

Band 24 setzt sich mit digitalen Zwillingen von deutschen Kommunen auseinander. Entlang der Forschungsfrage „Wie können digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung deutscher Kommunen verändern?“ werden Einsatzbereiche, Veränderungspotenziale und Rahmenbedingungen analysiert. Die Arbeit liefert sowohl theoretische als auch praktische Beiträge auf Grundlage einer systematischen Literaturanalyse, der qualitativen Inhaltsanalyse von Experteninterviews und einem Use Case. Die Monographie erforscht digitale Zwillinge bei Kommunen explorativ nach dem Design-Science-Ansatz und legt einen Forschungsrahmen sowie eine praktische Orientierungshilfe für Kommunen vor.

Hintergrund:

The Open Government Institute | TOGI ist an der Zeppelin Universität Friedrichshafen angesiedelt. Es setzt sich das Ziel, als Pionier wegweisende Ideen, Visionen, Strategien, Konzepte, Theorien, Modelle und Werkzeuge zum Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zu erarbeiten und diese mit Partnern zu realisieren.

Mit der vorliegenden Schriftenreihe des TOGI besteht ein interdisziplinärer Raum für Veröffentlichungen. Empirische Untersuchungen und Forschungsergebnisse sollen in Form von Monographien, Beiträgen, Vorträgen sowie Tagungs- und Konferenzergebnissen die Inhalte der Schriftenreihe sein und so direkt zum Wissenstransfer beitragen.

Informationen: <http://togi.zu.de>

ISSN 2193-8946

ISBN 978-3-758407-88-8

Weiß: Wie können digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung verändern?

ZU | TOGI

Wie können digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung deutscher Kommunen verändern? Eine Analyse von Einsatzbereichen, Veränderungspotenzialen und Rahmenbedingungen

Monographie am
The Open Government Institute | TOGI
der Zeppelin Universität

Band 24 der Schriftenreihe des
The Open Government Institute | TOGI
der Zeppelin Universität Friedrichshafen

zeppelin universität

The
Open Government Institute | TOGI

zeppelin universität

The Open Government Institute | TOGI

Sophia Weiß

**Wie können digitale Zwillinge
die Aufgabenerledigung
deutscher Kommunen verändern?**

**Eine Analyse von Einsatzbereichen,
Veränderungspotenzialen und
Rahmenbedingungen**

**Monographie am
The Open Government Institute | TOGI
der Zeppelin Universität**

TOGI Schriftenreihe - Band 24

Schriftenreihe des
The Open Government Institute | TOGI
der Zeppelin Universität Friedrichshafen

The Open Government Institute | TOGI TOGI Schriftenreihe

Band 24

Herausgeber von Band 24

Univ.-Prof. Dr. Jörn von Lucke
TOGI | Zeppelin Universität, Friedrichshafen
joern.vonlucke@zu.de

Herausgeber der TOGI Schriftenreihe

Univ.-Prof. Dr. Jörn von Lucke
TOGI | Zeppelin Universität, Friedrichshafen
joern.vonlucke@zu.de

Impressum



The Open Government Institute | TOGI
Zeppelin Universität, Friedrichshafen 2023

Druck und Verlag: epubli GmbH, Berlin, <http://www.epubli.de>
Verlagsgruppe Holtzbrinck

ISSN 2193-8946

Vorwort

Digitale Zwillinge wurden mir als Professor erstmals von Bachelorstudenten einer benachbarten Technischen Hochschule als Lösungsansatz für eine Stadtverwaltung vorgestellt. Mit einem digitalen Zwilling wollten sie alle Probleme der Stadt erfassen, damit dieser die städtischen Probleme mit Hilfe von Algorithmen automatisch löst. Meine Skepsis war mit Blick auf die mir bekannte Komplexität von Städten, IT-Systemen und ERP-Systemen sehr groß. Der Vorschlag fand dennoch rasch seinen Weg in ein Wirtschaftsförderungsprogramm, was mich bewog, mich intensiver mit digitalen Zwillingen und deren Einsatz im öffentlichen Sektor auseinander zu setzen. Nach Betreuung einer Hausarbeit von Jens Mößle, Koordination und Moderation eines Workshops im Rahmen der Smart Government Akademie Bodensee unter Einbindung des deutschen Connected Urban Twin Teams aus München und Hamburg sowie der Zusammenarbeit mit Sophia Weiß im Rahmen ihrer Masterthesis bin ich mir heute ziemlich sicher, dass digitale Zwillinge über ein enormes Potenzial verfügen die öffentliche Verwaltung disruptiv zu verändern. Staat und Verwaltung müssen sich mit den unter dieser Marke gebündelten Ansätzen und Konzepten zeitnah auseinandersetzen, deren Einsatz zur effizienten wie effektiven Wahrnehmung öffentlicher Aufgaben fordern und fördern sowie dabei stets offene Standards und Schnittstellen einfordern. Tatsächlich finden sich dahinter ganz unterschiedliche Ansätze und Produkte, von einem digitalen Schatten meiner Aktivitäten (Bürgerprofil) über Dashboards für Bürgermeister bis hin zu geobasierten Steuerungssystemen.

Persönlich kenne ich Sophia Weiß seit September 2021, nachdem sie angefangen hat, an unserer Zeppelin Universität in Friedrichshafen im Masterprogramm Public Management & Digitalisierung zu studieren. Meine Lehrveranstaltungen hat sie mit großem Engagement und Bestnoten besucht. Schon dort ist sie mir stets als herausragende Studentin aufgefallen, die ihre fachliche Expertise zur öffentlichen Verwaltung und ihre analytischen Fähigkeiten bei der Einschätzung neuartiger Sachverhalte einbrachte. Dabei zeigte sie stets auch Interesse an gesellschaftspolitischen Fragestellungen sowie Fähigkeiten zum Transferdenken. Auch die Zusammenarbeit mit ihr im Rahmen ihrer Teilzeitbeschäftigung bei der Stadt Friedrichshafen empfand ich als sehr konstruktiv und bereichernd. Wir als Teilnehmer dieser Austausch wurden von ihr verständlich in neue Entwicklungen eingeführt und konnten ihr auch knifflige Fragen stellen, die sie souverän beantwortete. Aufgrund ihrer akademischen Leistungen, ihres Fachwissens im Bereich der öffentlichen Verwaltung, ihrer charakterlichen Eigenschaften und ihres ausgeprägten gesellschaftlichen Interesses an der digitalen Gestaltung von Staat und Verwaltung freue ich mich, dass Frau Weiß ihre Masterthesis zu digitalen Zwillingen in der öffentlichen Verwaltung mit einer ausgezeichneten Bewertung abgeschlossen hat.

Die von Sophia Weiß im Sommer 2023 vorgelegte Masterarbeit ist das Ergebnis einer intensiven Auseinandersetzung mit digitalen Zwillingen in Staat und Verwaltung. Mit dieser Thesis ist es ihr gelungen, Zielbilder für den Einsatz digitaler Zwillinge auf kommunaler Ebene in Deutschland zu konkretisieren. Gezielt hat sie Einsatzbereiche, Veränderungspotenziale und Rahmenbedingungen untersucht. Zugleich trägt sie mit ihren Beiträgen dazu bei, die Vision der selbstfahrenden Verwaltung durch den Einsatz digitaler Zwillinge explorativ und praxisnah zu erforschen. Vor allem das Reifegradmodell für digitale Zwillinge und die zehn Experteninterviews sorgen dafür Einsatzbereiche, wie die Optimierung der bisherigen Aufgabenerledigung, die Etablierung neuer Dienstleistungen mit Echtzeitreaktionsbedarf und eine integrierte Stadtentwicklung zeitig anzugehen. Digitale Zwillinge eröffnen zudem für die Nachhaltigkeit und die Optimierung des Datenmanagements zahlreiche Möglichkeiten, die Kommunen bisher nicht oder kaum zur Verfügung standen. Wirkungsorientierte Veränderungspotenziale werden in Effizienz, Effektivität, Planungssicherheit und Informationsgewinnen gesehen. Erfolgstreiber digitaler Zwillinge sind ihre einfache Inbetriebnahme, ihre Problemlösungsfähigkeiten und ihre beschleunigte Erprobung. Anhand eines Mobilitätszwillings konnten sechs Anwendungsfälle herausgearbeitet werden. Ihre Umsetzungsanalyse zeigt, welche Herausforderungen zu berücksichtigen sind. Frau Weiß leitet aus ihren Überlegungen und Erkenntnissen acht Handlungsempfehlungen ab, die mit Blick auf die aktuellen Herausforderungen das Themenfeld durch politische, rechtliche und Management-Empfehlungen mitgestalten helfen.

Der abschließende Eindruck von Sophia Weiß ist für mich dennoch realistisch: „Bis digitale Zwillinge zum kommunalen Standardinstrumentarium zählen, ist noch ein weiter Weg zu gehen.“ Aus eigener Erfahrung mit Portalen weiß ich, dass manchmal aber auch überraschende Wunder passieren. Es gibt viele Gründe für Bund, Länder und Kommunen, sich in Zeiten knapper Kassen und eines anhaltenden Fachkräftemangels mit digitalen Zwillingen auseinander zu setzen. Dieses Werk soll dazu beitragen, dass nicht unnötig Zeit vergeht. Smarte Datensammlungen und digitale Zwillinge können ihren Beitrag leisten, dass Staat und Verwaltung viele ihrer Aufgaben wieder auf höchstem Niveau wahrnehmen und ausführen können. Umso mehr freut es mich, Sophia Weiß auf ihrem Weg ein Stück weit begleiten und einen Beitrag zum Abschluss ihrer Ausbildung leisten zu dürfen. Die Auszeichnung mit dem Best Thesis Award des Studiengangs Public Management & Digitalisierung (PMD) der Zeppelin Universität für diese Arbeit unterstreicht die Qualität des vorgelegten Werkes. Bleiben wir gespannt darauf, welche Vorhaben unsere erste Absolventin des Masterstudiengangs PMD an der Zeppelin Universität in den kommenden Jahren vorantreiben wird.

Friedrichshafen, der 24. September 2023

Jörn von Lucke

Zusammenfassung

Ein zunehmendes Spannungsverhältnis zwischen begrenzten Ressourcen und stetigem Aufgabenwachstum lastet auf deutschen Kommunen in Zeiten multipler Krisen. Technische Innovationen wie digitale Zwillinge könnten ein geeignetes Instrument sein, kommunale Ressourcen effizienter einzusetzen und kommunale Aufgabenerfüllung aufrecht zu erhalten. Die Arbeit liefert sowohl theoretische als auch praktische Beiträge auf Grundlage einer systematischen Literaturanalyse, der qualitativen Inhaltsanalyse von Experteninterviews und einem Use Case. Die Arbeit erforscht digitale Zwillinge bei Kommunen explorativ nach dem Design-Science-Ansatz und legt einen Forschungsrahmen sowie eine praktische Orientierungshilfe für Kommunen vor. Die Analyse von Einsatzbereichen, Veränderungspotenzialen und Rahmenbedingungen zeigt, wie digitale Zwillinge Kommunen unterstützen können, sofern bereits jetzt Grundsteine gelegt werden.

Abstract

An increasing degree of tension between limited resources and continuous expansion of responsibilities weighs on German municipalities in times of multiple crises. Technical innovations such as digital twins could be useful instruments for using communal resources more efficiently and for preserving the performance of communal tasks. This paper provides both theoretical and practical contributions based on a systematic literature review, qualitative content analysis of expert interviews and a use case. The thesis explores digital twins in municipalities using the design science approach and provides a research framework and practical guidance for municipalities. By analysing the areas of application, change potentials and framework conditions, the thesis reveals how digital twins can support municipalities, if important groundwork will be laid now.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Inhaltsverzeichnis	8
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	12
Gender-Hinweis	14
1 Einleitung	15
2 Grundsachverhalte und Definitionen	19
2.1 Grundlegende Definitionen.....	19
2.2 Einsatzfelder und Herausforderungen in der Praxis.....	24
2.3 Forschungsstand und Forschungslücken	27
2.3.1 Aktueller Forschungsstand	27
2.3.2 Forschungslücken und Herleitung des Erkenntnisinteresses	31
3 Theoretischer und konzeptioneller Rahmen	34
3.1 Theoretische Perspektive: Innovationen im öffentlichen Sektor..	34
3.1.1 Innovationsdimensionen.....	35
3.1.2 Wirkungen von Innovationen	37
3.1.3 Einflussfaktoren auf Innovation.....	39
3.2 Konzeptionelle Perspektive: Die deutsche Kommunalverwaltung	42
3.2.1 Öffentliche Aufgabenerledigung	42
3.2.2 Entscheidungsfindung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.....	44

3.2.3	Kommunale Informationssysteme.....	46
3.2.4	Zielbild der „selbstfahrenden Verwaltung“	48
3.2.5	Innovationen in der deutschen Kommunalverwaltung.....	49
4	Angewandte Methodik.....	51
4.1	Systematische Literaturanalyse	51
4.2	Qualitative Inhaltsanalyse von Experteninterviews	52
4.3	Use Case Methodik in den Verwaltungswissenschaften	55
5	Diskussion: Digitale Zwillinge in der Kommunalverwaltung	57
5.1	Empirisches Verständnis und theoretische Kategorisierung.....	57
5.2	Potenzielle Einsatzbereiche.....	60
5.3	Wirkungsorientierte Veränderungspotenziale	62
5.4	Identifizierte Einflussfaktoren	65
5.5	Weitere relevante Rahmenbedingungen.....	68
6	Use Case: Ein Mobilitätszwilling für die Stadt Friedrichshafen	72
6.1	Vorgehensweise zur Erstellung des Use Cases	72
6.2	Kosten-Nutzen-Analyse.....	74
6.3	Umsetzbarkeitsanalyse.....	78
6.4	Praktische Implikationen und Übertragbarkeit der Ergebnisse	79
6.5	Entwicklung eines Entscheidungsmodells für Kommunen	80
7	Resultierende Handlungsempfehlungen.....	81
8	Fazit.....	86
8.1	Kurzzusammenfassung der Ergebnisse.....	86
8.2	Limitationen	87
8.3	Implikationen für künftige Forschung.....	88
8.4	Futuristischer Ausblick	89

9	Anhang	92
9.1	Anhang 1: Interviewfragebogen der Experteninterviews	92
9.2	Anhang 2: Übersicht der Experteninterviewpartner.....	97
9.3	Anhang 3: Übersicht des Kategoriensystems	98
9.4	Anhang 4: Befragungsergebnisse zur Kategorisierung	101
9.5	Anhang 5: Befragungsergebnisse zu Einflussfaktoren.....	103
9.6	Anhang 6: Kostenstellen für einen digitalen Mobilitätswilling. .	104
9.7	Anhang 7: Fragebogen zur Erarbeitung des Use Cases.....	108
9.8	Anhang 8: Entscheidungsmodell für Kommunen	112
	Literaturverzeichnis	114
	Verzeichnis der zitierten Richtlinien und Gesetze.....	140

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kategorien anvisierter Wirkungen digitaler Zwillinge bei Kommunen	62
Abbildung 2: Wirkzusammenhang Innovationsdimension und anvisierte Wirkung digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor.....	64
Abbildung 3: SRoI-Formel	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Reifegrade digitaler Zwillinge	20
Tabelle 2: Beziehung zwischen Innovationsdimension und erzielter Wirkung im öffentlichen Sektor	38
Tabelle 3: Beziehung zwischen Innovationsdimension und Ebenen der Einflussfaktoren im öffentlichen Sektor	41
Tabelle 4: Befragungsergebnisse zur anvisierten Wirkung digitaler Zwillinge	63

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
5G/6G	fünfte/sechste Mobilfunkgeneration
ABI	Allied Business Intelligence
AG	Aktiengesellschaft
AKDB	Anstalt für Kommunale Datenverarbeitung in Bayern
ALFRIED	Automatisiertes und vernetztes Fahren in der Logistik am Testfeld Friedrichshafen
AR	Augmented Reality
BBSR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BIM	Building Information Modeling
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMfSFJ	Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend
BMI	Bundesministerium des Innern und für Heimat
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
CIM	City Information Modeling
CUT	Connected Urban Twins
DIN	Deutsches Institut für Normung
DIN-SPEC	Standarddokument des DIN
DIPAS	Digitales Partizipationssystem
DMZ	Digitaler Mobilitätswilling

DSR	Design Science Research
DUET	Digital Urban European Twins
DZ	Digitale Zwillinge
e.V.	eingetragener Verein
EU	Europäische Union
FITKO	Förderale IT-Kooperation
FV	Forschungsleitende Vermutung
GeoAI	Geospatial Artificial Intelligence
GIS	Geoinformationssystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GVR	Grand Research Review
IAO	Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
IBM	International Business Machines
IESE	Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering
IET	The Institution of Engineering and Technology
IGD	Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
IoT	Internet of Things
IOSB	Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung
IT	Informationstechnologie
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologien
IUK	Fraunhofer-Verbund IuK
IWT	Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer
KGSt	Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement

KI	Künstliche Intelligenz
mbH	mit beschränkter Haftung
MPSC	Modellprojekte Smart Cities
ÖFIT	Kompetenzzentrum Öffentliche IT
OUP	Offene urbane Plattform
PoC	Proof of Concept
Pol	Points of Interest
PMD	Public Management & Digitalisierung
RoI	Return on Investment
SaaS	Software as a Service
SE	Societas Europaea
SRoI	Social Return on Investment
TOGI	The Open Government Institute
TUM	Technische Universität München
USD	United States Dollar
VR	Virtual Reality
VZÄ	Vollzeitäquivalent
WiBE	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Gender-Hinweis

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Masterarbeit das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich auf alle Geschlechter.

1 Einleitung

Deutsche Kommunen stehen vor einer Vielzahl von Herausforderungen und befinden sich inmitten multipler Krisen: Klimawandel, demografischer Wandel, wirtschaftliche Einschnitte und globale Urbanisierungstrends wirken als externer Druck auf Kommunen (Bundesministerium der Finanzen [BMF], 2022). Neben kommunenspezifischen Problemstellungen wie Hitzebelastungen, Flächenmangel und Erbringung moderner Daseinsvorsorge müssen Kommunen einem stetig steigenden Aufgabenwachstum mit zunehmend knappen Ressourcen begegnen. In diesem Spannungsfeld ist die Aufrechterhaltung öffentlicher Aufgabenerledigung zur Sicherstellung einer funktionierenden Gesellschaft von essenzieller Bedeutung. Die Ressourcenknappheit zwingt Kommunen, begrenzt verfügbare Mittel optimiert einzusetzen. Dies wirft die Frage auf, ob der Einsatz technischer Innovationen wie digitale Zwillinge, die bereits Einsparungspotenziale in der Privatwirtschaft heben, nach Konzepten wie „Smart Government“ zur Aufrechterhaltung öffentlicher Aufgabenerfüllung überhaupt noch verzichtbar ist und zu der Vision einer „selbstfahrenden Verwaltung“ beitragen kann (von Lucke, 2015, 2023b; Capgemini SE, 2022).

Das Verhältnis wachsender Aufgaben zu knapper werdenden Ressourcen hat sich durch wirtschaftliche Belastungen – mitunter resultierend aus der Corona-Pandemie und der Energiekrise – und einem zunehmenden Personalmangel weiterhin verschärft: „Bis 2023 werden im öffentlichen Dienst zusätzlich 840 000 Vollzeitfachkräfte benötigt“ (McKinsey & Company, 2023). Durch effizientes Datenmanagement ermöglichen technische Innovationen wie digitale Zwillinge die wirtschaftliche und gesellschaftliche Nutzung von Daten als wertvollste Ressource unseres Zeitalters (Berger, 2020). Von gesellschaftsdemokratischer Bedeutung könnte überdies sein, die Qualität von Good Governance durch datengesteuerte Entscheidungen zu verbessern (Fraunhofer IESE, 2021). Aufgrund dieser Eigenschaften könnten datengetriebene Technologien wie digitale Zwillinge das Potenzial haben, Verwaltungsprozesse durch geringfügige technische Änderung erheblich zu optimieren (von Lucke, 2018). Vor diesem Hintergrund ist zu untersuchen, wie der Einsatz digitaler Zwillinge die Aufgabenerledigung deutscher Kommunen verändern könnte. Das mögliche Veränderungspotenzial digitaler Zwillinge lässt sich durch einen Blick auf die Privatwirtschaft erahnen, in der durch die intelligente Vernetzung von Technologien der Industrie 4.0 enorme Wachstumserfolge und Effizienzgewinne erzielt wurden (Grand View Research [GVR], 2021). Dementgegen scheint die öffentliche Verwaltung die flächendeckende Transformation zu Verwaltung 3.0 „Open Government“ zu verfehlen (von Lucke & Gollasch, 2022). Digitale Zwillinge könnten daher wertvolles Instrument für Kommunen sein, um

multiple Krisen zu bewältigen, und sie trotz massiven Personalmangels zukunftsfähig zu gestalten.

