eine effiziente Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten.

Smarte Mobilität

Der digitale Zwilling der Stadt soll künftig auch für die Verkehrsplanung eingesetzt werden. Im Handlungsfeld Smarte Mobilität sieht Konstanz vor, das 3D-Modell zur digitalen Steuerung des Innenstadtverkehrs zu nutzen. Neben der statistischen Auswertung von Verkehrsdaten, plant sie derzeit in einer Testphase die Verknüpfung dieser Daten mit verkehrsrelevanten Drittdaten wie beispielsweise Wetter oder Baustellen. Die Lizenz des Verkehrsministerium Baden-Württemberg ermöglicht Konstanz das Sammeln und Analysieren von Echtzeitdaten. (vgl. Stadt Konstanz 2021a)

Smartes Leben

Im Handlungsfeld Smartes Leben hat die Stadt Konstanz zum Ziel die Themenbereiche Bildung, Arbeit, Gesundheit und Soziales stärker zu digitalisieren, um den Alltag und das gesellschaftliche Leben in Konstanz nachhaltig zu verändern. In allen zentralen Bereichen des Gemeinwesens soll ein breites Spektrum an digitalen Angeboten und Dienstleistungen zur Verfügung stehen, die zu Hause oder unterwegs genutzt werden können. Mit Angeboten wie Online Lexika, einer digitalen Ausleihe von Büchern und Medien sowie Fort- und Weiterbildungsangeboten, ermöglicht Konstanz bereits den Zugang zu digitalen Bildungsangeboten. (vgl. City & Bits GmbH 2021: 38)

Die Stadtwerke Konstanz entwickelte mit der Stadt Konstanz im Jahr 2017 mit der App „Mein Konstanz“ einen mobilen Alltagsbegleiter für unterwegs. Die App soll Bürgern und Besuchern mit Informationen rund um das tägliche Leben in der Stadt und verschiedenen Serviceleistungen den Alltag erleichtern. Die App enthält unter anderem Informationen zu Fahrplänen, Abfallkalenderdaten, Wetterberichten sowie aktuellen Veranstaltungen und Nachrichten (s. Abbildung 14). Zudem kann ganz bequem über die App ein Bus- oder Fähreticket gekauft oder beim Fahrrad-Mietsystem Konrad ein Fahrrad ausgeliehen werden. Autofahrer können die aktuelle Parkhaussituation und per Webcam die Lage an den Fährhäfen überprüfen. Das Serviceportal der Stadt ist ebenfalls in der App verknüpft.

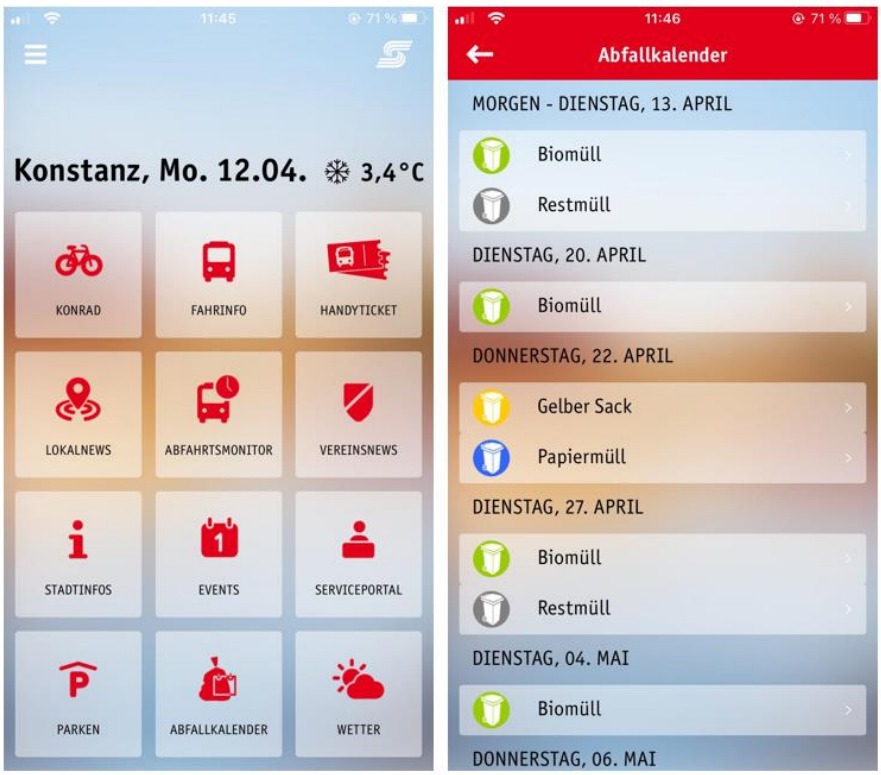

Abbildung 14: Screenshots "Mein Konstanz"-App (iPhone Screenshot 2021)

Nutzer, die sich die App auf ihr Smartphone herunterladen, haben die Möglichkeit die App zu bewerten und eine Rezension zu schreiben. Die App „Mein Konstanz“ ist im „Apple Store“ mit 1,8/5 (73 Bewertungen) und im „Play Store“ mit 1,6/5 (178 Bewertungen) möglichen Sternen relativ schlecht bewertet (Stand: Mai 2021). Bei der Nutzung der App treten vor allem Probleme mit dem Fahrradmietsystem Konrad auf. Viele Nutzer kritisieren die fehlerhafte Registrierung und Reservierung von Fahrrädern. Darüber hinaus empfinden einige Nutzer die App mit Informationen und Funktionen überladen.

Smarte Wirtschaft

Die Themen zur Ressourcenminimierung, Klimaschutz und sozialem Unternehmertum werden für Akteure der Wirtschaft immer bedeutender. Die Stadt Konstanz will mit der Entwicklung einer digitalen Plattform ein digitales Ökosystem schaffen, um den neuen Herausforderungen gerecht zu werden und als Wirtschaftsstandort wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Plattform bildet die Grundlage für Vernetzung, Austausch und Kooperationen zwischen den verschiedenen Akteuren aus der Wirtschaft. (vgl. City & Bits GmbH 2021: 43–44)

2.5.2 Auswertung Status Quo

Die Stadt Konstanz ist in vielen Bereichen digital gut aufgestellt. Mit dem Serviceportal, der Open Data Plattform, dem digitalen 3D-Modell sowie der App „Mein Konstanz“ hat die Stadt bereits einige digitale Plattformen geschaffen, die den Weg zur Smart City ebnen. Mit der Digitalisierungsstrategie „Smart Green City“ sowie der „Digitalen Agenda 1.0“ verfolgt die Stadt ganzheitliche Ziele und Visionen, die die wesentlichen Handlungsfelder einer Smart City betreffen. Im Rahmen der Digitalisierung sieht Konstanz die Bürger, lokale Unternehmen und die Stadt selbst als die wichtigsten Stakeholder. Bei der Umsetzung digitaler Lösungen ist es essenziell die Bedürfnisse und Interessen der Stakeholder zu berücksichtigen, um einen Mehrwert zu schaffen.

Die Stadt versucht im Rahmen von diversen Veranstaltungen auf die Wünsche und Bedürfnisse der Konstanzer Bürger einzugehen. Mit dem jährlichen „Hackathon“ werden innovative Ideen der Bürger gefördert und gemeinsam digitale Lösungen für die Stadtgemeinschaft entwickelt. Der gemeinsame Austausch unter den Stakeholdern bei den „Open Government Dialogen“ bringt neue Anregungen und Begegnungen. Mit der jähr-

lichen Online-Bürgerbefragung zu Themen wie der Digitalisierung oder dem Klimanotstand hat die Stadt Konstanz zum Ziel ihre Bürger an der Gestaltung des Gemeindelebens zu beteiligen.
Die Stadt schafft durch Plattformen wie dem Serviceportal oder der App „Mein Konstanz“ bereits neue digitale Lösungen. Auch wenn noch nicht alle Dienstleistungen und internen Verwaltungsprozesse digitalisiert sind, ist Konstanz dennoch aufgeschlossen und innovativ und ist dabei die Veränderungsprozesse auf dem Weg zur Digitalisierung aktiv mitzugestalten. Durch den Aufbau der Open Data Plattform schafft Konstanz durch das Sammeln, Auswerten und Zusammenführen von Daten auf der Plattform eine erhöhte Transparenz in der öffentlichen Verwaltung und eine Grundlage für Bürgerbeteiligung.
Konstanz ist dabei klimaneutral und ressourceneffizient zu werden. Als erste Stadt Deutschlands hat sie im Jahr 2019 den Klimanotstand ausgerufen und möchte bis 2030 klimaneutral werden. Der Einsatz von BIM und dem digitalen 3D-Stadtmodell soll zu einer verbesserten Ressourceneffizienz führen.
Mit der Entwicklung eines digitales Ökosystem, möchte Konstanz wettbewerbsfähig bleiben, um die lokale Wirtschaft zu stärken. Mithilfe digitaler Lösungen sieht Konstanz vor, ihren Bürgern bedarfsgerechte Infrastrukturangebote zur Verfügung zu stellen.
Konstanz ist eine multikulturelle Stadt und plant mit ihrer „Smart Green City Strategie“ allen Menschen, unabhängig von Herkunft, Religion, Alter oder Behinderung, durch digitale Teilhabe die Teilnahme am gesellschaftlichen Leben zu ermöglichen und damit vielfältig und offen zu werden.

Aufgrund der vorangegangenen Analyse ist gemäß dem verwendeten Reifegradmodell die Stadt Konstanz auf **Level 3 (Integrierte Smart City)** einzuordnen. Mit der „Smart Green City Strategie“ wurde bereits eine klare Strategie entwickelt und auch erste Smart City-Projekte wie die Open Data Plattform oder das virtuelle 3D-Stadtmodell eingeführt. Die Stadt Konstanz verfolgt mit ihrer Digitalisierungsstrategie weiterhin ambitionierte Ziele und möchte in allen Handlungsfeldern die Digitalisierung, unter Berücksichtigung der Wünsche und Bedürfnisse der Stakeholder, voranbringen. Die Stadt ist im Rahmen des „Agilen Netzwerkes Digitale Innovation“ mit anderen Städten wie Freiburg, Mannheim und Karlsruhe in engem Kontakt, um gemeinsam an Smart City-Programmen zu arbeiten (vgl. Bitkom e.V. 2019: 106).

3 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden als Ergänzung zur Literatur sowohl diverse Experteninterviews als auch eine Online-Bürgerbefragung durchgeführt. Während die Experteninterviews als qualitatives Forschungsmittel dienen, wurde die Online-Umfrage für die Bürger zur quantitativen Forschung erstellt. Durch eine Auswahl und Befragung qualifizierter Fachleute können aussagekräftige Ergebnisse sowie neue Erkenntnisse gewonnen werden. Eine Online-Umfrage liefert nützliche Informationen und gibt Aufschluss über die unterschiedlichen Ansichten der Bürger.

3.1 Aufbau und Inhalt der Interviews

Experteninterviews

Für die Befragung der Experten wurde ein Leitfadeninterview erstellt. Der Leitfaden stellt eine Zusammenfassung des Interviewaufbaus dar und enthält alle relevanten Fragen. Der Ablauf des Interviews ist nicht fest vorgeschrieben. Er dient lediglich als Stütze und Orientierungshilfe im Gespräch. Es ist der befragten Person also erlaubt Themen zu vertiefen oder zu ergänzen. Das Leitfadeninterview beinhaltet vorwiegend offene Fragen, die den Befragten mehr Freiraum bei den Antworten lassen. Dadurch können umfangreiche Informationen gewonnen werden. Zudem sorgen solche Fragen für eine Kommunikation, die offen erzählend, lebendig und zwanglos ist.

Das Interview besteht aus vier Themenblöcken. Die ersten zwei Themenblöcke beinhalten sowohl offene als auch geschlossene Fragen. Ein Teil dieser geschlossenen Fragen wird auch den Konstanzer Bürgern gestellt. Die ausgewerteten Ergebnisse werden am Ende miteinander verglichen, um ein allgemeines Stimmungsbild zur Digitalisierung beider Parteien zu erhalten. Um die Fragen zu beantworten, stehen fünf Antwortmöglichkeiten zur Wahl, die in Form einer sogenannten Likert-Skala angeordnet sind.

I. Allgemeine Fragen zu Smart City

Es herrschen teilweise unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich des Begriffes Smart City. Es soll herausgefunden werden, welche Aspekte für die Experten eine Smart City ausmachen und wie sie die Bedeutung der Digitalisierung einer Stadt bewerten.

II. Allgemeine Fragen zum Digitalisierungsgrad von Konstanz

Experten erläutern ihre Einschätzung zum aktuellen Digitalisierungsgrad von Konstanz sowie zu zukünftigen Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Digitalisierung für die Stadt. Darüber hinaus geben Sie eine Bewertung ab, ob für eine umfassende digitale Transformation in Konstanz die erforderlichen Ressourcen zur Verfügung stehen.

III. Fragen zu bestehenden Plattformen

Es werden Informationen gesammelt zur aktuellen Nutzung sowie zu Chancen und Risiken digitaler Plattformen in Konstanz.

IV. Fragen zu zukünftigen Zielen

Experten geben einen Ausblick auf ihre zukünftigen Ziele und nennen mögliche Entwicklungen im Hinblick auf die Digitalisierung. Im Rahmen der Zielsetzung wird besonders auf die Herausforderungen und Konfliktsituationen, mit denen die Experten aktuell konfrontiert sind, eingegangen.

Da Daten für eine Smart City elementar sind, werden die Experten nach den Aspekten des Datenschutzes und dem Schutz der Privatsphäre befragt.

Der vollständige Fragebogen kann Anlage 1 entnommen werden.

Bürgerbefragung

Die Befragung der Bürger erfolgt in Form eines quantitativen Online-Fragebogens. Dieser wurde mit dem ESRI-Tool „Survey123“ erstellt. Da erfahrungsgemäß die meisten Teilnehmer solch eine Online-Umfrage mit dem Smartphone durchführen, wurde darauf geachtet die Umfrage nicht zu lange zu halten. Umfangreiche Online-Umfragen können schnell zu einem kontinuierlichen Sinken der Aufmerksamkeitsspanne führen. Es besteht die Gefahr, dass nicht alle Fragen ehrlich beantwortet werden oder die Umfrage abgebrochen wird. Aus diesem Grund wurden die Fragestellungen kurz und präzise gehalten, um eine möglichst hohe Beteiligung mit ehrlichen Antworten und eine geringe Abbrecherquote zu erreichen. Der Fragebogen beinhaltet vierzehn Fragen, wovon eine als offene Frage formuliert wurde. Bei den Antwortmöglichkeiten der Fragen gibt es keine neutrale Ausweichfläche. So sind die Befragten gezwungen wenigstens eine Einschätzung abzugeben, was eine erhöhte Datenqualität zur Folge hat.

Die Umfrage beinhaltet Fragestellungen zur Bekanntheit und zum aktuellen Nutzungsverhalten digitaler Plattformen der Stadt. Diese Informationen können später als Grundlage für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen dienen. Darüber hinaus werden die Bürger nach ihren Standpunkten, Erwartungen und Wünschen hinsichtlich der Digitalisierung von Konstanz in den Bereichen Planung, Bau, Infrastruktur und Mobilität befragt.
Der vollständige Fragebogen kann Anlage 2 entnommen werden.

3.2 Auswahl und Beschreibung der Experten

Als Interviewpartner wurden qualifizierte Fachleute ausgewählt, die aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung in ihrem Bereich spezifisches Wissen aufweisen. Hierzu zählen Personen, die in der städtischen Verwaltung arbeiten sowie Personen, die Bezug zu Smart Cities bzw. digitalen Plattformen haben. Das erstellte Leitfadeninterview wurde den Experten vor dem Interviewtermin per E-Mail zugeschickt, um ihnen die Möglichkeit zu geben sich optimal auf das Gespräch vorzubereiten.

Eberhard Baier

Eberhard Baier leitet die Abteilung Statistik und Steuerungsunterstützung im Referat des Oberbürgermeisters der Stadt Konstanz. Er ist zuständig für statistische Informationen über die Stadt und die Aufbereitung der Daten. Auf der Webseite von Konstanz lassen sich umfangreiche Zahlen, Daten und Statistiken zu unterschiedlichen Themenbereichen wie z. B. Bevölkerung, Wohnen und Wirtschaft einsehen.
Die koordinierende zentrale Open Data Stelle befindet sich ebenfalls in der Statistik- und Steuerungsunterstützung des Referats. Eberhard Baier ist für die Open Data Plattform und das städtische Portal verantwortlich und kümmert sich um die Bereitstellung der offenen Daten.

Gunnar in het Panhuis

Gunnar in het Panhuis arbeitet im Amt für Liegenschaften und Geoinformation der Stadt Konstanz. Er ist Sachgebietsleiter für GIS in der Abteilung „Untere Vermessungsbehörde“ und zuständig für das Sammeln, Verwalten und Analysieren raumbezogener Daten. Das 3D-Stadtmodell Konstanz wurde von ihm und seinem Team aufgebaut und wird stetig weiterentwickelt.

Björn Fischer

Björn Fischer ist Koordinator für Digitalisierung und besetzt seit dem Jahr 2018 die Koordinierungsstelle „Digitalisierung“ im Referat des Oberbürgermeisters. Er unterstützt die Digitalisierungsprojekte und gestaltet aktiv die digitale Transformation der Stadt Konstanz mit. Mit Herrn Fischer wurde kein persönliches Interview durchgeführt, da er sich selbst nicht als Experte für den Bereich Bauwirtschaft sieht. Um dennoch eine weitere Expertenmeinung zum aktuellen Digitalisierungsstand von Konstanz zu erhalten, beantwortete Herr Fischer den geschlossenen Fragenteil per E-Mail.

Thomas Koblet

Thomas Koblet ist Head of Digital Government von ESRI Deutschland und ESRI Schweiz. Er unterstützt Städte und Regionen bei ihrer digitalen Transformation. Mit seinem breiten Wissen zu Geodaten hilft er seinen Kunden insbesondere bei der Umsetzung von Themen wie Open Data, Urban Planning und Citizen Engagement.

Gerhard Schrotter

Gerhard Schrotter ist der Direktor von Geomatik + Vermessung der Stadt Zürich. Die Abteilung ist für die Erfassung, Pflege und Verfügbarkeit von Geodaten verantwortlich. Zu den zentralen Aufgaben gehören die Stadtvermessung, die Gebäudeadressierung, die Geoinformations-Applikationen wie z. B. der interaktive Stadtplan und die Bereitstellung diverser Pläne der Stadt Zürich.

3.3 Datenerhebung und Auswertung

Die Experteninterviews fanden zwischen dem 30.04.21 und dem 19.05.21 statt. Aufgrund der Corona-Pandemie wurden die Interviews in Form von Online-Meetings durchgeführt. Die Gespräche dauerten in der Regel etwa 60 Minuten und wurden, mit dem Einverständnis der Experten, aufgezeichnet. Die Auswertung der Interviews erfolgt in aggregierter und anonymisierter Form.

Die Online-Umfrage für die Bürger wurde zwischen den 10.05.21 und dem 28.05.21 durchgeführt. An der Umfrage nahmen 367 Personen teil. Für die Auswertung wurden die Umfrageergebnisse in Form von Diagrammen und Grafiken visualisiert. Die gesamte Auswertung der Ergebnisse ist Anlage 3 zu entnehmen.

Die Umfrage zeigt, dass mehr als die Hälfte der befragten Personen die Digitalisierung einer Stadt als wichtig einschätzen. Knapp 36 % sogar als sehr wichtig. Die Experten teilen diese Meinung. Sie sehen die Digitalisierung und die damit verbundene digitale Transformation für Städte als zwingend notwendig. Sie sind der Meinung, dass digitale Technologien die Entwicklung der Städte positiv beeinflussen und die Lebensqualität in Städten spürbar steigen lässt. Während die Konstanzer Experten den Digitalisierungsgrad von Konstanz als hoch einschätzen, beurteilen die Befragten ihn mit rund 63 % als eher niedrig (s. Abbildung 15).

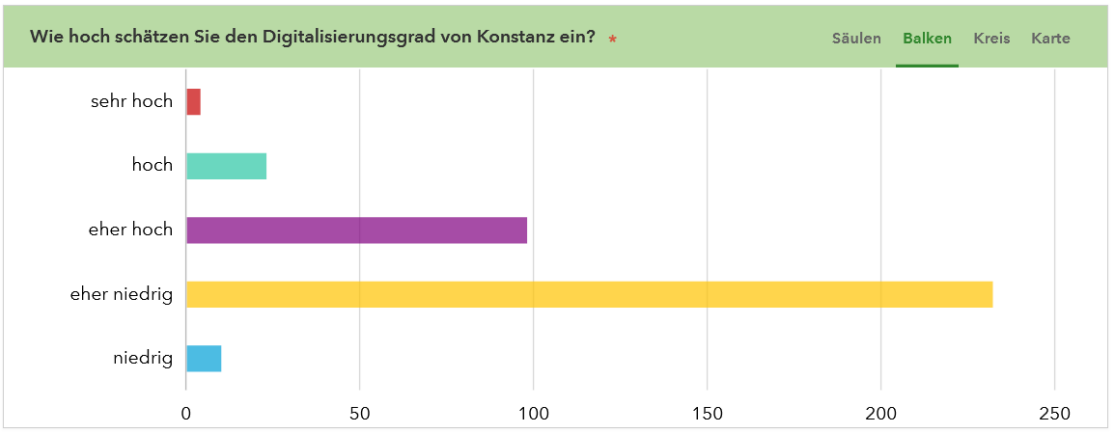

Abbildung 15: Einschätzung der befragten Personen zum Digitalisierungsgrad von Konstanz (ArcGIS Survey123 2021)

Sowohl die Experten als auch mehr als die Hälfte der befragten Personen sind der Meinung, dass der Nutzen der Digitalisierung für die Stadt Konstanz hoch ist. Bei der Frage zur Zufriedenheit des Digitalisierungsgrades von Konstanz gibt es Unstimmigkeiten zwischen den Experten und den Befragten. Während die Konstanzer Experten mit dem

Digitalisierungsgrad von Konstanz zufrieden sind, sind knapp 51 % der befragten Personen eher unzufrieden. Die Stadtverwaltung hat bereits viele ihrer internen Prozesse digital umgestellt und ist aktuell dabei externe Prozesse sukzessiv zu digitalisieren, um ihren Bürgern eine digitale und bürgernahe Verwaltung zu gewährleisten. Der Großteil der Konstanzer Bürger erkennt bislang noch keinen deutlichen Nutzen und sieht für die Digitalisierung Verbesserungsbedarf. Rund 30 % hingegen sind mit dem Digitalisierungsgrad von Konstanz eher zufrieden, 16 % sogar zufrieden (s. Abbildung 16).

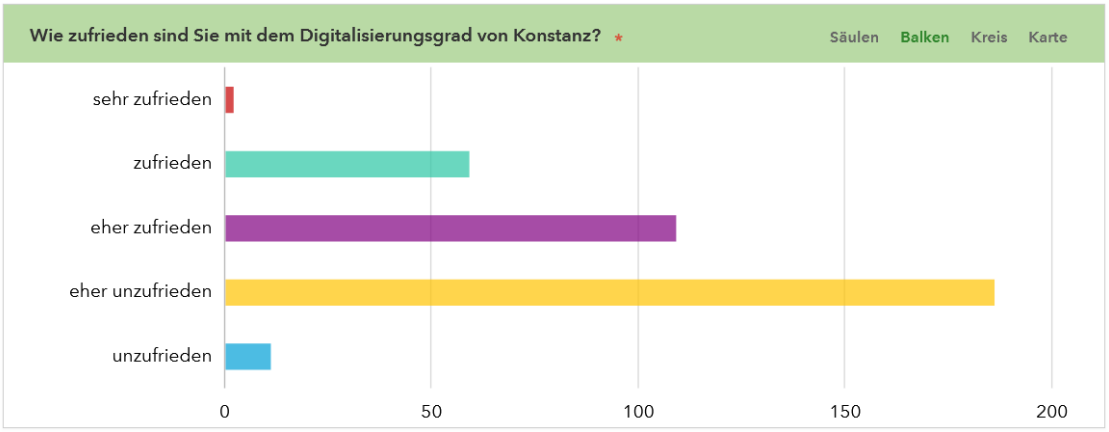

Abbildung 16: Einschätzung der befragten Personen zur Zufriedenheit des Digitalisierungsgrades in Konstanz (ArcGIS Survey123 2021)

Bei der Befragung zur Bekanntheit digitaler Plattformen und Anwendungen wurde die „Mein Konstanz“-App am häufigsten ausgewählt (76 %), gefolgt vom Serviceportal (53 %). 54 % benutzen die „Mein Konstanz“-App. Das Serviceportal wird von rund 31 % der Befragten genutzt. Das 3D-Modell der Stadt Konstanz ist lediglich 13 % der Befragten bekannt, wovon knapp 5 % es nutzen. Rund 34 % der befragten Personen nutzen keine der in der Befragung genannten Plattformen und Anwendungen.

Zu den wichtigsten Aspekten einer lebenswerten Stadt gehören für die Befragten ausreichender und bezahlbarer Wohnraum, eine aktive Bürgerbeteiligung bei Planungsvorhaben, Grünflächen im Stadtbereich zur Naherholung, eine autoarme Stadt sowie ein großes Angebot verschiedener Mobilitätsdienste. Ressourcenschonendes Bauen sowie eine nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden durch erneuerbare Energien wurde ebenfalls von einem großen Teil der befragten Personen als einen lebenswerten Aspekt in einer Stadt angesehen.

Die Mehrheit der Befragten ist mit der aktuellen Wohnraumsituation in Konstanz nicht zufrieden (50 % eher unzufrieden, 31 % unzufrieden). Bei den Fragen zu den Nachhaltigkeitsaspekten sowie zur aktiven Bürgerbeteiligung bei Planungsvorhaben spalten sich

die Meinungen der Befragten. Während rund 40 % mit dem ressourcenschonenden Bauen und der Nutzung erneuerbarer Energien zufrieden sind, sind etwa 30 % damit eher unzufrieden. Knapp 30 % der befragten Personen sind eher unzufrieden und rund 17 % unzufrieden mit der aktiven Bürgerbeteiligung bei Planungsvorhaben in Konstanz. Etwa 34 % hingegen sind eher zufrieden, 11 % zufrieden und lediglich 0,8 % sehr zufrieden (s. Abbildung 17).

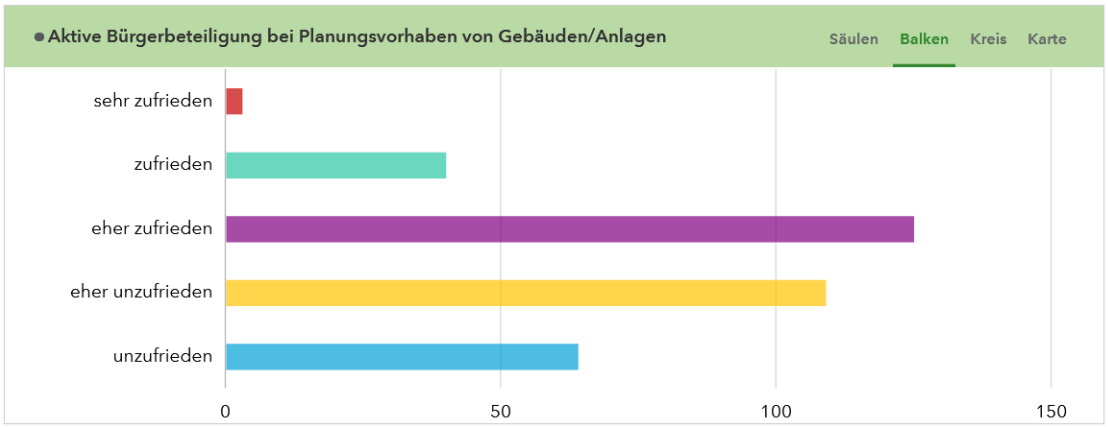

Abbildung 17: Einschätzung der befragten Personen zur aktiven Bürgerbeteiligung bei Planungsvorhaben (ArcGIS Survey123 2021)

Knapp die Hälfte der befragten Personen ist es wichtig über neue digitale Anwendungen informiert zu werden. Die meisten Befragten bevorzugen die Sozialen Medien wie Facebook oder Instagram (81 %) sowie Plakate/Aushänge in der Stadt (70 %) als Informationsquellen (s. Abbildung 18).

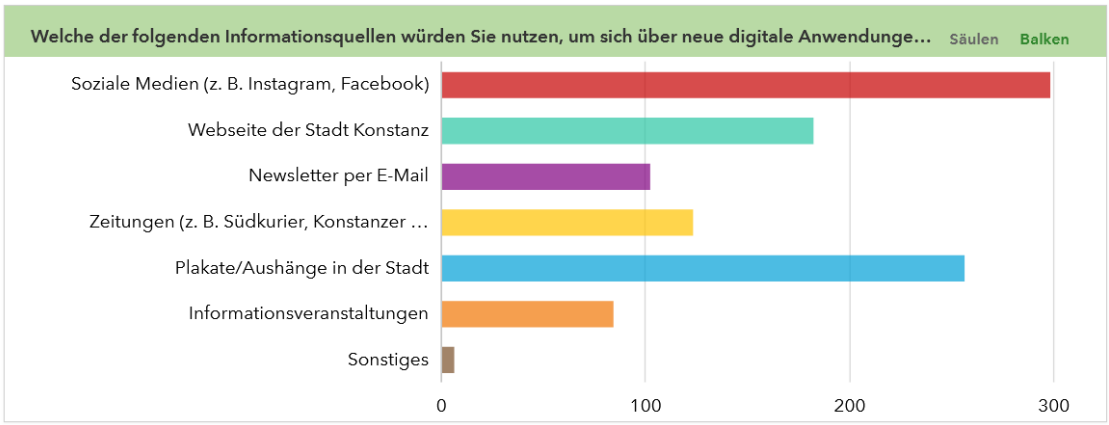

Abbildung 18: Einschätzung der befragten Personen zur Nutzung verschiedener Informationsquellen (ArcGIS Survey123 2021)

Das Thema des Datenschutzes in einer Smart City ist für etwa 35 % der Befragten wichtig, für rund 24 % sogar sehr wichtig. Auch die Experten gaben an, dass für sie eine Smart City ohne Datenschutz und Datensicherheit undenkbar sei und dass diese für die Stadt Konstanz einen besonders hohen Stellenwert haben. Für knapp 17 % der Befragten ist das Thema hingegen eher unwichtig (s. Abbildung 19). Des Weiteren geben rund 7 % an, dass ihre Angst durch die Digitalisierung, z. B. durch Sensoren oder Kameras, überwacht zu werden, sehr groß ist. Bei etwa 20 % der befragten Personen ist die Angst groß und eher groß. Etwa mehr als die Hälfte hat keine Angst im öffentlichen Raum überwacht zu werden. Hier geben knapp 38 % an, dass ihre Angst eher gering ist, für knapp 14 % ist die Angst gering (s.Einschätzung der befragten Personen zur digitalen Überwachung in einer Stadt Abbildung 20).

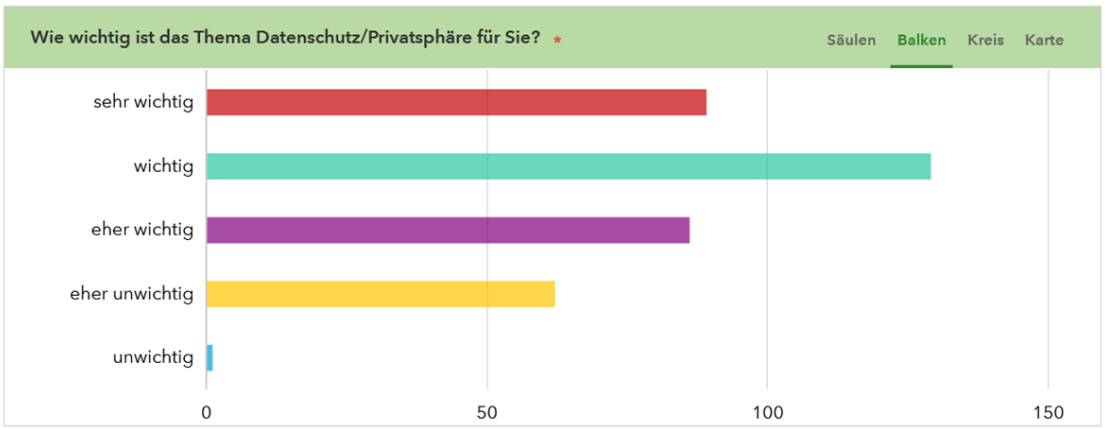

Abbildung 19: Einschätzung der befragten Personen zum Thema Datenschutz (ArcGIS Survey123 2021)

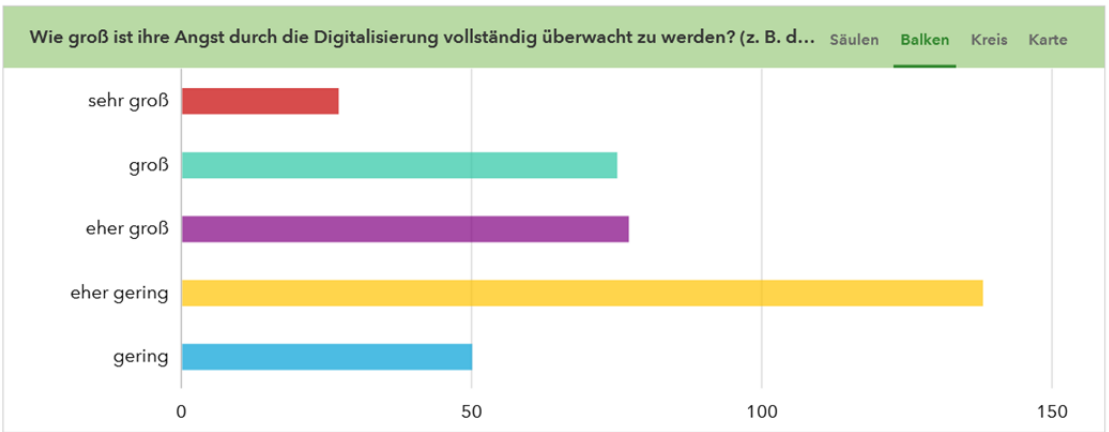

Abbildung 20: Einschätzung der befragten Personen zur digitalen Überwachung in einer Stadt (ArcGIS Survey123 2021)

Den befragten Personen wurde in der Umfrage die Möglichkeit gegeben ihre Ideen und Wünsche für Digitalisierungsprojekte in den Bereichen Planung, Bau, Infrastruktur und Mobilität zu äußern.

Im Bereich der Mobilität wünschen sich die Befragten die Einbindung von Sensordiensten in Bussen und Bahnen, um diese über eine App in Echtzeit verfolgen zu können. Durch das Echtzeit-Tracking der öffentlichen Verkehrsmittel erhalten die Fahrgäste aktuelle Informationen zu Ankunftszeiten der Busse sowie zu kurzfristigen Fahrplanänderungen, Umleitungen und Betriebsstörungen. Zudem sind viele der befragten Personen mit der „Mein Konstanz"-App nicht zufrieden und wünschen sich eine benutzerfreundlichere und zuverlässigere App. Außerdem äußern sie die Idee per App über die aktuelle Verkehrslage und Staus sowie über Umleitungen und möglichen Verkehrsbehinderungen in der Stadt informiert zu werden. Darüber hinaus soll die App auf einer digitalen Echtzeit-Karte Parkplatzsuchenden kostenfreie Parkplätze inkl. empfohlener Routen anzeigen. Weiter wünschen sich die befragten Personen die Anzeige von Ersatzverbindungen und Umstiegsmöglichkeiten zu anderen Linien und Mobilitätsanbietern sowie Routenplanungen für den ÖPNV. Viele der Befragten ist eine nachhaltige Mobilität wichtig und äußern daher den Wunsch einer autoarmen Stadt. Sie sehen eine intelligente Ampelschaltung als Lösung, um Staus zu vermeiden und den verkehrsbedingten CO_2-Ausstoß zu senken. Zudem wünschen sich die befragten Personen den Ausbau nachhaltiger und ressourcenschonender Mobilitätssysteme.

Im Bereich der Bauwirtschaft ist es der Wunsch in Bauplanungsprozesse stärker miteinbezogen zu werden und transparent und umfassend über zukünftige Bauvorhaben informiert zu werden. Auf einer interaktiven Karte sollen Konstanzer Bürger darüber hinaus auch einen Einblick auf die Ausgaben der Stadt erhalten. So können die Bürger beispielsweise auf der Karte zu jedem Bauprojekt die dazugehörige Kostenaufstellung und den Materialverbrauch einsehen. Hinsichtlich des Materialverbrauchs wünschen sich die befragten Personen die Verwendung ressourcenschonender Materialien und nachhaltige Bauweisen. Das Thema der Nachhaltigkeit stufen die Befragten als wichtig ein und äußern den Wunsch eines umfassenden Nachhaltigkeitsmonitoring in der Stadt.

Zudem wurde die Idee eines virtuellen Bauamtes geäußert, auf dem Verfahren und Anträge digital abgewickelt werden und baurelevanten Unterlagen zusammengesellt und hochgeladen werden können. Der digitale Datenaustausch soll Datenverluste minimieren und allen Beteiligten jederzeit Zugriff auf den aktuellen Planungsstand gewähren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die Stimmungsbilder zur Digitalisierung in Konstanz der befragten Parteien in mancher Hinsicht unterscheiden. Während die Konstanz Bürger sich in der Stadt Konstanz einen höheren Digitalisierungsgrad wünschen, sind die Konstanzer Experten mit ihm weitestgehend zufrieden. Dennoch sehen die Experten noch weiteres Potenzial zur Steigerung des Digitalisierungsgrades in Konstanz. Beide Parteien sind sich einig, dass die Digitalisierung einer Stadt wichtig ist und auch für die Stadt Konstanz einen hohen Mehrwert schafft. Sowohl für die Experten als auch die Bürger soll eine Stadt ein attraktiver Ort zum Leben und zum Erholen sein. Klimafreundliche Mobilitätssysteme, eine autoarme Stadt, eine nachhaltige Energieversorgung, bezahlbaren Wohnraum sowie eine aktive Bürgerbeteiligung sehen beide Parteien als wichtige Aspekte einer lebenswerten digitalen Stadt der Zukunft. Während die Mehrheit der befragten Bürger mit den meisten dieser Aspekte weitestgehend zufrieden ist, sehen die Experten und der Rest der Bürger noch Handlungsbedarf. Experten und Bürger wünschen sich vor allem mehr bezahlbaren Wohnraum in Konstanz, weniger Autos in der Stadt und einen nachhaltigen ÖPNV. Zusätzlich wünschen sich einige der Bürger eine aktivere Teilnahme bei Bau- und Planungsvorhaben. Die Experten haben ebenfalls Interesse daran und möchten zukünftig die Konstanz Bürger stärker in Entscheidungsprozesse miteinbeziehen. Bei der Bürgerbefragung fiel außerdem auf, dass ein Großteil der Bürger viele der digitalen Plattformen/Anwendungen nicht nutzen. Grund hierfür könnte sein, dass sie aktuell keinen Nutzen darin sehen. Lediglich die „Mein Konstanz“-App wird von mehr als der Hälfte der Bürger benutzt.
Beim Thema des Datenschutzes waren sich beide Parteien einig, dass ein souveräner Umgang mit Daten in einer Smart City unerlässlich ist.

4 Ergebnisse

Dieses Kapitel beinhaltet die Ergebnisse und Erkenntnisse, die auf Grundlage von Literaturrecherche sowie der vorangegangen Experteninterviews generiert wurden. Es werden Anwendungsfälle für offene, föderierte digitale Plattformen aus dem Bereich der Bauwirtschaft für die Stadt Konstanz aufgezeigt. Die damit einhergehenden Chancen, die sich für die Stadt Konstanz ergeben, werden ebenfalls in diesem Kapitel erläutert. Es wird außerdem aufgezeigt, mit welchen Herausforderungen sie verbunden sind. Abschließend werden Handlungsmöglichkeiten für die Stadt Konstanz zur Etablierung eines digitalen Zwillings vorgestellt.
Bei der Entwicklung der Anwendungsfälle liegt das Hauptaugenmerk auf der virtuellen Plattform für digitale Zwillinge. Grund hierfür ist, dass die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und die Interdisziplinarität des digitalen Stadtzwillings die besten Chancen für eine umfangreiche Digitalisierung in allen Handlungsbereichen einer Smart City bietet.

4.1 Anwendungsfälle

Nachfolgend wird auf die einzelnen Anwendungsfälle des digitalen Zwillings eingegangen. Hierbei wurde für jedes Handlungsfeld, das eine Smart City betrifft, unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten erarbeitet.

4.1.1 Smart Environment

Stadtklima

Da sich der Klimawandel in Zukunft voraussichtlich weiter verstärken wird, ist eine rechtzeitige Klimaanpassung in Städten unabdingbar. Vor allem Maßnahmen zur Hitzeminderung sind nötig, um einer lokalen Überhitzung entgegenzuwirken und die Lebensqualität in der Stadt zu erhalten. Mit Hilfe des digitalen Zwillings können Simulationen über den Kühlenergiebedarf einer Stadt durchgeführt und „Was-wäre-wenn-Szenarien“ bewerten werden. Der digitale Zwilling verwendet Daten aus Klimamodellen, Sensornetzwerken sowie Gebäude- und Verkehrssystemen und zeigt auf, in welchen Gebieten die Hitzebelastung am größten ist. (vgl. Swiss Academy of Sciences 2021) Mit unterschiedlichen Szenarien kann ermittelt werden, wie sich neu geplante Gebäude und Anlagen oder gar ganze Stadtquartiere auf die städtische Hitze auswirken.
Basierend auf den Ergebnissen der Simulationen kann dann die optimalen Bebauungsstruktur bestimmt werden. Zudem kann im Modell dargestellt werden, welche bestehen-

den Gebiete besonders von der Hitze betroffen sind und welche Maßnahmen zur Hitzesenkung ergriffen werden können. Im Modell werden die Orte angezeigt, an denen eine Dach-/Fassadenbegründung oder eine Baumbepflanzung eine effiziente Senkung der Umgebungstemperatur bewirkt.

In der Stadt Zürich wird der digitale Zwilling bereits für ausgewählte Stadtgebiete zur Analyse möglicher Auswirkungen bestehender und geplanter Gebäude auf die Kaltluftströme in der Stadt eingesetzt. Hierfür hat die Stadt 13 Handlungsansätze (s. Abbildung 21) entwickelt, mit denen unterschiedliche Szenarien simuliert werden können, um die optimierte Klimasituation zu ermitteln.

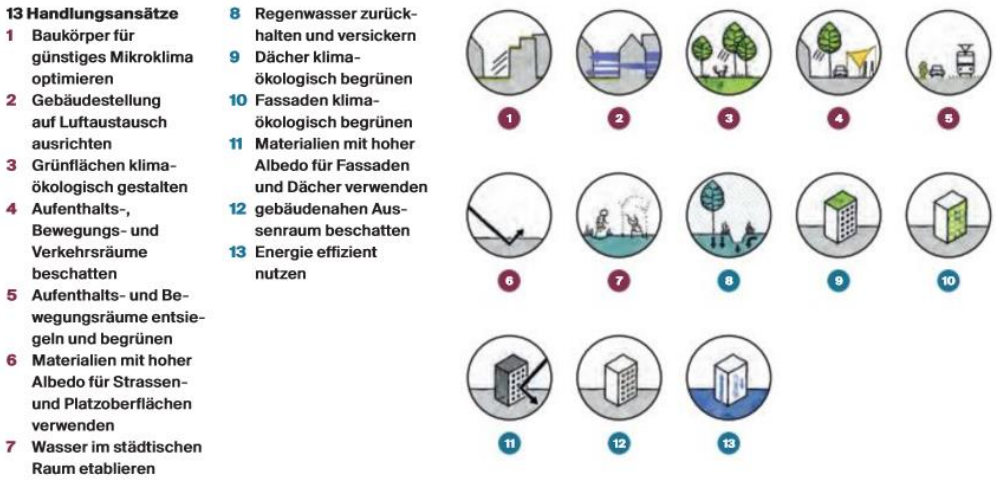

Abbildung 21: Handlungsansätze zur Klimasimulation (Stadt Zürich 2020: 11)

Abbildung 22 zeigt eine Simulation des Bullingerplatzes in Zürich. Das Modell vergleicht mit Hilfe der unterschiedlichen Handlungsansätzen die aktuelle Situation mit der klimaoptimierten Situation. Es zeigt an, wie sich die Physiologische Äquivalente Temperatur[6] (PET) in den unterschiedlich simulierten Szenarien verändert und wo sich geeigneten Orte für nutzbares Grün befinden.

[6] Größe zur Bewertung des thermischen Empfindens eines Menschen

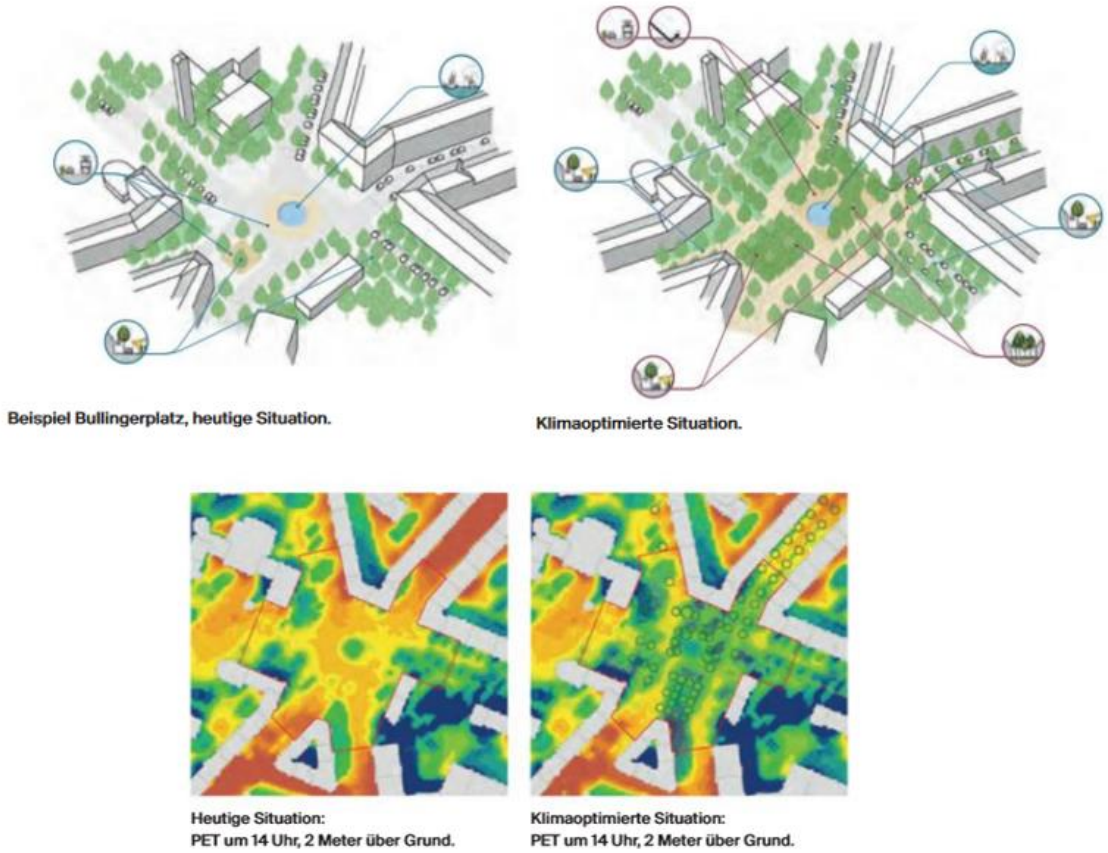

Abbildung 22: Klimasimulation des Bullingerplatzes, Zürich (Stadt Zürich 2020: 11)

Dank der simulierten Szenarien können Klimaaspekte in den zukünftigen Planungsprozessen stärker berücksichtigt werden. Denn heutzutage spielen Faktoren wie das Klima eine wichtige Entscheidungsgrundlage in Planungsverfahren. Das Beispiel Zürich zeigt anschaulich, wie der digitale Stadtzwilling zur Verbesserung des Stadtklimas genutzt werden kann. (vgl. Schrotter und Hürzeler 2020: 108)

Bebauungsszenarien

Mit Hilfe des digitalen Stadtzwillings können zukünftige Bebauungsszenarien simuliert werden (s. Abbildung 23). Unter Berücksichtigung unterschiedlicher planerischer Vorgaben und Parameter, die mit Geodaten verknüpft sind, lassen sich Szenarien über mögliche bauliche Ausnutzungen und deren Auswirkungen berechnen und miteinander vergleichen. Die Berechnung und Visualisierung verschiedener Verdichtungsszenarien dienen hierbei den beteiligten Akteuren wie Planern, Architekten und Stadtverwaltung als Diskussions- und Entscheidungsgrundlage für die künftige Entwicklung von Stadtgebieten. (vgl. Schrotter und Hürzeler 2020: 107)

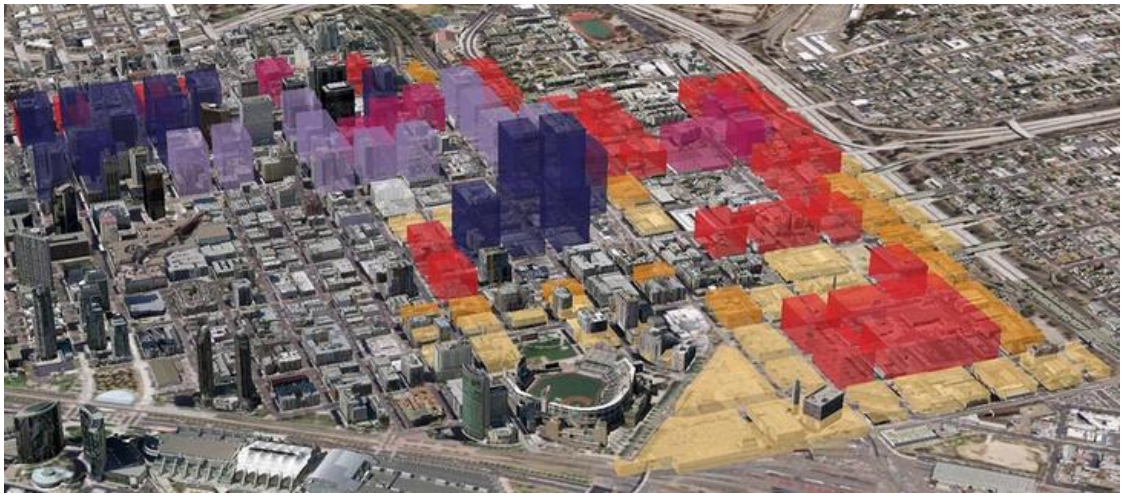

Abbildung 23: Bebauungsszenario in 3D (Esri Deutschland GmbH o. J.)