Bisher konzentrierten sich empirische Studien hauptsächlich auf das Optimierungspotenzial und die Verbesserung von Nachhaltigkeitswerten durch digitale Zwillinge im privaten Sektor, da die Technologie bereits seit einigen Jahren in der Produktentwicklung eingesetzt wird (Capgemini SE, 2022). Es wird angenommen, dass diese Einsparungspotenziale der Privatwirtschaft durch effizientes Datenmanagement auf den städtischen Bereich im Kontext von Smart City übertragbar sind (Wang, Chen, Jia & Cheng, 2023). Einige globale Vorreiter wie Singapur nutzen bereits digitale urbane Zwillinge für das Stadtmanagement (Infrastructure Global, 2023). Im öffentlichen Sektor existieren nur wenige empirische Studien, da es sich um ein neues, wenig erforschtes und komplexes Gebiet handelt (Shahat, Hyun & Yeom, 2021).

Aufgrund begrenzter wissenschaftlicher Arbeiten hinsichtlich digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor existiert keine einheitliche Begriffsdefinition (Deutscher Städtetag, 2023; Punz, 2021). Weiterhin mangelt es an einer umfassenden Gesamtschau über aktuelle Anwendungsfälle, Auswirkungen und potenzielle Einsatzbereiche (Wang et al., 2023). Der Anwendungskontext und die Rahmenbedingungen digitaler Zwillinge bei deutschen Kommunen sind insgesamt wissenschaftlich nur begrenzt erforscht (Fraunhofer IESE, 2021).

Aus dem wissenschaftlichen Diskurs und dem praxisnahen Erkenntnisinteresse leitet sich daher die Forschungsfrage dieser Arbeit ab: „Wie können digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung deutscher Kommunen verändern? Einsatzbereiche, Veränderungspotenziale, Rahmenbedingungen.“ Da es sich um eine explorative Arbeit auf einem neuen Forschungsgebiet handelt, verfolgt diese Masterarbeit zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage drei forschungsleitende Fragen, um ein besseres Verständnis für digitale Zwillinge und ihre potenziellen Auswirkungen auf deutsche Kommunen zu erlangen:

1. In welchen Bereichen können digitale Zwillinge die kommunale Aufgabenerfüllung unterstützen?
2. Wie können digitale Zwillinge die kommunale Aufgabenerledigung wirkungsorientiert verändern?
3. Unter welchen Bedingungen können digitale Zwillinge eingesetzt werden?

Die Arbeit untersucht den Anwendungskontext deutscher Kommunen, da es bisher wenig Forschung auf diesem Gebiet gibt (Fraunhofer IESE, 2021).

Dabei richtet sich der Fokus unter Verwendung des Begriffs „Kommune“ auf deutsche Städte und Gemeinden, während Gemeindeverbände und der öffentliche Sektor im weiteren Sinne, wie zum Beispiel Militär und Justiz, außerhalb des Rahmens dieser Arbeit liegen. Diese Masterarbeit verfolgt aufgrund des wissenschaftlichen und praxisnahen Erkenntnisinteresses den Anspruch, sowohl einen wissenschaftlichen als auch praktischen Beitrag zu leisten.

Aufgrund ihrer praxisnahen Ausrichtung folgt die Arbeit dem Ansatz von Design-Science-Research (DSR) nach Herbert Simon (Barzelay & Thompson, 2010; Simon, 1988). Der gestaltungsorientierte DSR-Ansatz eignet sich als Forschungsdesign in den Verwaltungswissenschaften, um neue, komplexe Forschungsgebiete wie das Artefakt digitaler Zwillinge bei Kommunen explorativ zu erschließen (Romme & Meijer, 2020). Das Artefakt bezeichnet dabei den im Forschungsinteresse liegenden, innovativen Forschungsgegenstand. Die drei gestaltungsorientierten DSR-Zyklen werden mit traditionellen wissenschaftlichen Forschungsmethoden aufgrund des wissenschaftlichen und praxisnahen Erkenntnisinteresses dieser Arbeit kombiniert: Erstens, entwickelt der Rigor-Cycle theoretische Konstrukte, um das Artefakt durch innovationstheoretische Schlüsse zu erklären. Dazu dient eine systematische Literaturanalyse, um das innovationstheoretische Rahmenwerk und den konzeptionellen kommunalen Anwendungskontext zu erschließen. Zweitens, überprüft der Relevance-Cycle die theoretischen Erklärungsansätze empirisch hinsichtlich praktischer Bedürfnisse und Herausforderungen im Anwendungskontext von Kommunen, indem Experteninterviews mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet werden. Drittens, wendet der Design-Cycle das Artefakt im untersuchten Anwendungskontext an (Hevner, 2007). Zur Anwendung des Artefakts im kommunalen Anwendungskontext dient ein Use Case im Mobilitätsbereich. Die Befunde werden in Kapitel 5 und 6 ausgewertet und leisten mit einem Entscheidungsmodell für Kommunen einen zusätzlichen praktischen Beitrag.

Die Kernbeiträge der Arbeit sind: a) Darstellung des aktuellen Verständnisses von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor, b) Überblick über aktuelle und potenzielle Einsatzbereiche digitaler Zwillinge bei Kommunen, c) Kategorisierung von digitalen Zwillingen als Innovationsdimension im öffentlichen Sektor, d) Ermittlung von angestrebten Wirkungen digitaler Zwillinge bei Kommunen, e) Identifikation relevanter Rahmenbedingungen digitaler Zwillinge bei Kommunen, f) Use Case aus dem Mobilitätsbereich mit praktischer Übertragbarkeit, g) Entscheidungsmodell für Kommunen. Als weiterer wissenschaftlicher Beitrag werden im Fazit forschungsleitende Vermutungen formuliert, an denen Folgearbeiten anschließen können. Zur praktischen Implikation können die Ergebnisse auf andere Kommunen übertragen werden.

Der Einleitung folgt eine Darstellung von grundlegenden Definitionen zu digitalen Zwillingen, urbanen Datenplattformen und weiteren relevanten Begriffen, sowie die Darlegung des Grundsachverhaltes aus sowohl praktischer als auch wissenschaftlicher Perspektive. Im dritten Kapitel wird sich digitalen Zwillingen bei Kommunen aus der Linse der Innovationstheorien angenähert, und die Funktionsweise deutscher Kommunen erläutert. Daraufhin wird die Methodik zur wissenschaftlichen Erörterung des Erkenntnisgewinns vorgestellt. Es folgt die Auswertung und Diskussion der erhobenen Daten, um die Forschungsfrage und die forschungsleitenden Fragen zu beantworten. Ein praxisnaher Use Case dient dem gestaltungsorientierten Erkenntnisgewinn, um ein Entscheidungsmodell für deutsche Kommunen und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Schließlich werden die wesentlichen Erkenntnisse im Fazit dieser Arbeit zusammengefasst, ihre Limitationen aufgezeigt, und ein futuristischer Ausblick formuliert.

2 Grundsachverhalte und Definitionen

Der öffentliche Diskurs und die aktuelle Literatur zu digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor bilden derzeit noch kein kohärentes Bild zum Status Quo digitaler Zwillinge bei Kommunen ab. Dieses Bild ist allerdings zentral, um diese Forschungsarbeit in einen praxisnahen Kontext zu setzen. Daher richtet dieses Kapitel zunächst seinen Fokus auf die Etablierung grundlegender Definitionen, bevor es einen bisher noch nicht bestehenden Überblick über die kommunale Realität in Bezug auf die technischen Innovationen gibt. Anschließend dient eine fokussierte Ausarbeitung des aktuellen Forschungsstandes zu digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor der Einordnung des Erkenntnisinteresses dieser Arbeit in den bestehenden Forschungsbedarf. Dies stellt sicher, dass die Ergebnisse dieser Arbeit sowohl einen wissenschaftlichen als auch praktischen Beitrag leisten, an dem sich deutsche Kommunen orientieren können. Die Grundsachverhalte von und zu digitalen Zwillingen dienen im späteren Teil der Arbeit der Einordnung der forschungsleitenden Fragen und Ergebnisse.

2.1 Grundlegende Definitionen

Digitale Zwillinge

In der wissenschaftlichen Literatur existiert keine allgemeingültige Definition zu digitalen Zwillingen, jedoch haben sich in den letzten Jahren unterschiedliche Perspektiven auf das Artefakt herausgebildet: Erstens, die deskriptive Perspektive als digitales Abbild physischer Objekte, Personen und Prozesse (Gartner Glossary, 2022). Zweitens, die darauf aufbauende technische Perspektive, die ein digitales Abbild beschreibt, welches aus Echtzeitdaten generiert wird und Simulation, maschinelles Lernen und Schlussfolgerung bei der Entscheidungsfindung einsetzt (IBM, 2022). Drittens, eine funktionale Betrachtung, die „Simulation, Steuerung und Verbesserung [...] erlaubt“ (Fraunhofer IOSB, 2022, Absatz 1). Fasst man diese Perspektiven zusammen, kann in digitalen Zwillingen das Spiegelbild realphysischer Objekte gesehen werden, das durch die Kombination unterschiedlicher Technologien divergente Fähigkeiten aufweisen kann. Digitale Zwillinge zeichnen sich außerdem durch ihre Fähigkeit aus, physische und virtuelle Daten über den gesamten Produktlebenszyklus zu integrieren (Gesellschaft für Informatik e.V., 2021; Tao, Zhang, Liu & Nee, 2019; Wang et al., 2023).

Digitale Zwillinge werden höchst individuell entwickelt, weisen unterschiedliche Fähigkeiten auf und unterliegen rasant fortschreitenden Technikentwicklungen, sodass eine abschließende Definition ihrer Natur widersprechen (IBM, 2022). Zur Beschreibung von digitalen Zwillingen können

Reifegradmodelle herangezogen werden. Das nachstehende Reifegradmodell klassifiziert digitale Zwillinge nach ihrer Leistungsfähigkeit, die davon abhängt, wie Statusänderungen in Sensornetzwerken erfasst und wie viele Eigenschaften des realen Systems mit welcher Genauigkeit und Geschwindigkeit wiedergegeben werden können (Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie, 2022). Durch Zusammenführen der Perspektiven aus der Forschung lässt sich das Modell in Tabelle 1 konstruieren:

Reifegrad	Funktionalität
1. Repräsentator	Virtuelle räumliche Abbildung physischer Objekte
2. Simulator	Virtuelle räumliche Abbildung mit unidirektionaler Kommunikation vom physischen Objekt ausgehend
3. Monitor	Unidirektionale Kommunikation zur Überwachung und Visualisierung physischer Objekte in Echtzeit (vorrangig durch generierte Sensordaten)
4. Smarter Monitor	Verknüpfung empfangener Daten mit gewonnenen Erkenntnissen und deren Visualisierung in Echtzeit („Smart Data“)
5. Digitaler Zwilling	Bidirektionale Kommunikation zwischen visualisierten „Smart Data“ und Auswirkungen am physischen Objekt in Echtzeit, datenbasierte Simulation und Vorhersage mit ggf. automatisierter Reaktion auf Basis Künstlicher Intelligenz (KI)

Tabelle 1: Reifegrade digitaler Zwillinge (In Anlehnung an Detecon International GmbH, 2019a; Fraunhofer IESE, 2021; The Institution of Engineering and Technology [IET], 2019; Wang et al., 2023, sowie eine Seminararbeit der Verfasserin vom 18.12.2022)

Zwar gibt es weder eine einheitliche Definition noch ein einheitliches Reifegradmodell, allerdings herrscht Einigkeit darüber, dass es sich bei dem Artefakt um eine technische Innovation handelt, die in der Privatwirtschaft seit einigen Jahren zu Optimierungs- und Ressourcenschonungszwecken erfolgreich eingesetzt wird (Deutscher Städtetag, 2023; Detecon International GmbH, 2019b). Im öffentlichen Sektor setzen erste internationale Großstädte wie Singapur digitale Zwillinge bereits als Planungs- und Steuerungsinstrument ein (Technische Universität München [TUM], 2023a). Dabei führen digitale Zwillinge als cyberphysische Systeme urbane Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammen und generieren Modelle, die Simulation und Echtzeitmonitoring nutzen, und zur Vorhersage und Gesamtsteuerung

rung eingesetzt werden können (TUM, 2023a; von Lucke & Zanchet Maciel, 2023). Ein Mehrwehrt digitaler städtischer Zwillinge wird in der verbesserten Entscheidungsfindung durch die Testung und Veranschaulichung von Politikvorschlägen und Abhängigkeiten in unterschiedlichen Politik- und Aufgabenbereichen, in ressortübergreifendem Arbeiten und im Einbezug von städtischen Akteuren und der Zivilgesellschaft gesehen (Doody, 2019). Um digitale Zwillinge von Städten miteinander zu vernetzen, wird derzeit „DIN SPEC 91607“ erarbeitet, die Inhalte zur Standardisierung und Interoperabilität sowie Anwendungshilfen für Kommunen beinhalten soll und Anfang 2024 veröffentlicht wird (Deutsches Institut für Normung [DIN], 2022; Deutscher Städtetag, 2023).¹

Urbane Datenplattformen

Urbane Datenplattformen dienen mit ihrer Datengrundlage als infrastrukturelle Basis für digitale Zwillinge, indem sie standardisierte, urbane Daten bündeln und zentral für städtische Akteure zur Verfügung stellen (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2023; Deutscher Städtetag, 2023). In dieser Arbeit werden urbane Daten als Daten verstanden, die aus verschiedenen Quellen im städtischen Kontext gesammelt, genutzt und bereitgestellt werden (ebd.). Diese umfassen sowohl statische als auch dynamische Daten, wie zum Beispiel sensorbasierte Echtzeitdaten (Fraunhofer IAO, 2021a). Urbane Datenplattformen verfolgen das Ziel, den städtischen Datenraum bestmöglich technisch, organisatorisch, regulatorisch und partizipativ zu erschließen (BBSR, 2023). Durch standardisierte Schnittstellen können Daten in die Plattform eingespeist und von der Plattform abgerufen werden (BBSR, 2023). Offene, urbane Datenplattformen (OUP) folgen dem Open Data-Ansatz, werden somit künftigen europäischen Anforderungen zur Datenbereitstellung gerecht und vermeiden durch effiziente Datennutzung und die Verknüpfung isolierter Datenbestände eine ressourcenintensive Mehrfacherhebung von Daten durch verschiedene städtische Stellen (Europäische Kommission, 2022; Deutscher Städtetag, 2021a).

Die optimale Datennutzung in Städten bedarf standardisierter Datenformate, die nicht nur den Datenaustausch zwischen öffentlichen Organisationen einer oder mehrerer Städte, sondern auch mit der Privatwirtschaft ermöglichen (Fraunhofer IAO, 2021a). Unterschiedliche städtische Datenmanagementsysteme erschweren die Interoperabilität, sodass solche Interaktionen durch einheitliche Standards für Schnittstellen sicherzustellen sind (DIN, 2023). Das DIN hat bereits ein Referenzarchitekturmodell zu OUP im Rahmen des Projekts „DIN SPEC 91357“ entwickelt. Da kommunale Datenplattformen perspektivisch in zukünftige supra- und internationale Datenräume integriert werden sollen, und „DIN SPEC 91357“ nicht alle existierenden

¹ Einen Arbeitsstand des Projekts enthält das Expertenpapier des Deutschen Städtetages (2023).

urbanen Datenplattformen berücksichtigt, wird das Referenzmodell im Projekt „DIN SPEC 91377“ um OUP ergänzt (Brunzel, 2023; DIN, 2023). Das Ziel ist, bestehende Standards und Datenmodelle von OUPs zu analysieren und in ein umfassenderes Modell zu integrieren, das sich auf Standardisierung und Interoperabilität zur Vereinfachung von Datenaustausch und -vernetzung fokussiert (DIN, 2023). Der Standard soll OUPs international anschlussfähig gestalten und Mehrwehrt der Datenvernetzung über Stadt- und Landesgrenzen hinaus generieren (Deutscher Städtetag, 2023; Ostrau & Kany, 2020). Aktuell arbeiten zwar einige Kommunen im Rahmen des Bundesförderprogramms „Modelprojekt Smart Cities (MPSC)“ an OUPs, außerhalb des Förderprojekts sind allerdings nur wenige OUPs bei Kommunen zu beobachten (BBSR, 2023; Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen [BMWSB], 2023a; DIN, 2023).

Smart City

Smart City ist ein uneinheitlich verwendeter Sammelbegriff für Konzepte, die auf sichere, effiziente, ressourcenschonende, lebenswerte, optimierte und letztlich zukunftsfähige Stadtentwicklung durch den Einsatz moderner Technologien setzen (IBM, 2009; Siepermann, 2023a). Als ganzheitliches Konzept bezieht die Smart City ihre ansässigen Unternehmen und Bürger in Partizipationsprozessen aktiv mit ein, um die regionale Wettbewerbsfähigkeit, das Verständnis und die Akzeptanz neuer Technologien zu steigern (Wiener Stadtwerke Holding [WSW], 2011). Im Kern vernetzen smarte Cities ihre Daten und Technologien intelligent in ihren originären Aufgabenfeldern und schaffen Ökosysteme, in denen Verwaltung, Wissenschaft, Wirtschaft, und Bürgerschaft miteinander zusammenarbeiten (von Lucke, 2015). Mit dem vermehrten Aufkommen von Vernetzungstechnologien und Echtzeitsystemen erlangten digitale Zwillinge im Kontext von Smart Cities in jüngster Zeit sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis vermehrt Aufmerksamkeit (Ernst Basler & Partner, 2020).

Internet of Things (IoT)

Das „Internet der Dinge“ (engl. „Internet of Things“) bezeichnet die Vernetzung von physischen Objekten durch neuartige Sensoren- und Aktorenetzwerke mit dem Internet, sodass diese eigenständig über das Internet kommunizieren und interagieren (Siepermann, 2023b; von Lucke, 2021). Durch die Sammlung, Auswertung und den Austausch von Daten in Echtzeit können Anwendungen verbessert, neu entwickelt und Prozesse automatisiert ablaufen (Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation, 2023). Für das Konzept der Smart City liefern intelligent vernetzte IoT-Objekte eine wesentliche Datengrundlage, die um weitere Technologietrends wie drahtlose Technologien der fünften Generation (5G), Cloud Computing, Blockchain und KI ergänzt werden können (Kaczorowski, 2014;

Wang et al., 2023). Diese Technologien, wie IoT-Sensorik, sind eine wichtige Basis für digitale Zwillinge im städtischen Kontext (ebd.).

Open Data und Open Source

Offene Daten (englisch „Open Data“) können von jedermann uneingeschränkt genutzt und weiterverbreitet werden, sodass Regierungen, Unternehmen, Organisationen und Privatpersonen soziale, ökonomische und ökologische Mehrwerte aus Daten ziehen können (Europäische Kommission, 2023). Im Zusammenhang mit Smart-Cities gelten Open Data als elementar, da allen städtischen Akteuren ermöglicht wird, durch datenbasierte Anwendungsfälle Mehrwerte für die Smart City zu generieren (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz [BMWK], 2023). Open Data sind alle Daten, die im öffentlichen Interesse uneingeschränkt zur Verfügung stehen und von personenbezogenen und sensiblen Daten abzugrenzen sind, die höhere Standards der IT-Sicherheit und des Datenschutzes bedürfen (BBSR, 2023; von Lucke & Geiger, 2012).

Ähnlich dem transparenten Konzept von Open Data, bezieht sich Open Source auf den Quellcode von Software, der jedermann zugänglich ist und genutzt, verändert und verbessert werden kann (Kompetenzzentrum Öffentliche IT [ÖFIT], 2022). Open Data sind ein wichtiger Bestandteil von Open Source-Projekten, da Software durch Open Data verbessert werden kann (ebd.). Vermehrt fordern Förderprogramme der öffentlichen Verwaltung Open Source-Ansätze, um Softwarelösungen schneller mit öffentlichen Institutionen zu teilen und weiterzuentwickeln (Bundeskanzleramt, 2023). Als aktuelles Projekt dient die gemeinsame Plattform „Open CoDE“ dem Austausch von Open Source Software innerhalb der öffentlichen Verwaltung (Bundesministerium des Innern und für Heimat [BMI], 2023a; Komm.ONE, 2023). Open Data und Open Source können durch die Offenlegung von Daten und Quellcodes die transparente Entwicklung von digitalen Zwillingen bei Kommunen beschleunigen und weiterentwickeln.

Artefakt

Unter dem Begriff wird allgemein ein vom Menschen erzeugter Gegenstand verstanden (Bendel, 2023). Im Bereich Softwareentwicklung sind Artefakte das Ergebnis eines Arbeitsprozesses, die nach ihrem Abstraktionsgrad und ihrer Reife unterschieden werden (Hevner, March, Park & Ram, 2004; t2informatik GmbH, 2023a). Die individuelle Kombination komplexer Technologien und divergenter Reifegrade digitaler Zwillinge qualifizieren sie zu Artefakten. Wendet man gestaltungsorientierte Ansätze wie DSR auf Artefakte an, kann kontextspezifisches Wissen generiert werden (Hevner et al., 2004).