In einer Smart City nimmt das Leitbild der „Stadt der kurzen Wege“ eine immer bedeutendere Rolle ein. Städte werden zukünftig in die Höhe wachsen, sodass die Distanz zwischen Leben, Arbeiten und Konsum möglichst geringgehalten wird. Neben dem positiven Effekt auf die Mobilitätswege, hat die vertikale Urbanisierung den Vorteil, dass vorhandene Grünflächen als städtische Naherholungsflächen bestehen bleiben. (vgl. Burgmaier 2019) Der digitale Zwilling ist demnach ein geeignetes Instrument durch präzise Simulationen eine vollständige bauliche Ausnutzung in Städten zu realisieren.

Solarpotenzialanalysen

Der digitale Zwilling ist in der Lage Potenziale für Solarenergie sowie Abschattungseffekte aufzuzeigen. Das Modell enthält im LOD 2 Informationen über die Lage von Gebäuden sowie deren Dachform, -höhe und -ausrichtung. Unter Berücksichtigung der Schattenwürfe von Gebäuden, Bäumen und anderen Elementen im Modell sowie der Sonneneinstrahlung, werden die einzelnen Dachflächen analysiert und das vorhandene Potenzial berechnet. So können geeignete Dachflächen zur Gewinnung von Solarenergie bestimmt werden (s. Abbildung 24). Bei der Errichtung neuer Gebäude und Anlagen kann die Solarpotenzialanalyse ebenfalls hilfreich sein, um die optimalen Standortbedingungen zu ermitteln.

In Zeiten des Klimawandels tragen erneuerbare Energien einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz bei. Durch die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energieträger wie Solarenergie können CO_2-Emissionen zunehmend reduziert werden. Der digitale Zwilling erlaubt neben der Abschätzung des Solarpotenzials auf Dächern auch die Ermittlung

ungenutzter Gebäudeflächen. Die Solarpotenzialanalyse stellt demnach eine zuverlässige Planungsgrundlage für Energiekonzepte zur effizienten Nutzung von Solarstrom dar.

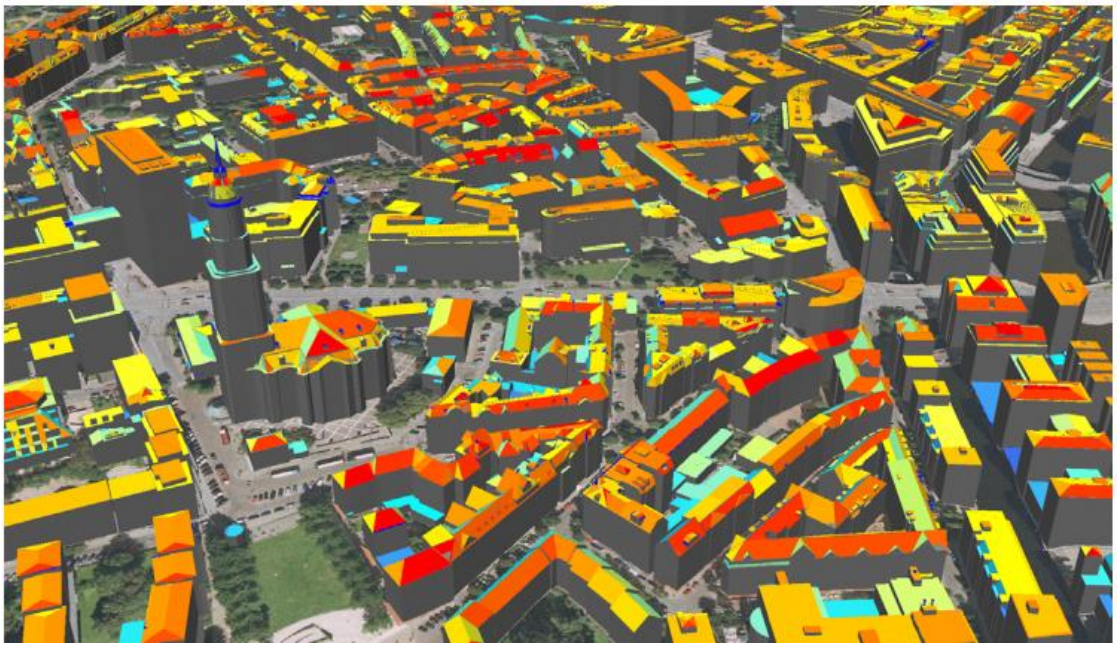

Abbildung 24: Solarpotenzialanalyse im 3D-Modell (simuPLAN o. J.: 18)

Energie- und CO_2-Bedarfsanalysen

Mit Hilfe des digitalen Zwillings können Energieanalysen in Bezug auf CO_2-Emissionen und Wärmebedarf einzelner Gebäude sowie ganzer Stadtquartiere erstellt werden (s. Abbildung 25). Der digitale Zwilling ist durch bestimmte Eingabeparameter in der Lage den Wärmeenergiebedarf zu ermitteln und zu visualisieren. So können präzise digitale Wärmebedarfskarten erstellt werden, die als Instrument für die kommunale Wärmeplanung dienen. Zudem können mit Hilfe des digitalen Zwillings Strategien zur Verbesserung der Gebäudestandards (z. B. durch besondere Wärmedämmung, luftdichte Außenhülle) sowie Einsparpotenziale berechnet werden. Um den Bedarf zu ermitteln, sind Gebäudeparameter wie Baujahr, Gebäudetyp und -nutzung notwendig. Für eine exaktere Berechnung des Bedarfs können weitere Parameter wie Geschosszahl, Fensterflächenanteil, Dicke der Dämmung sowie Informationen zu Dachgeschoss und Keller eingesetzt werden. (vgl. Eicker et al. 2015: 2)

Abbildung 25: Visualisierung der simulierten Jahres-Heizwärmebedarfe in kWh/m²a (Eicker et al. 2015)

Durch die Berechnung des CO_2-Ausstoßes und die Visualisierung von Sanierungsszenarien und Einsparpotenzialen, können entsprechende Sanierungskonzepte entwickelt und Sanierungsprioritäten definiert werden. Auch beim Bau neuer Projekte oder ganzer Stadtgebiete kann der digitale Zwilling zur Berechnung des Energiebedarfs eingesetzt werden. (vgl. Eicker et al. 2015: 6)

Der Gebäudesektor bietet erhebliches Potenzial zur Einsparung und effizienten Nutzung von Energie. Die Bundesregierung strebt an bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu realisieren. Denn aktuell fällt mit 40 % des Gesamtenergieverbrauchs und 36 % der CO_2-Emissionen der größte Teil des Energieverbrauchs in der EU auf den Gebäudesektor. (vgl. Europäische Kommission 2020) D (Coors et al. 2016)ie Energie- und CO_2-Bedarfsanalysen tragen somit einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität bei. Mit den Analysen und wirkungsvollen Sanierungsmaßnahmen kann das Ziel der Bundesregierung schneller erreicht werden. (vgl. Eicker et al. 2015: 6)

Simulationen von Lärm- und Luftschadstoffausbreitung

Mit Hilfe des digitalen Zwillings kann die Ausbreitung von Lärm und Luftschadstoffe berechnet und im Modell visualisiert werden. Für die Simulation des Lärms ist das LOD 1-Modell ausreichend (s. Abbildung 26). Auf Basis von 3D-Geodaten sowie In-

formationen zu den Gebäudehöhen können im digitalen Zwilling verschiedene Varianten von Lärmschutzmaßnahmen und deren Auswirkungen simuliert und miteinander vergleichen werden. Zudem können Orte, bei denen es zu Pegelüberschreitungen kommt, und die Anzahl der dadurch betroffenen Einwohner ermittelt werden. (vgl. Kuffer und Kurakula 2014: 521–522)

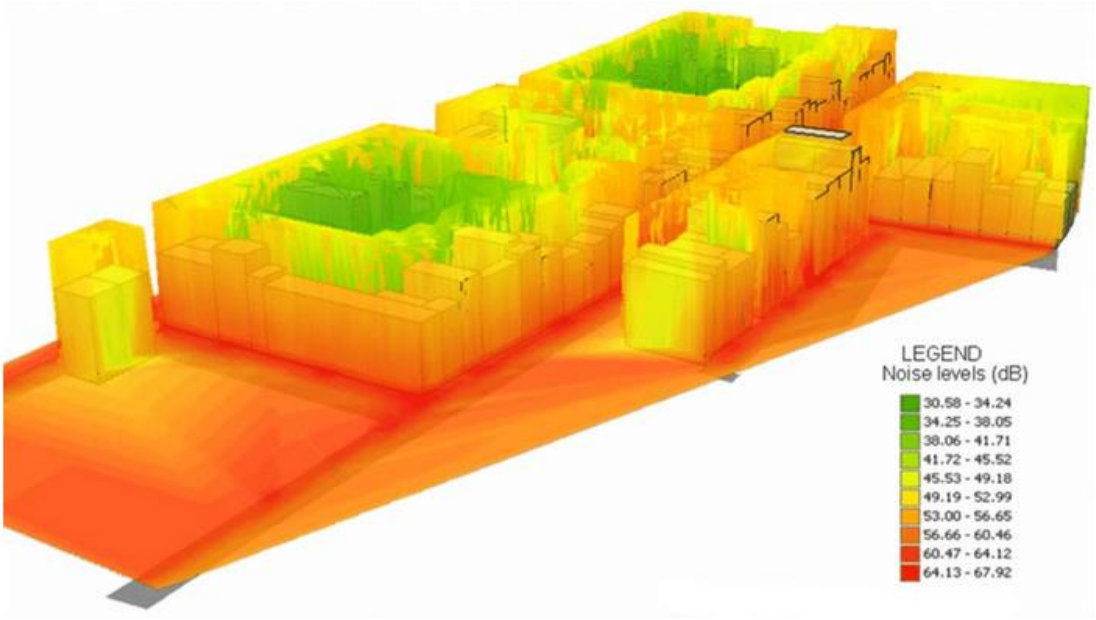

Abbildung 26: Simulation zur Lärmausbreitung (Ennafii 2020)

Neben der 3D-Visualisierung von Lärmausbreitungen, kann auch die Ausbreitung von Luftschadstoffen simuliert werden. Durch die visuelle Darstellung des Verschmutzungsgrades der Luft kann die Luftqualität in städtischen Gebieten überwacht und kritische Bereiche aufgezeigt werden (s. Abbildung 27).

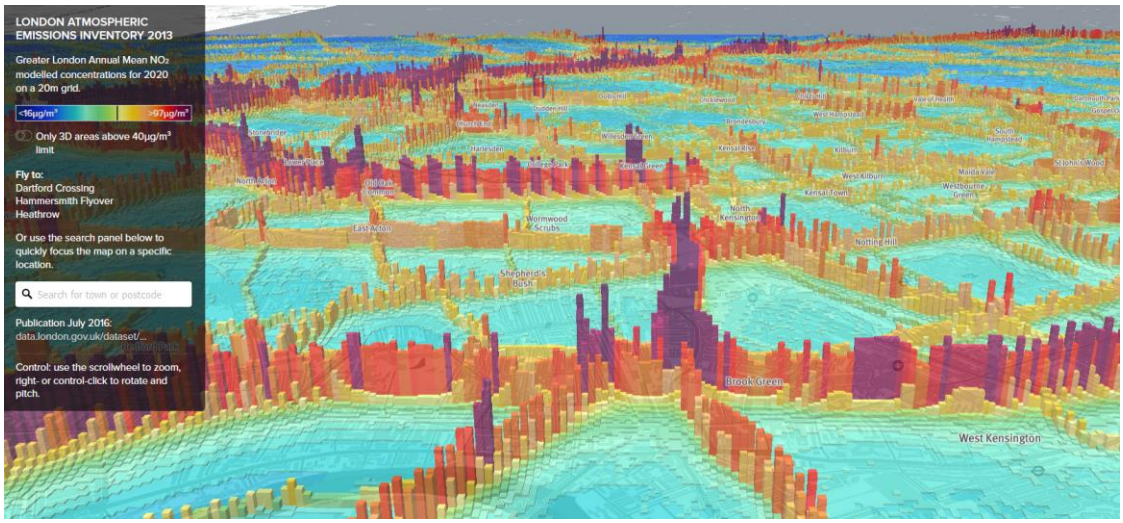

Abbildung 27: Kartierung der Luftverschmutzung in London im 3D-Modell (parallel 2021)

Durch die Schadstoff-Visualisierung im 3D-Modell können die Auswirkungen der Luftqualität bei Bauvorhaben bereits in einem frühen Stadium der Planung untersucht werden. In einem Pilotprojekt des schwedischen Forschungsinstitutes IVL und der Universität Chalmers wurde mit Hilfe des digitalen Stadtzwillings untersucht, wie sich eine Bebauung im Zentrum von Göteborg auf die Luftqualität auswirkt. Die Berechnungen der Schadstoffbelastungen der Luft erfolgten auf Grundlage von 3D-Geodaten. Für die Darstellung der Luftverschmutzung wurden verschiedene Möglichkeiten untersucht (s. Abbildung 28). (vgl. Billger et al. 2013: 2–3)

Abbildung 28: Darstellung der Luftschadstoffbelastung als vertikale Linie (oben) und als vertikale Punkte (unten) (Billger et al. 2013: 4)

Städtebauliche Planungen haben oftmals eine negative Auswirkung auf das Stadtklima. Dichte Bebauungen führen zu einer mangelnden Durchlüftung und zu einer Erhöhung der Luftschadstoffkonzentrationen. Der digitale Zwilling stellt mit den Simulationen von Lärm- und Luftschadstoffausbreitung eine geeignete Möglichkeit dar die klimatischen Aspekte bei städtebaulichen Vorhaben frühzeitig einzubinden.

Beleuchtungssimulationen

Ein nachhaltiger und wirtschaftlicher Umgang mit Energie gewinnt in Städten zunehmend an Bedeutung. Dies kann beispielsweise durch eine smarte Beleuchtung von Straßen und öffentlichen Gebäuden erreicht werden. Mit Hilfe des digitalen Zwillings können verschiedene Beleuchtungsszenarien simuliert und untersucht werden. So kann die optimale Beleuchtungsstärke, die Lichtfarbe sowie der geeignete Standort ermittelt werden (s. Abbildung 29). Beleuchtungstest müssen nicht mehr vor Ort durchgeführt werden, sondern können lediglich mit Hilfe des Modells realitätsnah simuliert werden. Auch für die Beleuchtungsplanung von Sehenswürdigkeiten kann die Simulation im digitalen Zwilling eingesetzt werden. Somit stellt die Beleuchtungssimulation für die Stadtplanung ein hilfreiches Instrument dar, um Beleuchtungskonzepte für eine optimale energiesparende Beleuchtung zu erstellen. (vgl. Olberding 2018: 1)

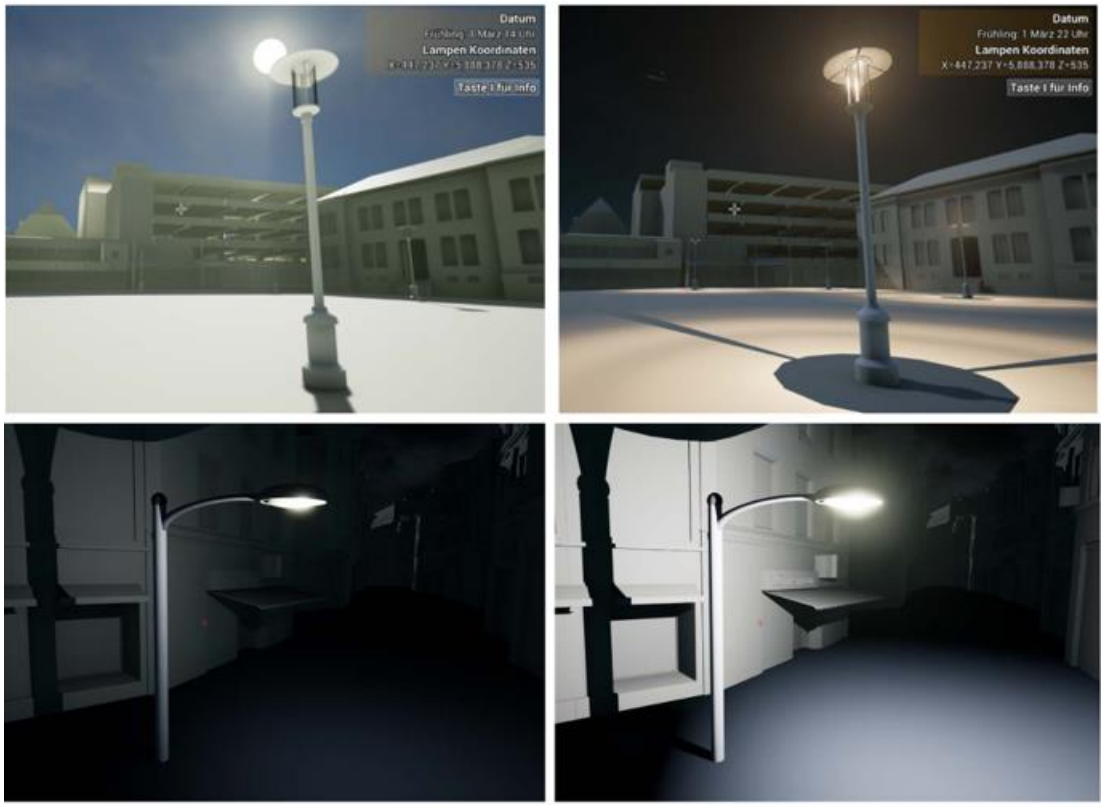

Abbildung 29: Beleuchtungssimulationen, Szene bei Tag und Nacht (oben) und Szene bei unterschiedlicher Lichtintensität (unten) (Olberding 2018: 39, 66)

4.1.2 Smart Governance

Sichtbarkeitsanalysen

Sichtachsen und Blickbeziehungen prägen das Erscheinungsbild einer Stadt. Vor allem in historischen Stadtteilen spielen Sichtbeziehungen eine wesentliche Rolle. Im digitalen Zwilling können Sichtbeziehungen zwischen verschiedenen Gebäuden und anderen Elementen erzeugt und simuliert werden (s. Abbildung 30). Bei der Erstellung von Sichtbarkeitsanalysen ist das LOD 2-Modell ausreichend, wobei mit Hilfe des LOD 3-Modells detailliertere Analysen durchgeführt werden können. Zudem sind Modellobjekte wie Stadtmöbel und Vegetation, je nach Anwendungsfall, ebenso hilfreich. Durch die Sichtbarkeitsanalyse kann bei der Planung von städtebaulichen Maßnahmen untersucht werden, wie prägend markante Objekte für das Stadtbild sind oder ob durch eine Gebäudeaufstockung Sichtbeziehungen gestört werden. Gerade bei der Planung sensibler Bauvorhaben in historischen Stadtteilen können Bürger in die Entscheidungsprozesse miteinbezogen werden. (vgl. Coors et al. o. J.: 5) Des Weiteren kann im Rahmen der Immobilienvermarktung bei der Planung neuer Gebäudekomplexe ermittelt werden, welche Wohnungen die beste Aussichtsqualität besitzen. Zudem kann mit Hilfe der Analyse die beste Position für Überwachungskameras sowie der optimale Messbereich von Sensoren bestimmt werden. (vgl. Coors et al. 2016: 370) Sichtbarkeitsanalysen dienen demnach als hilfreiche Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung eines Stadtbildes. Sie können eingesetzt werden, um bauliche Maßnahmen im städtischen Raum zu bewerten und den Ansprüchen der Bürger an ein harmonisches Stadtbild gerecht zu werden.

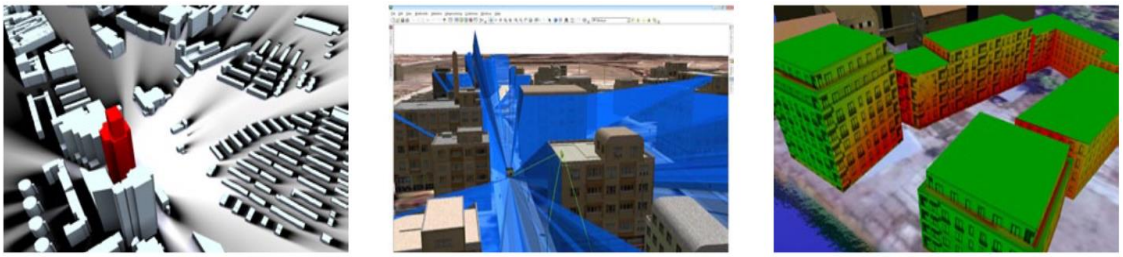

Abbildung 30: Sichtbarkeitsanalysen im 3D-Stadtmodell (Coors et al. o. J.: 5)

Abfrage von Sachdaten und Gebäudeinformationen

Als zentrale Stelle stehen der Öffentlichkeit urbane Daten frei und offen auf der Plattform zur Verfügung. Akteure der Stadt können jederzeit auf die Plattform zugreifen und Karten sowie raumbezogene Daten abrufen. Es können beispielsweise gültige Bebauungspläne, Vermessungsdaten oder Katasterinformationen eingesehen und heruntergeladen werden. So können Fachanwender gezielt auf diejenigen Daten zugreifen, die sie für die Vorbereitung und Planung ihres Projekts benötigen. Diese Datensätze lassen sich in unterschiedlichen Formaten darstellen und beliebig kombinieren. Dies ermöglicht sowohl einen reduzierten Verwaltungsaufwand als auch einen schnelleren und einfacheren Zugang zu Daten und Informationen. Auf der Plattform können entsprechende Rollen und Zugriffsrechte für die Datennutzung konfiguriert werden.

Aktive Bürgerbeteiligung

Städtebauliche Planungsprozesse sind oftmals komplex und stehen im Spannungsfeld unterschiedlicher öffentlicher Interessen. Die frühzeitige Einbindung von Bürgerbelangen in politische Entscheidungs- und Planungsprozesse, vor allem bei Großprojekten, ist ein wesentlicher Bestandteil einer Demokratie. Durch die Integration von BIM-Bauwerksmodellen in das 3D-Modell können geplante Bauvorhaben einfach und anschaulich in 3D-Ansicht visualisiert werden (s. Abbildung 31).

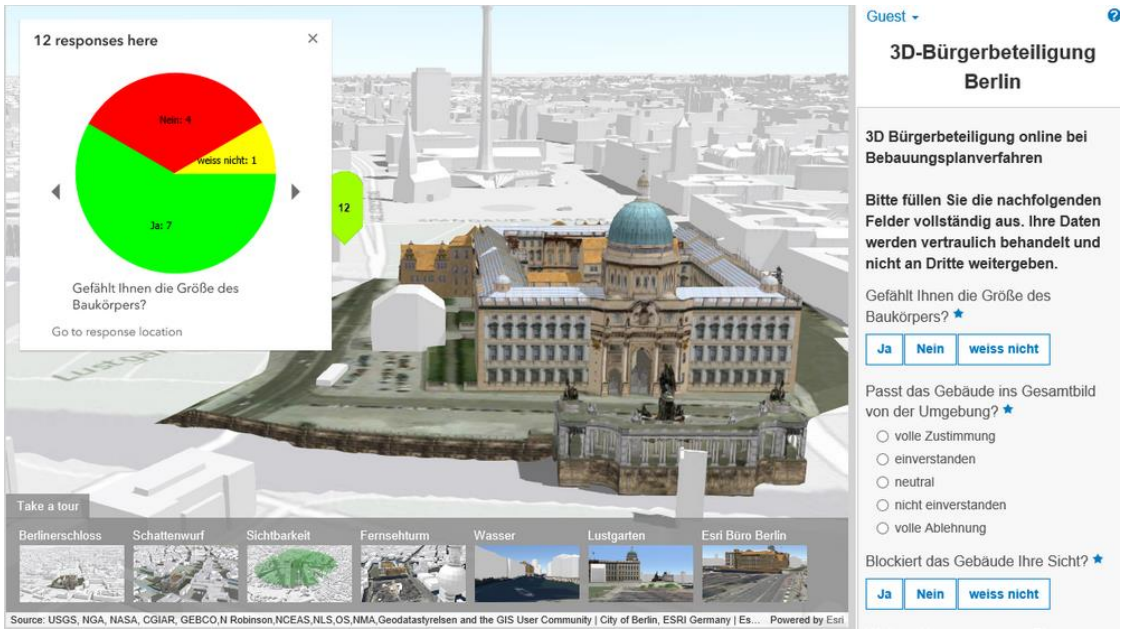

Abbildung 31: Digitale 3D-Bürgerbeteiligung (Esri Deutschland GmbH 2017)

Die Stadt hat so die Möglichkeit über die Plattform direkt mit ihren Bürgern in Dialog zu treten. Bürger können sich auf der Plattform über Planungen im öffentlichen Bereich informieren. Sie können geplante Bauvorhaben aus unterschiedlichen Perspektiven, z. B. aus Fußgängersicht oder aus der Luft, und mit allen Details und relevanten Informationen realitätsgetreu betrachten. Sie erhalten so einen Eindruck, wie sich ein geplantes Bauwerk in das Stadtbild einfügt und welche Auswirkungen es auf die Umgebung, z. B. hinsichtlich Umweltauswirkungen, haben kann. Bürger haben die Möglichkeit ihre Meinungen, Kritik sowie Verbesserungsvorschläge auf der Plattform zu äußern und mit anderen Bürgern darüber zu diskutieren. Sie können somit aktiv in die Entscheidungsprozesse von Planungsvorhaben miteinbezogen werden und dadurch ihre Stadt mitgestalten.