2.2 Einsatzfelder und Herausforderungen in der Praxis

Die ersten deutschen Kommunen arbeiten bereits an der Konzeption digitaler Zwillinge, allerdings treten diese meist in Förderkontexten auf und sind trotz einiger identifizierter Anwendungsfälle nicht flächendeckend etabliert (Kommune 21, 2023a). Als eines der 73 ausgewählten MPSC unterstützt die Bundesregierung seit 2021 das Förderprogramm „Connected Urban Twins (CUT)“, bestehend aus der städteübergreifenden Projektkooperation zwischen Hamburg, Leipzig und München, bei der Entwicklung von urbanen digitalen Zwillingen für die integrierte Stadtentwicklung (Senatskanzlei Hamburg, 2023a). Mit einem Projektvolumen von 32,4 Millionen Euro arbeitet das CUT-Projektteam an fünf Teilprojektzielen bis Ende 2025. Eines davon ist die Erprobung eines digitalen Zwillings in der Bauleitplanung der Stadt Hamburg (Senatskanzlei Hamburg, 2023a). Im Bereich der Stadtentwicklung auf Quartiersebene ermöglicht die Technologie Simulationen von Verschattungseffekten, integriertes Flächenmanagement durch automatisierte Nahverdichtungspotenziale, und die Analyse von Auswirkungen auf Luftqualität oder Lärmentwicklung durch Gebäude- und Verkehrssimulationen (Deutscher Städtetag, 2023; Stadt München, 2021, 2023). Als digitales Planungsinstrument sollen mittels dieser Technologie nicht nur die effizientesten Lösungen in der Stadtplanung gefunden werden, sondern auch die Planungseffizienz im Prozess durch technische Möglichkeiten der Simulation erhöht und folgenschwere Fehlplanungen vermindert werden (Senatskanzlei Hamburg, 2023a; Ubilabs GmbH, 2023). Städtebauliche Entscheidungen können nicht nur datenbasiert getroffen, sondern durch die 3-D-Visualisierung auch transparent gestaltet werden (Lindner, 2020; TUM, 2023b). So erweitern digitale Zwillinge bei der Stadt Leipzig das Angebot an Partizipationsformaten, indem städtebauliche Vorhaben simuliert und zur Abstimmung in Diskurs gestellt werden können (Real Experts Network GmbH, 2023; Senatskanzlei Hamburg, 2023a). Die Stadt Hamburg betreibt über die Hamburg Port Authority zur Steuerung in Echtzeit einen digitalen Zwilling zum Instandhaltungsmanagement der Köhlbrandbrücke (Hamburg Port Authority, 2023; Universität Hamburg, 2023).

Die meisten Anwendungsvorhaben bei deutschen Kommunen spezialisieren sich auf Städtebauplanung und -entwicklung, Verkehrs- und Energieteuerung, Infrastrukturpflege sowie Abfallmanagement und Partizipationsformate, die entweder ein reines 3-D-Abbild meinen oder Simulation mit Echtzeitdaten und Virtual Reality (VR) zulassen (Agostinelli, Cumo, Guidi & Tomazzoli, 2021; Fraunhofer IAO, 2021b; Fraunhofer IGD, 2019; Tagliabue et al., 2021). Neben diesen Praxisbeispielen, die meist prototypischer Natur sind, sind viele weitere Anwendungsfälle städtischer digitale Zwillinge, zum Beispiel im Facility Management, denkbar (Kommune 21, 2023b).

Aktuell gibt es außerhalb von CUT wenig Vorhaben zu digitalen Zwillingen, wobei die städtischen digitalen Zwillinge im Regelbetrieb meist eine 3-D-Abbildung des Stadtbildes sind, die historische oder gewerbliche Informationen für überwiegend touristische Zwecke enthalten (BBSR, 2022; Westdeutscher Rundfunk Köln, 2023). Die meisten der Zwillingvorhaben stehen in direktem Zusammenhang mit den geförderten MPSC, wie beispielsweise der Regensburger Energiezwillling und der Tourismuszwillling in Bamberg, die damit als Trendthemen gelten und deren weitere Entwicklung und Inbetriebnahme nach Projektförderungszeit zu beobachten bleibt (BBSR, 2023; Stadt Bamberg, 2023; Stadt Regensburg, 2023). Als erstes Bundesland unterstützt Bayern seine Kommunen mit dem Förderprojekt „TwinBy“ beim Ausbau digitaler Zwillinge und strebt die Schaffung eines digitalen Bayern-Zwilling durch die flächendeckende Entwicklung urbaner Datenplattformen und digitaler Zwillinge von Kommunen im Rahmen des Strategiepapiers „Digitalplan Bayern“ an (Bayerisches Staatsministerium für Digitales, 2023a). Die Förderinitiative unterstützt Zwillingvorhaben bis April 2024 in 18 bayerischen Kommunen finanziell und durch Qualifizierungsprogramme für Verwaltungsmitarbeiter (Bayerisches Staatsministerium für Digitales, 2023b). Als deutsche Pionierkommune konzipierte die Stadt Herrenberg bereits 2016 im Rahmen eines geförderten Forschungsprojektes mit der Universität Stuttgart ihren digitalen Zwillling (Dembski, Wössner, Letzgas, Ruddat & Yamu, 2020). Fraglich ist, warum sich außerhalb der Förderungen nur wenige Großstädte wie Karlsruhe und Bremen an digitale Zwillinge heranwagen (BBSR, 2022; Stadt Karlsruhe, 2023). Mögliche Herausforderungen werden nachstehend untersucht.

Die aktuellen Herausforderungen für digitale Zwillinge in Kommunen

Digitale Zwillinge sind trotz einiger Förderinitiativen noch lange nicht in der deutschen kommunalen Fläche etabliert. Aus der deutschen einschlägigen Berichterstattung könnte dies an fünf möglichen hypothetischen Gründen liegen:

A. Kein einheitliches Verständnis von digitalen Zwillingen

Viele Kommunen berichten bereits von ihrem Einsatz digitaler Zwillinge (BMWSB, 2023b). Allerdings weisen die vorgezeigten Anwendungsfälle unterschiedlichste Reifegrade bei digitalen Zwillingen auf. So wird bei einigen Kommunen bereits von digitalen Zwillingen gesprochen, sofern virtuelle 3-D-Abbilder der Stadt konstruiert wurden. Dabei handelt es sich zwar um einen wichtigen Baustein digitaler Zwillinge (vgl. Stufe1 Reifegradmodell), allerdings ermöglicht die Zwillingstechnologie die Analyse ganzer Systeme und modelliert, simuliert und reagiert auf bestimmte Vorhersagen automatisiert in Echtzeit (vgl. Stufe 5 Reifegradmodell). Nationalen Forschern zufolge herrscht demnach sowohl in Kommunen als auch bei För-

dergebern kein einheitliches Verständnis vom Konzept digitaler städtischer Zwillinge (Punz, 2021).

B. Heterogene Datenlandschaften und fehlende Standards

Deutsche Kommunen verfügen über urbane Daten derzeit nicht flächendeckend und bereichsübergreifend (BBSR, 2023). Dies spiegelt sich auch in den wenigen etablierten urbanen Datenplattformen wider. Viele städtische Systeme und IT-Infrastrukturen sind historisch gewachsen und meist nicht interoperabel gestaltet (ebd.). Die Konzeption von digitalen Zwillingen stellt Kommunen mit ihren isolierten Systemen, Datenbanken und -formaten vor die organisatorische Herausforderung, die isoliert gewachsenen kommunalen Datenbestände zusammenzuführen (Punz, 2021). Laufende Standardentwicklungen wie „DIN SPEC 91357“ sind daher eine wichtige Basis für die Implementierung und Vernetzung von digitalen Zwillingen in Kommunen, an denen sich bereits mit Konzeptionsbeginn orientiert werden kann (Wrabel, 2022).

C. Zu wenig Erfahrung und Austausch

Ein Grund könnte in wenigen öffentlichen Anwendungsfällen für digitale Zwillinge von Kommunen liegen. Vor allem kleinere Kommunen verfügen meist nicht über fachspezifische Expertise, um selbst als IT-Dienstleister aufzutreten (Bundesstadt Bonn, 2022). Zwar soll ein Baukastensystem im Rahmen des CUT-Projektes kleineren Kommunen die Einführung digitaler Zwillinge erleichtern (Behörden Spiegel, 2023a). Allerdings bleibt abzuwarten, ob weitere Beispiele die Bedarfe kleinerer Kommunen adressieren. Aktuelle CUT-Anwendungsfelder beziehen sich meist auf Großstädte, wie die Steuerung knapper Freiflächen.

D. Ein Mangel an finanziellen Ressourcen

Außerhalb der MPSC-Förderprojekte sind mit Ausnahme der Stadt Herrenberg keine konkreten Umsetzungspläne zu digitalen Zwillingen bei kleineren Kommunen ersichtlich. Dies deutet darauf hin, dass die Etablierung digitaler Zwillinge durch die finanzielle Bezuschussung in Förderungen bedingt sein kann.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass städtische digitale Zwillinge komplexe und individuell gestaltbare Artefakte sind, die Ressourceneinsparpotenziale für Kommunen bedeuten könnten. In diesem Kapitel wurde eine erste ganzheitliche Übersicht über den aktuellen Stand von digitalen Zwillingen in deutschen Kommunen gegeben. Bisher werden digitale Zwillinge nur vereinzelt und meist im Rahmen von Förderprojekten entwickelt. Die derzeitigen praktischen Herausforderungen bestehen darin, dass es kein einheitliches Verständnis von digitalen Zwillingen in deutschen Kommunen

gibt, und dass sich bisher nur geförderte Kommunen oder Großstädte mit dieser Technologie beschäftigen. Es ist unklar, welches Verständnis von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor vorherrscht und warum nur bestimmte Kommunen diese Technologie anwenden. Eine erste Annahme ist, dass ein Mangel an Ressourcen und Standards sowie heterogene Datenlandschaften ursächlich dafür sein könnten. Dieser praxisorientierte Überblick dient als Ausgangspunkt, um zu untersuchen, welche Anwendungsbereiche, Veränderungspotenziale und Rahmenbedingungen für digitale Zwillinge bei deutschen Kommunen relevant sein könnten.

2.3 Forschungsstand und Forschungslücken

Nachdem im vorangegangenen Kapitel ein Überblick über den praktischen Status Quo von digitalen Zwillingen bei deutschen Kommunen gegeben wurde, ist von wissenschaftlicher Bedeutung, den aktuellen Forschungsstand auf dem Gebiet digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor zusammenzufassen. Nach der Analyse des bestehenden wissenschaftlichen Forschungsbedarfs wird das Erkenntnisinteresse in den Kontext des Forschungsbedarfs eingeordnet.

2.3.1 Aktueller Forschungsstand

In der wissenschaftlichen Literatur gibt es einige internationale Studien und Artikel zum Einsatz digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor. Dabei werden überwiegend fünf Themenkomplexe behandelt: Erstens, das Vorherrschen eines uneinheitlichen Verständnisses von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor. Zweitens, die Beschreibung verschiedener möglicher Anwendungsbereiche, die meist einen Bezug zu Smart City-Themen aufweisen. Drittens, empirisch nachgewiesene Einsparpotenziale durch den Einsatz in der Wirtschaft, die auf Potenziale im öffentlichen Sektor schließen lassen. Viertens, erforderliche Datengrundlagen und IT-Strukturen für digitale Zwillinge von Städten. Fünftens, Prognosen über die Entwicklung digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor.

A. Uneinheitliche Definition zu digitalen Zwillingen

So wie in der praxisnahen Diskussion herrscht auch im wissenschaftlichen Diskurs Uneinigkeit darüber, wie digitale Zwillinge sowohl im privaten als auch im öffentlichen Sektor zu verstehen sind (Haße, van der Valk, Möller & Otto, 2022; Klostermeier, Haag & Benlian, 2018; Semeraro, Lezoche, Pannetto & Dassisti, 2021). Insbesondere im öffentlichen Sektor herrscht kein konsistentes, einheitliches Verständnis, da einige öffentliche Organisationen einen digitalen Zwilling vermarkten, der sich auf eine 3D-Visualisierung der Stadt beschränkt (Lehner & Dorffner, 2020; Punz, 2021; Shahat et al., 2021). Die Verlagerung vom technischen Fokus auf den Visualisierungsaspekt kann sowohl auf Unverständnis bei der Zwillingstechno-

logie als auch auf mangelnde sensorbasierte IoT-Infrastruktur in Städten zurückzuführen sein (World Economic Forum, 2022). Eine georeferenzierte Basis ist zwar notwendig, bildet jedoch nicht allein die Besonderheit der Zwillingstechnologie ab (Guo et al., 2020). Aus diesem Grund wurde in Kapitel 2.1 eine grundlegende Definition sowie ein Reifegradmodell für digitale Zwillinge aus verschiedenen kombinierten Perspektiven der Literatur entwickelt. Städtische digitale Zwillinge ermöglichen es, städtische Funktionen und Prozesse in Echtzeit widerzuspiegeln und zu beeinflussen, um sie durch Visualisierung, Simulation und Steuerung zu verbessern (Shahat et al., 2021).

B. Anwendungsbereiche im städtischen Kontext

In den letzten Jahren konzentrieren sich zunehmend wissenschaftliche Studien auf die Anwendung der Zwillingstechnologie in verschiedenen Bereichen von Smart Cities (Wang et al., 2023). Auf die Daten, die von Smart Cities generiert werden, können hochleistungsfähige digitale Zwillinge aufgesetzt werden, um die Aufgabenerledigung von Städten in den Bereichen Stadtplanung, politische Entscheidungsfindung, Ressourcenverteilung, Katastrophenschutz, öffentliche Sicherheit, Gesundheit, Energiemanagement und Verkehr durch Simulation zu verbessern (Bhatti, Olsen & Pedersen, 2011; Conejos Fuertes, Martínez Alzamora, Hervás Carot & Alonso Campos, 2020; Coorey, Figtree, Fletcher & Redfern, 2021; Deng, Zhang & Shen, 2021; Francisco, Mohammadi & Taylor, 2020; Han, Zhao & Li, 2020; Schrotter & Hürzeler, 2020; Ruohomaki et al., 2018). Durch 3D-Echtzeitmodelle und die Simulation von Szenarien eröffnen sich verschiedene konkrete Anwendungsfälle in einer Stadt, wie die Planung der städtischen Infrastruktur, Verkehrsmanagement, Notfallreaktionen, Energie- und Kreislaufwirtschaftsmanagement durch Luftstrom-, Wasser-, Strom- und Abwasserplanung (Allied Business Intelligence [ABI]-Research, 2021). Die meist in Smart Cities verfügbaren Datenmengen und fortschrittliche KI- und Computertechnologien vereinfachen die Erstellung eines digitalen Zwillings, der sich in Echtzeit aktualisieren kann, sofern sich die physischen Objekte einer Stadt ändern (Kaur, Mishra & Maheshwari, 2020). Digitale Zwillinge bieten zusammen mit IoT, drahtlosen Systemen der fünften Generation, Blockchain, kollaborativem und Cloud Computing, Simulation und KI-Technologien großes Potenzial für die weitere Entwicklung von und zu Smart Cities (Deng et al., 2021; Li, Batty & Goodchild, 2020; Tao, Zhang, Liu & Nee, 2019; Wang et al., 2023).

Digitale Zwillinge können überdies Partizipationsformate in der Stadtplanung fördern, indem ein 3D-Modell veröffentlicht wird, das Bürgern ermöglicht, Änderungen in der Stadtplanung visuell nachzuvollziehen und Feedback zu geben (D'Hauwers, Walravens & Ballon, 2022; White, Zink, Codecá & Clarke, 2021). Dies kann mehr Transparenz schaffen und virtuelle Feed-

backschleifen eröffnen, in der Bürger interagieren und Rückmeldungen geben können (ebd.). Das kollaborative Angebot hat in Rotterdam bereits öffentliche Dienstleistungen verbessert (Europäische Kommission, 2019). Als Kommunikationsinstrument können digitale Zwillinge mit VR in politischen Abstimmungsdiskursen dazu dienen, Experten und Laien in Stadtplanungsprozessen effizienter und effektiver interagieren zu lassen (Dembski et al., 2020). So wurde in Leipzig und München die Hamburger Open Source Software „DIPAS“ im Rahmen des CUT-Projekts bereits transferiert, in ersten Beteiligungsverfahren erfolgreich erprobt und seither weiterentwickelt (Kommune 21, 2023a). Der tatsächliche Einfluss von digitalen Zwillingen in partizipativen Entscheidungsprozessen wird aktuell im Projekt „Digital Urban European Twins (DUET)“ der Europäischen Kommission in Athen, Flandern und Pilsen wissenschaftlich untersucht (DUET, 2023).

C. Einsparpotenziale im privaten und öffentlichen Sektor

In der Privatwirtschaft gelten digitale Zwillinge mittlerweile als Standard, um sich im internationalen Wettbewerb zu behaupten. Eine Mehrheit der befragten Unternehmen (63%) weist digitalen Zwillingen eine entscheidende Bedeutung zu, sodass bereits 44% der deutschen Unternehmen bereits auf diese Technologie setzen (Bitkom e. V., 2023; Detecon International GmbH, 2019b). Empirische Studien belegen, dass digitale Zwillinge branchenübergreifend Produktionseinsparungen erzielen und Nachhaltigkeitswerte um durchschnittlich 16% verbessert werden konnten (Atalay et al., 2022; Capgemini SE, 2022). Der globale Markt für digitale Zwillinge hatte 2022 einen Wert von 11,12 Billionen United States Dollar (USD) und wird von 2023 bis 2030 voraussichtlich eine jährliche Wachstumsrate von 37,5% aufweisen (GVR, 2021). Während der Covid-19-Pandemie kam es zu einer vorübergehenden Beeinträchtigung des digitalen Zwillingesmarktes, jedoch erholte sich dieser in der zweiten Hälfte von 2020 mit dem zunehmenden Umstieg auf Automatisierung und Virtualisierung stark (ebd.). Die Entwicklungen machen deutlich, dass digitale Zwillinge als unerlässliche Technologie im digitalen Wandel der Wirtschaft gelten und auch in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen werden.

Der Einsatz digitaler Zwillinge gilt auch im öffentlichen Sektor als vielversprechend (Ketzler et al., 2020; Shahat et al., 2021; Wang et al., 2023). Die Technologie kann durch Optimierung des Ressourcenverbrauches, effiziente Planungsprozesse und kollaborative sowie partizipative Gestaltungsräume dazu beitragen, die Lebensqualität von Bürgern zu verbessern (Dembski et al., 2020; Kommune 21, 2022; Shahat et al., 2021). Forscher schätzen, dass Städte im Bereich der Stadtplanung global Kosteneinsparungen von etwa 280 Milliarden USD bis 2030 erzielen können (ABI Research, 2021). Obwohl bereits internationale Studien zu städtischen digitalen

Zwillingen existieren, liegen nur wenige empirische Kennzahlen zu erzielten Einsparungen vor (Shahat et al., 2021).

D. Erforderliche Datengrundlagen und IT-Strukturen von Städten

Um digitale Zwillinge bei Städten einzusetzen, bedarf es neben einer Datengrundlage auch grundlegender IT-Infrastruktur. In ihrem systematischen Literaturüberblick trugen Wang et al. (2023) die meistverwendeten Technologien von städtischen digitalen Zwillingen zusammen: Die Datensammlung und das Datenmanagement beruhen dabei meistens auf Sensortechnologie, Building Information Modeling (BIM), Global Positioning System (GPS) und Geographic Information System (GIS). Die Datenvisualisierung erfolgt hauptsächlich über BIM, City Information Modeling (CIM), Augmented Reality (AR) und VR. Die Datenvernetzung wurde meist durch 5G, Edge Computing, Blockchain und IoT erreicht (Wang et al., 2023). Die wichtigste Ressource für digitale Zwillinge sind urbane Daten, meist vorliegend in Datenplattformen (Deng et al. 2021).

Es bestehen jedoch auch Herausforderungen bei der Datenverwaltung von Smart-City-Technik aufgrund wenig standardisierter und interoperabler städtischer Systeme (Ellul, Stoter & Bucher, 2022). Das Fehlen von Datenstandards oder Vorgaben zur technischen Architektur hindern die Datenintegration in einheitliche Datenplattformen, was meist zu geringer Datenqualität und unzureichender Wirksamkeit führt (Wang et al., 2023). Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass genutzte IoT-Infrastruktur in Städten meist unzureichend vorhanden ist, um das volle Potenzial der Zwillingstechnologie auszuschöpfen (World Economic Forum, 2022). Überdies wurde ein Bedarf an mehr Rechenleistung für Datensammlung und -speicherung, Datensicherheit und -schutz sowie das komplette Fehlen von IT-Infrastruktur für dynamische Datensammlung festgestellt (Deng et al., 2021; Wang et al., 2023). Sowohl Hochleistungsrechner als auch strenge Kontrollen zur Einhaltung des Datenschutzes sind für die Verarbeitung von Informationen auf Stadtebene erforderlich (ebd.). Digitale Zwillinge erfordern eine Governance zur Nutzung von Open Government Data, um auch kollaborative und partizipative Plattformen zu schaffen (Barcik, Coufalikova, Frantis & Vavra, 2023; Ellul et al., 2022; Schrotter & Hürzeler, 2020; Souza & Bueno, 2022).

Vor der Implementierung städtischer digitaler Zwillinge sollte zum einen festgelegt werden, wer für die Daten verantwortlich ist und Datenschutz und IT-Sicherheit garantiert, und zum anderen wie eine skalierbare und mit bestehenden Systemen kompatible Datenplattform als Basis gestaltet werden kann (Bala Krishna, Naga Swapna Sri, Vamsi Krishna & Satya Sandeep 2020; Barcik et al., 2023; Deng et al., 2021; Wang et al., 2023). Zur Daten- und Informationsverwaltung werden bei Städten bisher meist verschiedene IT-Tools oder -Systeme eingesetzt (Wang et al., 2023). Daher ist die Zwi-

lingstechnologie nicht nur eine revolutionäre IT-Anwendung, sondern auch Chance, diese (IT-Anwendung) zu harmonisieren und städtische Daten nutzbar zu machen (ebd.). Für digitale Zwillinge von Städten braucht es insgesamt erstens eine grundlegende (Geo)-Dateninfrastruktur, zweitens eine leistungsstarke IT-Infrastruktur und drittens eine Data-Governance (Austin, Delgoshaei, Coelho & Heidarinejad, 2020; Deren, Wenbo & Zhenfeng, 2021; Wang et al., 2023).

E. Entwicklungsprognosen

Digitale städtische Zwillinge gewinnen in der internationalen Forschung und Praxis zunehmend an Bedeutung (Haße et al., 2022; Wang et al., 2023). Einzelne Pilotprojekte waren in den letzten Jahren zu beobachten, und durch Covid-19 hat die Innovation einen Boom erfahren, sodass bis zum Jahr 2025 schätzungsweise 500 digitale Zwillinge von Städten entwickelt werden (ABI Research, 2021; Deng et al., 2021; Fraunhofer IESE, 2021; Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 2020). Die Regierungen einiger Länder haben den Wert digitaler Zwillinge für Smart Cities erkannt, jedoch fehlt meist ein konkreter Fahrplan für die Entwicklung (Obi & Iwasaki, 2021; Wang et al., 2023). Da die Zwillingstechnologie komplex ist, die Anwendungsbereiche vielfältig sind und die Technologie rascher Entwicklung unterliegt, ist eine vollständige Spiegelung physischer Objekte im Stadtkontext erst mittelfristig realisierbar (Klostermeier et al., 2018; Liu, Fang, Dong & Xu, 2021). Das Zwillingskonzept gilt als jüngster Technologieschub, der den Rahmen für Smart Cities beherrscht (Marconcini & Esch, 2023). Allerdings wird die komplexe Technologie heute erst in Teilaspekten im städtischen Kontext umgesetzt, sodass ein großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf bestehen bleibt (Weber & Ziemer, 2023).

2.3.2 Forschungslücken und Herleitung des Erkenntnisinteresses

Der Forschungsbedarf für digitale städtische Zwillinge umfasst verschiedene Aspekte. Dies betrifft vor allem die Verknüpfung von geobasierten Daten mit sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Daten und Informationen, zum Beispiel zur Volkszählung, zum Energieverbrauch und zum Instandhaltungsmanagement, als Grundlage für digitale Zwillinge (Lehner & Dorffner, 2020). Es besteht zudem Forschungsbedarf im methodischen Umgang mit sozioökonomischen Daten (Batty, 2018; Shahat et al., 2021).

Ein weiteres Erkenntnisinteresse besteht darin, wie die Effizienz der Datenverarbeitung im städtischen Kontext verbessert werden kann (Shahat et al., 2021). Darüber hinaus sollten weitere Potenziale von digitalen Zwillingen im Kontext Smart City untersucht und Evidenz für deren Einsatz geliefert werden (Wang et al., 2023; Zaballos, Briones, Massa, Centelles & Caballero, 2020). Es ist wichtig, die grundlegenden Anforderungen und Erwartungen

an digitale Zwillinge zu ermitteln und zu untersuchen, wie digitale Zwillinge für das städtische Daten- und Informationsmanagement genutzt werden können (Wang et al., 2023). Die Konnektivität von Daten zwischen verschiedenen Systemen und Bereichen muss weiter erforscht werden, um die Auswirkungen integrierter Planung und Entscheidungsfindung zu untersuchen (Austin et al., 2020).

Im Bereich der Entscheidungsfindung besteht Forschungspotenzial für die Einspeisung menschlichen Wissens in digitale Zwillinge und die Nutzung kognitiver digitaler Zwillinge zur Unterstützung von Entscheidungsfindungen (Wang et al., 2023). Es bedarf ebenfalls sozialwissenschaftlicher Forschung, um empirische Schlussfolgerungen im realen Umfeld zu ziehen und den konkreten Mehrwert digitaler Zwillinge für partizipative und kollaborative Prozesse zu bestimmen (Dembski et al., 2020; Lu et al., 2020). Die Wirksamkeit von digitalen Zwillingen sollte daher, wie am Beispiel von DUET, langfristig auf städtischer Ebene in praktischen Experimenten untersucht werden (Airaksinen et al., 2019).

Am identifizierten Forschungsbedarf, welche Anforderungen und Erwartungen an städtische digitale Zwillinge zu stellen sind, und wie digitale Zwillinge für das urbane Datenmanagement von deutschen Kommunen effizient eingesetzt werden können, knüpft das Forschungsinteresse dieser Arbeit an. Die Arbeit untersucht, wie digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung deutscher Kommunen verändern können und schließt damit eine Lücke in der aktuellen Forschungsliteratur. Während bisherige Forschung hauptsächlich existierende Definitionsversuche, Anwendungsbereiche sowie IT- und Dateninfrastrukturen von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor auf internationaler Ebene beleuchtet hat, fokussiert sich diese Arbeit auf den spezifischen Anwendungskontext digitaler Zwillinge bei deutschen Kommunen.

Bisher besteht sowohl im wissenschaftlichen als auch im praxisnahen Diskurs Uneinigkeit darüber, was genau digitale Zwillinge sind und welche Bedeutung sie für die deutsche Kommunalverwaltung haben. Empirische Forschung zu digitalen Zwillingen liegt hauptsächlich im privaten Sektor vor, während Anwendungsfälle und spezifische Verwaltungsstrukturen im öffentlichen Sektor der genaueren Analyse bedürfen. Es ist wichtig, die Potenziale digitaler Zwillinge im städtischen Kontext besser zu verstehen, insbesondere im Hinblick auf die Krisenbelastung deutscher Kommunen. Deshalb richtet die Arbeit ihren Fokus auf die potenzielle Unterstützung durch digitale Zwillinge bei der Aufgabenerledigung deutscher Kommunen und bedient sich dreier forschungsleitender Fragen, um sich dem neuen Forschungsfeld explorativ anzunähern:

1) In welchen Bereichen können digitale Zwillinge die kommunale Aufgabenerfüllung unterstützen?

2) Wie können digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung wirkungsorientiert verändern?

3) Unter welchen Bedingungen können digitale Zwillinge eingesetzt werden?

Durch die Untersuchung von digitalen Zwillingen bei deutschen Kommunen werden neue Erkenntnisse darüber gewonnen, wie digitale Zwillinge die Aufgabenerfüllung unterstützen können, welche Veränderungspotenziale bestehen und welche Rahmenbedingungen dabei relevant sind. Einen weiteren praktischen Beitrag liefert die Arbeit mit einem Use Case im Mobilitätsbereich und einem Entscheidungsmodell für Investitionsentscheidungen von Kommunen.

Im Fokus dieser Arbeit stehen nicht Anwendungsbereiche digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor außerhalb deutscher Städte und Kommunen sowie Landkreise und Gemeindeverbände, da sich die einschlägige internationale Forschung ausschließlich auf Städte fokussiert. Darüber hinaus begrenzt sich diese Arbeit auf einen anwendungsorientierten Blickwinkel und berücksichtigt nicht gesamtgesellschaftliche Prozesse in Bezug auf digitale Zwillinge von Kommunen oder ethische Fragestellungen unter Einbezug sozialökonomischer Daten. Der praxisnahe Use Case dient der Ermittlung von Anwendungsfällen im realen Kontext und untersucht die Konnektivität existierender städtischer Datenbestände und Systeme. Dabei vernachlässigt er aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums eine empirische Wirkungsmessung. An den Ergebnissen dieser Masterarbeit könnten jedoch empirische Forschungsarbeiten anknüpfen.

3 Theoretischer und konzeptioneller Rahmen

Dieses Kapitel stellt den Rigor-Cycle dar und beleuchtet den theoretischen und konzeptionellen Rahmen der Arbeit mit zwei Zielen: Zuerst werden durch die theoretische Perspektive forschungsleitende Vermutungen abgeleitet, um die Forschungsfrage aus der theoretischen Linse nach potenziellen Veränderungen der kommunalen Aufgabenerledigung durch digitale Zwillinge zu erörtern. Hierfür wird auf Innovationstheorien für den öffentlichen Sektor zurückgegriffen. Anschließend beschreibt die konzeptionelle Perspektive des Kapitels den konkreten Anwendungskontext der deutschen Kommunalverwaltung, um die Kontextbedingungen im zweiten Teil der Arbeit mit den technischen Fähigkeiten digitaler Zwillinge zusammenzuführen und relevante Rahmenbedingungen zur Implementierung im kommunalen Umfeld herauszuarbeiten. Die in diesem Kapitel abgeleiteten forschungsleitenden Vermutungen werden im zweiten Teil der Arbeit empirisch zur Beantwortung der forschungsleitenden Fragen untersucht.

3.1 Theoretische Perspektive: Innovationen im öffentlichen Sektor

Bei der Vorstellung des Forschungsbedarfes wurde festgestellt, dass bisher kein einheitliches Verständnis über digitale Zwillinge im öffentlichen Sektor vorherrscht und keine Erkenntnisse vorliegen, wie digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung von Kommunen verändern könnten (Fraunhofer IESE, 2021). Da digitale Zwillinge technische Innovationen sind, dienen innovationstheoretische Ansätze des öffentlichen Sektors dazu, einen Beitrag zur Erforschung digitaler Zwillinge bei deutschen Kommunen zu leisten.

Im ersten Schritt werden aus der Forschung bekannte Innovationsdimensionen vorgestellt, um das Artefakt im empirischen Teil der Arbeit anhand der Kriterien einzuordnen und besser zu verstehen. Um die Wirkung digitaler Zwillinge bei Kommunen zu untersuchen, wird im zweiten Schritt der erforschte Zusammenhang zwischen Innovationsdimension und angestrebter Wirkung untersucht (Weiß, 2019). Die von der Forschung identifizierten Wirkzusammenhänge dienen der Ableitung forschungsleitender Vermutungen über die Wirkung digitaler Zwillinge in deutschen Kommunen, die im zweiten Teil der Arbeit überprüft und anschließend Handlungsempfehlungen und ein Entscheidungsmodell für Kommunen abgeleitet werden. Im dritten Schritt werden Einflussfaktoren auf Innovationen im öffentlichen Sektor vorgestellt, die den Implementierungserfolg von Innovationen wie digitalen Zwillingen entweder fördern oder hemmen. Diese Einflussfaktoren dienen nach ihrer empirischen Überprüfung der Entwicklung praktischer Implikationen.

3.1.1 Innovationsdimensionen

Zuerst werden aus der Forschung bekannte Innovationsdimensionen des öffentlichen Sektors vorgestellt. Eine Unterscheidung dieser Dimensionen ist wichtig, da die jeweiligen Dimensionen nicht nur zu unterschiedlichen Wirkungen führen, sondern auch Einflussfaktoren kontextabhängig je Dimension entweder erfolgsfördernd oder erfolgshemmend auf Innovationen wirken können (de Vries, Bekkers & Tummers, 2015; Walker, 2006). Dabei klassifizieren de Vries et al. (2015) die empirischen Befunde in ihrem systematischen Literaturüberblick zu Innovationen im öffentlichen Sektor in vier Innovationsdimensionen und knüpfen damit an vorherige Forschung an: Prozessinnovation, Produktinnovation, Governance-Innovation und Konzeptionsinnovation (ebd.).

Die am häufigsten vorkommende Dimension ist die „Prozessinnovation“, die den Fokus auf die Verbesserung von Qualität und Effizienz bei internen und externen (Verwaltungs-)Prozessen legt (Walker, 2014). Als zwei Subkategorien wird zwischen „administrativer“ und „technologischer“ Prozessinnovation unterschieden (ebd.). Unter *administrativer Prozessinnovation* wird die Kreation neuer Organisationsformen und die Einführung neuer Management- und Arbeitsmethoden verstanden (Meeus & Hage, 2006). Als Beispiel dient das analoge „One-Stop-Shop“-Konzept von Verwaltungen, bei dem Bürger Zugang zu verschiedenen Verwaltungsleistungen an nur einer Anlaufstelle erhalten (de Vries et al., 2015). Die zweite Subkategorie stellt die *technologische Prozessinnovation* dar, verstanden als die Nutzung neuer Technologien, die als Dienstleistungsangebote für Bürger eingeführt werden (Edquist, Hommen & McKeveley, 2001). Als Beispiel dient ein digitaler Steuerbescheid, der zuvor ausschließlich analog angeboten wurde (de Vries et al., 2015).

Als zweite Dimension ist die „Produktinnovation“ die Kreation neuer öffentlicher Dienstleistungen und Produkte, wie das Schaffen von Parkerleichterungen für Menschen mit Behinderungen durch Parkausweise mit Vorrechten (Damanpour & Schneider, 2009; de Vries et al., 2015).

Die dritte Dimension ist die „Governance-Innovation“, die die Entwicklung neuer (Verwaltungs-)Verfahren und Prozesse politischer Netzwerke beschreibt, um mit selbstorganisierenden Fähigkeiten gesellschaftliche Probleme zu adressieren (Moore & Hartley, 2008). Dies kann die Kooperation von Kernverwaltung mit privaten Partnern im Bereich Daseinsvorsorge darstellen, um gesellschaftliche Herausforderungen durch verbesserte öffentliche Dienstleistungen zu bewältigen (de Vries et al., 2015; Schoeman, Baxter, Goffin & Micheli, 2012).

Die „Konzeptionsinnovation“ beschreibt als vierte Dimension die Einführung neuer Konzepte, Bezugsrahmen oder Paradigmen, die dazu beitragen,

das Wesen von spezifischen Problemen und deren mögliche Lösungen neu zu strukturieren (Bekkers, Edelenbos & Steijn, 2011). De Vries et al. (2015) führen als Beispiel die Einführung neuer Beurteilungssysteme zur Feststellung der Arbeitsunfähigkeit einer Person an, die mit innovativen Methoden ermitteln, was betroffene Menschen potenziell leisten können, anstatt wie zuvor praktiziert den Fokus darauf zu richten, was sie nicht mehr leisten können (de Vries et al., 2015).

Zwar klassifizierten de Vries et al. (2015) vier Innovationsdimensionen im öffentlichen Sektor, jedoch treten diese in der Praxis auch kombiniert als hybride Mischtypen auf. In der Zusatzkategorie „Weitere“ werden zahlreiche nicht kategorisierte, empirisch identifizierte Innovationstypen zusammengefasst, sodass die vier Dimensionen Innovationen im öffentlichen Sektor nicht abschließend beschreiben und selbst weiterentwickelt werden können (ebd.).

Die theoretischen Kategorien können dazu dienen, digitale Zwillinge bei Kommunen besser zu beschreiben, um sich so dem gegenständlichen Forschungsinteresse der Arbeit explorativ anzunähern. Dazu werden zunächst die theoretischen Schlüsse in forschungsleitenden Vermutungen (FV) auf das Artefakt übertragen, um diese im zweiten Teil der Arbeit empirisch zu überprüfen.

Als *Prozessinnovation* können digitale Zwillinge ausgestaltet werden, indem sie wie bei der Stadt München verwaltungsintern mit ihrer Simulationsfunktion zur Beschleunigung von Stadtplanungsverfahren eingesetzt werden und somit Dienstleistungen wie Bauvorbescheide für Bürger durch raschere Prozesse optimieren (Stadt München, 2023). Sofern die Nutzung neuer Technologien zur Anbietung optimierter Dienstleistungen für Bürger und Verwaltungsmitarbeiter stattfindet, kann von Prozessinnovation gesprochen werden.

Die Eigenschaften einer *Produktinnovation* erfüllen digitale Zwillinge, wenn sie als echtzeitbasiertes städtisches Dashboard konzipiert werden, über das Bürgern optimierte Mobilitätswege in Echtzeit wie bei der Kieler Mobilitätsplattform angeboten werden (KielRegion GmbH, 2023). Sofern die Technologie derart konzipiert wird, dass sie eine neue öffentliche Dienstleistung kreiert, wie zum Beispiel neue Partizipationsformate, handelt es sich um eine Produktinnovation.

Als *Governance-Innovation* kann die Technologie dazu dienen, Stadtplanungsprozesse integriert mit städtischen und privaten Akteuren in einer Software zu planen, wie es das Teilprojekt 3 des CUT-Projekts anstrebt (Senatskanzlei Hamburg, 2023a). Auch fallen Partizipationsformate in diese Kategorie, da das gesellschaftliche Zusammenleben unter stärkerem Bürgerinbezug in städtische Planungsvorhaben verbessert werden könnte.

Unter eine *Konzeptionsinnovation* lassen sich digitale Zwillinge subsumieren, die zur Lösung städtischer Probleme datenbasierte Konzepte vorlegen und auf diese Weise neu strukturieren, wie zum Beispiel datenbasierte Sicherheitskonzepte bei Großveranstaltungen (Deutscher Städtetag, 2023).

Betrachtet man die divergenten Erscheinungsformen von digitalen Zwillingen bei Kommunen aus dem theoretischen Blickwinkel, können die bisher bekannten Anwendungsfälle alle Innovationsdimensionen aufgrund der individuell gestaltbaren Technologie annehmen (FV1). Um diesen theoretischen Schluss empirisch zu überprüfen, wird die erste forschungsleitende Vermutungen (FV1) anhand der Daten aus den Experteninterviews im zweiten Teil der Arbeit analysiert, um ein besseres Bild vom vorherrschenden Verständnis von digitalen Zwillingen bei Kommunen einzufangen.

3.1.2 Wirkungen von Innovationen

Dieses Kapitel beleuchtet die Wirkung von Innovationen im öffentlichen Sektor aus theoretischer Sicht und untersucht den Zusammenhang zwischen Innovationsdimension und dem erzielten Effekt. Dies dient der explorativen Annäherung an mögliche Wirkungen digitaler Zwillinge bei Kommunen, um Veränderungspotenziale zu identifizieren und Handlungsempfehlungen für die Praxis zur wirkungsorientierten Gestaltung der Zwillingstechnologie abzuleiten. Die Wirkung wird in der Forschung als Ergebnis der Innovationsimplementierung verstanden, das sowohl planbar, unplanbar, positiv als auch negativ ausfallen kann (de Vries et al., 2015). Die in der Forschung von de Vries et al. (2015) am häufigsten identifizierte Wirkung ist gesteigerte Effektivität (28%). Nachfolgende Effekte sind gesteigerte Effizienz (10%), Einbezug von privaten Partnern (6%), Partizipation (5%) und Steigerung der Nutzerzufriedenheit (5%). Weitere Wirkungen (6%) fassen Effekte wie gesteigertes Sicherheits- und Fairnessgefühl zusammen, einige Studien berichteten über ihre Effekte (40%) nicht (ebd.).

Dabei ist festzustellen, dass ein Drittel der Innovationswirkung in der Steigerung von Produktivität liegt, ausgedrückt durch die Verbesserung von Effektivität und Effizienz (38%). Ihnen folgen Effekte gesteigerter Partizipation, Kooperation mit Partnern und Nutzerzufriedenheit (16%). Diese zwei möglichen Gruppierungen können durch die zwei Handlungslogiken von March und Olsen (1990) erklärt werden, die die Funktionsweise des öffentlichen Sektors beschreiben: Erstens, die Konsequenzlogik, die auf die Wirkung aller möglichen Maßnahmen blickt. Zweitens, die Angemessenheitslogik, die Handlungen und Situationen mithilfe von Regeln in Beziehung setzt (March & Olsen, 1990). Die Betonung von Effizienz und Effektivität ist häufig mit der Konsequenzlogik verbunden (Weber, Kopelman & Messick, 2004). Die Angemessenheitslogik bezieht sich regelmäßig auf die Legitimität der Regierung und das Vertrauen der Bürger darauf, dass Regierungen

in der Lage sind, mit Problemen umzugehen und die Bürgerschaft bei Entscheidungsfindungen miteinzubeziehen (de Vries et al., 2015). Das bedeutet, dass Innovationen im öffentlichen Sektor im Unterschied zu Studienergebnissen aus dem privaten Sektor nicht nur auf Performancesteigerung abzielen, sondern auch Legalität und Legitimität als Wirkung anstreben (Bekkers et al., 2011). Dies spiegelt sich auch in den Befunden von de Vries et al. (2015) wider, da ein Drittel aller festgestellten Effekte von Innovationen im öffentlichen Sektor nach der Angemessenheitslogik verortet werden können. Ein weiterer Befund ist, dass insgesamt 40% der untersuchten Studien keinen Effekt berichten. Zwar gaben die meisten Studien an, ein bestimmtes Ziel mit dem Einsatz einer Innovationsdimension zu verfolgen, allerdings wurde über die Zielerreichung nicht berichtet (Bartlett & Dibben, 2002). Dieser Befund lässt sich durch das häufig in der Praxis beobachtete Phänomen beschreiben, dass für digitale Produkte auf kommunaler Entscheidungsebene zunächst nach lokalen Problemen gesucht wird, um Investitionen in Innovationen zu begründen (Benz, 2022). Dieses Vorgehen birgt das Risiko, dass Innovationsinvestitionen getätigt werden, obwohl kein Bedarf adressiert und infolgedessen keine praktische Wirkung durch Innovation erzeugt wird (ebd.).