Unterirdische Strukturen

Der Untergrundbereich stellt häufig aufgrund von unvorhersehbaren Risiken hohe Anforderungen an die Planung und Ausführung von Bauwerken. Hierbei spielen die Qualität und Zusammensetzung des Bodens, die Grundwasserverhältnisse, bestehende Leitungen, Altlasten sowie unterirdische Restbebauungen eine wesentliche Rolle. Oftmals reicht der Planungshorizont bei Bauvorhaben aufgrund mangelnder Daten und Kenntnisse zum Baugrund lediglich bis zur Oberfläche. Mit Hilfe digitaler geologischer 3D-Daten können Untergrundstrukturen wie Leitungen oder Baumwurzeln im digitalen Zwilling modelliert und visualisiert werden (s. Abbildung 32). Durch die Visualisierung des unterirdischen Raums können alle relevanten Informationen zu den Untergrund- und Grundwasserverhältnissen eingeholt werden. Dies gewährleistet Planungssicherheit und vermeidet Risiken wie Bauschäden an unterirdischen Ver- und Entsorgungsleitungen oder Gefährdungen der Arbeiter auf der Baustelle.

Abbildung 32: Visualisierung unterirdischer Strukturen (ewp AG o. J.)

4.1.3 Smart Economy

Architekturwettbewerbe

Für die Vergabe von Planungsaufgaben wie z. B. städtebaulichen Projekten oder Landschaftsplanungen können Architekturwettbewerbe veranstaltet werden. Hierbei kann die 3D-Visualisierung der Architekturmodelle im digitalen Stadtzwilling die Entscheidungsfindung wesentlich unterstützen. Die Integration der BIM-Gebäudemodelle in das 3D-Stadtmodell schafft eine objektive Vergleichbarkeit und Bewertung der einzelnen Entwürfe (s. Abbildung 33). Neben der Berücksichtigung wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte sowie unterschiedlicher Simulationen, kann beurteilt werden, wie harmonisch sich das Bauwerk in die bebaute Umgebung einfügt. Zudem bietet die gemeinsame Online-Plattform die Möglichkeit die Bürger zum städtebaulichen Wettbewerb miteinzubeziehen.

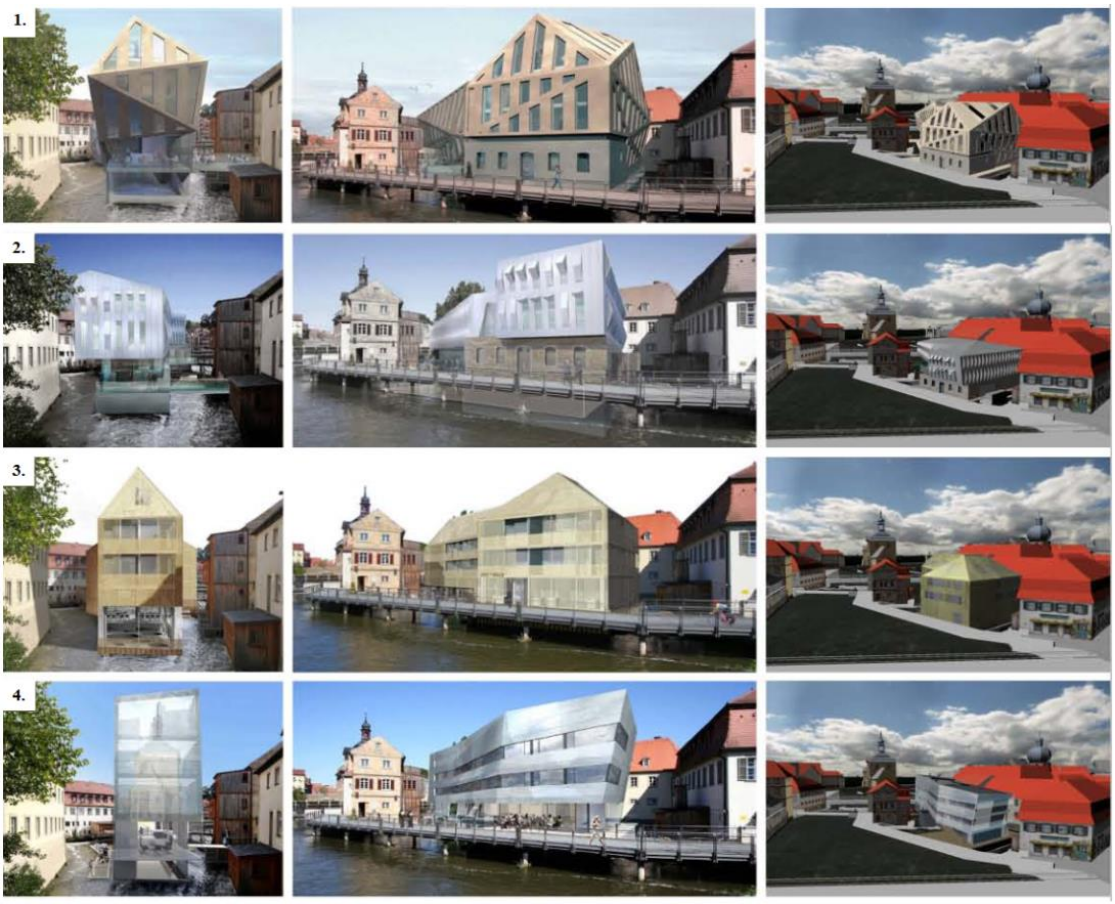

Abbildung 33: Eingereichte Wettbewerbsbeiträge, integriert in das 3D-Stadtmodell (in Anlehnung an: Zeile 2010)

Interaktive 3D-Visualisierung mit Computerspielen

Digitale Plattformen schaffen neue Möglichkeiten reelle Planung und fiktives Spiel miteinander zu verbinden. Mit Hilfe webbasierter Computerspiele und offener, urbaner Daten können sich Bürger interaktiv in Stadtplanungsverfahren einbringen. Ein Beispiel hierfür ist das Pilotprojekt der Stadt Zürich, bei der die Stadt ihr digitales 3D-Stadtmodell in das Computerspiel Minecraft[7] überführte (s. Abbildung 34). Die Spieler waren in der Lage mit Hilfe digitaler Tools alleine oder gemeinsam die Stadt nach ihren eigenen Vorstellungen neu zu kreieren, umzugestalten oder zu verschönern. Darüber hinaus wurde von der Stadt mit der webbasierten 3D-Anwendung JavaScript API von Esri eine weitere Form der interaktiven Bürgerbeteiligung getestet. Auch hier stand den Anwendern ein Katalog mit diverseren Gestaltungswerkzeugen wie Pflanzen, Gebäuden und Straßen zur Verfügung. Sie konnten frei entscheiden, an welche Stelle sie einen Baum pflanzen, eine Bank platzieren oder aus welchen Materialien ein Gebäude besteht. (vgl. Schrotter und Hürzeler 2020: 110)

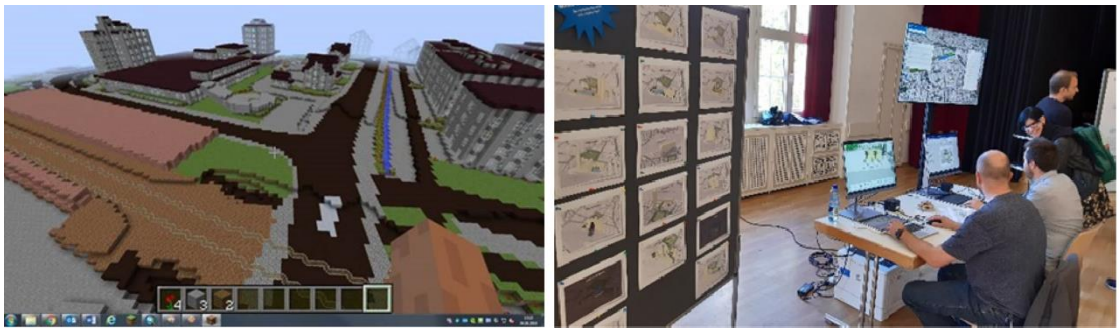

Abbildung 34: Nachbildung des Züricher Stadtteils Affoltern im Computerspiel Minecraft (links) sowie Testpersonen für die JavaScript-Anwendung von ESRI (rechts) (Schrotter und Hürzeler 2020: 110)

Facility Management

Durch den Einsatz eines digitalen 3D-Modells und der Integration mit BIM lassen sich die Lebenszykluskosten eines Gebäudes entscheidend beeinflussen. Die Nutzungskosten eines Gebäudes umfassen rund 80 % der Gesamtkosten und wirken sich somit im Wesentlich auf die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes aus. Der Facility Manager wird durch ein vollständiges BIM-Gebäudemodell mit allen relevanten Daten hinsichtlich der Energieverbräuche und anderen Kenndaten unterstützt. Sensoren, die über das IoT mit der Plattform verbunden sind, übernehmen bei der Instandhaltung eine Schlüsselrolle.

[7] Open-World-Spiel, bei dem Spieler ihre eigene virtuelle 3D-Welt aus würfelförmigen Blöcken bauen können (vgl. Minecraft Magazin o. J.)

Sie überwachen die baulichen Zustände von Bauwerken sowie deren Energieverbräuche, erkennen Störungen und Abweichungen positionsgenau und melden diese frühzeitig. Zudem ermöglichen sie eine vorausschauende Instandhaltung, indem sie durch die Auswertung von Daten die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers an einer technischen Anlage sowie mögliche Abnutzungen lokalisieren. So können Instandhaltungsmaßnahmen frühzeitig geplant werden. Damit können sowohl die Lebenszykluskosten eines Bauwerks reduziert als auch der Lebenszyklus verlängert werden. Zudem kann der Verwaltungsaufwand für das Facility Management erheblich gesenkt werden.

4.1.4 Smart Mobility

Verkehrssimulationen

Im digitalen Stadtzwilling lassen sich Verkehrsräume modellieren und Verkehrssimulationen durchführen. Durch das Sammeln und Einspeisen aktueller Verkehrsdaten kann der Verkehrsfluss realitätsgetreu im digitalen Zwilling dargestellt werden. Dadurch können die Anzahl aller Verkehrsteilnehmer ermittelt und stauanfällige Bereiche identifiziert werden. Somit lassen sich aussagekräftige Verkehrsprognosen über aktuelle Verkehrsströme sowie zukünftigen Verkehrsentwicklungen erstellen. Darüber hinaus können Szenarien unter verschiedenen Verkehrsbedingungen simuliert werden. So können beispielsweise Szenarien Auskunft darüber geben, wie sich der Verkehr an einer ampelgeregelten Kreuzung durch einen Kreisverkehr verändert (s. Abbildung 35) oder wie sich der Bau einer Fußgängerunterführung auf die Verkehrslage auswirkt. Außerdem kann die Verkehrssituation bei geplanten Sperrungen und Baustellen simuliert werden und die optimale Route für eine Umleitung berechnet werden. (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr 2020)

Abbildung 35: Direktanalyse unterschiedlicher Verkehrsmaßnahmen im 3D-Stadtmodell (Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr 2020)

Eine weitere Möglichkeit ist die virtuelle Verkehrssimulation für autonome Fahrzeuge. Unter Berücksichtigung verschiedener Parameter wie z. B. der Verkehrsregeln, der Verkehrsteilnehmer oder dem Wetter, kann das Verhalten von autonomen Fahrzeugen in bestimmten Situationen simuliert werden (s. Abbildung 36). Vor allem im Innenstadtbereich können häufig gefährliche Verkehrssituationen auftreten. Dabei können mit Hilfe der Simulationen ermittelt werden, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um die Sicherheit beim autonomen Fahren zu gewährleisten. Ingolstadt bildet bereits im Rahmen des Forschungsprojekts „SAVeNoW“ den urbanen Verkehr mit automatisierten Fahrzeugen im digitalen Stadtzwilling ab. (vgl. Universität Stuttgart 2021) *„Mit dem Modell des digitalen Zwillings können wir ausprobieren, wie viele Fahrzeuge eine Stadt zur Bewältigung ihres Mobilitätsbedarfs künftig braucht, welche Strecken zu welchen Tageszeiten genutzt werden, welche Auswirkungen dies auf Verkehrsdichte hat und wie sich die Zahl der Leerfahrten entwickelt. All dies ermöglicht verbesserte Verkehrsprognosen – und zwar, bevor die Autos gebaut werden.“*, so Prof. Wolfram Remlinger vom IKTD, der für die Leitung der Stuttgarter Teilprojekte in SAVeNoW zuständig ist. (Universität Stuttgart 2021)

Abbildung 36: Verkehrssimulation, in der die automatisierten Fahrfunktionen virtuell getestet werden (Universität Stuttgart 2021)

Neben Verkehrssimulationen kann der digitale Stadtzwilling genutzt werden, um Straßenschäden wie beispielsweise Schlaglöcher zu erkennen und im Modell aufzuzeigen. Mit Hilfe von Kameras und Sensoren, die neben der Verkehrslage auch den Straßenzustand erfassen, können Abweichungen an Straßen erkannt und gemeldet werden. Das frühzeitige Erkennen von Schäden ermöglicht eine effizientere Instandhaltung sowie eine verlängerte Nutzungsdauer der Straßen und erhöht die Verkehrssicherheit.

4.1.5 Smart Living

Analyse von Starkregenereignissen

Mit Hilfe des digitalen Zwillings können GIS-basierte Starkregenanalysen durchgeführt und Hochwasserszenarien simuliert werden. Unter Einbeziehung von Echtzeitdaten lassen sich möglichst realitätsnahe Vorhersagen von Starkregenereignissen sowie deren Auswirkungen treffen. Abbildung 37 zeigt die Visualisierung eines Überflutungsszenarios in der Stadt Köln. Gebäude, die von der Überschwemmung besonders betroffen sind, sind rot markiert, während Gebäude, die weniger gefährdet sind, gelb markiert sind. Die weißen Gebäude sind in diesem Szenario ungefährdet.

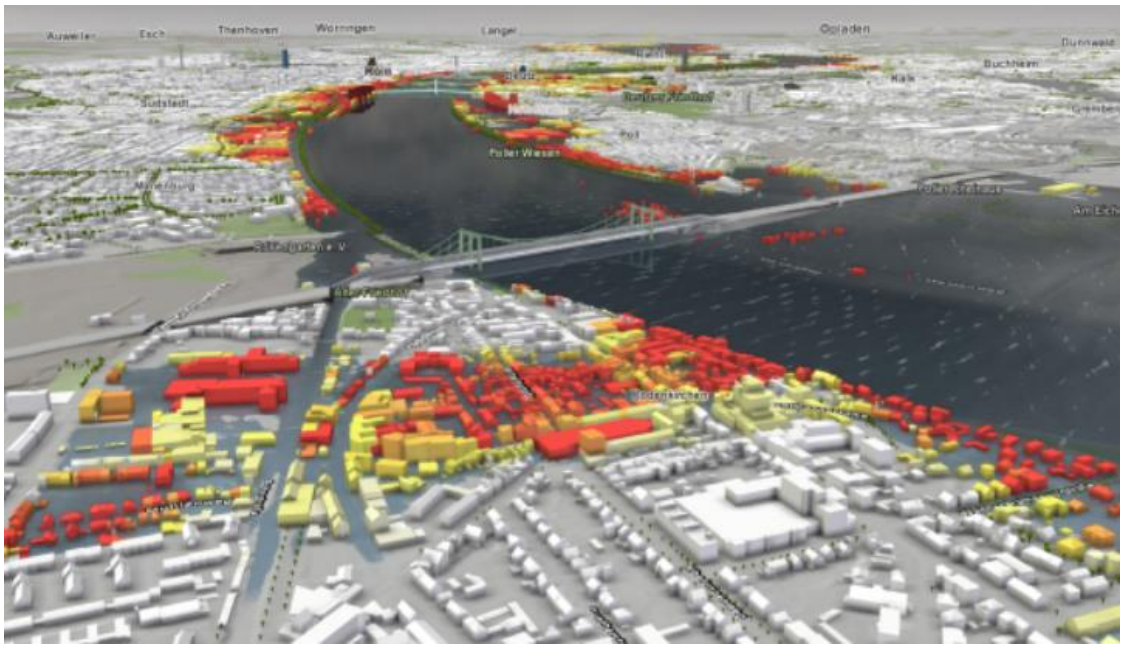

Abbildung 37: Überflutungsszenario im 3D-Stadtmodell (VRVis Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung Forschungs-GmbH o. J.)

Im digitalen Zwilling ist eine gekoppelte Modellierung von Kanalnetz und Oberflächenabfluss möglich. Somit lassen sich durch die Simulation von Starkregen diejenigen Mischwasserkanäle identifizieren, an denen ein erhöhter Oberflächenabfluss stattfindet (s. Abbildung 38). Durch die Überflutung des Kanalnetzes werden Schadstoffe in Oberflächengewässer freigesetzt. Durch die Identifizierung der überfluteten Kanäle, können geeignete Maßnahmen ergriffen werden.

Abbildung 38: Starkregensimulation mit Kanalnetzkopplung (VRVis Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung Forschungs-GmbH o. J.)

Der digitale Zwilling ist ein hilfreiches Instrument, um realitätsgetreue zeitliche und räumliche Prognosen von Starkregenereignissen zu erstellen. Die Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen haben vor allem in den letzten Jahren zugenommen. In Deutschland treten extreme Wettersituationen wie Starkregen[8] und Hochwasser immer häufiger auf. Die Folgen von Starkregenereignissen sind meist verheerend. Da der Regen innerhalb kürzester Zeit fällt, ist der Boden nicht in der Lage diese immense Wassermenge aufzunehmen. Dies führt zu einer Überlastung des Kanalnetzes. Es kommt zu Rückstaus und Überlaufen in den Mischwasserkanälen. Auch im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung sind die Risiken von Hochwasser und Starkregen zu berücksichtigen, um zukünftige Schäden an Gebäude und Mensch möglichst gering zu halten. (vgl. Patt und Jüpner 2020: 483, 668)

Hochwasserschutz

Mit Hilfe der Simulation von Starkregenereignissen lassen sich Hochwasserprognosen realitätsnah im digitalen Zwilling abbilden und dadurch hochwassergefährdete Gebiete identifizieren. Durch die Berechnung der Pegelstände und Abflussmengen können die eintretenden Schäden an Gebäuden und Infrastruktur ermittelt werden und geeignete Maßnahmen und Schutzpläne abgeleitet werden. Auf Basis baulicher und technischer Daten und Informationen der einzelnen Objekte, werden objektspezifische Schutzmaßnahmen unterbreitet und bewertet (s. Abbildung 39). (vgl. Ziehm o. J.)

[8] kurzzeitig auftretende Niederschläge mit hoher Intensität und Niederschlagsmengen von >25 l/m² pro Stunde (vgl. WhereNext Redaktion o. J.)

Die Stadt Lissabon setzte ihren digitalen Stadtzwilling bereits für städtische Hochwassersimulationen ein. Basierend auf den Ergebnissen der Simulationen entwickelte sie einen Masterplan für die Entwässerung für mehrere Wiederkehrperioden. Dabei wurden bereits geeignete Hochwasserschutzmaßnahmen realisiert. Hierdurch ist Lissabon für die Hochwasserereignisse des nächsten Jahrhunderts geschützt. Infolgedessen können große Schäden durch Überflutungen abgewendet werden. (vgl. Mankowski 2020)

Abbildung 39: Visualisierung einer geplanten Hochwasserschutzmaßnahme, Ist-Siutation (oben), Planung Hochwassershutz (mitte), Hochwasserschutz mit HQ 100 (unten) (Software-Service John GmbH 2013)

Starkregen und Hochwasser können oftmals das Leben und Eigentum der Bürger gefährden. So muss, neben eigenen Vorsorgemaßnahmen, die Stadt für die Sicherheit ihrer Bürger sorgen. Die Analysen ermöglichen eine anschauliche und zielgerichtete Planung und eine frühzeitige Einleitung notwendiger Hochwasserschutzmaßnahmen. Somit kann die Stadt mit Hilfe des digitalen Zwillings das Leben ihrer Bürger sicherer gestalten.

4.1.6 Smart People

Augmented Reality (AR)

Moderne Technologien wie AR bieten neue Möglichkeiten Bauprojekte zu visualisieren. Mit Hilfe von AR können Bauwerke als virtuelle 3D-Modelle für alle Akteure sichtbar und erlebbar gemacht werden, noch bevor sie realisiert werden. Auf einem mobilen Endgerät, wie beispielsweise einem iPad, können zukünftig geplante Projekte vorgestellt werden. Die visuelle Darstellung des Bauwerks erfolgt direkt vor Ort auf dem mobilen Gerät (s. Abbildung 40). Hierfür kann das Gerät auf die gewünschte Position gehalten werden, um das geplante Bauwerk in Originalgröße direkt vor Ort anzuzeigen.

Abbildung 40: Visualisierung eines zukünftig geplanten Bauprojektes mit Hilfe von AR (Esri Deutschland- Schweiz 2020)

Das Bauwerk kann auf dem mobilen Gerät sowohl von innen als auch von außen betrachtet werden. Je nach Bedarf können einzelne oder mehrere Layer wie Bauteile, Objekte oder Leitungen aktiviert und deaktiviert sowie relevante Gebäudedaten abgerufen werden. Das geplante Bauwerk kann zu jeder Tageszeit aus allen Blickwinkeln lagegerecht auf dem Bauplatz betrachtet werden.

4.2 Chancen

Der digitale Stadtzwilling eröffnet der Stadt Konstanz neue Möglichkeiten, um Fragestellungen zu den Themen Klimaschutz, nachhaltige Stadtplanung und -entwicklung sowie Infrastruktur zu beantworten. In den folgenden Kapiteln wird erläutert, welche Chancen der digitale Zwilling für die Stadt Konstanz bietet. Hierzu werden die einzelnen Themenbereiche beleuchtet, die für die Stadt Konstanz im Rahmen ihrer Digitalisierungsstrategie von Bedeutung sind.

4.2.1 Stadtklima

Die Bodenseeregion hat bereits mit den Auswirkungen des Klimawandels zu kämpfen. Vor allem Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, häufiger Starkregen und Dürresommer haben sich durch den Klimawandel verstärkt und werden dies auch in Zukunft tun. Starkregen überflutet Straßen und beeinträchtig den Verkehr auf der Straße. Die hohen Temperaturen belasten Mensch, Tier und Umwelt und können zu erheblichen Schäden im Straßenbelag führen. (vgl. Landesanstalt für Umwelt Baden-Würrtemberg 2021) Die langanhaltenden Hitzeperioden und zunehmenden Wetterextremen haben vor allem zur Folge, dass die Menschen ihr Freizeitverhalten ändern. Sie bevorzugen Orte, an denen ein angenehmes Klima herrscht. So gewinnen städtische Grünflächen, Bäume, die Schatten spenden, versiegelte Kiesflächen, Dach- und Fassadenbegrünungen sowie eine ausreichende Durchlüftung für die Stadt Konstanz zunehmend an Bedeutung.

Die Stadt Konstanz verfolgt schon seit Jahren eine nachhaltige Klimaschutzstrategie und hat sich im Rahmen ihrer Digitalisierungsstrategie zum Ziel gesetzt bis zum Jahr 2035 Klimaneutralität zu erreichen. Der digitale Stadtzwilling kann hierfür zum zentralen Baustein werden und durch seine vielfältigen Einsatzmöglichkeiten im Bereich des Stadtklimas die Ziele einer klimaneutralen Smart City schneller erreichen.

Der Landkreis Konstanz hinkt bei der Energiewende hinterher und bildet im Hinblick auf erneuerbare Energien das Schlusslicht in Baden-Württemberg. Bei einem Strombedarf von rund 300 GWh bezieht die Stadt Konstanz derzeit lediglich 20 GWh regenerativ (vgl. Müller 2020). Um das Ziel der Treibhausgasneutralität zu erreichen, muss die Stadt Konstanz 280 GWh aus regenerativen Quellen, wie etwa Solarthermie oder Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen), erzeugen. Mit Hilfe der Solarpotenzialanalyse können in Konstanz diejenigen Dachflächen ermittelt werden, die sich für den Zubau regenerativer Energien und Grünflächen eignen. Die Analyse gewährleistet die vollständige

Ausnutzung regenerativer und baulicher Potenziale bei Bestandsgebäuden und Neubauten. Die Nutzung der Dächer als Solar- oder Gründächer wirkt sich positiv auf das Stadtklima aus und kann somit aktiv zur Stadtklimatisierung beitragen. Die Analyseergebnisse können den Bürgern in einer interaktiven Karte digital zur Verfügung gestellt werden. Die Karte enthält alle relevanten Informationen zum Solarpotenzial auf Dachflächen und dient als Orientierungshilfe, um den Umstieg auf erneuerbare Energien zu erleichtern. Darüber hinaus kann die Stadt die Ergebnisse der Analyse nutzen, um den Einsatz finanzieller Fördermittel effizienter zu gestalten (vgl. Coors et al. o. J.: 10).