Setzt man die erzielten Wirkungen von Innovationen im öffentlichen Sektor mit den Innovationsdimensionen in Beziehung, wird diese Matrix erzeugt:

Innovationsdimension	Prozess	Produkt	Governance	Konzeption	Andere
Effektivität	33%	26%	17%	14%	21%
Effizienz	12%	8%	7%	0%	15%
Partizipation	4%	4%	15%	14%	0%
Einbezug von Partnern	6%	8%	17%	14%	0%
Nutzerzufriedenheit	3%	4%	4%	14%	0%
Andere	6%	9%	17%	14%	3%
Keine Wirkung	36%	41%	23%	30%	61%
Summe	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 2: Beziehung zwischen Innovationsdimension und erzielter Wirkung im öffentlichen Sektor (In Anlehnung an de Vries et al., 2015, S. 161)

Tabelle 2 verdeutlicht, dass alle untersuchten Dimensionen und insbesondere Prozessinnovationen mit der Wirkung „Effektivität“ korrelieren. Außerdem wird deutlich, dass in vielen Fällen keine Wirkung von Innovation festgestellt wurde. Die Dimension „Prozessinnovation“ korreliert am häufigsten mit der Wirkung „Effektivität“, die gemeinsam mit „Effizienz“ produktivitätssteigernden Effekten der Konsequenzlogik zugeordnet werden kann. Im Vergleich zu den anderen drei Dimensionen weist die „Prozessinnovation“ einen weniger starken Zusammenhang mit partizipationssteigernden Effekten der Angemessenheitslogik auf, wie beispielsweise Partizipation, Einbezug von privaten Partnern und Nutzerzufriedenheit. Einen starken Zusammenhang zeigen partizipationssteigernde Effekte mit den Innovationsdimensionen „Konzeptionsinnovation“ (42%) und „Governance-Innovation“ (36%).

Aus den Befunden kann theoretisch geschlossen werden, dass bestimmte Dimensionen überwiegend Wirkungen der Konsequenzlogik (Effizienz- und Effektivitätssteigerung) sichtbar machen, während andere Dimensionen zu Wirkungen der Angemessenheitslogik (Partizipation, Einbezug von privaten Partnern und Nutzerzufriedenheit) führen.

Überträgt man diesen theoretischen Schluss auf die Forschungsfrage dieser Arbeit, kann als zweite forschungsleitende Vermutung nach der Konsequenzlogik angenommen werden, dass eine Ausgestaltung digitaler Zwillinge als Prozessinnovation und Produktinnovation vorrangig zur Steigerung von Effektivität und Effizienz in einer Organisation führt (FV2). Gestaltet man digitale Zwillinge als Governance- oder Konzeptionsinnovation, würde im Sinne der Angemessenheitslogik neben Effektivität auch der Einbezug privater Partner und Partizipation gesteigert werden (FV3). Als weitere forschungsleitende Vermutung kann formuliert werden, dass die Ausgestaltung von digitalen Zwillingen mit mehreren oder anderen Zielrichtungen, die der Kategorie „Andere“ zuzuordnen wären, die größte Gefahr laufen, keine Wirkung zu erzielen (61%) (FV4). Diese Zusammenhänge könnten erklären, wie digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung von Kommunen verändern könnten. Da überdies für wirkungsorientiertes Management für Kommunen von praktischer Relevanz ist, welche Wirkung digitale Zwillinge bei Kommunen erzielen können, ist es wichtig, die Wirkzusammenhänge für die Entwicklung eines Entscheidungsmodells empirisch zu untersuchen, um Empfehlungen ableiten zu können.

3.1.3 Einflussfaktoren auf Innovation

In ihrer Forschung haben de Vries et al. (2015) Einflussfaktoren ermittelt, die sich im Kontext unterschiedlicher Innovationsdimensionen in Bezug auf angestrebte Effekte entweder fördernd oder hemmend ausgewirkt haben (de Vries et al., 2015). Die Einflussfaktoren werden vorgestellt, um sie im

zweiten Teil der Arbeit im Kontext digitaler Zwillinge empirisch zu überprüfen und so einen weiteren Beitrag auf dem neuen Forschungsgebiet sowie im Rahmen praktischer Implikationen zu leisten. Während einige Studien zu dem Ergebnis kommen, dass die Verwaltungskultur hemmend auf Innovationen im öffentlichen Sektor wirkt, stellen andere Studien eine innovationsfördernde Lernkultur in der öffentlichen Verwaltung fest (Borins, 2001; Kumar & Rose, 2012). Der Organisationskultur werden somit zwei gegensätzliche Effekte in Bezug auf Innovationen zugewiesen (de Vries et al., 2015). Daher sollen nachfolgend zunächst identifizierte Einflussfaktoren auf den vier Ebenen der Umwelt-, Organisations-, Innovations- und Individual Ebene vorgestellt werden. Im zweiten Schritt wird der Zusammenhang zwischen Innovationsdimension und Umweltebene erklärt. Im dritten Schritt wird untersucht, inwiefern die Faktoren fördernd oder hemmend auf Innovationen im öffentlichen Sektor wirken.

Auf der *Umweltebene* können identifizierte Einflussfaktoren nach Häufigkeit zugeordnet werden: Externer Druck durch mediale Aufmerksamkeit oder politische und öffentliche Nachfrage (29%), Teilnahme in Netzwerken und inter-organisationale Beziehungen (27%), regulatorische Aspekte (16%), vergleichbare Organisationen, die die gleiche Innovation implementieren (10%), und Wettbewerb mit anderen Organisationen (6%).

Auf der *Organisationsebene* lassen sich die Einflussfaktoren mangelnde Ressourcen – monetärer, zeitlicher, personeller oder technologischer Art – (22%), Führungsstile (21%), Grad der Risikoaversion und Lernkultur (18%), Incentivemechanismen wie Auszeichnungen (16%), Konflikte (8%) und organisationale Strukturen (8%) zusammenfassen.

Die *Innovationsebene* umfasst die Einfachheit der Nutzung der Innovation (20%), den relativen Vorteil zu anderen Lösungen (13%), Kompatibilität mit bestehenden Systemen (13%) und eine beschleunigte Inbetriebnahme (13%) neben weiteren Faktoren, die keinen dieser Kriterien zugeordnet werden konnten (41%).

Zuletzt sind der *Individualebene* die Autonomie der Mitarbeiter (20%), die organisatorische Stellung hinsichtlich der Dauer der Betriebszugehörigkeit (19%), berufsbezogene Kenntnisse und Fähigkeiten zum Umgang mit Innovation (15%), generelle Kreativität (11%), demografische Aspekte (11%), Zufriedenheit mit der Arbeit (9%), gemeinsame Perspektiven und Normen (4%) und Akzeptanz von Innovationen (4%) zuzuordnen.

In ihrer Arbeit setzen de Vries et al. (2015) die identifizierten Einflussfaktoren in Bezug zu den Innovationsdimensionen, in deren Kontext diese erwähnt wurden, sodass die Beziehung zwischen der Innovationsdimension

und der Ebene der Einflussfaktoren in Tabelle 3 veranschaulicht werden kann:

Innovationsdimension	Prozess	Produkt	Governance	Konzeption	Andere
Umweltebene	25%	38%	55%	14%	24%
Organisationsebene	52%	34%	39%	72%	49%
Innovationsebene	8%	14%	3%	0%	0%
Individualebene	15%	14%	3%	14%	27%
Summe	100%	100%	100%	100%	100%

**Tabelle 3: Beziehung zwischen Innovationsdimension und Ebenen der Einflussfaktoren im öffentlichen Sektor
(In Anlehnung an de Vries et al., 2015, S. 160)**

Auf Basis des theoretischen Modells in Tabelle 3 ergeben sich zwei Implikationen für diese Arbeit: Erstens, die Einflussfaktoren auf der Organisationsebene spielen nach theoretischem Schluss die größte Rolle beim Implementierungserfolg von digitalen Zwillingen, unabhängig davon, welcher Innovationsdimension die Ausgestaltung zugeordnet werden kann (FV5). Zweitens, sofern digitale Zwillinge bei Kommunen als Prozessinnovationen und Produktinnovationen ausgestaltet werden, sollten für den Implementierungserfolg vorrangig Einflussfaktoren auf der Umwelt- und Organisationsebene untersucht werden, da diese beiden Einflussebenen mehr als 70% des Innovationserfolges beeinflussen (FV6).

An dieser Stelle ist wichtig zu benennen, dass die einzelnen Einflussfaktoren, die soeben verschiedenen Ebenen zugeordnet wurden, je nach Kontext entweder innovationsfördernd oder innovationshemmend wirken können (de Vries et al., 2015). Neben de Vries et al. (2015) kommen weitere Forscher zu dem Ergebnis, dass Einflussfaktoren kontextabhängig und je nach Innovationsart sowohl positiv als auch negativ auf den Innovationserfolg im öffentlichen Sektor wirken können (Agolla & van Lill, 2016; Demir, 2022; Mu & Wang, 2022; Nählinder & Eriksson, 2019). Aus diesem Grund, und da Einflussfaktoren auf digitale Zwillinge im kommunalen Umfeld bisher unerforscht sind, werden im zweiten Teil dieser Arbeit Experten nach ihrer empirischen Bewertung befragt. Die Erkenntnisse, wie die aus der Forschung identifizierten Einflussfaktoren auf digitale Zwillinge bei Kommunen wirken können, dienen der Untersuchung der dritten forschungsleitenden Frage zu relevanten Rahmenbedingungen von digitalen Zwillingen bei Kommunen, und um praktische Empfehlungen abzuleiten.

3.2 Konzeptionelle Perspektive: Die deutsche Kommunalverwaltung

Während das vorstehende Kapitel Innovationen und ihre potenziellen Wirkungen und Einflussfaktoren im öffentlichen Sektor theoretisch erklärt, beschreibt das folgende Kapitel die konzeptionellen Grundlagen und Kontextbedingungen der deutschen Kommunalverwaltung. Die Erweiterung der Wissensbasis im Rigor-Cycle hilft zu verstehen, welche Rahmenbedingungen für digitale Zwillinge in ihrem Anwendungskontext vorherrschen, um ihr Veränderungspotenzial in der kommunalen Aufgabenerledigung weiter explorativ zu erforschen.

3.2.1 Öffentliche Aufgabenerledigung

Öffentliche Aufgaben leiten sich in der Regel von politischen Sachzielen ab, die im öffentlichen Interesse liegen und von Parlamenten in Gesetze gegossen werden (Gröpl, 2022). Sofern diese Aufgaben von der öffentlichen Verwaltung erbracht werden, wird institutionell von „Staatsaufgaben“ gesprochen, die auf allen staatlichen Ebenen von Bundes-, Landes- und Kommunalverwaltungen wahrgenommen werden (Reichard, 2013). Neben der Regierung als zweiter Teil der Exekutive ist die öffentliche Verwaltung für den Gesetzesvollzug zuständig (sog. gesetzesakzessorische Verwaltung) und gestaltet auf kommunaler Ebene das Zusammenleben der Bürger (sog. nicht-gesetzesakzessorische Verwaltung) im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltung nach Art. 28 Abs. 2 S. 1 Grundgesetz mit. Das Prinzip der kommunalen Selbstverwaltung gewährt Kommunen Handlungsbefugnisse in örtlichen Angelegenheiten nach dem Gesetzesvorbehalt, zum Beispiel im Bereich der lokalen Kulturförderung (Gröpl, 2022). Öffentliche Aufgaben umfassen neben der Funktionsfähigkeit des Staates auf kommunaler Ebene demnach wahlweise Selbstverwaltungsaufgaben und die Daseinsvorsorge der Bevölkerung (Forsthoff, 1938; Haus, 2023).

Der Staats- und Verwaltungsrechtler Ernst Forsthoff prägte den Begriff der Daseinsvorsorge in den 1930er Jahren und modifizierte sein Konzept aufgrund veränderter Lebensverhältnisse im Jahr 1973 (Forsthoff, 1938, 1973). Dabei definierte er *Daseinsvorsorge* als nützliche Verwaltungsleistungen, die keine Wahlfreiheit bieten, und grenzte lebensnotwendige Leistungen wie Gas, Wasser und Elektrizität gegenüber wahlweisen Kulturangeboten ab (ebd.). Subsumiert man den Begriff der Daseinsvorsorge nach Forsthoff unter die Strukturen öffentlicher Aufgabenerledigung von Kommunen, lassen sich drei Aufgabenkategorien differenzieren: Erstens, *Pflichtaufgaben nach Weisung*, bei denen Kommunen die Aufgabenerfüllung gesetzlich vorgeschrieben ist, zum Beispiel die Durchführung von Wahlen. Zweitens, *weisungsfreie Pflichtaufgaben* oder auch *pflichtige Wahlaufgaben*, bei denen Kommunen die Aufgabenerfüllung gesetzlich vorgeschrieben ist, aber die Ausgestaltung der kommunalen Selbstverwaltung überlassen bleibt,

wie beispielsweise die Versorgung mit Strom oder Wasser. Drittens, *freiwillige Wahlaufgaben*, bei denen Kommunen im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltung selbst entscheiden, ob und wie sie tätig werden, zum Beispiel bei Kulturangeboten wie Museen (Forsthoff, 1973; Gröpl, 2022). Heutzutage werden Aufgaben auf kommunaler Ebene sowohl von der Kernverwaltung als auch von öffentlichen und (teil-)privatisierten Unternehmen erfüllt (Bremeier, Brinckmann & Werner, 2006; Friedländer, 2019; Haus, 2023). Zu den wichtigsten kommunalen Aufgaben gehören neben der internen Organisation die Stadtplanung, Katastrophenschutz, Wahlen, Verkehrswesen, Personenstands-, Einwohner- und Ordnungswesen (Benz, 2022). Die Einteilung in Pflichtaufgaben, pflichtige und freiwillige Wahlaufgaben unterliegt bundes- und landesrechtlichen Vorschriften und variiert daher zwischen den Bundesländern (Gröpl, 2022). Da der Use Case dieser Arbeit eine baden-württembergische Kommune untersucht, werden im weiteren Verlauf ausschließlich die geltenden landesgesetzlichen Regelungen herangezogen.

Neben Forsthoff haben auch andere Forscher festgestellt, dass Ansprüche an Daseinsvorsorge aufgrund ökonomischer, technischer und sozialer Entwicklung einem Wandel unterliegen, der zu einem stetigen Anstieg kommunaler Aufgaben führt (Bogumil & Werner, 2020; Haus, 2023; Mayntz, 1978). Aufgrund der zunehmenden Aufgabenfülle wurden in den letzten Jahren Anpassungen an kommunalen Aufgabenstrukturen vorgenommen: Liberalisierung, Deregulierung, Privatisierung und Aufgabenkritik haben die Rolle der Kommune von einer Leistungskommune zu einer Gewährleistungskommune transformiert (Bremeier et al., 2006). Während der Leistungsstaat alle Dienstleistungen für die Bürger selbst erbrachte, hat sich das Rollenverständnis aufgrund zunehmender Aufgaben bei begrenzten Ressourcen hin zum Gewährleistungsstaat verändert (ebd.). Dieser übernimmt für öffentliche Dienstleistungen eine Auffangverantwortung und schafft einen Rahmen, in dem (teil-)private Unternehmen der Stadtwirtschaft agieren können (Bogumil & Werner, 2020).

Zur Aufrechterhaltung öffentlicher Aufgaben haben sich neben der Anpassung rechtlicher Organisationsformen auch Anforderungen an die Modernisierung der Verwaltungskultur ergeben. Seit 1993 wird das Konzept des "New Public Management" im Rahmen des "Neuen Steuerungsmodells" propagiert, um betriebswirtschaftliche Ansätze in die klassischen, regelgebundenen und meist hierarchischen Verwaltungsabläufe zu integrieren (BMI, 2023b, Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement [KGSt], 2023; Schedler & Proeller, 2011). Für Kommunen bleiben Instrumente wie Aufgabenkritik, wirkungsorientiertes Management und Effizienzsteigerung im Hinblick auf gegenwärtige und zukünftige kommunale Herausforderungen zur weiteren Erfüllung öffentlicher Aufgaben unerlässlich. Konzepte wie „E-Government“ und „Smart Government“ untersuchen

effizientere Prozessgestaltung zur Erbringung dieser Aufgaben mithilfe elektronischer und innovativer Technologien sowie cyberphysischen Systemen, wie es digitale Zwillinge sind (von Lucke, 2015, 2018; von Lucke & Reinermann, 2000). Angesichts der zunehmenden Verschärfung des Spannungsverhältnisses, insbesondere vor dem Hintergrund der beschriebenen Krisenentwicklung, stellt sich die Frage, ob innovative Technologien wie digitale Zwillinge weitere Einsparpotenziale bieten und die kommunale Aufgabenerfüllung trotz zunehmend knapper werdenden Ressourcen aufrechterhalten können.

3.2.2 Entscheidungsfindung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die beschriebene Aufgabenstruktur gewährt deutschen Kommunen in ihrer Aufgabenerledigung einen gewissen Handlungsspielraum bei der Erledigung pflichtiger Wahlaufgaben und bei der Frage, welche freiwilligen Wahlaufgaben erbracht werden (Gröpl, 2022). Die finanziellen Ressourcen einer Kommune spielen dabei eine entscheidende Rolle (Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg, 2017). Es ist von konzeptioneller Bedeutung, die kommunale Entscheidungsfindung zu untersuchen, um relevante Entscheidungsfaktoren für oder gegen technische Innovationen wie digitale Zwillinge zu analysieren. Basierend auf den Erkenntnissen wird im zweiten Teil der Arbeit ein Entscheidungsmodell zu digitalen Zwillingen bei Kommunen entwickelt.

In deutschen Kommunen werden Entscheidungen über örtliche Angelegenheiten durch den Gemeinderat, die Verwaltungsspitze und die Bürgerschaft in Beteiligungsverfahren getroffen (Engel & Heilshorn, 2022). Der Gemeinderat ist das Hauptorgan der kommunalen Selbstverwaltung und setzt sich aus gewählten Mitgliedern zusammen, die in thematischen Ausschüssen organisiert sind. Er entscheidet je nach Zuständigkeit über wichtige Fragen der Stadt einschließlich des Haushalts, und legt damit den finanziellen Rahmen für die Verwaltung fest (ebd.). Der (Ober-)Bürgermeister entscheidet in seiner Doppelrolle als Vorsitzender des Gemeinderats und Verwaltungsspitze innerhalb des finanziellen Rahmens über laufende Geschäfte der Verwaltung und weist den Organisationseinheiten Ressourcen und Entscheidungsbefugnisse hinsichtlich deren Verwendung zu (Engel & Heilshorn, 2022; Friedrich Ebert Stiftung, 2014).

Operative Entscheidungen des laufenden Verwaltungsgeschäfts werden meist von Verwaltungsmitarbeitern nach festgelegten Wertgrenzen innerhalb übertragener Entscheidungsbefugnisse getroffen, die über interne Zuständigkeitsordnungen geregelt werden (Engel & Heilshorn, 2022). Obwohl Entscheidungsstrukturen in der traditionellen Verwaltungskultur in der Regel zentralisiert waren, haben Modernisierungsprozesse zu einer Dezentralisierung von Entscheidungsprozessen auf mittleren und unteren

Führungsebenen und zu einer Lockerung der Befugnisse bei höheren Wertgrenzen geführt (ebd.; Bott, 2013). Führungskräfte treffen daher Finanzentscheidungen nach übertragener Befugnis selbst und verfügen im Vergleich zur Privatwirtschaft meist über höhere Budgetverantwortung (Bott, 2013; Friedrich Ebert Stiftung, 2014).

In der Summe werden kommunale Entscheidungen auf der Grundlage rechtlicher und finanzieller Aspekte, politischer Ziele und Bürgerinteressen getroffen (Engel & Heilshorn, 2022). Entscheidungstheorien legen nahe, dass die Ausprägung dieser Kriterien, sog. „Entscheidungsdeterminanten“ eine maßgebliche Rolle bei der Entscheidungsfindung spielen (Laux & Liermann, 1990). In der wissenschaftlichen Literatur sind kommunale Entscheidungsmodelle rar gesät, da die Gewichtung von Entscheidungskriterien meist von den jeweiligen kommunalen Gegebenheiten abhängt (Wernersson, 2014). Eine wesentliche Entscheidungsdeterminante ist die Verfügbarkeit finanzieller, personeller und sachlicher Ressourcen einer Kommune (Reidenbach, Bracher, Grabow, Schneider & Seidel-Schulze, 2008). Diese sind zentrale Steuerungsressourcen für die öffentliche Aufgabenerledigung, da sie den Handlungsrahmen öffentlicher Verwaltungen abstecken (Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend [BMFSFJ], 2016). Die finanziellen Ressourcen von Gebietskörperschaften werden auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene im jeweiligen Haushalt verwaltet (Engel & Heilshorn, 2022). Auf kommunaler Ebene verantworten die Kommunen ihr öffentliches Finanzwesen in ihrer Kämmerei und entscheiden demnach selbst über Innovationsinvestitionen (Burth & Gnädinger, 2023a). Das kommunale Finanzwesen umfasst alle wirtschaftlichen Aktivitäten von Kommunen, um öffentliche Güter und Dienstleistungen zur Erfüllung ihrer Aufgaben zu beschaffen, bereitzustellen und zu verwalten (Burth & Gnädinger, 2023b). Die Hauptquellen der Einnahmen sind direkte Steuern und indirekte Zuweisungen der Länder, auf die Kommunen nur begrenzt Einfluss haben (Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg, 2017). Instrumente wie der Länderfinanzausgleich und Fördergelder von Bund und Ländern sollen sicherstellen, dass gleichwertige Lebensverhältnisse in der Bundesrepublik durch die Sicherung der kommunalen Aufgabenerledigung gewährleistet werden (Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg, 2017; Turulski, 2023).

Da Steuern Zwangsabgaben der Bürger darstellen, sind Kommunen generell und speziell bei Investitionsentscheidungen über Innovationen, wie zum Beispiel digitale Zwillinge, an allgemeine Haushaltsgrundsätze gebunden (Haus, 2023; Weber, 2023). Diese Grundsätze umfassen neben dem Prinzip der stetigen Aufgabenerfüllung auch den Grundsatz der Sparsamkeit und Wirtschaftlichkeit (Burth & Gnädinger, 2023c). Demnach sollen Kommunen ihr wirtschaftliches Handeln nach optimierten ökonomischen Prinzipien ausrichten: Erstens fokussiert sich das Minimalprinzip auf die

Zielerreichung unter minimalem Ressourceneinsatz. Zweitens strebt das Maximalprinzip die Nutzenmaximierung unter Verwendung begrenzter Ressourcen an (Burth & Gnädinger, 2023c). Zur Sicherstellung dieser Prinzipien gelten Vergabe- und Beschaffungsvorschriften (Pünder et al., 2019).

Um öffentliche Aufgaben mit begrenzten Ressourcen erfüllen zu können, werden Bewertungsinstrumente wie die Kosten-Nutzen-Analyse und Return on Investment (RoI)-Messung eingesetzt (Heib, 2004; Rolfes, 2023). Diese Instrumente sollen auch einen verantwortungsvollen Umgang mit Steuergeldern sicherstellen (ebd.). Aufgrund der Vielfalt an Kriterien, die neben rein monetären Aspekten bei wirtschaftlicher Betätigung von Kommunen eine Rolle spielen, wird der RoI durch den Einsatz einer Social-Return-on-Investment (SRoI)-Analyse erweitert (Remer, 2023; Then et al., 2017). Das wirkungsorientierte Management gewinnt in deutschen Kommunen zunehmend an Bedeutung, um die Erfüllung kommunaler Aufgaben trotz der zunehmenden Ressourcenknappheit durch Effektivität, Effizienz und langfristigen Nutzen zu verbessern (Weiß, 2019).

Die Entscheidung der Kommunen, in Innovationen wie digitale Zwillinge zu investieren, hängt neben monetären Aspekten auch wesentlich von der Verfügbarkeit personeller Ressourcen für die Beantragung und Umsetzung von Förderprojekten ab (Reidenbach et al., 2008). Dieser Befund ist relevant, um im zweiten Teil der Arbeit die relevanten Rahmenbedingungen für digitale Zwillinge in Kommunen zu erörtern und ein Entscheidungsmodell für Kommunen im Rahmen des wirkungsorientierten Managements zu entwickeln. In Kapitel 3.2.5 wird untersucht, ob die derzeitigen kommunalen Entscheidungsinstrumente geeignet sind, über technische Innovationen zu entscheiden (Holm, 2021).

3.2.3 Kommunale Informationssysteme

Um kommunale Aufgaben in den Bereichen Planung, Bauen, Verkehr, Umwelt und Wirtschaftsförderung zu erfüllen, setzen Kommunen Informationssysteme ein, die fachspezifische und raumbezogene Datenbestände bereitstellen (Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, 2023). Gängige Lösungen sind zweidimensionale Geoinformationssysteme (GIS), die für die raumbezogene Prüfung von Bauvorhaben, Straßen- und Umleitungsplanungen, zur Standortprüfung von Bildungs-, Betreuungs- und Gesundheitseinrichtungen und zur Organisation von Veranstaltungen mithilfe von Luft- und Satellitenbildern eingesetzt werden (Armbruster, 2015; Martin, 2022; Ströbele, 2022).

Früher wurden diese geografischen Planungen in der Kommunalverwaltung mit papierbasierten Plänen durchgeführt. Heutzutage entwickeln einige Kommunen ihre GIS zu dreidimensionalen Planungsmodellen der Stadt weiter, die auf Punktwolken basieren und mithilfe von Satelliten, La-

serscannern, Flugdrohnen und Sensoren erfasst werden. Diese Daten können als Open Geodata zur Verfügung gestellt werden (Armbruster, 2015; Esri Deutschland GmbH, 2023; Ostrau & Kany, 2020). Die Daten und die zugehörige IT-Infrastruktur werden über Rechenzentren betrieben, die auf verschiedenen staatlichen Ebenen öffentlich oder privat organisiert sind (Behörden Spiegel, 2021; msg systems AG, 2021).

Eine intelligente Weiterentwicklung und Vernetzung von GIS-Systemen im Sinne des „Smart Governments“ könnte zu einer verbesserten Situationswahrnehmung und sensorgestützten Entscheidungsanalyse in den Bereichen Bauverwaltung sowie Stadt- und Verkehrsplanung führen und sowohl die Prozesse als auch den Ressourcenverbrauch optimieren (Esri Deutschland GmbH, 2023; von Lucke, 2016). Durch die Verknüpfung digitaler Geobasis- mit Fachdaten können interaktive, webbasierte Themenstadtpläne entwickelt werden, die nutzerspezifische Informationen zu städtischen Standorten bereitstellen (Bernhard & Mäs, 2020). Eine weitere Methode ist Building Information Modeling (BIM), die digitale Modellierung von Baudaten. In einigen Kommunen zählen BIM und GIS zu Standardinformationsmodellierungssystemen (Bundesministerium für Digitales und Verkehr [BMDV], 2022). Auf Bundesebene führt das Informationssystem "PEGEL-ONLINE" Echtzeitmessdaten verschiedener Gewässerpegeln zusammen (Bernhard & Mäs, 2020). Eine weitere Entwicklung ist der Einsatz von Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) zur intelligenten Objekterkennung, Bildklassifizierung und Simulation (Benz, 2022; Janowicz, Gao, McKenzie, Hu & Bhaduri, 2020). Die innovativen Ansätze könnten technisch in der Zwillingstechnologie vereint werden. Dazu könnten existierende Informationssysteme die raumbezogene Datenbasis bilden, die um urbane und sozio-ökonomische Daten ergänzt werden kann (Schwerdtfeger, 2022).

Digitale Zwillinge ermöglichen die vernetzte Auswertung umfangreicher Datenmengen in Echtzeit und können komplexe reale Zusammenhänge zielgerichtet und raumbezogen veranschaulichen. Es stellt sich die Frage, warum diese Potenziale bisher nicht von Kommunen in ihren Infrastruktur- und Gestaltungsaufgaben genutzt werden. Im Rahmen der Literaturanalyse konnten drei wesentliche Gründe identifiziert werden: Erstens erfordern die technischen Entwicklungen die Erfassung, den Transport und die Verarbeitung immer größerer Datenmengen, die sowohl die aktuelle IT-Infrastruktur als auch den urbanen Datenbestand von Kommunen übersteigen (Ostrau & Kany, 2020). Zweitens werden die Messdaten derzeit mit unterschiedlichen Verfahren erhoben und müssen zusammengeführt werden, um weitere Informationen daraus zu gewinnen (ebd.). Obwohl mit dem Projekt DIN SPEC 91377 "Datenmodelle und Protokolle in offenen urbanen Plattformen" die Interoperabilität der aktuellen Systeme und die Möglichkeit zur integrierten Abbildung in einer urbanen Datenplattform angestrebt wird, muss dies zunächst flächendeckend in der kommunalen Praxis umgesetzt wer-

den (DIN, 2023). Drittens mangelt es an Expertise, solche IT-Anwendungen zu entwickeln oder zusammenzuführen, was trotz Förderung zu Innovationsstaus führt (Bundesstadt Bonn, 2022; ÖFIT, 2019).

Die in kommunalen GIS erfassten georeferenzierten Daten stellen die raumbezogene Grundlage für die Entwicklung digitaler Zwillinge dar (Esri Deutschland GmbH, 2023). Digitale Zwillinge können thematisch und räumlich speziell für Anwendungsfälle, sog. „Fachzwillinge“, entwickelt werden, die in einer Stadt auf einer räumlichen Grundlage, sog. „Geobasiszwillinge“, basieren (Deutscher Städtetag, 2023). „Geobasiszwillinge“ fungieren dabei als geodätischer Rahmen für digitale städtische Zwillinge mit verbindlichem Raumbezug auf allen Ebenen eines modularen Baukastensystems und übertragen Veränderungen in dem sich entwickelnden Stadtbild bidirektional an die „Fachzwillinge“ (Senatskanzlei Hamburg, 2023b; Deutscher Städtetag, 2023). Der „Geobasiszwilling“ wurde als Anwendungsfall in das Projekt DIN SPEC 91607 aufgenommen und soll Anfang 2024 veröffentlicht werden (Deutscher Städtetag, 2023; Schubbe et al. 2023).² Das integrierte Dateninstrument könnte einen Innovationssprung auf der Arbeitsebene bedeuten, da raumbezogene Stadtplanung aktuell dezentral durch verschiedene GIS in der Kernverwaltung, Stadtwerken und weiteren städtischen Betrieben stattfindet (Deutscher Städtetag, 2023; von Richthofen, 2023). Standards wie Smart District Data Infrastructure (SDDI) können diese GIS anschlussfähig gestalten, städtische Datensilos vernetzen und eine ideale Grundlage für digitale Zwillinge bilden (TUM, 2023c).

3.2.4 Zielbild der „selbstfahrenden Verwaltung“

Um öffentliche Aufgabenerledigung langfristig aufrecht erhalten zu können, ist die Fortführung der bisherigen Verwaltungspraxis keine Option (Deloitte GmbH, 2023; McKinsey & Company, 2023). In Kapitel 3.2.2 wurde festgestellt, dass es erforderlich ist, mit kommunalen Ressourcen effizienter und schonender umzugehen (Weiß, 2019). Neben wirkungsorientierten Managementmethoden spielt nach Konzepten wie „Smart Government“ auch der Einsatz technologischer Innovationen wie KI für die Aufrechterhaltung der Aufgabenerledigung eine zentrale Rolle (von Lucke & Zanchet Maciel, 2023). Die Vision eines „selbstfahrenden Unternehmens“ von Florian Schnitzhofer beruht auf der Idee, vernetzte Daten und Technologien wie KI zu nutzen, um durch automatisierte Prozesse mit minimalem Ressourceneinsatz bisher unerreichte Gewinnpotenziale zu erschließen (Schnitzhofer, 2021). Das Konzept stützt sich auf eine Studie, die eine Verfünffachung der verfügbaren Datenmengen von 2018 bis 2025 prognostiziert (Statista, 2020). Laut Schnitzhofer werden Robotersysteme und intelligente Softwaresysteme bis 2035 in der Lage sein, mit den Datenmengen und

² Einen Arbeitsstand des Projekts enthält das Expertenpapier des Deutschen Städtetages (2023).

durch den Einsatz von Methoden zur Komplexitätsreduktion im Vergleich zu Menschen intelligentere und präzisere Entscheidungen zu treffen und umzusetzen (Schnitzhofer, 2021). Digitale Zwillinge und ähnliche Technologien eignen sich nach Schnitzhofer besonders für repetitive Tätigkeiten, die derzeit knappe personelle Kapazitäten im privaten und öffentlichen Sektor beanspruchen (ebd.). Dadurch könnten sich die Aufgaben von Menschen hauptsächlich auf zwischenmenschliche Interaktionen, die Entwicklung von Strategien und kreative Lösungsansätze verlagern (ebd.).

Schnitzhofer (2021) beschreibt diese technologische Transformation in fünf Autonomiestufen: Analog, digital, teilautomatisiert, automatisiert und selbstfahrend. Das Ziel der technologischen Entwicklung besteht darin, alle analogen Prozesse in selbstfahrende Prozesse zu transformieren (Schnitzhofer, 2021). In diesem Kontext skizziert Schnitzhofer erste Vorüberlegungen zur Übertragung dieses Modells auf den „selbstfahrenden Staat“, wobei Prof. Dr. Jörn von Lucke in seiner aktuellen Forschung das Zielbild einer „selbstfahrenden Verwaltung“ weiter konkretisiert (Schnitzhofer, 2021; von Lucke, 2023a). Von Lucke geht davon aus, dass der Einsatz innovativer Technologien, Datennutzung und Prozessautomatisierung trotz schwindender Ressourcen die Aufrechterhaltung öffentlicher Aufgaben ermöglichen könnten (von Lucke, 2023b). Sobald 80% der kommunalen Daten digital verfügbar sind und Softwarelösungen diese automatisiert verarbeiten und Entscheidungen treffen können, entwickelten sich öffentliche zu selbstfahrenden Verwaltungen (ebd.). Menschen überprüften dann lediglich die Ergebnisse bei repetitiven Routinetätigkeiten (ebd.). Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig zu untersuchen, bei welchen Prozessen der Einsatz solcher Technologie sinnvoll ist, welche Einsparpotenziale sich ergeben und welche Mittel dafür bereitgestellt werden können (von Lucke, 2023b, Tagesspiegel Background, 2023). Erste Untersuchungen zeigen, dass etwa 60% der kommunalen Vorgänge durch vorhandene Standards automatisiert beantwortet und Sachbearbeiter bei Routinearbeiten entlastet werden könnten (KOMMUNALtopinform, 2023).

Um das Zielbild der selbstfahrenden Verwaltung zu erreichen und öffentliche Aufgabenerledigung langfristig durch Ressourceneinsparung zu sichern, müssen hierzu bereit jetzt die Grundlagen gelegt werden (von Lucke, 2023b). Die vorliegende Arbeit dient als Beitrag, die Vision der selbstfahrenden Verwaltung durch den Einsatz digitaler Zwillinge explorativ und praxisnah zu erforschen.

3.2.5 Innovationen in der deutschen Kommunalverwaltung

Die öffentliche Verwaltung wird im Vergleich zur Privatwirtschaft oft als innovationshemmend bezeichnet (ÖFIT, 2019). Es ist wichtig zu verstehen, welche strukturellen Unterschiede dazu führen, dass die öffentliche Verwal-

tung bei Transformationsprozessen zurückbleibt (ebd.). Nachdem erste innovationstheoretische Schlüsse auf digitale Zwillinge bei Kommunen gezogen wurden, und die deutsche Kommunalverwaltung konzeptionell beschrieben wurde, behandelt dieses Kapitel bisherige Erkenntnisse zu Innovationen im kommunalen Verwaltungsumfeld. Dies dient als Ausgangspunkt, um die zweite und dritte forschungsleitende Frage zu Veränderungspotenzialen und Rahmenbedingungen für den Einsatz digitaler Zwillinge bei Kommunen im zweiten Teil der Arbeit empirisch zu untersuchen.

Die Verlangsamung der öffentlichen Verwaltung bei der Umsetzung von Innovationen lässt sich aus verschiedenen Perspektiven erklären: Erstens unterliegt jede Innovationsinvestition nicht nur einem ökonomischen Rechtfertigungsdruck, sondern muss auch gesetzlich legitimiert sein (Nationales E-Government Kompetenzzentrum e. V., 2021). Im Gegensatz zu Unternehmen, bei denen Investitionsentscheidungen meist auf wirtschaftlichen Interessen beruhen, müssen Entscheidungen in der öffentlichen Verwaltung auch politische Ziele berücksichtigen und Haushaltsvorschriften einhalten, wie in Kapitel 3.2.2 erläutert (ebd.). Zweitens erfordern Innovationen nicht nur eine umfassende wirtschaftliche Betrachtung, sondern auch rechtliche und technisch-organisatorische Begleitungen. Innovation wird daher eher als langfristiger Prozess betrachtet, der in die bestehenden Prozesse, Strukturen und Realitäten der öffentlichen Verwaltung eingreift und personelle Kapazitäten und Kompetenzen erfordert (Schliesky & Classen, 2010). Drittens stellen neben kapazitäts- auch technologiebezogene Barrieren die größten Herausforderungen für digitale Innovation dar, da bestehende IT-Strukturen ein Hindernis für leistungsstarke Technologien sein können (Agolla & van Lill, 2016; Mu & Wang, 2022). Viertens bieten bürokratische Organisationsmodelle und die ressort- und Ebenen übergreifende Organisation von Aufgabenfeldern nur begrenzte Experimentierräume zur Erprobung neuer Lösungen (Nationales E-Government Kompetenzzentrum e. V., 2021; Behörden Spiegel, 2023b). Fünftens können aufgrund der internen Machtverteilung und Budgetverantwortung „Nichterfolge“ in Verwaltungen deutlich negativer auf eine Person bezogen werden, sodass erhöhte Risikoaversion hinsichtlich Innovationen erkennbar ist (Bott, 2013).

Die spezifischen strukturellen Unterschiede, Rahmenbedingungen und Entscheidungsrationitäten deutscher Kommunen könnten die Etablierung von Innovationen wie digitalen Zwillingen nicht nur im Vergleich zur Privatwirtschaft, sondern auch zu internationalen Verwaltungen mit unterschiedlichen Strukturen, auf die sich die Erklärungsansätze aus den Innovationstheorien beziehen, divergent beeinflussen (FV7). Daher werden die antizipierten Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen im zweiten Teil der Arbeit empirisch überprüft, um den spezifischen Anwendungskontext der Kommunalverwaltung zu berücksichtigen, und auf dieser Basis ein Entscheidungsmodell für Kommunen zu entwickeln.

4 Angewandte Methodik

Das Forschungsdesign dieser Masterarbeit basiert auf dem DSR-Ansatz, einem gestaltungsorientierten Ansatz aus dem Bereich der Informationssysteme (Hevner, 2007). Dieser Ansatz ist sowohl in den Verwaltungswissenschaften anerkannt als auch zunehmend relevant für die Lösung praktischer Probleme (Romme & Meijer, 2020). Der DSR-Ansatz ist für das zugrundeliegende Forschungsvorhaben geeignet, da das Forschungsdesign die Konzeption und Bewertung eines innovativen Artefakts im Rahmen eines Use Cases ermöglicht, das zur Lösung eines realen Problems beiträgt (Hevner et al., 2004). Der gestaltungsorientierte Ansatz des DSR hilft sowohl der Forschung als auch der Praxis, Artefakte systematisch und wissenschaftlich fundiert zu gestalten (Hevner, 2007). Somit erfüllt dieser Ansatz den Anspruch dieser Masterarbeit, einen wissenschaftlichen und praktischen Beitrag zu leisten. In dieser Arbeit wird das DSR-Modell nach Hevner (2007) verwendet, das aus drei Forschungszyklen besteht: Dem Rigor-, Relevance-, und Design-Cycle. Das DSR-Design wird mit Methoden der klassischen Forschung kombiniert, die im Folgenden detailliert erläutert werden, um einen umfassenden Forschungsrahmen zu schaffen.

Für ein besseres Verständnis des Forschungsproblems betreffend wird in der zugrundeliegenden Arbeit ein Mixed-Methods-Ansatz angewendet, der eine systematische Literaturanalyse, eine qualitative Inhaltsanalyse von Experteninterviews und einen Use Case umfasst (Kelle, 2022). Im Rahmen der Literaturanalyse werden theoretische Grundlagen und Konzepte digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor untersucht, um ein solides Grundverständnis für das Forschungsgebiet zu schaffen (Rigor-Cycle). Durch die qualitative Inhaltsanalyse von Experteninterviews wird zudem das Expertenwissen aus der Praxis genutzt, um detaillierte Einblicke in spezifische Einflussfaktoren im Kontext der deutschen Kommunalverwaltung zu gewinnen (Relevance-Cycle). Um sich explorativ dem neuen Forschungsfeld anzunähern, wird ein Use Case erprobt, um die theoretischen Konstrukte auf die kommunale Praxis anzuwenden (Design-Cycle). Die gewonnenen Erkenntnisse werden in den Kapiteln 5 und 6 zusammengeführt, um ein umfassendes Verständnis für digitale Zwillinge bei deutschen Kommunen zu entwickeln.