Neben der Solarpotenzialanalyse ist die Energie- und CO2-Bedarfsanalysen mit dem digitalen Zwilling ein geeignetes Hilfsmittel, um sanierungsanfällige Gebäude in der Stadt zu identifizieren. In Konstanz stehen viele historische Gebäude, wovon ein großer Teil unsaniert ist und eine schlechte energetische Bilanz aufweist. Mit dem digitalen Zwilling können die Zustände der einzelnen Gebäude analysiert und die Höhe des Einsparpotenzials unter Heranziehung des Energiebedarfs berechnet werden. Auf Grundlage der Analyse kann die Stadt Konstanz Prioritäten für den Sanierungsbedarf der einzelnen Gebäude festlegen und geeignete Sanierungsmaßnahmen planen. Durch die energetische Sanierung, vor allem im historischen Gebäudebestand, kann die Stadt den Wärmeenergiebedarf von Gebäuden langfristig senken und damit die Treibhausgasemissionen reduzieren.

Das Klima in der Stadt Konstanz wird vor allem durch anthropogene Klimafaktoren geprägt. Der digitale Zwilling kann für die Stadt bei der Planung zukünftiger Bauvorhaben zum Einsatz kommen, um unterschiedliche Bebauungsstrukturen miteinander zu vergleichen. Durch das Simulieren verschiedener Szenarien kann in kürzester Zeit die optimale Größe und Lage der Bebauung ermittelt werden. Dies gewährleistet eine ausreichende Durchlüftung in Konstanz und damit bioklimatische und lufthygienische Vorteile.

Neben klimatisch günstigen Bebauungsformen, können Bäume einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des städtischen Klimas leisten, da sie als Schattenspender und CO_2-Senker dienen. Die Stadt Konstanz hat den Baumbestand der Stadt bereits digital erfasst, im 3D-Modell visualisiert und auf der Open Data Plattform als 3D-Baumkataster zur Verfügung gestellt. Der digitale Zwilling kann eingesetzt werden, um die jeweiligen CO_2-Werte der Bäume oder ganzer Stadtteile abzubilden. Mit Hilfe des digitalen Zwillings können die Auswirkungen der Luftqualität durch unterschiedliche Baumarten

simuliert werden. Dadurch kann ermittelt werden, welche Baumarten sich für eine zusätzliche Bepflanzung in der Stadt am besten eignen.

Neben der Luftreinhaltung, ist die Lärmminderung ein wichtiges Ziel der EU-Umgebungslärmrichtlinie, da sich Lärm negativ auf die Lebensqualität vieler Menschen sowie auf die Lebensräume der Tiere auswirkt. Die Stadt Konstanz schreibt im Zuge der EU-Umgebungslärmrichtlinie ihren Lärmaktionsplan (Lärmaktionsplan Runde 3) derzeit fort. Dieser umfasst weitere Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von schädlichen Auswirkungen, die durch Umgebungslärm verursacht werden. (vgl. Stadt Konstanz 2021b) Die Nutzung des digitalen Zwillings für die Simulation von Lärmausbreitung ist durch die EU-Umgebungslärmrichtlinie zu einem wichtigen Instrument geworden und stellt auch für die Stadt Konstanz eine Chance dar. Im Rahmen der Richtlinie sind Lärmkarten und auf deren Basis Lärmaktionspläne zu erstellen. Die Stadt Konstanz kann mit Hilfe des digitalen Zwillings Lärmquellen, an denen es zu einer Lärmgrenzüberschreitung kommt, identifizieren und visualisieren. Hierdurch können detaillierte Lärmkarten erstellt werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen 2D-Lärmkarten, wird die Lärmausbreitung im 3D-Modell in allen Richtungen modelliert und stellt somit ein realistischeres Ergebnis dar. Außerdem berücksichtigt das 3D-Modell lediglich die Stockwerke eines Gebäudes, die den Lärmpegel überschreiten, und berechnet damit nur diejenige Personenanzahl aus, die tatsächlich vom Lärm betroffen sind. 2D-Lärmkarten hingegen schätzen lediglich die Anzahl der betroffenen Personen, indem sie alle im Gebäude lebenden Personen miteinbeziehen, unabhängig davon, ob sie direkt vom Lärm betroffen sind oder nicht. (vgl. Kuffer und Kurakula 2014: 521) Auf Grundlage der Ergebnisse kann die Stadt Konstanz im 3D-Modell verschiedene Varianten von Lärmschutzmaßnahmen und deren Auswirkungen simulieren und miteinander vergleichen. So können Verbesserungsmaßnahmen qualitativ und quantitativ beurteilt und bestmögliche Lösungen zur Lärmbekämpfung gefunden werden.

Zu den Folgen des Klimawandels gehören Hochwasser und Überflutungen infolge von Starkregen ebenfalls dazu. Auch die Stadt Konstanz ist hiervon betroffen, sodass das Thema des Hochwasser- und Überflutungsschutzes für die Stadt eine immer größer werdende Bedeutung einnimmt. Durch die Simulation und Visualisierung von Starkregen- und Hochwasserereignissen mit Hilfe des digitalen Zwillings kann die Stadt hochwassergefährdete Gebiete identifizieren und detaillierte Schadensprognosen treffen. Somit ist sie in der Lage bestehende Flächennutzungs- und Bebauungspläne zu ändern bzw.

aufzuheben. Zudem können bei der Erstellung der Pläne vorsorgliche Schutzmaßnahmen ergriffen und damit neue Risiken durch Hochwasser verhindert werden. Darüber hinaus geben die Simulationen Aufschluss darüber, ob das Entwässerungssystem der Stadt ausreichend dimensioniert ist. Die Hochwasservisualisierungen können in Form von einer digitalen Gefahrenkarte den Konstanzer Bürgern zur Verfügung gestellt werden. Damit besitzen die Bürger die Möglichkeit sich über das Hochwasserrisiko ihres Gebäudes zu informieren und gegebenenfalls geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen. Die Minimierung von Risiken und Schäden durch Hochwasser, der Umgang mit diesen sowie die Sicherheit der Bürger fallen in den Zuständigkeitsbereich vieler städtischer Akteure. Hierzu gehören beispielsweise Stadt- und Tragwerksplaner, Architekten, Klima- und Geoforscher, Sicherheitskräfte sowie Versicherer. An der Prävention gegen Überschwemmungsschäden sowie der Bewältigung und Nachsorge von Hochwasserereignissen sind alle Akteure gleichermaßen interessiert. Mit der Simulation von Starkregenereignissen und Hochwasser wird für alle Beteiligten ein gemeinsamer Wissensstand und transparentes Verständnis geschaffen. Somit dient der digitale Zwilling als kollaboratives Instrument zur Krisenbewältigung. (vgl. Ziehm o. J.)

Für realitätsgenaue Simulationen von Klimaszenarien werden umfassende Datensätze benötigt. Im Rahmen einer nachhaltigen und klimafreundlichen Stadtplanung haben Satellitendaten besonders in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Die ESA[9] stellt mit ihrem europäischen Erdbeobachtungsprogramm „Copernicus“ Klimadaten frei und offen auf einer cloudbasierten Plattform zur Verfügung (vgl. ESA o. J.). Durch die Verknüpfung dieser Satellitendaten mit dem digitalen Zwilling kann die Stadt Konstanz mit Hilfe der Analysen detaillierte und aussagekräftige Ergebnisse erzielen. Die enorme Menge an zur Verfügung gestellten Daten erschwert jedoch das Herausfiltern relevanter Daten. Um die relevanten Klimadaten zu identifizieren, benötigt es daher geeignete Methoden. Aus diesem Grund hat die Stadt Konstanz im März 2021 eine Projektskizze zur Vorlage einer Projektidee beim DLR[10] eingereicht. Die Stadt sieht vor, mit dem Projekt „CoKLIMAx“ praxistaugliche Werkzeuge zu entwickeln, die anderen Gemeinden als Hilfestellung dienen sollen. Diese Werkzeuge sollen eine einfache Handhabung für die Datenerfassung aus dem Copernicus-Programm und die sinnvolle Nutzung und Aufbereitung dieser Daten ermöglichen. Außerdem sollen die Werkzeuge in einer digitalen

[9] European Space Agency
[10] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.

Toolbox anderen Gemeinden frei und offen auf städtischen GIS-Plattformen zur Verfügung gestellt werden. Die Umsetzung der Nutzungsmethoden orientieren sich hierbei an den Klimabedürfnissen der Stadt Konstanz. (vgl. Sebald 2021: 6) Mit dem Projekt „CoKLIMAx“ würde die Stadt Konstanz eine neue Möglichkeit schaffen ihr Know-How bundesweit weiterzugeben. So müssen Städte keine eigene Lösung finden, sondern können über Best Practice ihre klimaresiliente Stadtplanung erfolgreich umsetzen. Konstanz kann hierbei als Impulsgeber für andere Städte fungieren, um ihnen den Weg zu einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Stadt zu erleichtern.

4.2.2 Mobilität

Neben der Simulation und Bewertung stadtklimatischer Auswirkungen geplanter Bebauungen, kann die Stadt Konstanz den digitalen Zwilling für eine nachhaltige Mobilitätsplanung einsetzen. Lärm, Abgase und Staus belasten die Stadt zunehmend. Im Jahr 2018 fiel mit rund 84 Kilotonnen CO_2-Äquivalente der größte Anteil an CO_2-Emmissionen auf den motorisierten Individualverkehr (MIV), nämlich rund 72 %. Die mit Konstanz verbundene Bodenseeschifffahrt sowie der Straßengüterverkehr entfielen jeweils 10 % der CO_2-Emissionen, der ÖPNV verursachte hingegen 7 %. (vgl. Dünnebeil et al. 2021: 12) Um die verkehrsbedingten Belastungen für Mensch und Umwelt zu reduzieren, entwickelte die Stadt Konstanz den Masterplan „Mobilität 2020+“. Der Plan beinhaltet die Ziele klimafreundliche und intermodale Mobilitätsangebote zu schaffen und den Bürgern den Umstieg auf die umweltfreundlichen Alternativen zu erleichtern. Zudem sieht der Masterplan vor, den Bereich des Bahnhofplatzes autofrei zu gestalten. (vgl. Stadt Konstanz 2021a) Das sogenannte C-Konzept stößt jedoch auf Bedenken. Das Konzept wird als bestmögliche Lösung für den Altstadtring angezweifelt, da es den MIV lediglich um 20-30 % reduziert (vgl. Pugliese 2020). Der digitale Zwilling kann eingesetzt werden, um verschiedene Simulationen durchzuführen und unterschiedliche Situationen zu analysieren. Es können zusätzliche Lösungsansätze zum C-Konzept untersucht und bewertet werden, um das Verkehrsaufkommen weiter zu reduzieren. Darüber hinaus kann das Verkehrsgeschehen in Echtzeit im digitalen Zwilling abgebildet werden. Bürger und Besucher können sich digital über die aktuelle Verkehrslage in Konstanz informieren, sich die optimalen Routen bis zu ihren Zielorten aufzeigen lassen und den ÖPNV in Echtzeit tracken. Des Weiteren kann die Stadt Konstanz im digitalen Zwilling den Einsatz autonomer Fahrzeuge und On-Demand-Dienste abbilden und er-

proben. Sie kann ermitteln, wie viele autonome Fahrzeuge als öffentliches Verkehrsmittel an bestimmten Tagen und zu welcher Uhrzeit in Konstanz benötigt werden, um den Mobilitätsbedarf zu bewältigen. Dies kann, vor allem an den Wochenenden und Feiertagen, den MIV entlasten und den CO_2-Ausstoß erheblich senken. Neben der Entlastung des MIV und dem Ausbau nachhaltiger Mobilitätssysteme, wünschen sich die Bürger mehr Verkehrssicherheit und den Bau neuer und den Ausbau bestehender Radwege in Konstanz. Auch die Stadt Konstanz möchte das Fahrradfahren für ihre Bürger und Touristen attraktiver machen. Durch das Sammeln von Echtzeitdaten können Aussagen über den Bedarf und das Verhalten von Radfahrern und Fußgängern gemacht und Unfallschwerpunkte analysiert werden. Außerdem können die Daten Aufschluss darüber geben, wo eine neue Radinfrastruktur gebraucht wird. Zudem können die gesammelten und ausgewerteten Daten bei der Radverkehrsplanung berücksichtigt werden, um die Radwegnetze in der Stadt zu optimieren und die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Im digitalen Zwilling können die geplanten Radwege simuliert und bewertet werden. Mit Hilfe der Simulation kann beispielsweise geprüft werden, ob die Anpassung einer Ampelregelung erfolgen soll, um die Wartezeit für Fahrradfahrer zu verkürzen. Außerdem kann festgestellt werden, ob der Untergrund geeignet ist oder ob der geplante Radweg durch andere Verkehrsteilnehmer gefährdet wird. Vorhandene sowie geplante Radwege könnten in einer digitalen Stadtkarte für Fahrradfahrer angezeigt werden. Bürger und Besucher der Stadt könnten in einer App z. B. Hinweise zu Sperrungen von Radwegen erhalten sowie Fahrradverleihstationen und Fahrradabstellplätze einsehen. Zudem wäre es denkbar, dass Fahrradfahrer Anregungen und Verbesserungsvorschläge für Radwege über die App mitteilen können. Die Verbindung des digitalen Zwillings über Sensoren und Kameras mit der realen Welt, kann für die Stadt Konstanz die Grundlage für ein innovatives Verkehrsmanagement bilden.

4.2.3 Stadtplanung und -entwicklung

Der digitale Zwilling unterstützt Bauvorhaben von der Idee bis zur Abwicklung. Durch die Vernetzung von Schnittstellen bietet er Konstanz großes Potenzial bei der Planung und Ausführung öffentlicher Bauprojekte. Das Planen und Bauen von Bauprojekten ist ein komplexer und vielseitiger Prozess und erfordert eine Vielzahl an Beteiligten aus unterschiedlichen Fachrichtungen. Für die erfolgreiche Abwicklung eines Bauvorhabens ist ein stetiger Informationsfluss und eine gut funktionierende Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten unerlässlich. Die Baurealität zeigt jedoch, dass dies

häufig nicht der Fall ist. Dies liegt oftmals daran, dass nicht alle Projektbeteiligten eine direkte Vertragsbeziehung untereinander haben. Die Vielzahl der Projektbeteiligten erschwert die Abstimmung untereinander, sodass die Planungsqualität oftmals darunter leidet. Die Integration von BIM-Bauwerksmodellen in das digitale 3D-Stadtmodell ermöglicht ein kollaboratives Arbeiten an einem Datenmodell. Durch die zentrale Verwaltung aller Daten wird ein lückenloser Informationsfluss gewährleistet, der Koordinationsaufwand verringert und die Planungsqualität erhöht. Neben der digitalen Bündelung von Planungsdaten an einer zentralen Stelle, ermöglich der digitale Zwilling die Digitalisierung und dreidimensionale Visualisierung von Bauleitplänen. Die rechtsverbindliche Bauleitplanung wird in einem vorgegebenen Datenschema erfasst und in den digitalen Zwilling integriert. Für jede Zone sind die jeweiligen planerischen Festsetzungen, wie z. B. zu Art und das Maß der baulichen Nutzung, im digitalen Zwilling verortet. Basierend auf den planerischen Vorgaben können Planer prüfen, ob das geplante Bauvorhaben den Festsetzungen des Bebauungsplans entspricht. Unterschiedliche Planungsvarianten können direkt miteinander verglichen und bewertet werden. Gleichzeitig können Auswirkungen der Planungen auf Umwelt und Klima simuliert und beurteilt werden. Planungen, die den baurechtlichen und bautechnischen Vorschriften nicht entsprechen oder erheblich negative Umweltauswirkungen verursachen, können frühzeitig ausgeschlossen werden. Die Visualisierung der Bauleitplanung schafft demnach Planungssicherheit, spart Zeit und Geld und erhöht die Transparenz planerischer Entscheidungen.

4.2.4 Bürgerbeteiligung

In einer Smart City rücken vor allem die Bürger und deren Interessen als zentrales Element in den Mittelpunkt. Hierbei steht vor allem eine aktive Bürgerbeteiligung im Fokus. Die Ergebnisse der Online-Umfrage zeigten, dass rund 37 % der befragten Personen mit der aktiven Bürgerbeteiligung bei Planungsvorhaben in Konstanz nicht zufrieden sind. Auch die Stadt Konstanz hat sich im Zuge ihrer Digitalisierungsstrategie zum Ziel gesetzt ihre Bürger aktiv in Planungsprozesse miteinzubinden und sie an der Gestaltung ihrer Stadt teilnehmen zu lassen. Die Visualisierung städtebaulicher Vorhaben in 3D-Ansicht ermöglicht neben herkömmlichen Bürgerbeteiligungen eine neue Form der Bürgerbeteiligung. Bürger sind in der Lage detailgetreue 3D-Modelle zukünftiger Bauvorhaben aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten und verschiedene Planungsvarianten miteinander zu vergleichen. Sie sehen, wie sich die geplante Bebauung

in das städtebauliche Bild einfügt. Darüber hinaus ermöglicht die Integration von Architekturmodellen in das 3D-Stadtmodell eine laiengerechte Visualisierung geplanter Bauvorhaben. Während Fachleute sich problemlos anhand von 2D-Plänen das geplante Bauprojekt räumlich vorstellen können, fällt dies Bürgern oftmals schwerer. Die 3D-Visualisierung von Bauvorhaben ermöglicht ein realitätsnahes Raumgefühl und gibt den Bürgern einen realistischen Eindruck des zukünftigen Bauprojekts.

Die Stadt Konstanz kann die Meinungen ihrer Bürger in die Entscheidungsfindung miteinfließen lassen. Bürger können auf der Plattform über das geplante Bauvorhaben abstimmen. Außerdem erhalten sie die Möglichkeit Kritik zu äußern und Verbesserungsvorschläge zu geben. Der unkomplizierte Zugang zu allen relevanten Daten über ein Bauvorhaben sowie die Möglichkeit zur aktiven Beteiligung, kann umfassendes Vertrauen zwischen der Stadt Konstanz und den Bürgern schaffen.

Eine weitere Möglichkeit die Konstanzer Bürger stärker in Planungsprozesse einzubinden ist die interaktive 3D-Visualisierung geplanter Bauvorhaben. Hierbei könnte sich Konstanz an der Stadt Zürich orientieren, die dies bereits in Form von Computerspielen getestet haben. Diese Art der Bürgerbeteiligung lässt sich ohne großen Aufwand durchführen, da die Bürger für die Teilnahme lediglich ein digitales Endgerät, wie beispielsweise einen Computer oder ein Laptop, mit Internetzugang benötigen. Die Bürger können bequem von zu Hause aus ihre Stadt nach ihren eigenen Vorstellungen und Ideen virtuell gestalten. Die Stadt Konstanz kann diese Art der Bürgerbeteiligung vor allem bei der Neu- und Umgestaltung von öffentlichen Plätzen einsetzen, um den Bedürfnissen und Interessen der Bürger gerecht zu werden und die Stadt gemeinsam weiterzuentwickeln. Außerdem fördert die Bürgerbeteiligung mittels interaktiver 3D-Stadtplanung vor allem die Teilnahme junger Bürger, da sie einen spielerischen Zugang zum Thema Stadtplanung und -entwicklung ermöglicht. Hierdurch kann die Stadt Konstanz eine höhere Beteiligungsrate erzielen und die Akzeptanz der Bürger gegenüber Planungsverfahren erhöhen. Zudem kann sich dies positiv auf das Image der Stadt auswirken.

Neue Visualisierungstechnologien wie AR stellen für die Stadt Konstanz ebenfalls eine große Chance dar, die Bürgerbeteiligung und die Kommunikation zwischen Bürger und Stadt zu verbessern. Die Bürger erhalten auf ihrem mobilen Endgerät eine lebendige und realistische Darstellung des geplanten Bauvorhabens vor Ort. Dies ermöglicht eine transparente und verständliche Darstellung der Auswirkungen von Bauvorhaben in der Stadt und beseitigt gegebenenfalls Bedenken gegen die geplante Bebauung. Außerdem

ermöglichen AR-gestützte Visualisierung von Bauprojekten vor allem für die Projektbeteiligten eine verbesserte und realistischere Einschätzung der Planung vor Ort, was eine erhöhte Planungsqualität zur Folge hat. Mit dem Einsatz von AR können unterschiedliche Bebauungsszenarien betrachtet und direkt vor Ort diskutiert werden.

4.2.5 Untergrund

Um den künftigen Flächenbedarf der Stadt Konstanz zu decken, müssen neue Lösungen gefunden werden. So gewinnt, neben der vertikalen Verdichtung, die Bebauung im Untergrund für Städte in Zukunft immer mehr an Bedeutung. Die Möglichkeit, mit dem digitalen Zwilling den gesamten Untergrund zu visualisieren, bietet erhebliches Potenzial hinsichtlich zukünftiger Raumentwicklung. Die Stadt Konstanz wird sich langfristig die Frage stellen müssen, welche Raumnutzungen zukünftig unterirdisch statt oberirdisch untergebracht werden können. Um diese Frage beantworten zu können, sind für die Planung und Entwicklung des unterirdischen Raums zuverlässige Daten und Informationen notwendig. Daher ist es unverzichtbar neben dem Obergrund zukünftig auch den gesamten Untergrund in 3D zu visualisieren. Singapur hat im Jahr 2019 mit dem „Digital Underground Project“ ein Smart City-Projekt zur 3D-Erfassung unterirdischer Geodaten gestartet. Singapur plant die vollständige Kartierung unterirdischer Versorgungseinrichtungen. Der Stadtstaat sieht in Zukunft die vollständige Erschließung des unterirdischen Raums vor, um dem steigenden Platzbedarf gerecht zu werden.

Die 3D-Visualisierung des Untergrunds bietet der Stadt Konstanz ebenfalls einen Mehrwert. Durch das virtuelle Abbild der unterirdischen Umgebung ist eine integrale Planung und Ausführung von Bauvorhaben möglich. Dies kann insbesondere bei großen Infrastrukturprojekten, wie z. B. der Ausbau der B33, eine hilfreiche Stütze sein. Das Baugrundrisiko birgt vor allem bei solchen Projekten das größte Risikopotenzial und ist daher entsprechend zu berücksichtigen. So erfordert die Planung solcher Vorhaben umfangreiche Kenntnisse in der Geologie und Hydrologie. Außerdem sind Informationen zur exakten Lage und Anordnung der unterirdischen Versorgungseinrichtungen erforderlich. Durch das genaue Abbild unterirdischer Strukturen können Baugrundrisiken frühzeitig identifiziert und durch geeignete Maßnahmen minimiert werden. Somit können unerwartete Kostensteigerungen und Verzögerungen im Bauablauf reduziert oder gar verhindert werden.

Um die Komplexität unterirdischer Strukturen verständlicher zu machen, können AR-Anwendungen als Planungsinstrument für eine unterirdische Infrastrukturplanung zum

Einsatz kommen. So kann der Untergrund bei der Planung eines Bauvorhabens vor Ort virtuell erkundet werden. Durch das Ein- und Ausschalten unterschiedlicher Layer (s. Abbildung 41) können diejenigen Informationen abgerufen werden, die im Rahmen der Planung benötigt werden. Durch die realitätsgetreue Visualisierung können detaillierte Kenntnisse über den Untergrund direkt vor Ort gewonnen werden.

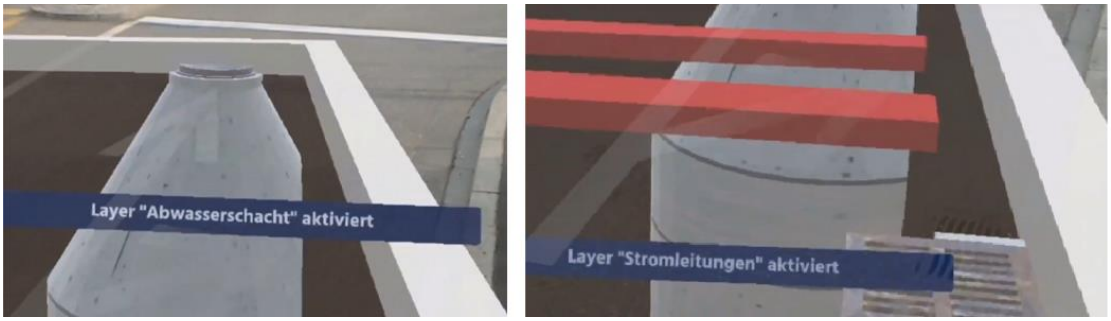

Abbildung 41: Visualisierung unterirdischer Strukturen mit Hilfe von AR (Esri Deutschland-Schweiz 2020)

4.2.6 Plattformökonomie

Geodaten bilden die Grundlage für die smarte Stadt der Zukunft. Für die Erfassung und den Umgang mit diesen Daten ist eine zentrale Plattform unerlässlich. Die ArcGIS Plattform ermöglicht der Stadt Konstanz diesen zentralen Zugang zu einer Vielzahl an Daten. Auf der Plattform können Daten aus den unterschiedlichsten Bereichen abteilungsübergreifend und transparent allen Akteuren einer Stadt zur Verfügung gestellt werden. Die Bereitstellung und Verwaltung von Daten an einem zentralen Ort schafft eine neue digitale zentrale Infrastruktur. Zudem ermöglicht sie eine effektive Nutzung von Geodaten. Darüber hinaus bieten die öffentlich zugänglichen Daten das Potenzial wirtschaftlicher Datennutzung und ermöglichen so neue Wertschöpfungsoptionen für Unternehmen. Die Plattform schafft ein Ökosystem, das aus einer Vielzahl an Datenquellen die für sie relevanten Daten abruft und aktiv verwerten kann. Aus diesen Daten können Erkenntnisse gewonnen werden und gegebenenfalls neue Lösungen entwickelt werden. Ein Beispiel hierfür wäre das Sammeln von Daten zur Auslastung aller Buslinien in Konstanz. Mit diesen Daten kann dann festgestellt werden, ob die einzelnen Buslinien ausreichend ausgelastet sind. Bei permanent unausgelasteten Linien könnte z. B. die Route geändert werden. Über die gemeinsame Datenbasis sind die unterschiedlichsten Akteure miteinander verbunden und können so in den Dialog treten. Sie können sich untereinander austauschen, vernetzen und zusammenarbeiten. Sie haben die Möglichkeit weitere Daten in die Plattform zu integrieren und so auch für andere einen Mehrwert zu schaffen und voneinander zu profitieren.

4.2.7 Neue und erweiterte Geschäftsmodelle

Durch den digitalen Zwilling entstehen vor allem neue datengetriebene Geschäftsmodelle. Außerdem ermöglicht die Nutzung digitaler Daten eine Erweiterung bestehender Geschäftsmodelle.
Grundsätzlich existieren in allen zuvor genannten Bereichen die Möglichkeit neue oder erweiterte Geschäftsmodelle zu erschließen. Im Folgenden werden beispielhaft die für die Bauwirtschaft interessanten Geschäftsmodelle beleuchtet.

Vertriebskonzepte

Unternehmen können die auf der Plattform verfügbaren Daten für KI-Anwendungen nutzen, um diverse Analysen durchzuführen. Durch die Verknüpfung interner mit externen Daten können neue Geschäftsmodelle im Vertrieb entstehen. Ein Beispiel hierfür ist der Vertrieb von PV-Anlagen durch Stadtwerke und Regionalversorger. Wenn durch interne Daten die Verkaufszahlen von PV-Anlagen bekannt sind, kann ermittelt werden, in welchem Stadtgebiet die Verkaufszahlen besonders hoch sind. Durch den Einbezug digitaler Geodaten kann durch Analysen berechnet werden, welche Einflussfaktoren das Kaufverhalten in diesem Gebiet bestimmen. Durch die Ermittlung der wesentlichen Einflussfaktoren können korrelative Zusammenhänge entdeckt und vergleichbare Gebiete identifiziert werden. Somit kann sich beim Vertrieb neuer PV-Anlagen auf diejenigen Gebiete fokussiert werden. (vgl. Koller 2019)

Immobilienwirtschaft

Auch im Bereich der Immobilienwirtschaft entsteht durch die Nutzung von Geodaten ein erheblicher Mehrwert und eine Neuausrichtung der Geschäftsmodelle. Im Bereich der Projektentwicklung können mit Hilfe von Geodaten fundierte Standort- und Marktanalysen durchgeführt werden. Während der Planung und Realisierung des Bauprojekts kann der digitale Zwilling mit Analysen und Simulationen die Projektbeteiligten unterstützen. Außerdem können Projektentwickler durch die 3D-Visualisierung des zukünftigen Bauvorhabens direkt mit ihren Kunden in Dialog treten. Kunden können das Projekt virtuell betrachten und Wünsche äußern, sodass diese frühzeitig berücksichtigt werden können. Bei der Vermarktung kann der digitale Zwilling Wohnungs- und Gewerbesuchende unterstützen, indem er alle frei verfügbaren Immobilien in einer Stadt anzeigt. Außerdem können bei der Vermarktung von Immobilien AR-Anwendungen zum Einsatz kommen, um potenziellen Käufern oder Mietern das fertige Projekt realitätsgetreu zu simulieren. Wichtige Gebäudedaten können direkt eingeblendet werden, sodass ein

ausgedrucktes Exposé nicht mehr notwendig ist. Die neue Art der Immobilienvermarktung ermöglicht Immobilienbesichtigungen unabhängig vom Ort, was vor allem in Zeiten der Corona-Pandemie einen großen Nutzen bringt.

Facility Management

Im Bereich des Facility Managements entstehen durch die Integration von IoT-Technologien und BIM neue Geschäftsmodelle im Bereich der operativen Dienstleistungen. Durch den vereinfachten und zentralen Zugang zu Daten über die Plattform können detaillierte Aussagen zu Gebäudenutzungen getroffen werden. Mit Hilfe der Daten kann ermittelt werden, wie viel Personen sich im Gebäude befinden und an welchen Tagen und zu welchen Uhrzeiten die Auslastung bestimmter Räume in einem Gebäude am größten ist. Durch die Verknüpfung der Daten mit sensorgestützter Gebäudetechnik können gebäudetechnische Anlagen wie Heizung, Lüftung, Klima und Beleuchtung an das Nutzungsverhalten angepasst werden. Die bedarfsgerechte Anpassung der Energieversorgung wirkt sich positiv auf den Energieverbrauch aus. Wie bereits in Kap. 4.1.3 erwähnt, können Anlagen durch die Ausstattung mit Steuer- und Sensortechnik digital überwacht und per Fernzugriff gesteuert werden. Störungen an Anlagen können ortsgenau im digitalen Zwilling angezeigt werden. Die Störungen werden über die Plattform direkt an den zuständigen Servicetechniker gemeldet, sodass papiergestützte Abläufe entfallen. Auch im Bereich der Gebäudereinigung werden mit Hilfe von Sensoren datengestützte Reinigungsprozesse ermöglicht, indem die Erstellung der Reinigungspläne bedarfsorientiert und automatisiert erfolgt. Ein weiteres Geschäftsmodell eröffnet sich im Bereich der Gebäudesicherheit. Sicherheitsmitarbeiter können über die Plattform die einzelnen Gebäude im digitalen Zwilling virtuell begehen und diese überprüfen. Durch die Ermittlung von Daten mittels Echtzeitsensoren und die Verknüpfung dieser Daten im digitalen Zwilling können offene Fenster oder nicht abgeschlossene Türen identifiziert werden.

Die Automatisierung von Prozessen im Facility Management reduziert den Kontroll- und Koordinationsaufwand eines Facility Managers erheblich und bringt eine Zeit- und Kostenersparnis mit sich.

Mobilität

Laut dem ADAC (2020) fallen mit etwa 30 bis 40 % ein Großteil des Gesamtverkehrs in deutschen Innenstädten auf den Parksuchverkehr. Die Parkplatzsuche nimmt rund zehn Minuten Zeit in Anspruch. Dabei wird eine Strecke von 4,5 Kilometer zurückgelegt. Somit zieht der Parksucherverkehr eine erhöhte Lärm- und Umweltbelastung mit sich. Daher sehen sich Städte fortwährend gezwungen neue Lösungen für eine effiziente Parkraumbewirtschaftung zu entwickeln. Hierbei entsteht durch das Sammeln und Auswerten von Daten sowie die Fähigkeit, aus diesen Daten verwertbare Informationen zu gewinnen, viele neue Geschäftsmodelle. Ein Beispiel ist das „Smart Parking“. Autofahrer erhalten in Echtzeit Informationen über alle frei verfügbaren Parkplätze in einem bestimmten Stadtgebiet. Darüber hinaus können Autofahrer den Parkplatz über eine App reservieren, sich direkt dorthin navigieren lassen und bezahlen. Außerdem können durch das Sammeln und Auswerten von Daten relevante Informationen zum Kunden und zum Kundenverhalten generiert werden. Auf Basis derer können den Kunden gezielt individuelle Angebote unterbreitet werden. Mit Hilfe des sensorgestützten Parkraummanagements können Falschparker, die beispielsweise Radwege blockieren, identifiziert und direkt an das Ordnungsamt gemeldet werden. Weiter können für frei verfügbare Parkflächen in Parkhäusern oder auf Firmengeländen alternative Nutzungskonzepte entwickelt werden. So können beispielsweise Logistikunternehmen Parkhäuser, die eine schwache Auslastung besitzen, kurzfristig als Lagerfläche nutzen. (vgl. Nitsche und Thalhammer 2019) Darüber hinaus wäre es mit Hilfe der Untergrundvisualisierung denkbar die gesamte Parkraumbewirtschaftung zukünftig in den Untergrund zu legen, um hierdurch mehr nutzbare Fläche im Obergrund generieren zu können.

Ein weiteres neues Geschäftsmodell stellt das automatische Verkehrsleitsystem dar. Städte sind in der Lage dank Sensoren und Kameras in Echtzeit auf Stausituationen zu reagieren, entsprechende Umleitungen zu berechnen sowie Ampelschaltungen abhängig von der Verkehrslage automatisch zu schalten. Außerdem können Verkehrsdaten genutzt werden, um das Instandhaltungsmanagement der Verkehrsinfrastruktur zu optimieren. Die Zustände von Straßen und Brücken können von Sensoren digital überwacht werden. Schäden oder Risse werden hierdurch frühzeitig erkannt und können direkt an das zuständige Amt gemeldet werden. Es ist möglich, die Stellen ortsgenau im digitalen Zwilling anzuzeigen. Darüber hinaus kann mit Hilfe von Algorithmen die Wahrscheinlichkeit von zukünftig entstehenden Schäden prognostiziert sowie künftig anstehende

Erhaltungsmaßnahmen berechnet werden. Auf dieser Basis können individuelle Konzepte zur Instandsetzung sowie Instandhaltung entwickelt und priorisiert werden.
Mit Hilfe des digitalen Zwillings können virtuelle Verkehrssimulationen für autonome Fahrzeuge zur Bewältigung des künftigen Mobilitätsbedarf durchgeführt werden. Dies führt zur Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte sowie dem Ausbau der Elektromobilität und damit zu einer Kopplung zwischen den Sektoren Energie und Mobilität.

Die zuvor genannten Geschäftsmodelle werden durch den Einsatz smarter Produkte möglich. Für die Produkte bedarf es einer fachgerechten Entwicklung, die an sich ein weiteres neues Geschäftsmodell bildet. Die Ausstattung von Bauteilen und Komponenten mit Sensoren umfasst nach Manhart (2018: 95) folgendes Produktspektrum:

- **Produkte zur Zustands- und Umfeldüberwachung**
  z. B. Umweltüberwachung mittels Echtzeitdaten, intelligente Müllabfuhr
- **Produkte zur Steuerung von Prozessen und Waren**
  z. B. automatisches Verkehrsleitsystem, intelligente Straßenbeleuchtung
- **Produkte zur Optimierung einer Leistung oder eines Produktes**
  z. B. Energieeinsparung in Gebäudetechnik, Optimierung des Verkehrsflusses
- **Produkte zur Automatisierung**
  z. B. selbststeuernde Heizsysteme, autonome ÖPNV-Angebote

Einige der smarten Produkte lassen sich nicht direkt als Produkt an den Kunden verkaufen. Stattdessen werden sie in Form von Smart Services, wie z. B. als Apps, dem Kunden zur Verfügung gestellt. So finden digitale Smart City-Apps in allen Bereichen der Daseinsvorsorge Anwendung. Durch den Zugang zu offenen Daten können solche mobile Smartphone-Anwendungen entwickelt werden, die das Leben in der Stadt lebenswerter gestalten. Durch den gezielten Einsatz können diese Produkte Bereiche wie Mobilität oder Klima positiv beeinflusst werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der digitale Wandel vor allem Technologie und Dienstleistungen miteinander verschmilzt und damit die Entwicklung neuer, digitaler Geschäftsmodelle fördert. So sind beispielsweise Informationselektroniker zukünftig gezwungen, sich verstärkt mit dem Thema der Cybersicherheit in Smart Buildings auseinanderzusetzen. (vgl. Kessler 2019) Darüber hinaus bringt die digitale Transformation Branchen zusammen, die einst vollkommen unabhängig voneinander gearbeitet haben. So wird künftig z. B. die Kopplung vom Strom- und Mobilitätssektor immer bedeutender und eröffnet dadurch neue Geschäftsmodelle.

4.3 Herausforderungen

Die Nutzung einer digitalen, offenen föderierten Plattform bietet der Stadt Konstanz große Chancen die Ziele im Rahmen ihrer Digitalisierungsstrategie schneller zu erreichen und damit die Lebensqualität in der Stadt zu erhöhen. Dennoch ist die Etablierung einer solchen Plattform mit gewissen Herausforderungen verbunden, auf die in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen wird

4.3.1 Datengrundlage und -aktualität

Je mehr Daten und Informationen dem digitalen Zwilling zur Verfügung stehen, desto effektiver kann er für Simulationen und Analysen eingesetzt werden. Um eine für den digitalen Zwilling umfassende Datengrundlage zu schaffen, müssen die entsprechenden Daten in digitaler Form vorhanden sein. Die Umwandlung der physischen Daten in digitale Daten stellt die Stadt Konstanz vor eine erste große Herausforderung. Die Digitalisierung der Daten ist ein langwieriger und zeitaufwendiger Prozess, der neue Kompetenzen erfordert. Das Amt für Liegenschaften und Geoinformation der Stadt Konstanz hat sich bereits zur Aufgabe gemacht ihre analogen Daten digital zu transformieren. Dennoch bedarf es einer fachamtübergreifenden Digitalisierung aller Daten, um das Potenzial des digitalen Zwillings auszuschöpfen.

Stehen die Daten zukünftig digital zur Verfügung, besteht die nächste Herausforderung darin, die Daten aktuell zu halten. In erster Linie müssen die Anforderungen im Hinblick auf die Datenaktualität identifiziert werden. So erfordern verschiedene Daten unterschiedliche Zeitintervalle für die Aktualisierung. Während Daten, wie beispielsweise Verkehrsdaten, im Minutentakt aktualisiert werden müssen, reicht es bei anderen Daten, wie z. B. Gebäudesachdaten, aus sie lediglich alle 10 oder 20 Jahre zu aktualisieren. Die konstante Aktualisierung der Daten ist erforderlich, um das Entstehen von Datenfriedhöfen zu vermeiden. Hierbei sollte die Übertragung der regelmäßigen Datenaktualisierungen in entsprechende Verantwortungsbereiche der einzelnen Fachämtern erfolgen.

Die Unmenge an Geodaten, die täglich erzeugt werden, erschwert eine sinnvolle Verarbeitung dieser Daten. Oftmals verschwinden die gesammelten Rohdaten in Datensilos, veralten, finden keine Anwendung oder bleiben verschlossen. Aus diesem Grund ist es wichtig sich im Vorfeld mit der Fragestellung auseinanderzusetzen, für welche Anwendungsgebiete der digitale Zwilling in der Stadt eingesetzt werden soll. Ist diese Frage beantwortet, muss geklärt werden, welche Daten für die entsprechenden Prozesse erfor-

derlich sind. Somit setzt der Prozess der Datenerfassung eine sorgfältige Planung voraus, um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten. Dennoch ist die Beschaffung einiger Daten mit Schwierigkeiten verbunden. So werden beispielsweise bei der CO_2- und Energiebedarfsanalyse detaillierte Informationen über die einzelnen Gebäude benötigt. Diese lassen sich vor allem bei Gebäuden, die im Privateigentum sind, oftmals nur schwer ermitteln.

4.3.2 Finanzielle und personelle Ressourcen

Die Beschaffung und das Erfassen von Geodaten ist ein zeitintensiver und kostspieliger Prozess. Der Stadt Konstanz steht eine Vielzahl von Geodaten lediglich kostenpflichtig zur Verfügung. Bei Geodaten aus frei zugänglichen Datenbanken, besteht oftmals das Problem, dass die Rohdaten eine weitere Aufbereitung erfordern. Des Weiteren ist für das Sammeln von Echtzeitdaten eine flächendeckende Sensorik in der Stadt notwendig. Eine entsprechende Ausstattung ist jedoch ebenfalls mit einem hohen Kostaufwand verbunden. Neben kostenintensiven Installations- und Wartungskosten, erfordert die digitale Vernetzung mit Sensoren eine leistungsfähige Netzinfrastruktur. Hierfür werden üblicherweise Glasfaserverbindungen verwendet. Da die Stadt Konstanz noch nicht flächendeckend mit Glasfaser ausgerüstet ist, wäre daher vor einer Sensoreninstallation erst die Netzinfrastruktur auszubauen. Der flächendeckende Ausbau der Sensorik erfordert außerdem eine sorgfältige und zeitintensive Planung. Aktuell verfügt die Stadt Konstanz jedoch nicht über ausreichende personelle Ressourcen, um die Planung der Sensorik zu forcieren. Die Ämter der Stadt Konstanz sind momentan voll ausgelastet, sodass solche zeitaufwändigen Aufgaben lediglich nebensächlich bearbeitet werden können. Die Vergabe solcher Aufgaben kann extern erfolgen, setzt jedoch entsprechende finanzielle Ressourcen voraus. Die Stadt Konstanz arbeitet bereits mit einigen Partnern aus dem Consultingbereich zusammen. Die Gründe hierfür liegen nicht nur in den fehlenden personellen Ressourcen, sondern auch in dem fehlenden technischen Know-How des Personals. Vielen Mitarbeitern fehlt die Erfahrung im Umgang mit digitalen Daten, sodass auf externes Fachwissen zurückgegriffen werden muss. Auch der Aufbau eines 3D-Stadtmodells in einer detaillierteren Modellierungsstufe, wie z. B. LOD 3 oder LOD 4, ist mit einem hohen technischen Aufwand verbunden. Für eine vollumfängliche Nutzung des digitalen Zwillings ist ein hoher Detaillierungsgrad unerlässlich. Außerdem setzt die Durchführung diverser Simulationen und Analysen mittels des digitalen

Zwillings entsprechendes Fachwissen voraus. Das Modellieren von z. B. Frischluftströmen in der Stadt erfordert komplexe Algorithmen, die individuell zu erstellen sind. So erfordert eine umfassende Digitalisierung der Stadt ein spezielles Portfolio an personellen Ressourcen. Neben der herkömmlichen IT-Abteilungen in den Fachämtern, werden neue digitalisierungsbezogene Berufsgruppen wie Datenmanager, Data Scientisten oder Daten-Ingenieure benötigt. Um in die notwendigen Maßnahmen investieren zu können, bedarf es einer Überzeugung der Politik. Die Politik muss die Notwendigkeit und den Nutzen aus den einzelnen Digitalisierungsmaßnahmen erkennen. Das Problem hierbei ist, dass der Nutzen von Digitalisierungsmaßnahmen oftmals erst nach einem Zeitraum von einigen Jahren erkennbar ist. Die Politik investiert dagegen tendenziell eher in Projekte wie beispielsweise Spielplätze, bei denen der Mehrwert direkt nach Errichtung generiert wird.

4.3.3 Paradigmenwechsel

Der digitale Wandel durchdringt und verändert nahezu alle Bereiche der Wirtschaft und der Gesellschaft fundamental. Er erfordert neue Denkmuster und Herangehensweisen und zieht somit einen grundlegenden Paradigmenwechsel mit sich. Die umfassende Digitalisierung und Automatisierung von Prozessen und Strukturen stellt vor allem Städte vor große Herausforderungen. Die Digitalisierung wird von vielen Mitarbeitern oftmals nur als ein vorübergehender Trend angesehen. Die geringe Akzeptanz gegenüber neuen Technologien hindert viele Mitarbeiter daran ihre Komfortzone zu verlassen und alte Denkmuster zu durchbrechen. So arbeiten beispielsweise Stadtplaner heutzutage immer noch überwiegend mit Handskizzen und Kartonmodellen anstatt auf digitale Hilfsmittel zurückzugreifen. Das Aufbrechen bestehender und festgefahrener Strukturen in den einzelnen Fachämtern stellt für die Stadt Konstanz somit die wohl größte Herausforderung dar. Fachämter sollten künftig altbewährte Arbeitsabläufe hinterfragen und den Mehrwert der digitalen Transformation erkennen. Das weitverbreitete Silodenken innerhalb der städtischen Verwaltung ist abzubauen. Fachbereiche und Abteilungen dürfen ihre Datenhoheit nicht weiter als Machtinstrument ansehen. Die Plattform ist zu nutzen, um die gesamten Daten fachübergreifend an einer zentralen Stelle zusammenzuführen und damit grenzenloses Zusammenarbeiten zu ermöglichen. Doch die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit und damit die Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen und Vorstellungen stellt eine besonders schwierige Aufgabe dar. Die Etablierung und die Nutzung des digitalen Zwillings setzt beispielsweise die Zusammenarbeit verschiedener

Fachbereiche voraus. Während z. B. das Amt für Liegenschaften und Geoinformation die entsprechenden Daten und Werkzeuge liefert, ist das Amt für Stadtplanung und Umwelt für die Entwicklung der entsprechenden Anwendungen zuständig. Die einzelnen Prozessabläufe erfordern zum einen teamorientiertes Denken und Handeln. Zum anderen bedarf es einer hohen Überzeugungskraft die Vorteile, die so eine digitale Plattform mit sich bringt, unmittelbar zu erkennen.

4.3.4 Bürgerbeteiligung

Durch eine realitätsgetreue 3D-Visualisierung kann die Akzeptanz von Bürgern gegenüber Bauvorhaben zwar erhöht werden, jedoch kann sie auch zu Schwierigkeiten führen. Die geplante Bebauung könnte von den Bürgern infrage gestellt werden und kontroverse Diskussionen und Proteste gegen das Bauvorhaben auslösen. So müssen sich die Stadt Konstanz und die Planer mit der Fragestellung auseinandersetzen, ob und zu welchem Zeitpunkt Bauvorhaben öffentlich gezeigt und diskutiert werden sollen.

Eine weitere Schwierigkeit stellt die interaktive Bürgerbeteiligung mittels Computerspiele oder webbasierter 3D-Anwendungen dar. Diese bietet der Stadt Konstanz nicht nur die Chance die Kommunikation mit ihren Bürgern zu verbessern, sondern stellt sie auch vor große Herausforderungen. Erhalten die Bürger die Möglichkeit sich interaktiv an der Stadtplanung zu beteiligen, fallen eine Vielzahl von unterschiedlichen Entwürfen an. Hier zeigt sich die Schwierigkeit in der Bearbeitung aller Entwürfe. Die Stadt hat sich mit der Fragestellung auseinandersetzen, welche Entwürfe im Rahmen des Planungsprozesses berücksichtigt werden können. Außerdem ist zu klären, wie mit den nicht berücksichtigten Entwürfen umgegangen wird. Andernfalls kann dies dazu führen, dass sich Bürger, deren Entwürfe nicht berücksichtigt wurden, benachteiligt fühlen. Im besten Fall gilt es herauszufinden, welche räumlichen und baulichen Strukturen bei den Bürgern besonders beliebt sind. Die Identifizierung beliebter Strukturen aus allen Entwürfen beruht wiederum auf einer Vielzahl von Daten und komplexen Algorithmen. Weiter ist zu hinterfragen, ob die Entwurfsvariante, die sich die Mehrheit der Bürger wünscht, auch eine praktikable Lösung für die bauliche Umsetzung des Vorhabens ist. Aus diesen Gründen ist es unabdingbar im Rahmen einer interaktiven Bürgerbeteiligung frühzeitig wesentliche Rahmenbedingungen festzulegen und diese nach außen zu kommunizieren.

Eine weitere Herausforderung ist die oftmals hohe Komplexität solcher Tools in der Anwendung. Vor allem für computerfremde Bürger kann die Anwendung der verschiedenen Tools schnell kompliziert werden. Somit ist es unabdingbar die webbasierten Anwendungstools für die Bürger möglichst einfach zu halten.

Ferner zeigt sich eine weitere Herausforderung die Bürger interaktiv in 3D-Stadtplanungsverfahren einzubringen. So können sich selbst entworfene Projekte als unrealisierbar erweisen, da sie nicht den öffentlich-rechtlichen Vorgaben entsprechen. Hierbei kann die Festlegung bestimmter Rahmenbedingungen Abhilfe schaffen. Hierbei ergibt sich allerdings das Problem, dass die Anwender aufgrund der vielen Vorgaben in ihrer Kreativität eingeschränkt sind. So können nicht alle Wünsche und Bedürfnisse der Bürger bei der Entwurfsgestaltung berücksichtigt werden. Solche Einschränkungen kann bei Bürgern Unmut hervorrufen oder dazu führen, dass sie die Tools nicht nutzen.