4.1 Systematische Literaturanalyse

Um ein grundlegendes Verständnis über digitale Zwillinge und deren Einsatz im öffentlichen Sektor zu generieren zu können, wurde zunächst eine systematische Literaturanalyse durchgeführt (Diaz-Bone & Weischer 2015). Sie gilt als probates Mittel, um wissenschaftliche und konzeptionelle Kennt-

nisse zu erlangen (Baur & Blasius, 2022; Niedzela, 2022; Töpfer, 2012). Im ersten Schritt wurden relevante Literaturquellen zu digitalen Zwillingen ausgewertet, um einen aktuellen Forschungsüberblick zu erhalten. Eine sorgfältige Literaturrecherche stellt dabei ein entscheidendes Kriterium für die Qualität der Literaturanalyse dar (Niedzela, 2022; Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2021). Im zweiten Schritt wurde die Literaturanalyse spezifisch auf digitale Zwillinge im öffentlichen Sektor und insbesondere im Kontext deutscher Kommunen vertieft (Niedzela, 2022). Durch diese Methode konnten grundlegende Definitionen zusammengetragen, der Forschungsstand zu digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor dargestellt und Forschungslücken identifiziert werden. Zudem wurden Innovationen im öffentlichen Sektor theoretisch beleuchtet und die kommunale Praxis konzeptionell analysiert. Die Forschungsfrage wurde mit ihren forschungsleitenden Fragen in die bestehende Forschungslücke einsortiert und soll durch die Kombination mit einer qualitativen Inhaltsanalyse von Experteninterviews und einem praxisnahen Use Case explorativ an den deskriptiven Literaturerkenntnissen anknüpfen (Kelle, 2022).

4.2 Qualitative Inhaltsanalyse von Experteninterviews

Da bisher in der wissenschaftlichen Literatur nicht untersucht wurde, wie digitale Zwillinge Kommunen verändern, in welchen Bereichen sowie unter welchen Bedingungen sie in der kommunalen Praxis eingesetzt werden können, erfolgt in dieser Arbeit eine explorative Annäherung an die forschungsleitenden Fragen. Im ersten Teil der Arbeit wurde mit Blick durch die theoretische Linse untersucht, ob von Innovationstheorien im öffentlichen Sektor und konzeptionellen kommunalen Strukturen Erklärungsansätze für das neue Forschungsfeld abgeleitet werden können. Im zweiten Teil der Arbeit sollen die entwickelten Ansätze durch die Analyse von Experteninterviews empirisch überprüft werden.

Experteninterviews

Um die theoretischen Erklärungsansätze hinsichtlich der kommunalen Realität zu überprüfen, wurden Experten zu digitalen Zwillingen in deutschen Kommunen mittels eines teilstrukturierten Fragebogens interviewt. In der qualitativen Sozialforschung stehen verschiedene Erhebungsverfahren zur Verfügung, um Expertenwissen zu erheben (Kromrey, 2009). Ziel der Experteninterviews ist es, zu untersuchen, wie digitale Zwillinge deutsche Kommunen verändern und in welchen Bereichen sie unter welchen Rahmenbedingungen eingesetzt werden können. Dabei dient sowohl das technische Wissen der Befragten über die Zwillingstechnologie einerseits als auch das Erfahrungswissen in Bezug auf die Strukturen deutscher Kommunen andererseits (Baur & Blasius, 2022; Bogner, 2014). Dem Erkenntnisinteresse der Arbeit kann mit Experteninterviews und deren qualitativer Analyse am bes-

ten gedient werden, da relevante Informationen zur Beantwortung der forschungsleitenden Fragen bisher nicht veröffentlicht oder diese nicht hinreichend beantwortet wurden (Lamnek & Krell, 2016).

Qualitative, leitfadengestützte Interviews sind eine häufig verwendete und methodologisch fundierte Methode zur Generierung qualitativer Daten (Baur & Blasius, 2022). Das Ziel dieser Interviews besteht darin, Daten zu erfassen, die sich auf Erfahrung und spezifisches Nischenwissen stützen und dies bei der Beschreibung von Handlungsweisen, Prozessen und Denkweisen anwenden (Bohnsack et al., 2018). Experten können als Ratgeber und Wissensvermittler fungieren, die Fakten- und Erfahrungswissen weitergeben und Zugang zu neuen Wissensbereichen eröffnen (sog. „systematisierendes Experteninterview“). Das Erkenntnisinteresse kann sich auch auf das Expertenwissen selbst, wie das Verständnis zugrundeliegender Konzepte, beziehen (sog. „theoriegenerierendes Experteninterview“) (Bogner, Littig & Menz 2005). Durch die Kombination von Fragen zum Fakten- und Erfahrungswissen (zum Beispiel Frage 5.1: „Welche Hürden sehen Sie für Innovationen wie digitalen Zwillingen in der öffentlichen Verwaltung?“) mit Fragen zum Verständnis zugrundeliegender Konzepte (zum Beispiel Frage 2.1: „Was verstehen Sie unter einem digitalen Zwilling?“) werden systematisierende und theoriegenerierende Aspekte berücksichtigt (Bogner et al., 2005, vgl. Anhang 1). Der Fragebogen ist der Arbeit in Anhang 1 beigefügt.

Als Experten wurden zehn Akteure aus der kommunalen Praxis, Bundes- und Landesbehörden sowie aus Wirtschaft und Wissenschaft ausgewählt, die wesentliche Handlungsbedingungen und Prozesse in der entsprechenden Handlungsumgebung strukturieren können (Bogner, 2014, vgl. Anhang 2). Für die Auswahl in Anhang 2 wurde eruiert, welche Akteure und Institutionen ebenen- und sektorübergreifend mit digitalen Zwillingen im kommunalen Umfeld betraut waren und über die Experteneigenschaft verfügen könnten (Bogner, 2014). Der Relevanzrahmen der Experten und die persönliche Perspektive des Interviewten war dabei insofern von Interesse, als dass bisher wenige Personen auf diesem Gebiet beschäftigt sind. Die Fragen wurden so ausgestaltet, dass die Befragten einen neutralen Expertenstatus einnehmen konnten (Baur & Blasius, 2022).

Ein standardisierter, teilstrukturierter Fragebogen, der quantitative und qualitative Fragen enthält, wurde verwendet, um die entwickelten Erklärungsansätze aus der theoretischen Linse auf die kommunale Realität zu überprüfen. Zur Bewertung von Einflussfaktoren auf die Etablierung digitaler Zwillinge in deutschen Kommunen sowie zur Ermittlung angestrebter Wirkungen, wurde eine Likert-Skala verwendet, um die Meinungen der Experten besser vergleichen zu können (ebd.). Die Interviewfragen wurden entlang der forschungsleitenden Fragen entwickelt, um das technische und

erfahrungsbasierte Nischenwissen der Befragten zu generieren (ebd.). Um systematisierende und theoriegenerierende Aspekte zu vereinen, wurde ein leitfadengestütztes Experteninterviews gewählt, bei dem offene mit standardisierten Elementen kombiniert werden können (Baur & Blasius, 2022; Bogner, 2014). Die Ergebnisse werden im Fazit mit weiteren forschungsleitenden Vermutungen formuliert, an denen Folgearbeiten anknüpfen können.

Die Experteninterviews wurden von der Verfasserin in Form von digitalen videobasierten Gesprächen im Zeitraum von März bis April 2023 durchgeführt und dauerten etwa 60 Minuten pro Interview. Eine Erklärung zur Anonymisierung, Audioaufzeichnung und Vertraulichkeit wurde den Interviewten etwa drei Wochen vor dem Interviewtermin per E-Mail zugesandt. Die Kontaktaufnahme mit den Befragten erfolgte durch persönliche Schreiben von Prof. Dr. Jörn von Lucke, Professor an der Zeppelin Universität in Friedrichshafen und Direktor vom „The Open Government Institute (TOGI)“, mit der Bitte um Unterstützung bei der Forschungsarbeit. Insgesamt konnten zehn Akteure aus Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft befragt werden. Die Interviews wurden mit einem Diktiergerät als Audiodatei aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Es erfolgte eine wörtliche Transkription, bei der Interpunktion und Sprache geglättet und nonverbale Äußerungen nicht gekennzeichnet wurden (Bogner, 2014). Eine professionelle Transkriptionstechnik wurde für die analytischen Zwecke dieser Arbeit als nicht notwendig erachtet (Fuß & Karbach, 2019; Mayring, 2016).

Qualitative Inhaltsanalyse

Für die Auswertung von qualitativen Experteninterviews gibt es bislang kein kanonisiertes Verfahren (Bogner, 2014; Kuckartz, 2018). Sofern unbekannte Phänomene und Sichtweisen in der qualitativen Sozialforschung explorativ erschlossen werden sollen, können inhaltsanalytische Methoden, wie die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring, herangezogen werden (Mayring, 2016). Diese Methode zeichnet sich durch systematische Interpretationsschritte aus, die die Analyse nachvollziehbar und überprüfbar gestalten, was als Stärke dieser Methode anzusehen ist (Mayring, 2016, 2022). Durch das kategorienbasierte Verfahren werden relevante Aussagen aus Transkripten extrahiert und Kategorien zugewiesen, um eine systematische Datenauswertung zu gewährleisten (Mayring, 2022). Das zentrale Merkmal der zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring besteht darin, dass die Kategorisierung über Paraphrasierung erfolgt. Allerdings unterliegt die Methode Kritikpunkten wie dem Verlorengehen von komplexeren Zusammenhängen, dem Übersehen von Widersprüchlichkeiten sowie dem Verlust von Besonderheiten des einzelnen Falls (Mayring, 2016). Diese Kritikpunkte wurden zum Anlass genommen, die Paraphrasierung lediglich als Hilfskonstrukt zur Strukturierung des Interviews heranzuzie-

hen, um eine Zusammenfassung der intendierten Kernaussagen übersichtlich zu erfassen und komprimiert in dieser Arbeit abzubilden (Mayring, 2016, 2022). Die dazu dienliche Kategorienbildung erging induktiv, um Informationen und Aussagen inhaltlich zunächst auf einer höheren Abstraktionsebene zu erfassen und diese anschließend strukturiert in der Arbeit wieder zu geben. Die induktive Kategorienbildung eignet sich insbesondere bei explorativen Fragestellungen, wie sie in dieser Arbeit formuliert sind (Mayring, 2022). Dabei werden die Kategorien aus den Daten selbst in wiederkehrenden Mustern entwickelt, ohne dass im Voraus feste Kategorien bekannt sind (Kuckartz, 2018; Mayring, 2016). Die Kategorien wurden gleichzeitig mit Zuordnung der als relevant befundenen Interviewstellen im Prozess der Codierung festgelegt. Das Kategoriensystem bestand aus 14 Haupt- und 108 Subkategorien und ist in Anhang 3 visualisiert. Da die Kategorienhäufigkeit und die Anzahl der Interviewpartner als aussagekräftig gewertet wurden, und statistische Prozeduren der Auswertung dienen, enthält die Analyse sowohl qualitative als auch quantitative Analyseschritte und ist somit besonders als Mixed-Method-Ansatz geeignet (Mayring, 2022). Der inhaltsanalytische Auswertungsprozess wurde computergestützt mithilfe von MAXQDA³ durchgeführt, da die Software zur strukturierten Auswertung von qualitativen und quantitativen Daten geeignet ist (Kuckartz, 2014; Kuckartz & Rädiker, 2019).

4.3 Use Case Methodik in den Verwaltungswissenschaften

Diese Arbeit verfolgt das praxisnahe Erkenntnisinteresse zu identifizieren, unter welchen Bedingungen digitale Zwillinge kommunale Aufgabenerledigung verändern können. Da die wissenschaftliche Literatur begrenzt ist, und die Arbeit einem DSR-Ansatz folgt, wird die Use Case Methodik angewendet. Die Use Case Methodik dient vorrangig in der Softwareentwicklung der Identifikation und Beschreibung von Anforderungen für komplexe Systeme und technische Innovationen (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2020; t2informatik GmbH, 2023b). Als gestaltungsorientierte Methode eignet sich ein Use Case in der verwaltungswissenschaftlichen Forschung, um komplexe Technologien und das bisher theoretisch beschriebene Artefakt digitaler Zwillinge auf die praktische Realität anzuwenden (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2020; Romme & Meijer, 2020). Als prüfbare Rahmenbedingungen für die Etablierung digitaler Zwillinge im kommunalen Umfeld liegt es nahe, das Kosten-Nutzen-Verhältnis und die praktische Umsetzbarkeit des Anwendungsfalls empirisch zu ermitteln.

Als Use Case eignet sich die Entwicklung eines digitalen Mobilitätswillings für die Stadt Friedrichshafen als Anwendungsfall. Die mittelgroße deutsche

³ MAXQDA ist Software zur computergestützten qualitativen Daten- und Textanalyse.

Kommune dient als geeigneter Prüfstein, um Anforderungen, Kosten-Nutzen-Relation und die praktische Umsetzbarkeit der Technologie zu ermitteln, da die Erkenntnisse auf weitere vergleichbare Kommunen übertragbar sind. Die Use Case Methode wurde in der verwaltungswissenschaftlichen Forschung bereits erfolgreich angewendet, um Anwendungsfälle digitaler Zwillinge darzustellen und die Kombination von E-Partizipation mit AR und VR zu bewerten (D'Hauwers et al., 2022; Knezevic, Donaubaer, Moshrefzadeh & Kolbe, 2022).

Diese Arbeit stützt sich auf die Use Case Modellierungsmethode von Fraunhofer IAO, die auf drei Ansätzen beruht: Erstens, dem technologieorientierten Ansatz, der die aktuelle technologische Infrastruktur und deren Ausbaubedarf untersucht. Zweitens, dem datenorientierten Ansatz, der die vorhandenen Datenbestände und den weiteren Bedarf für die Schaffung eines digitalen Mobilitätszwillings ermittelt. Drittens, dem problemorientierten Ansatz, der organisatorische Auswirkungen des Einsatzes der Zwillingstechnologie antizipiert (Fraunhofer IAO, 2022). Die Vorgehensweise zur Erstellung des Use Cases, die Analysen und Ergebnisse sowie die praktische Übertragbarkeit sind in Kapitel 6 dargestellt.

5 Diskussion: Digitale Zwillinge in der Kommunalverwaltung

Nachdem im ersten Teil dieser Masterarbeit theoretische und praxisnahe Erklärungsansätze zur explorativen Annäherung an das neue Forschungsfeld digitaler Zwillinge bei deutschen Kommunen formuliert wurden, erfolgt im zweiten Teil eine Auswertung der empirischen Daten aus den Experteninterviews und eine Interpretation dieser Daten im Hinblick auf die forschungsleitenden Fragen. Im ersten Schritt wird die Innenperspektive der Experten deskriptiv dargestellt und die Aussagen im Hinblick auf mögliche Bedeutungen erörtert und strukturiert. Im zweiten Schritt wird die Sichtweise der Experten bezüglich der im ersten Teil dargestellten Befunde aus der Literaturanalyse diskutiert, um die theoretischen Erklärungsansätze im Sinne des Relevance-Cycle hinsichtlich der kommunalen Realität zu überprüfen. Das Kapitel verfolgt daher methodisch das Ziel, die forschungsleitenden Fragen durch empirische Prüfung der theoretischen Erklärungsansätze zu beantworten: 1. In welchen Bereichen können digitale Zwillinge die kommunale Aufgabenerfüllung unterstützen? 2. Wie können digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung wirkungsorientiert verändern? 3. Unter welchen Bedingungen können digitale Zwillinge eingesetzt werden?

Im Verlauf der Arbeit wurde festgestellt, dass es bisher kein einheitliches wissenschaftliches und praktisches Verständnis von digitalen Zwillingen bei Kommunen gibt. Neben den ursprünglichen forschungsleitenden Fragen wird daher zu Beginn des Diskussionsteils das in der Praxis herrschende Verständnis präsentiert, um auf dieser Basis die Expertenmeinung einordnen zu können.

5.1 Empirisches Verständnis und theoretische Kategorisierung

Im ersten Teil der Arbeit wurde festgestellt, dass es sowohl im wissenschaftlichen als auch im praktischen Diskurs keine einheitliche Definition von digitalen Zwillingen im Allgemeinen und in Bezug auf ihren Einsatz bei Kommunen gibt. Um das empirische Verständnis der Experten zu veranschaulichen, wird zuerst das allgemeine Verständnis von digitalen Zwillingen behandelt, bevor digitale Zwillinge im öffentlichen Sektor nach Expertenmeinung beschrieben und anschließend in die theoretischen Innovationsdimensionen eingeordnet werden.

Empirisches Verständnis von digitalen Zwillingen

Die meisten Experten verstehen unter digitalen Zwillingen ein digitales Abbild der Realität, das zur Simulation und Visualisierung verwendet wer-

den kann, um Szenarien virtuell in einem Planungsprozess zu erproben (E1, 0:0:25; E2, 0:04:00; E4, 0:05:30; E5, 0:01:55; E6, 0:11:00; E7, 0:03:45; E8, 0:05:00; E9, 0:01:20). Diese Visualisierung kann durch „weitere technische Tools wie VR-Brillen oder AR unterstützt werden“ (E10, 0:04:40). Die Hälfte der Experten betrachtet Echtzeitdaten als wesentliche Komponente digitaler Zwillinge, die zur zentralen Überwachung und Steuerung realer Objekte eingesetzt werden können. Sechs Experten, E2 (0:02:39), E3 (0:07:18), E5 (0:01:47), E6 (0:10:45), E7 (0:03:48) und E9 (0:01:21) bewerten Datenanalyse und -aggregation als grundlegende Funktionalitäten. Zwei Experten, E5 (0:02:02) und E9 (0:01:42), sehen die Technologie als wertvolles Instrument zur Vernetzung verschiedener Datenquellen. Zwei Experten nennen Reifegrade als wesentliches Merkmal digitaler Zwillinge (E1, 0:04:00; E3, 0:08:09). Ein Experte gab an, dass „KI [...] die maximale Ausbauf orm“ digitaler Zwillinge ist und Grundlage für „selbstlernende Zwillinge“ bildet (E3, 0:10:10). Ein weiterer Experte betonte verschiedene Ebenen: „Ein digitaler Zwilling besteht aus den drei Ebenen: physisch, technisch und sozial“ (E3, 0:10:41).

Einige Experten kritisieren, dass es eine allgemeine Unsicherheit über die Verwendung des Begriffs „digitaler Zwilling“ gibt, und bestätigen damit den identifizierten Bedarf sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis. Darüber hinaus stimmen die Beschreibungen der Experten mit den Erkenntnissen aus der wissenschaftlichen Literatur überein, indem sie digitale Zwillinge zunächst deskriptiv als „digitales Abbild realer Objekte“ beschreiben, dann auf technische Eigenschaften eingehen und schließlich die Funktionalität und Wirkungsrichtung der Innovation feststellen. Es kann festgestellt werden, dass eine einheitliche Definition zur Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses von digitalen Zwillingen im wissenschaftlichen und praktischen Diskurs unerlässlich bleibt.

Empirisches Verständnis von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor

Die Experten sind sich größtenteils einig, dass digitale Zwillinge im öffentlichen Sektor zur optimierten Echtzeit-Planung durch Simulation in den Bereichen Stadt- und Verkehrsplanung, Katastrophenschutz, bereichsübergreifende Klimaschutzmaßnahmen und „beliebig andere Fachfelder eingesetzt werden“ (E10, 0:05:55). Großer Mehrwert liegt in der ressort- und akteurübergreifenden Vernetzung von Planungsdaten, da sie „unterschiedliche Auswirkungen auf Sphären wie die Nachbargebäude, die Straßenführung, auf Wind und Schatten, auf sozialräumliche Infrastrukturen, auf Bodenversiegelung und Umwelteinflüsse“ haben können (E9, 0:02:55). Digitale Zwillinge ermöglichen integrierte Stadtplanung und -steuerung, die Effizienzgewinne versprechen und soziale Daten in Planungsvorhaben integrieren können: „Welche Auswirkungen haben drei weitere Stockwerke auf das direkte Umfeld oder weitere Faktoren, die nicht nur die physische

Stadt, sondern auch die sozialräumliche Infrastruktur der Stadt betreffen?“ (E9, 0:03:18). Darüber hinaus können sie für datenbasierte Entscheidungsprozesse (E2, 0:03:50; E6, 0:17:29; E9, 0:02:35), automatisierte und transparentere Verwaltungsverfahren (E8, 0:07:35; E2, 0:03:24; E6, 0:18:30; E7, 0:04:30) und Partizipationszwecke eingesetzt werden (E6, 0:17:45). „Die soziale Komponente [ist dabei] wesentliches Unterscheidungsmerkmal zum digitalen Zwilling der Industrie 4.0“ (E3, 0:10:52).

Insbesondere die Möglichkeit, soziale Daten in der Stadtplanung zu integrieren, wird von den Experten als wesentlicher Mehrwert angesehen und bestätigt den wissenschaftlichen Bedarf, diesen Mehrwert mit empirischen Kennzahlen zu messen. Die Hälfte der Experten stellen fest, dass es auch im Kontext des öffentlichen Sektors kein einheitliches Verständnis gibt: „Die meisten Kommunen denken, sie haben bereits einen digitalen Zwilling, meinen aber meist ein digitales 3-D-Abbild der Stadt“ (E5, 0:03:40). Ein Drittel der Experten betrachtet dieses 3-D-Abbild als wesentliche Grundlage für einen digitalen Zwilling der Stadt (E6, 0:15:08; E7, 0:03:44; E9, 0:01:24). Um ein einheitliches Verständnis zu schaffen, wurde „im Rahmen des (CUT-)Projekts ein DIN SPEC-Prozess mit Fokus auf [...] Kommunen angestoßen, der voraussichtlich Ende des Jahres veröffentlicht wird“ (E4, 0:07:20).⁴ Bis zur Veröffentlichung zeichnet diese Darstellung ein aktuelles Bild zum vorherrschenden Verständnis von digitalen Zwillingen in der Praxis.