4.3.5 Datenschutz und Datensicherheit

In einer Smart City wird eine Unmenge an Daten in Sekundenschnelle generiert. Es entsteht eine Gratwanderung zwischen der Datennutzung für mehr Lebensqualität und dem Datenschutz sowie der Privatsphäre der Bürger. Das Thema des Datenschutzes und der Datensicherheit erweist sich auf dem Weg zu einer datengetriebenen Stadt somit zu einer großen Herausforderung. Auch die Mehrheit der Konstanzer Bürger reagieren auf das Thema des Datenschutzes sensibel und fürchten sich vor einer Totalüberwachung. Daher ist vorab zu klären, wie die Stadt Konstanz künftig mit dem Thema umgehen soll. Hierbei hat sie sich vor allem mit den Fragen auseinanderzusetzen, was für Daten benötigt werden und wie sie erhoben werden können.

Die im Jahr 2018 in Kraft getretene und EU-weit geltende DSGVO[11] bildet die datenschutzrechtliche Grundlage für alle Mitgliedsstaaten der EU (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021). So regeln Art. 4 und 5 DSGVO die Grundsätze für die Verarbeitung personenbezogener Daten. Diese besagen, dass die Daten nur für zuvor festgelegte und zulässige Zwecke erhoben werden dürfen und pseudonymisiert bzw. anonymisiert werden müssen. Die Schwierigkeit ergibt sich hierbei vor allem bei denjenigen Daten, die für Smart City-Lösungen wie die digitale Parkraumbewirtschaftung benötigt werden. In diesem Zusammenhang bedarf es für die Anwendung unter Umständen personenbezogene Daten (vgl. Kaczorowski 2014: 15–16).

[11] Europäische Datenschutz-Grundverordnung

Eine weitere Herausforderung ergibt sich in der Abwehr von Cybergriffen. Im digitalen Zeitalter gehört die Cyberkriminalität fast zur Normalität. Werden diese Daten nicht ausreichend gegen unautorisierte Zugriffe geschützt, können diese erheblichen Schaden anrichten. So kann es z. B. zu Datendiebstahl, Betrug oder Erpressung kommen. Hierbei sind nicht nur die Daten auf digitalen Plattformen der Gefahr von Cyberangriffen ausgesetzt. Auch der illegale Zugriff auf Sensornetzwerke stellt ein Sicherheitsrisiko dar. So können Daten, noch bevor sie auf die sichere Plattform gelangen, von Dritten abgefangen werden (vgl. Mößle 2020: 24) Aus diesem Grund ist es unerlässlich die Daten vor unbefugten Zugriffen zu schützen. Ferner ist darauf zu achten, dass Daten nicht zweckentfremdet verwendet werden. Oftmals werden erhobene Daten ohne Zustimmung oder Wissen der Betroffenen für Werbemaßnahmen oder ähnliches missbraucht. Das Problem hierbei ist, dass Internetnutzer oftmals leichtsinnig mit ihren persönlichen Daten umgehen und ihnen die Gefahr des Datenmissbrauchs nicht bewusst ist. So geben auch ein Großteil der befragten Bürger in der Online-Umfrage an, dass sie bereit sind ihre persönlichen Daten, z. B. bei einer Anmeldung auf einer Internetplattform, anzugeben.

Die Herausforderung hinsichtlich des Datenschutzes und der Datensicherheit liegt somit in der Entwicklung einer umfassenden Sicherheitsarchitektur sowie der Gewährleistung einer rechtssicheren und DGSVO-konformen Verarbeitung aller Daten.

4.4 Handlungsempfehlungen

Die Stadt Konstanz verfolgt die Vision einer smarten, digital vernetzten Stadt. Hierfür bedarf es in erster Linie einer vollständigen digitalen Transformation und Aktualisierung sowie Zusammenführung der GIS-Daten von den einzelnen Fachämtern. Zudem ist eine vollumfängliche Nutzung aller GIS-Daten erforderlich. Beides ist aktuell noch nicht gegeben. Um dies zu erreichen, sind in einem ersten Schritt die Mitarbeiter der Fachämter von dem Nutzen der Digitalisierung zu überzeugen. Hierzu sind die Vorteile, die die digitale Transformation mit sich bringt, offen an die Mitarbeiter zu kommunizieren. Dafür ist den Mitarbeitern vor allem ihr persönlicher Nutzen aus der Digitalisierung aufzuzeigen. Zudem sind die Mitarbeiter davon zu überzeugen, dass das Aufbrechen des Silodenkens und damit das Teilen von Wissen kein Kontrollverlust bedeutet. Abteilungsübergreifende Workshops können helfen, Ideen auszutauschen, Bedenken zu äußern und die Vorteile des kollaborativen Arbeiten zu erkennen und zu fördern. Eine weitere Möglichkeit den Mitarbeitern den Mehrwert der Digitalisierung näher zu bringen ist, sie aktiv in die Gestaltung der Digitalisierungsprozesse miteinzubeziehen. Ein erfolgreiches Beispiel hierfür ist das Intrapreneurship-Programm „StadtBox“ der Stadt Zürich (s. Kap. 2.4).

Um die Ziele einer Smart City erreichen zu können, hat sich die Stadt Konstanz langfristig mit der internen und externen Personalbeschaffung auseinanderzusetzen. Hierfür ist eine strategische Personalbedarfsplanung notwendig. Des Weiteren ist das interne Personal stetig mit Hilfe von Bildungsmaßnahmen in Form von Fort- und Weiterbildungen beruflich weiterzuentwickeln.

Da die Stadt Konstanz für eine vollumfängliche Digitalisierung aktuell nicht über die personellen Ressourcen verfügt, ist die digitale Transformation schrittweise anzugehen. So ist es förderlich die Digitalisierung und das Zusammenführen der Daten auf der ArcGIS-Plattform über eine Prioritätenliste zu organisieren. Hierfür sind die für die Stadt Konstanz aussichtsreichsten Anwendungsgebiete des digitalen Zwillings im Rahmen ihrer Digitalisierungsstrategie zu identifizieren. Dabei sind Überlegungen anzustellen, welche Datensätze in welchem Aktualisierungsturnus für die einzelnen Anwendungen benötigt werden. Mit der Erstellung eines Konzepts können die entsprechenden Maßnahmen, die sich leicht in die Praxis umsetzen lassen, geplant werden.

Die Stadt Konstanz soll sich in erster Linie auf das Anwendungsgebiet Klima fokussieren. Nach Ausrufung des Klimanotstandes, verfolgt die Stadt die Ziele einer klimaneutralen Energieversorgung. So kommt die Nutzung erneuerbarer Energieträger wie Solar

eine zentrale Bedeutung zu. Auf der Open Data Plattform steht der Stadt Konstanz bereits das Solarpotenzial aller Gebäudeflächen als Datensatz zur Verfügung. Das LOD 2-Modell der Stadt Konstanz kann jedoch für eine effizientere Berechnungen des Solarpotenzial herangezogen werden. So kann beispielsweise das zusätzliche Solarpotenzial an Fassaden analysiert und eine Unterscheidung öffentlicher und nicht-öffentlicher Dachflächen vorgenommen werden. Durch die Identifizierung öffentlicher Gebäudeflächen, kann eine Priorisierung hinsichtlich der Ausstattung der Flächen mit Solarenergie erfolgen und entsprechende Energiekonzepte erstellt werden. Somit können die öffentlichen Gebäude als Vorbild für die Konstanzer Energiewende dienen.

Die Erfassung und Bereitstellung klimarelevanter Geodaten erfolgt im Idealfall unter Zuhilfenahme studentischer Projektarbeiten. Die bereitgestellten Daten können zum einen für diverse Analysen und Modellierungen unterschiedlicher Szenarien genutzt werden. Zum anderen können die Daten in Smart City-Apps integriert werden. Bei der Umsetzung einzelner Maßnahmen wurde bereits eine Kooperation zwischen der Stadt und der HTWG Konstanz eingegangen. Im Rahmen des Interdisziplinären Projektes der HTWG wurden bereits unterschiedliche GIS-Daten erfasst und als Layer in ArcGIS implementiert. Beispiele hierfür sind CO_2-Speicherung der Bäume in den einzelnen Stadtgebieten oder die bestehenden Fahrradwege in Konstanz. In künftigen Semestern könnten für die Stadt Konstanz relevante GIS-Daten nach Priorisierung erfasst werden.

Da das Thema des Datenschutzes in einer Smart City eine zentrale Rolle spielt, ist für die Stadt Konstanz die Entwicklung eines DGSVO-konformen Datenethikkonzepts von besonderem Interesse. Bei der Erarbeitung datenethischer Richtlinien ist es unerlässlich die Bürger miteinzubeziehen, da persönliche Daten für Bürger oftmals einen hohen emotionalen Stellenwert haben. Aus diesem Grund ist das Vertrauen der Bürger gegenüber der Stadt zu schaffen und ein sicherer Umgang mit sensiblen Daten zu gewährleisten. Durch eine Bürgerbefragung können die Wünsche und Vorstellungen der Bürger hinsichtlich der Gestaltung des Datenschutzes und der Datensouveränität ermittelt werden. Auf Grundlage der Ergebnisse kann ein bürgerorientiertes Datenethikkonzept entwickelt werden.

Da die Stadt Konstanz den Ausbau stationärer und mobiler Sensoren in der Stadt plant, ist der flächendeckende Glasfaserausbau in der Stadt langfristig unverzichtbar. Glasfasernetz sorgt für eine reibungslose und schnelle Datenübertragung. Dies bietet vor allem in einer Smart City einen großen Vorteil, da dort tagtäglich unzählige Datenmengen

übertragen und verarbeitet werden. Die für den Ausbau benötigten Leerrohre wurden bereits größtenteils in Konstanz gelegt, sodass der Ausbau unmittelbar erfolgen kann.

Beim Aufbau der Sensoren kann die Stadt kleine Hinweisschilder an den einzelnen Sensoren anbringen, um die Bürger über deren Eigenschaften zu informieren. Dies kann den Bürgern ein Gefühl von Sicherheit vermitteln und gegenseitiges Vertrauen und Transparenz fördern. (vgl. Mößle 2020: 60) Abbildung 42 zeigt ein Beispiel für solche Informationstafeln an den Sensoren.

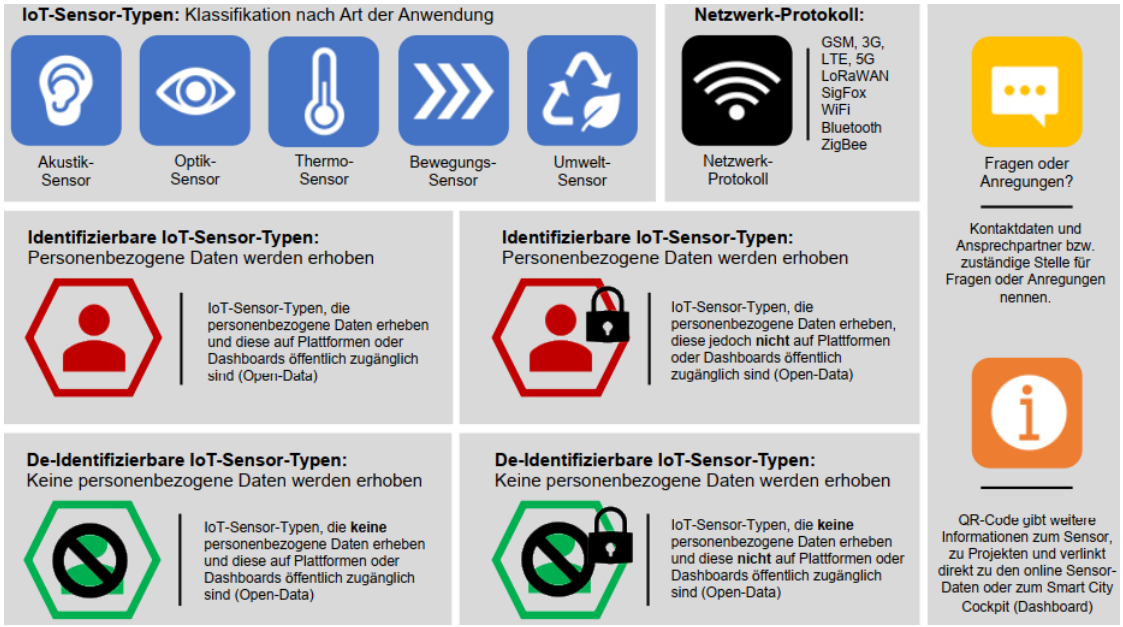

Abbildung 42: Bildsprache zur Kennzeichnung von IoT-Sensoren (vgl. Mößle 2020: 60)

In der digitalen Stadt Konstanz rücken die Bürger mit ihren Wünschen und Bedürfnissen in den Mittelpunkt, sodass Smart-City-Anwendungen bürgerorientiert auszurichten sind. Durch den Aufbau stationärer und mobiler Sensoren können Echtzeit-Verkehrsinformationen gesammelt werden und dadurch bürgernahe mobile Anwendungen geschaffen werden. Die Entwicklung solcher Apps kann durch Veranstaltungen, wie z. B. der Hackathon, unterstützt werden. Die Ergebnisse der Online-Umfrage zeigten, dass sich ein Großteil der Befragten Echtzeit-Verkehrsdienste wünschen. Diese sollten das Echtzeit-Tracking von ÖPNV sowie Informationen zu Ersatzverbindungen und Umstiegsmöglichkeiten umfassen.

Grundsätzlich kann die Stadt Konstanz die interessierte Bürgerschaft miteinbeziehen, um die Stadt gemeinsam lebenswerter zu gestalten. Eine Möglichkeit hierfür ist das „Volunteered Geographic Information“. Hierbei werden raumbezogene Daten von Laien freiwillig gesammelt und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Die bereitgestellten Daten können wiederum mit dem digitalen Zwilling verknüpft und für diverse

Anwendungen genutzt werden. Das freiwillige Sammeln und Bereitstellen der Daten von Bürgern ermöglicht ein breites Spektrum an unterschiedlichsten Geodaten. Zudem würde es die Stadt Konstanz erheblich entlasten. Je mehr Daten der Stadt zur Verfügung stehen, desto mehr Daten können mit dem digitalen Zwilling verknüpft werden. Somit entstehen mehr Möglichkeiten Analysen und Simulationen mit dem digitalen Zwilling durchzuführen.

Das virtuelle 3D-Modell der Stadt ist vor allem der Öffentlichkeit näher zu bringen. Es bildet die Grundlage neuer digitaler Bürgerbeteiligungsformate für die Stadt. Derzeit findet das Modell mit rund 9000 Klicks bei den Bürgern kaum Anwendung. Auch die Online-Umfrage ergab, dass nur wenige Bürger das 3D-Stadtmodell kennen und nutzen. Die Gründe hierfür liegen zum einen in der fehlenden Publizierung, zum anderen sehen die Bürger aktuell noch keinen individuellen Mehrwert im Modell. Um die Bürger in Planungsprozesse einzubinden, bedarf es einer Implementierung von bestehenden BIM-Modellen in das 3D-Stadtmodell. Die Schwierigkeit zeigt sich hierbei in der oftmals fehlenden Bereitschaft seitens der Planer. Daher ist ein aktives Zugehen auf sie erforderlich, um sie in einem persönlichen Gespräch von ihrem eigenen Nutzen zu überzeugen. So können die veröffentlichten Modelle beispielsweise für Eigenwerbung genutzt werden.

Um die Nutzung der digitalen Plattformen durch die Bürger zu erhöhen, ist es unerlässlich die Öffentlichkeit über das 3D-Stadtmodell sowie andere digitale Anwendungen zu informieren. Auch die Ergebnisse der Online-Umfrage zeigen, dass die Mehrheit der Bürger über neue digitale Anwendungen informiert werden möchte. Als beliebtestes Kommunikationsinstrument gaben die befragten Personen die sozialen Medien, wie Instagram oder Facebook, an. Außerdem wurden Plakate und Aushänge in der Stadt sowie die Webseite der Stadt Konstanz als gewünschte Informationsquelle angegeben. So kann sich die Stadt Konstanz vorrangig auf diese Kommunikationsinstrumente fokussieren und so die Bürger regelmäßig über den Digitalisierungsstand von Konstanz informieren. Eine weitere Möglichkeit den Bürgern das 3D-Stadtmodell näher zu bringen, ist das Erstellen von Erklärvideos. In diesen Videos können die Funktionen sowie die Vorteile des Modells leicht und verständlich erläutert werden. Darüber hinaus können erste einfache Anwendungen entwickelt werden, um den Bürgern mit dem 3D-Modell vertraut zu machen. Ein Beispiel hierfür ist eine Indoor-Navigation für das Bürgerbüro oder das Rathaus, um eine barrierefreie Navigation zu ermöglichen.

5 Schlussbetrachtung

In diesem Kapitel wird ein Fazit für die Etablierung und Nutzung des digitalen Stadtzwillings aus den ermittelten Ergebnissen des Kapitels 4 gezogen. Abschließend erfolgt eine kritische Betrachtung der Ergebnisse sowie ein Ausblick für die Stadt Konstanz über den Wandel zu einer digitalen, zukunftsfähigen und nachhaltigen Stadt.

5.1 Fazit

Mit der Digitalisierungsstrategie „Smart Green City“ hat sich die Stadt Konstanz bereits einen wesentlichen Baustein auf dem Weg zur digitalen Stadt gesetzt. Die Digitalisierungsstrategie deckt alle Handlungsfelder einer Smart City ab und fokussiert sich auf die Themen Klima, Mobilität und Bürgerbeteiligung. Sie sieht vor, mit dem Einsatz digitaler Technologien eine nachhaltige und bedarfsorientierte Stadtplanung zu ermöglichen. Der digitale Stadtzwilling nimmt hierbei eine besondere Rolle ein, da er die Stadt bei der Erreichung ihrer Klima- und Mobilitätsziele nachhaltig unterstützten kann.
Für die Umsetzung ihrer Ziele hat die Stadt Konstanz ein Fördergeld in Höhe von 17,5 Mio. € für einen Förderzeitraum von 2022 bis 2026 erhalten. Mit ihrer Projektidee „Konstanz im Wandel – vernetzt & klimaneutral“, die an die „Smart Green City“-Strategie anknüpft, hat die Stadt den bundesweiten Förderwettbewerb „Modellprojekte Smart Cities“ gewonnen. Gefördert wird der Wettbewerb vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Durch die finanzielle Förderung kann die digitale Vernetzung der Stadt gemeinsam mit der Bevölkerung vorangetrieben werden. Das virtuelle 3D-Stadtmodell kann zum digitalen Zwilling weiterentwickelt werden und der Stadt Konstanz eine nachhaltige Gestaltung ihres urbanen Raums ermöglichen. Auch wenn die digitale Transformation und die Etablierung eines digitalen Zwillings viele Herausforderungen mit sich bringt, sind sie dennoch mit einem langfristigen Mehrwert verbunden. Der digitale Zwilling eröffnet neue Möglichkeiten der Planung und kann in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern zum Einsatz kommen. In der digitalen virtuellen Realität spielen Raum und Zeit keine Rolle, sodass mit Hilfe des digitalen Zwillings hunderte von Arbeitsstunden und unterschiedlichste Szenarien simuliert werden können. Das Planen in der virtuellen Welt spart nicht nur Zeit, sondern auch Kosten. Planungsalternativen lassen sich mit weniger Aufwand erstellen, bewerten, ändern und optimieren. Planungsbeteiligten stehen alle relevanten Planungsdaten und Informationen zentral auf der Plattform zur Verfügung. Dies ermöglicht einen verlustfreien Austausch von Daten und Plänen sowie einen verminderten Aufwand für die Planung. Durch die

Integration der geplanten Bauwerksmodelle in den digitalen Zwilling können geplante bauliche Veränderungen in 3D visualisiert und realitätsgenau abgebildet werden. Dadurch können sowohl Bürger als auch betroffene Stakeholder über geplante Bauvorhaben informiert und in Planungsprozesse miteinbezogen werden. Die digitale Visualisierung von Bauvorhaben bietet demnach eine große Chance die Kommunikation mit der Öffentlichkeit zu verbessern, Entscheidungen transparent und nachvollziehbar zu gestalten sowie eine höhere Akzeptanz von Bauprojekten zu ermöglichen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit dem digitalen Zwilling diverse Fragestellungen beantwortet und damit neue Weichen für die Zukunft gestellt werden können. Der digitale Zwilling ist ein Instrument, das aus digitalen Daten bestehendes Wissen vertieft und neues Wissen generiert. Zudem vernetzt er das vorhandene Wissen und macht es über die offene Plattform für sämtliche Akteure zugänglich. Durch das Zusammenarbeiten unterschiedlichster Akteure auf der Plattform kann die Plattform für digitale Zwillinge in die Kategorie der Lernplattformen (s. Kap. 2.3.1) eingestuft werden. Der digitale Zwilling schafft einen digitalen Lernraum, in dem innovative Lösungen für städtische Herausforderungen gemeinsam entwickelt werden. Darüber hinaus unterstützt die Plattform einen wechselseitigen Wissensaustausch zwischen anderen angehenden Smart Cities. Durch den gemeinsamen Erfahrungsaustausch können Städte auf kommunaler und auf (inter-)nationaler Ebene städteübergreifend Smart City-Projekte realisieren und ihre Digitalisierungsstrategien partnerschaftlich weiterentwickeln.

5.2 Kritik und Ausblick

Die Digitalisierung wird künftig alle Bereiche der Gesellschaft und Wirtschaft maßgebend mitbestimmen. So gehören in einer Stadt der Zukunft papierbasierte sowie zeitaufwendige und manuelle Prozesse der Vergangenheit an. Die Stadt Konstanz hat die Chancen der Digitalisierung erkannt und möchte zukünftig den digitalen Wandel aktiv mit ihren Bürgern gestalten. Es darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass der Wandel hin zu einer Smart City ein langwieriger Prozess ist. Der Aufwand einer erfolgreichen Umsetzung von der Planung bis zur Implementierung digitaler Prozesse und Strukturen ist dabei nicht zu unterschätzen. So hat der Prozess der digitalen Transformation mit kleinen, aber gut durchdachten Schritten zu erfolgen. Darüber hinaus dürfen Politik, Verwaltung, Bürger und Wirtschaft vor Veränderungen nicht zurückschrecken und müssen ein digitales Bewusstsein erlangen. Für die Stadt Konstanz besteht die wesentliche Herausforderung darin die Aversion gegen Veränderungen und vor allem gegen neue Technologien zu beseitigen. So tun sich besonders die älteren Generationen oftmals schwer neue moderne Technologien und Anwendungen zu nutzen. Aus diesem Grund wird die Generation Z[12] der Treiber für eine vollständige digitale Transformation sein, da sie sich durch eine hohe Technikaffinität auszeichnet. Darüber hinaus ist es von zentraler Bedeutung, dass die Stadt Konstanz die Ziele einer digital vernetzten Stadt nicht aus den Augen verliert. Das bedeutet, dass auch nach dem Förderzeitraum der Prozess der digitalen Transformation kontinuierlich weiterverfolgt werden sollte.

Die Auswertung der Status Quo Analyse (s. Kap. 2.5.1) ergab, dass sich die Stadt Konstanz gemäß dem verwendeten Reifegradmodell (s. Kap. 2.2.3) nach aktuellem Stand auf dem Level einer **Integrierten Smart City (Level 3)** befindet. Mit der Entwicklung einer digitalen Zwillingsstadt ergibt sich die Möglichkeit ein höheres Level der Smart City zu erreichen. Aufgrund seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten vernetzt der digitale Zwilling alle Handlungsfelder einer Smart City. Er bildet die Grundlage vieler Smart City-Anwendungen wie z. B. Smart Parking. Zudem fungiert er als zentrale Datenbank und ermöglicht allen Stakeholdern einer Smart City eine kollaborative Zusammenarbeit. Somit kann die Stadt Konstanz durch die Entwicklung eines digitalen Stadtzwillings die Bedingungen für eine **Etablierte Smart City (Level 4)** erfüllen.

[12] als Generation Z werden alle diejenigen Personen bezeichnet, die zwischen 1995 und 2010 geboren wurden (vgl. Francis und Hoefel 2018)

Abschließend lässt sich festhalten, dass der Weg zu einer Smart City lang und risikobehaftet ist. Für eine erfolgreiche Umsetzung erfordert er das Zusammenspiel und die Akzeptanz vieler unterschiedlicher Akteure. Angesichts der vorangegangenen Ergebnisse zeigt sich, dass die Entwicklung einer digitalen Zwillingsstadt für die Stadt der Zukunft unerlässlich ist. Denn der digitale Zwilling bildet das Herzstück einer Smart City. Er hilft zukunftsweisende Entscheidungen zu treffen und ist der Schlüssel zur Lösung urbaner Herausforderungen.

6 Literaturverzeichnis

ADAC (2020): Dauerthema Parken: Kommunen müssen mehr Verantwortung übernehmen! Online verfügbar unter https://www.adac.de/der-adac/regional-clubs/nrw/nrw-kolumne-parken/, zuletzt geprüft am 18.07.2021.

ArcGIS Survey123 (2021): Eigene Online-Umfrage zur Digitalisierung der Stadt Konstanz im Bereich der Bauwirtschaft. Online verfügbar unter https://survey123.arcgis.com/.

Arndt, T.; Dosch, F.; Haury, S.; Hommes, M.; Mayer, F.; Mösch, S. et al. (2015): Grün in der Stadt − Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. 1. Auflage. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/gruenbuch-stadtgruen.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 19.03.2021.

BABLE GmbH (2020): Städtische Datenplattform. Online verfügbar unter https://www.bable-smartcities.eu/de/entdecken/loesungen/loesung/solution/urban-data-platform.html, zuletzt geprüft am 24.03.2021.

Balbach, Thomas (2018): Open Data in der Kommune: Eine sanfte Einführung. Online verfügbar unter https://www.citizenlab.co/blog/digitalisierung/open-data-kommune-einfuhrung/?lang=de, zuletzt geprüft am 30.04.201.

Bareiß, Rainer; Pralle, Norbert (2020): Nur eine lebenswerte Stadt ist zukunftsfähig. In: Chirine Etezadzadeh (Hg.): Smart City – Made in Germany. Die Smart-City-Bewegung als Treiber einer gesellschaftlichen Transformation. 1st ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg:395–411.

Baumgarten, Patrick; Diederichs, Jörg; Gille, Daniel; Grigutsch, Ralf; Gross, Christi-an; Grün, Philipp et al. (2020): Sichere und nachhaltige Smart City-Plattformen. Hg. v. Digital-Gipfel. Online verfügbar unter https://deutschland-intelligent-vernetzt.org/app/uploads/2020/11/Sichere_und_nachhaltige_Smart_City_Plattformen.pdf, zuletzt geprüft am 07.05.2021.

Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2020): Moderne Verkehrsplanung. Verkehrssimulation. Online verfügbar unter https://www.bayerninfo.de/de/info, zuletzt geprüft am 24.06.2021.

Biljecki, Filip; Ledoux, Hugo; Stoter, Jantien (2016): An improved LOD specification for 3D building models. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 59:25–37. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005.

Billger, Monica; Haeger-Eugensson, Marie; Sjöberg, Karin; Tornberg, Jonas; Wästberg, Beata Stahre (2013): How to Visualize the Invisible Simulating Air Pollution Dispersions in a 3D City Model. Conference: CUPUM 2013 - 13th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/269099297_How_to_Visualize_the_Invisible_Simulating_Air_Pollution_Dispersions_in_a_3D_City_Model, zuletzt geprüft am 04.06.2021.

Bitkom e.V. (Hg.) (2019): Smart-City-Atlas - Die kommunale digitale Transformation in Deutschland. Unter Mitarbeit von Frauenhofer IESE. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. Online verfügbar unter https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-03/190318-Smart-City-Atlas.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2021.

Bitkom e.V. (2020): Corona hat in Kommunen einen Digitalisierungsschub ausgelöst. Online verfügbar unter https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Corona-hat-in-Kommunen-einen-Digitalisierungsschub-ausgeloest, zuletzt geprüft am 24.03.2021.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): Europäische Datenschutz-Grundverordnung. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/europaeische-datenschutzgrundverordnung.html, zuletzt geprüft am 21.07.2021.

Burgmaier, Katharina (2019): Vertikale Urbanisierung – Städtewachstum mit Zukunft. Online verfügbar unter https://sites.algeco.de/blog/vertikale-urbanisierung, zuletzt geprüft am 31.05.2021.

City & Bits GmbH (2021): Smart Green City Konstanz. Strategie für eine digitale und nachhaltige Stadt Konstanz. Hg. v. Stadt Konstanz. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/site/Konstanz-Karriere/get/documents_E-392130011/konstanz/Dateien/Digital/Pdfs/Druckversion%20Langfassung.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2021.

Coors, Volker; Andrae, Christine; Böhm, Karl-Heinz (2016): 3D-Stadtmodelle. Konzepte und Anwendungen mit CityGML. Berlin, Offenbach: Wichmann.

Coors, Volker; Holweg, Daniel; Matthias, Ekkehard; Petzold, Bettina (o. J.): 3D-Stadtmodelle – Broschüre. Hg. v. InGeoForum im ZGDV e.V. und Kommission 3D-Stadtmodelle der DGfK und D. Online verfügbar unter https://www.ingeoforum.de/files/3d-stadtmodelle.pdf, zuletzt geprüft am 06.06.2021.

Dünnebeil, Frank; Gugel, Benjamin; Hertle, Hans; Rechsteiner, Eva (2021): Klimaschutzstrategie Konstanz - Zwischenbericht März 2021. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Heidelberg. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/site/Konstanz-Karrie-re/get/params_E146294974/268537/Zwischenbericht_Klimaschutzstrategie.pdf, zuletzt geprüft am 05.07.2021.

Eicker, Ursula; Nouvel, Romain; Schulte, Claudia; Schumacher, Jürgen; Coors, Volker (2015): 3D-Stadtmodelle für die Wärmebedarfberechnung. Hg. v. Fourth German-Austrian IBPSA Conference. Hochschule für Technik Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/273640873_3D-Stadtmodelle_fur_die_Warmebedarfberechnung, zuletzt geprüft am 31.05.2021.

Ennafii, Oussama (2020): Semantic aware quality evaluation of 3D building models. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/342465906_Semantic_aware_quality_evaluation_of_3D_building_models/download, zuletzt geprüft am 01.06.2021.

Erb, Andreas (2020): Smart City: Kooperation als Gebot der Digitalisierung. Hg. v. Der Neue Kämmerer. Online verfügbar unter https://www.derneuekaemmerer.de/nachrichten/prozessmanagement-it/smart-city-kooperation-als-gebot-der-digitalisierung-2008321/, zuletzt geprüft am 24.03.2021.

ESA (o. J.): Das Erdbeobachtungsprogramm der ESA. Online verfügbar unter https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Das_Erdbeobachtungsprogramm_der_ESA, zuletzt geprüft am 14.07.2021.

Esri Deutschland GmbH (o. J.): Smarte Städte und Regionen. Regionalentwicklung und Stadtplanung. Online verfügbar unter https://www.esri.de/de-de/smarte-staedte-und-regionen/smart-city-strategies/regionalentwicklung-und-stadtplanung, zuletzt geprüft am 30.05.2021.

Esri Deutschland GmbH (2017): 3D Public Survey – Bürgerbeteiligung in 3D. Online verfügbar unter https://arcgis.esri.de/3d-public-survey-buergerbeteiligung-in-3d/, zuletzt geprüft am 10.06.2021.

Esri Deutschland- Schweiz (2020): Esri Konferenz 2020: Zürich. Die responsive Stadt. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=W_WDt6dL3NE, zuletzt geprüft am 15.06.2021.

Esser, Ralf; Gentner, Andreas; Sallaba, Milan (2017): Grenzenlos vernetzt: Digital Twins. Smarte Digitalisierung durch IoT, Digitale Zwillinge und die Supra-Plattform. Hg. v. Deloitte Touche Tohmatsu Limited. Online verfügbar unter https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology-media-telecommunications/TMT_Digital_Twins_Studie_Deloitte.pdf, zuletzt geprüft am 07.05.2021.

Etezadzadeh, Chirine (Hg.) (2020): Smart City – Made in Germany. Die Smart-City-Bewegung als Treiber einer gesellschaftlichen Transformation. 1st ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg.

Europäische Kommission (2020): Im Blickpunkt – Energieeffizienz von Gebäuden. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17_de, zuletzt geprüft am 31.05.2021.

ewp AG (o. J.): ewp macht Infrastruktur im Untergrund in 3D sichtbar. Online verfügbar unter https://www.ewp.ch/referenzen-und-aktuelles/referenzen-und-aktuelles/detail/beitrag/ewp-macht-infrastruktur-im-untergrund-in-3d-sichtbar/, zuletzt geprüft am 15.06.2021.

Fischer, Sarah; Neumann, Irene (2020): Vorbildliche Bürgerbeteiligung stärken und ausbauen – ein Modellprojekt. Hg. v. Umweltbundesamt (175/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_05_texte_175_2020_vorbildliche_buergerbeteiligung_0.pdf, zuletzt geprüft am 22.03.2021.

Francis, Tracy; Hoefel, Fernanda (2018): 'True Gen': Generation Z and its implications for companies. Hg. v. McKinsey & Company. Online verfügbar unter https://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/true-gen-generation-z-and-its-implications-for-companies, zuletzt geprüft am 28.07.2021.

Gautam, Shubhankar (2020): Top 3 Reasons That Make Singapore The Smartest City. Online verfügbar unter https://blog.getmyparking.com/2020/10/13/top-3-reasons-that-make-singapore-the-smartest-city/, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Giffinger, Rudolf; Fertner, Christian; Kalasek, Robert; Kramar, Hans; Mejers, Evert; Pichler-Milanović Nastaša (2007): Smart cities - Ranking of European medium-sized cities. Hg. v. University of Technology. Vienna, Austria. Online verfügbar unter http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2021.

Government Technology Agency of Singapore (2017): 5 things to know about Virtual Singapore. Online verfügbar unter https://www.tech.gov.sg/media/technews/5-things-to-know-about-virtual-singapore, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Government Technology Agency of Singapore (2021): Smart Nation Sensor Platform. Online verfügbar unter https://www.tech.gov.sg/products-and-services/smart-nation-sensor-platform/, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Günthner, Stephan; Jakubowski, Peter; Schweitzer, Eva (2017): Smart City Charta - Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn. Online verfügbar unter https://www.smart-city-dialog.de/wp-content/uploads/2020/06/smart-city-charta-kurzfassung-de-und-en.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2021.

Hagel, John (2015): The power of platforms. Hg. v. Deloitte University Press. Deloitte Development LLC. United States. Online verfügbar unter https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/strategy/za_The_power_of_platforms.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2021.

Hagel, John (2021): Infrastructure 4.0 Workshop, 16.04.2021. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/playlist?list=PL6UjILM_NOWNSTKKCDabyuMbZzUvUs_Ra, zuletzt geprüft am 20.04.2021.

Initiative Stadt.Land.Digital (2020): Wie smart sind Deutschlands Kommunen? Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Publikation/stadt-land-digital-update-digitalisierung.pdf?__blob=publicationFile&v=7, zuletzt geprüft am 23.03.2021.

Jaekel, Michael (2015): Smart City wird Realität. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Kaczorowski, Willi (2014): Die smarte Stadt - Den digitalen Wandel intelligent gestalten. Handlungsfelder Herausforderungen Strategien. Stuttgart: Richard Boorberg Verlag. Online verfügbar unter http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1682871.

Kaspersky Labs GmbH (2021): Was ist das Internet of Things (IoT)? Online verfügbar unter https://www.kaspersky.de/resource-center/definitions/what-is-iot, zuletzt geprüft am 07.05.201.

Kessler, Frank (2019): Smart Building - Intelligente Vernetzung in der Gebäudetechnik. Online verfügbar unter https://www.meistertipp.de/aktuelles/news/smart-building-intelligente-vernetzung-in-der-gebaeudetechnik, zuletzt geprüft am 16.07.2021.

Koller, Peter (2019): "Digitaler Zwilling" einer Stadt bringt neue Perspektiven. Hg. v. Energie & Management Verlagsgesellschaft mbH. Online verfügbar unter https://www.energie-und-management.de/nachrichten/energietechnik/detail/digitaler-zwilling-einer-stadt-bringt-neue-perspektiven-133030, zuletzt geprüft am 15.07.2021.

Kuffer, Monika; Kurakula, Vinay Kumar (2014): 3D Noise Modeling for Urban Environmental Planning and Management. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/228622472_3D_Noise_Modeling_for_Urban_Environmental_Planning_and_Management/link/0deec51d2d90580f71000000/download, zuletzt geprüft am 01.06.2021.

Kuhn, Thomas (2017): Digitaler Zwilling. In: *Informatik Spektrum* 40 (5):440–444. DOI: 10.1007/s00287-017-1061-2.

Kümper-Schlake, Lennart (2016): Urbanisierung und Ökologische Stadtentwicklung. Zur Integration urbaner Biodiversität und Ökosystemleistungen in Deutschland und China. In: *Standort* (40/2):107.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2021): Klimawandel und Anpassung / Bodensee. Online verfügbar unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/bodensee, zuletzt geprüft am 26.05.2021.

Leitl, Bernd; Schlünzen, Heinke; Oßenbrügge, Jürgen (2020): Urbane Regionen im globalen Wandel. Universität Hamburg. Online verfügbar unter https://www.cen.uni-hamburg.de/research/sustainable-strategies/urban-areas-global-change.html, zuletzt geprüft am 19.03.2021.

Löwner, Marc-O.; Gröger, Gerhard (2017): Das neue LoD Konzept für CityGML 3.0. Conference Paper. Technische Universität Braunschweig, CPA Software GmbH. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/316659351_Das_neue_LoD_Konzept_fur_CityGML_30/link/590a2e7d0f7e9b1d0823d212/download, zuletzt geprüft am 12.05.2021.

Manhart, Klaus (2018): Das IoT ermöglicht ganz neue Geschäftsmodelle. In: *com! professional* (11/2018):95. Online verfügbar unter https://www.com-magazin.de/dl/9/9/3/4/9/6/Internet-of-Things.pdf, zuletzt geprüft am 16.07.2021.

Mankowski, Robert (2020): Digitale Zwillinge auf Städteebene für Hochwasserbeständigkeit. Online verfügbar unter https://www.geobranchen.de/mediathek/geonews/item/digitale-zwillinge-auf-st%C3%A4dteebene-f%C3%BCr-hochwasserbest%C3%A4ndigkeit, zuletzt geprüft am 11.07.2021.

Marketing und Tourismus Konstanz GmbH (2021): Digitales Konstanz in der Vierländerregion Bodensee. Hg. v. Stadt Konstanz. Online verfügbar unter https://www.konstanz-info.com/wirtschaft-wissenschaft/projekte/digitales-konstanz#c-site-header-image-anchor, zuletzt geprüft am 27.03.2021.

Minecraft Magazin (o. J.): Minecraft - Das Spiel. Hg. v. bohnline Medienservice. Online verfügbar unter https://www.minecraft-spielen.com/minecraft-das-spiel/, zuletzt geprüft am 16.06.2021.

Mößle, Jens (2020): Analyse und Klassifikation anwendungsorientierter IoT-Sensoren in bürgergetriebenen Smart Cities am Beispiel der Stadt Ulm. Monographie am The Open Government Institute TOGI der Zeppelin Universität. Berlin: Neopubli GmbH (TOGI Schriftenreihe, Band 21).

Müller, Bene (2020): Konstanz klimapositiv mit der Sonne? Vortrag zur Ringvorlesung "Umweltgerechtes und nachhaltiges Bauen". HTWG Konstanz, 2020.

Müller-Seitz, Gordon; Seiter, Mischa; Wenz, Patrick (2016): Was ist eine Smart City? Betriebswirtschaftliche Zugänge aus Wissenschaft und Praxis. Wiesbaden: Springer Gabler.

Nitsche, Nicole; Thalhammer, Kilian (2019): Parken und Payment. Hg. v. PBA Experts GmbH. Online verfügbar unter https://paymentandbanking.com/parken-und-payment/, zuletzt geprüft am 18.07.2021.

Olberding, Helge (2018): Masterarbeit: Untersuchung zum Potenzial von Game Engines für Beleuchtungssimulationen im 3D-Stadtmodell. Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt.

parallel (2021): OS OpenData - London Datastore. Online verfügbar unter https://parallel.co.uk/3D/laei-no2/#13.2/51.5077/-0.1594/0/45, zuletzt geprüft am 01.06.2021.

Patt, Heinz; Jüpner, Robert (Hg.) (2020): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. 3rd ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Springer Vieweg.

Perras, Arne (2018): Singapur akzeptiert keine Auto-Neuzulassungen mehr. Verkehr in der Smart City. In: *Süddeutsche Zeitung*. Online verfügbar unter https://www.sueddeutsche.de/auto/verkehr-in-der-smart-city-moderne-staedte-muessen-sich-dem-intelligenztest-stellen-1.3854642-2, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Pugliese, O. (2017): Die Nase im digitalen Wind. In: *seemoz - Online Magazin am Bodensee*, 2017. Online verfügbar unter https://www.seemoz.de/lokal_regional/die-nase-im-digitalen-wind/, zuletzt geprüft am 06.04.2021.

Pugliese, O. (2020): Verkehr in Konstanz: Wie es weitergehen könnte. In: *seemoz - Online Magazin am Bodensee*, 2020. Online verfügbar unter https://www.seemoz.de/lokal_regional/verkehr-in-konstanz-wie-es-weitergehen-koennte/, zuletzt geprüft am 02.07.2021.

Rubin (2017): Städte im Wandel. In: *Rubin Wissenschaftsmagazin* (2):44. Online verfügbar unter https://news.rub.de/sites/default/files/rubin_2017_2.pdf, zuletzt geprüft am 19.03.2021.

Ruohomaki, Timo; Airaksinen, Enni; Huuska, Petteri; Kesaniemi, Outi; Martikka, Mikko; Suomisto, Jarmo (2018): Smart City Platform Enabling Digital Twin. In: 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS). 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS). Funchal - Madeira, Portugal, 25.09.2018 - 27.09.2018: IEEE:155–161.

Saebisch, Steffen (2020): Freiheit in der Smart City. In: Chirine Etezadzadeh (Hg.): Smart City – Made in Germany. Die Smart-City-Bewegung als Treiber einer gesellschaftlichen Transformation. 1st ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg:57.

Schmid, Andreas (2019): Verwaltung, eGovernment und Digitalisierung. Grundlagen, Konzepte und Anwendungsfälle. 1st ed. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg.

Schmidt, Louisa (2019): Nachhaltige Immobilienkonzepte: Bauen für die Ewigkeit. Hg. v. Handelsblatt. Online verfügbar unter https://www.handelsblatt.com/finanzen/immobilien/energieeffizienz-nachhaltige-immobilienkonzepte-bauen-fuer-die-ewigkeit/25288704.html?ticket=ST-4113210-RbcQ22rVVfQ7NAkq-SAHK-ap1, zuletzt geprüft am 22.03.2021.

Schneider, Katharina (2021): Digitaler Zwilling: Besser planen mit städtischen Daten. Hg. v. Tagesspiegel Backround. Online verfügbar unter https://background.tagesspiegel.de/digitalisierung/digitaler-zwilling-besser-planen-mit-staedtischen-daten, zuletzt geprüft am 26.03.2021.

Schrotter, Gerhard; Hürzeler, Christian (2020): The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning. In: *PFG* 88 (1):99–112. DOI: 10.1007/s41064-020-00092-2.

Sebald, Christoph (2021): Urbane Klima-Resilienz - Skizze zur Förderbeantragung. Projektblatt zur Skizze.

simuPLAN (o. J.): Solarpotenziale auf Grundlage von 3d-Stadtmodellen am Beispiel des„Hamburger Modells“. Online verfügbar unter https://www.3d-stadtmodelle.org/3d-stadtmodelle-download/14a_Ludes_Solarpotential-Hamburg_Teil1.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2021.

Software-Service John GmbH (2013): Visualisierung geplante Hochwasserschutz - Maßnahme. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=brhf-as50iI, zuletzt geprüft am 15.06.2021.

Stadt Hamburg (2021): Gremien und Projekte. Online verfügbar unter https://www.hamburg.de/bsw/lgv-gremien-projekte/, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Stadt Konstanz (2020): Beschlussvorlage "Digitalisierungsstrategie der Stadt Konstanz - Smart Green City Konstanz". Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/site/Konstanz-Karriere/get/documents_E-192483053/konstanz/Dateien/Digital/Pdfs/Sitzungsvorlage%20Digitalisierungsstrategie%20.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2021.

Stadt Konstanz (2021a): Digitales Konstanz. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/digital/digitales+konstanz, zuletzt geprüft am 06.04.2021.

Stadt Konstanz (2021b): Lärmschutz. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/leben+in+konstanz/umwelt/laermschutz, zuletzt geprüft am 09.07.2021.

Stadt Konstanz (2021c): Prognose: Konstanz wird weiter wachsen. Online verfügbar unter https://www.konstanz.de/service/pressereferat/pressemitteilungen/prognose_+konstanz+wird+weiter+wachsen, zuletzt geprüft am 09.03.2021.

Stadt Konstanz (2021d): Serviceportal Stadt Konstanz. Online verfügbar unter https://service.konstanz.de/, zuletzt geprüft am 06.04.2021.

Stadt Konstanz (2021e): Urbane Datenplattform "Offene Daten Konstanz". Online verfügbar unter https://offenedaten-konstanz.de/impressum, zuletzt geprüft am 09.04.2021.

Stadt Konstanz Amt für Liegenschaften und Geoinformation (2021): ArcGIS 3D-Modell der Stadt Konstanz. Hg. v. ESRI. Online verfügbar unter https://konstanz.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=9ebb4ea53e90400f9e33ff8c10d1741e, zuletzt geprüft am 07.04.2021.

Stadt Zürich (2020): Zürich kühlen. Themenheft von Hochparterre. Online verfügbar unter https://issuu.com/hochparterre/docs/hochparterre_stadtklima_zuerich_2020?fr=sMDgxNDE4NDQ5NzY, zuletzt geprüft am 26.05.2021.

Stadt Zürich (2021): Smart City Zürich. Online verfügbar unter https://www.stadt-zuerich.ch/portal/de/index/politik_u_recht/stadtrat/weitere-politikfelder/smart-city.html, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Swiss Academy of Sciences (2021): «Digitale Zwillinge» unterstützen die Planung. Online verfügbar unter https://scnat.ch/en/uuid/i/a78523ec-7b42-51c0-b5e8-09081bad0e65-%C2%ABDigitale_Zwillinge%C2%BB_unterst%C3%BCtzen_die_Planung, zuletzt geprüft am 26.05.2021.

TechTarget Germany GmbH (2016): Definition Geodaten. Online verfügbar unter https://whatis.techtarget.com/de/definition/Geodaten, zuletzt geprüft am 12.05.2021.

Thales Group (2020): Singapore: The worl´s smartest city. Online verfügbar unter https://www.thalesgroup.com/en/worldwide-digital-identity-and-security/iot/magazine/singapore-worlds-smartest-city, zuletzt geprüft am 22.04.2021.

Trometer, Stefan (2020): Wir gestalten die Städte der Zukunft: Zertifikatsprogramm “Digitale Zwillinge für Städte”. Hg. v. Urban Digital. Online verfügbar unter https://urban-digital.de/staedte-der-zukunft-zertifikatsprogramm-digitale-zwillinge-staedte/, zuletzt geprüft am 26.03.2021.

Umweltbundesamt (2020): Umweltbelastungen durch Verkehr. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/umweltbelastungen-durch-verkehr#undefined, zuletzt geprüft am 22.03.2021.

Universität Stuttgart (2021): Digitaler Zwilling für das Autonome Fahren. Online verfügbar unter https://www.beschaeftigte.uni-stuttgart.de/uni-aktuell/presseinfo/Digitaler-Zwilling-fuer-das-Autonome-Fahren/, zuletzt geprüft am 25.06.2021.

VRVis Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung Forschungs-GmbH (o. J.): Forschungsprojekte. Online verfügbar unter https://www.vrvis.at/forschung/forschungsprojekte/floodvisor-ii, zuletzt geprüft am 06.06.2021.

Warnecke, Danielle; Wittstock, Rikka; Teuteberg, Frank (2019): Nachhaltige Mobilität messbar machen - Entwicklung und Evaluation eines Reifegradmodells für urbane Mobilitätsstrategien. In: Jorge Marx Gómez, Andreas Solsbach, Thomas Klenke und Volker Wohlgemuth (Hg.): Smart Cities/Smart Regions – Technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Innovationen. Konferenzband zu den 10. BUIS-Tagen. 1st ed. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg:13–14.

WhereNext Redaktion (o. J.): Starkregen: So bereiten sich Kommunen auf Sturzfluten vor. Hg. v. Esri Deutschland GmbH. Online verfügbar unter https://where-next.esri.de/starkregen-kommunen-massnahmen/, zuletzt geprüft am 08.06.201.

Zeile, Peter Karl (2010): Echtzeitplanung. Die Fortentwicklung der Simulations- und Visualisierungsmethoden für die städtebauliche Gestaltungsplanung. Technische Universität Kaiserslautern. Online verfügbar unter https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/2196/file/Dissertation_Peter_Zeile_Echtzeitplanung.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2021.

Ziehm, Holger (o. J.): Öffentliche Sicherheit - Hochwasser-Management: Was ist zu tun, wenn der Pegel steigt? Hg. v. WhereNext - Herausgegeben von Esri Deutschland und Esri Schweiz. Online verfügbar unter https://where-next.esri.de/hochwasser-management/, zuletzt geprüft am 08.06.2021.

zur Nedden, Martin (2017): Digitalisierung als Element der Integrierten Stadtentwicklung. In: *Verbandszeitschrift des vhw* (6):291. Online verfügbar unter https://www.vhw.de/fileadmin/user_upload/08_publikationen/verbandszeitschrift/FWS/2017/6_2017/FWS_6_17_Digitalisierung_als_Element_der_Integrierten_Stadtentwicklung_M._zurNedden.pdf, zuletzt geprüft am 22.03.2021.

Anlagen

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Leitfragen Experteninterview

Anlage 2: Umfrage zur Digitalisierung der Stadt Konstanz im Bereich der Bauwirtschaft

Anlage 3: Auswertung der Umfrage