Kategorisierung der Innovationsdimensionen

Im ersten Teil der Arbeit wurden theoretische Innovationsdimensionen vorgestellt. Der theoretische Schluss, dass digitale Zwillinge je nach Ausprägung alle Dimensionen annehmen können (FV1), führte zu der Annahme, dass die Kategorisierung durch Experten dabei helfen kann, das Artefakt besser zu verstehen. Die Befragungsergebnisse sind in Anhang 4 veranschaulicht.

Die Kategorisierung der Experten ist sehr fragmentiert. Dies kann sowohl auf die individuelle Gestaltbarkeit der Zwillingstechnologie als auch auf das festgestellte uneinheitliche Verständnis von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor zurückgeführt werden. Es fällt auf, dass in der Automatisierung und Optimierung von Verwaltungsprozessen sowohl eine Produkt- als auch eine Prozessinnovation gesehen wird. Aus theoretischer Sicht können bestehende Verwaltungsprozesse durch die Nutzung digitaler Zwillinge zur optimierten Steuerung, Planung und Überwachung als Prozessinnovation betrachtet werden. Sofern neue öffentliche Produkte und Dienstleistungen geboten werden, wie zum Beispiel Partizipationsprozesse, ist dies der Pro-

⁴ Einen Arbeitsstand des Projekts enthält das Expertenpapier des Deutschen Städtetages (2023).

duktinnovation zuzuordnen. Die empirischen Daten bestätigen die erste forschungsleitende Vermutung (FV1), dass digitale Zwillinge mehrere Innovationsdimensionen abdecken können, und zeigen den Bedarf auf, die Dimensionen disjunktiv zu gestalten, um klarere Kategorisierungen zu ermöglichen. Die Einordnung dient als Ausgangspunkt für die Ableitung der Dimension-Wirkbeziehung in Kapitel 5.3. und kann zur gezielten Gestaltung digitaler Zwillinge bei Kommunen herangezogen werden.

5.2 Potenzielle Einsatzbereiche

Die vorliegende Arbeit untersucht im Rahmen der ersten forschungsleitenden Frage, in welchen Bereichen digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung von Kommunen unterstützen können. Bereits im zweiten Kapitel wurde ein Überblick über aktuelle Einsatzfelder digitaler Zwillinge bei Kommunen gegeben. Dieses Kapitel erweitert diesen Überblick um weitere potenzielle Einsatzbereiche im kommunalen Umfeld. Die Daten lassen sich in die Kategorien Optimierung bisheriger Aufgabenerledigung, Etablierung neuer Dienstleistungen und Instrumentarien für integrierte Stadtentwicklung gliedern.

Optimierung bisheriger Aufgabenerledigung:

Die Experten sehen potenzielle Einsatzbereiche in der Verbesserung planerischer Entscheidungsprozesse durch Datenvernetzung (E9, 0:06:40), transparente Veranschaulichung (E7, 0:07:35) und als Partizipationsinstrument, sodass „bei Abstimmungen im Stadt- oder Kreisrat Änderungsvorschläge agil in der Sitzung angepasst und veranschaulicht werden könnten“ (E10, 0:11:43). Darüber hinaus könnten auch interne Prozesse in der Stadtplanung optimiert werden, zum Beispiel indem „Verkehrs- und Parkraummanagement durch passgenauere Mobilitätskonzepte besser gesteuert“ (E6, 0:31:45) und „sozialräumliche Infrastruktur“ bei der Quartiersplanung berücksichtigt werden könnte (E9, 0:07:20). Neben klassischen Verwaltungsleistungen könnte die Technologie „Daseinsvorsorgeleistungen verbessern, zum Beispiel durch effizientere Steuerung von Strom, Wasser, Gas und Abwasser“ (E2, 0:09:10). Zudem könnten digitale Zwillinge bei Klima- und Umweltmaßnahmen im Monitoring, der „Nachhaltigkeitsberichterstattung“ (E6, 0:32:48) sowie zur Darstellung von „Auswirkungen auf Klimadaten“ eingesetzt werden (E7, 0:07:37), um Aspekte wie Hitzeregulation, Frischluftschneisen und Verschattungseffekte mit einzukalkulieren (E1, 0:10:00).

Etablierung neuer Dienstleistungen:

Die Zwillingstechnologie ermöglicht durch Simulationen neue Dienstleistungen der Verwaltung. Dies könnten zum Beispiel weitere Frühwarnmel-

dungsfunktionen in Bereichen der „Katastrophenprävention wie bei Überflutungsgefahren“ (E9, 0:07:10) modifizierte „Sicherheitskonzeptionen für Großveranstaltungen“ zum Schutz der Bürger (E7, 0:08:12) oder transparentes „Klimawandelmonitoring“ (E4, 0:11:20) sein, die den Bürgern helfen, durch schnellere Bauvorbescheide oder echtzeitbasierte Mobilitätsdashboards mit touristischen Informationen Entscheidungen zu treffen (E7, 0:07:55).

Instrumentarium für integrierte Stadtentwicklung:

Die Verknüpfung isolierter Datenbestände, die Vernetzung fachübergreifender Daten und zwischen städtischen Akteuren sowie mit weiteren Stakeholdern, kann eine ganzheitliche Berücksichtigung unterschiedlicher Sphären in der Stadtplanung ermöglichen, die sich gegenseitig beeinflussen (E9, 0:07:10; E10, 0:10:40). Um Auswirkungen geplanter Maßnahmen auf andere Sphären zu untersuchen, ist die Integration verschiedener Daten und die häuserübergreifende Zusammenarbeit erforderlich (E9, 0:05:10; E4, 0:13:35). Dass zum Beispiel für Arbeiten städtischer Akteure eine öffentliche Straße „fünfmal aufgemacht“ (E1, 0:25:07) wird, ist für krisenbelastete Kommunen schwer darstellbar und derartige Situationen können mit integrierten Planungsinstrumenten wie digitalen Zwillingen verhindert werden (ebd.). Ein besonderer Mehrwert sei die Berücksichtigung sozialer Daten (E9, 0:08:03; E10, 0:10:03). Durch integrierte Planung können langfristig verbesserte oder neue Produkte entsprechend den ersten beiden Kategorien entstehen.

Basierend auf der Einschätzung der Experten dienen die relevantesten Anwendungsfälle digitaler Zwillinge der Nachhaltigkeit und der Optimierung des städtischen Datenmanagements (E3, 0:23:27; E5, 0:13:45; E6, 0:33:52; E7, 0:09:15; E9, 0:07:58). Es wird betont, dass digitale Zwillinge die kommunenspezifischen Bedarfe adressieren sollten, da nicht einheitlich von relevanten Einsatzfeldern gesprochen werden kann (E1, 0:012:40; E4, 0:15:20).

Um die erste forschungsleitende Frage zu beantworten, in welchen Bereichen digitale Zwillinge die kommunale Aufgabenerledigung unterstützen können, ist neben der Übersicht über aktuelle und potenzielle Einsatzbereiche auch die Einschätzung der Experten zu den relevantesten Einsatzbereichen von Bedeutung. Angesichts der kommunalen Aufgabenstruktur erscheint eine dedizierte Aufgabenkritik auch für digitale Zwillinge sinnvoll. Es wird empfohlen, digitale Zwillinge vorrangig in Querschnittsbereichen wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit für langfristige Mehrwerte einzusetzen, um kommunenspezifische Bedarfe zu adressieren. Angesichts der Krisenbelastung von Kommunen sollten sie für die Optimierung von Pflichtaufgaben eingesetzt werden, bevor sie sich auf die Optimierung freiwilliger Aufgaben wie touristische Dashboards fokussieren.

5.3 Wirkungsorientierte Veränderungspotenziale

Im ersten Teil der Arbeit wurde festgestellt, dass ein Zusammenhang zwischen Innovationsdimension und Innovationswirkung im öffentlichen Sektor besteht. Um die zweite forschungsleitende Frage zu beantworten, wie digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung von Kommunen wirkungsorientiert verändern können, behandelt dieses Kapitel, welche Wirkungen durch den Einsatz digitaler Zwillinge bei Kommunen erzielt werden können.

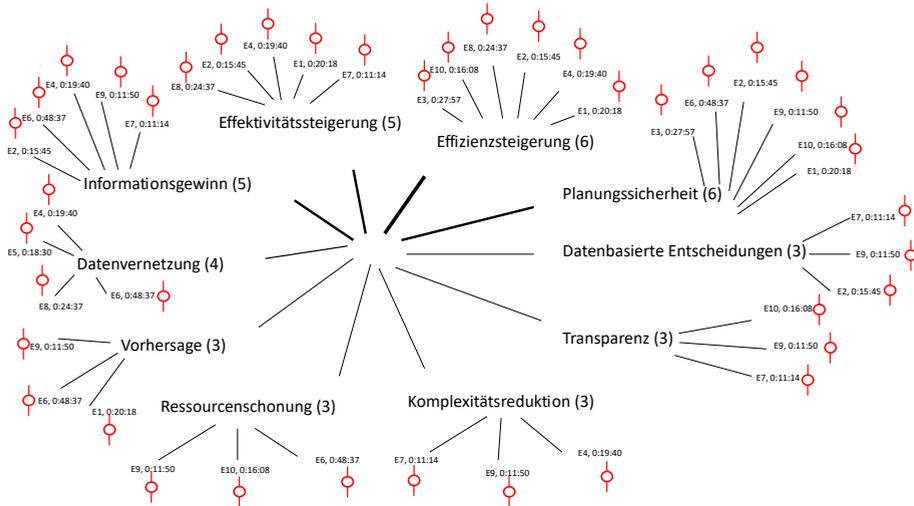


Abbildung 1: Kategorien anvisierter Wirkungen digitaler Zwillinge bei Kommunen (Eigene Darstellung)

Zu Beginn wurden die Experten in offenen Fragen nach der angestrebten Wirkung digitaler Zwillinge im kommunalen Umfeld befragt. Abbildung 1 veranschaulicht die Ergebnisse mit Häufigkeitsangaben. Anschließend bewerteten sie quantitativ die wissenschaftlich identifizierten Effekte von Innovationen im öffentlichen Sektor in Bezug auf den Forschungsgegenstand (vgl. Frage 4.1 und 4.2 in Anhang 1). Dabei ist festzustellen, dass neben den wissenschaftlich identifizierten Effekten (wie beispielsweise Effektivitäts- und Effizienzsteigerung) am häufigsten Planungssicherheit und Informationsgewinn genannt wurden. Diese Ergebnisse bestätigen nicht nur die dominierende Rolle von Planungssicherheit und Fehlervermeidung in der klassischen deutschen Verwaltungskultur, sondern fordern auch weitere Forschung zur Untersuchung von Innovationseffekten im Kontext deutscher Verwaltungen. Es ist möglich, dass digitale Zwillinge neben den wissenschaftlich identifizierten Effekten von Innovationen im öffentlichen Sektor zusätzliche Wirkungen im Bereich von Planungssicherheit und Informa-

tionsgewinn mit sich bringen, die spezifisch im Kontext deutscher Kommunen einen weiteren Mehrwert bieten könnten.

In einem zweiten Schritt bewerteten die Experten mithilfe der Likert-Skala, welche der wissenschaftlich identifizierten Wirkungen von Innovationen im öffentlichen Sektor für digitale Zwillinge bei deutschen Kommunen angestrebt werden (vgl. Frage 4.2 in Anhang 1):

Anvisierte Wirkung	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	Ø	σ
Effektivität	7	8	5	8	7	8	7	9	8	7	7.4	1.1
Effizienz	6	8	10	7	10	8	7	9	9	9	8.3	1.3
Partizipation	8	4	2	6	10	9	5	7	5	7.5	6.3	2.4
Einbezug von Partnern	10	9	1	7	10	5	8	9	8	6.5	7.3	2.7
Nutzerzufriedenheit	4	7	3.5	8	5	5	8	9	8	9	6.6	2.1

Tabelle 4: Befragungsergebnisse zur anvisierten Wirkung digitaler Zwillinge (In Anlehnung an de Vries et al, 2015)

Tabelle 4 verdeutlicht, dass Effizienzsteigerung als die relevanteste Wirkung von digitalen Zwillingen bei Kommunen angesehen wird, während Partizipation als am wenigsten relevant eingeschätzt wird. Die größte Einigkeit der Experten besteht darin, digitale Zwillinge zur Effektivitätssteigerung einzusetzen, während die Einschätzung zur Relevanz der Kooperation mit Partnern am meisten streut.

Die empirische Einschätzung verdeutlicht, dass digitale Zwillinge vor allem darauf abzielen sollten, Effizienz und Effektivität der Kommunalverwaltung sowie Kooperation mit Partnern aus der Stadtwirtschaft zu steigern. Zusätzlich nennen die Experten Planungssicherheit, Informationsgewinn und Datenvernetzung als relevante Wirkungen von digitalen Zwillingen. Da im theoretischen Teil der Arbeit ein Wirkzusammenhang zwischen Innovationsdimension und erzielter Wirkung festgestellt wurde, wird zur Erreichung der Wirkung angenommen (FV2, 3):

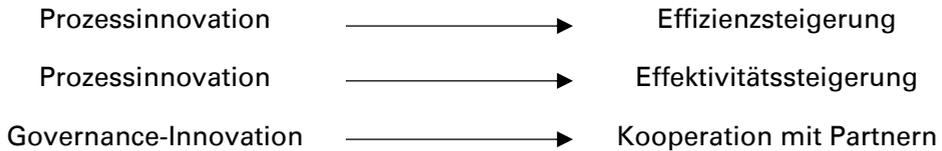


Abbildung 2: Wirkzusammenhang Innovationsdimension und anvisierte Wirkung digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor (Eigene Darstellung)

Überträgt man die angestrebten Wirkungen und die in Abbildung 2 dargestellten Zusammenhänge auf die Einsatzbereiche digitaler Zwillinge, betrachten die Experten diejenigen Einsatzbereiche als relevant, bei denen digitale Zwillinge als Prozess- oder Governance-Innovation eingesetzt werden. Im Rahmen des wirkungsorientierten Managements ist es ratsam, krisenbelasteten Kommunen, die solche Wirkungen anstreben, zu empfehlen, in digitale Zwillinge zu investieren, sofern die Technologie interne Prozesse optimieren und die Zusammenarbeit mit städtischen Akteuren verbessern kann. Der Fokus sollte eher darauf liegen, interne Verwaltungsprozesse, wie zum Beispiel Stadtplanungsprozesse, zu verbessern, anstatt digitale Zwillinge primär als Partizipationsinstrument zu konzipieren. Die Visualisierungskomponente digitaler Zwillinge kann die Leistungsfähigkeit der Verwaltung in Bezug auf ihre Produkte und Dienstleistungen steigern, bevor die Technologie hauptsächlich dafür verwendet wird, solche Prozesse für die Bürger transparent zu gestalten. Eine weitere relevante Wirkung ist die Planungssicherheit, die durch die Simulationsmöglichkeit von digitalen Zwillingen in Planungsprozessen gewonnen werden kann und zusätzliche Vorteile wie Ressourcenschonung mit sich bringt.

Als Governance-Innovation eignen sich digitale Zwillinge als integriertes Planungsinstrument, das städtische Daten zusammenführt und Datensilos aufbricht. Dadurch können digitale Zwillinge das städtische Datenmanagement unterstützen, indem sie vorhandene Daten vernetzen und nutzbar machen. Dies birgt das Potenzial, weitere Mehrwerte durch datenbasiertes Management zu generieren und somit die Effektivität zu steigern. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zwillingstechnologie zwar auch Partizipation und Nutzerzufriedenheit anstreben sollte, dies jedoch eher begleitende Effekte sind. Die Visualisierung von Daten kann der integrierten, datenbasierten Steuerung von Verwaltungsprozessen folgen, während die Visualisierung zu reinen Partizipationszwecken nicht als die relevanteste Wirkung der Technologie von den Experten eingestuft wird.

Abschließend kann festgestellt werden, dass digitale Zwillinge je nach Einsatz unterschiedliche Wirkungen erzeugen können. So ergeben sich Chancen für vielfältige Anwendungsmöglichkeiten entsprechend individuellen

kommunalen Bedarfen und Strukturen. Risiken bestehen aber dahingehend, Investitionen nicht wirkungsorientiert lenken zu können (FV4). Krisenbelastete Kommunen können sich Innovation als Selbstzweck nicht leisten, insbesondere unter Einsatz öffentlicher Mittel. Je nach Ausgangslage und angestrebten Effekten ist daher wichtig, klar zu definieren, welche Ziele digitale Zwillinge verfolgen sollen. Als Stärke der Technologie kann gewertet werden, dass sie individuell gestaltbar ist und somit mehrere Wirkungen erzielen kann. Um diese Stärke zu nutzen, müssen kommunale Bedarfe und anvisierte Wirkungen ermittelt werden, um diese durch eine wirkungsorientierte Gestaltung digitaler Zwillinge zu erreichen. Für zukünftige Forschung ist es wichtig zu untersuchen, mit welchen konkreten Anwendungsfällen die erwarteten Wirkungen tatsächlich erzielt werden können, die im Rahmen der forschungsleitenden Vermutungen formuliert wurden (FV2, 3, 4). Dieses Kapitel beantwortet die zweite forschungsleitende Frage und liefert einen Beitrag auf diesem neuen Forschungsgebiet, der einer evidenzbasierten Überprüfung bedarf, damit die kommunale Praxis profitieren kann.

5.4 Identifizierte Einflussfaktoren

Dieses Kapitel zielt darauf ab, relevante Rahmenbedingungen für digitale Zwillinge bei Kommunen zu identifizieren und trägt so zur Beantwortung der dritten forschungsleitenden Frage bei. Zunächst werden die theoretisch identifizierten Einflussfaktoren für Innovation im öffentlichen Sektor hinsichtlich digitaler Zwillinge von Kommunen anhand empirischer Einschätzung überprüft, um zu bewerten, inwiefern sie die Etablierung digitaler Zwillinge bei Kommunen beeinflussen können. Anschließend werden die am stärksten gewerteten Faktoren mit denen, die Experten im Rahmen offener Fragen benannten, als positive Einflussfaktoren („Erfolgstreiber“) und negative Einflussfaktoren („Erfolgshemmer“) für digitale Zwillinge bei Kommunen strukturiert.

Gemäß der Experteneinschätzung, die in Anhang 5 als Heatmap veranschaulicht ist, kann der Faktor „Einfache Inbetriebnahme und Verwendung“ digitaler Zwillinge als positivster Einflussfaktor und „mangelnde Ressourcen (Zeit, Geld, Personal, und Information- und Kommunikationstechnologie [IuK]-Infrastruktur)“ als negativster Einflussfaktor für die Etablierung digitaler Zwillinge bei Kommunen identifiziert werden. Die Expertenmeinung streut am stärksten bei „Risikoaversion und Risikovermeidung“, während sie bei „Einfache Inbetriebnahme und Verwendung“ am ehesten übereinstimmt.

Erfolgstreiber von digitalen Zwillingen bei Kommunen

Die Tatsache, dass die einfache Inbetriebnahme und Verwendung digitaler Zwillinge als positivster Erfolgstreiber eingestuft wird kann als Appell an sowohl die Wirtschaft zur Bereitstellung entsprechender Software as a Service (SaaS) als auch an die Verwaltung zur Schaffung von Strukturen verstanden werden, um die Implementierung digitaler Zwillinge für Kommunen zu vereinfachen. Dies könnte durch zentrale Koordinationsstellen oder Rahmenvereinbarungen zur Beschaffung von digitalen Zwillingen gewährleistet werden, ähnlich dem bayerischen Förderprogramm „TwinBy“ (Bayerisches Staatsministerium für Digitales, 2023a). Zudem können eine einfache Inbetriebnahme durch Standards wie DIN SPEC-Projekte und die Verbreitung bewährter Praktiken die Einführungsprozesse in Kommunen unterstützen. Auch könnte die Verwaltung selbst SaaS-Angebote entwickeln und in Innovationslaboren erproben.

Als zweitgrößter Erfolgstreiber wurde die Kreativität von Verwaltungsmitarbeitern hinsichtlich ihrer Risikofreude und Problemlösungsfähigkeit eingestuft. Dies deckt sich mit den Beobachtungen aus der aktuellen Forschung zu Innovationen bei Kommunen, wie in Kapitel 3.2.5 dargestellt, und birgt das Potenzial, digitale Zwillinge durch die Schaffung von Experimentierräumen und Ideenaustausch in der breiten Verwaltungslandschaft voranzubringen. Solche Räume könnten dazu beitragen, eine förderliche Lern- sowie eine tolerante Fehlerkultur zu etablieren, die aufgrund der klassischen Verwaltungsstrukturen nicht von Natur aus vorhanden sind und daher organisatorisch geschaffen werden müssen. Neue Arbeitsmethoden wie agiles Arbeiten, Problemlösungsmethoden wie Design Thinking sowie kreative Projekte und explorative Experimente könnten die Kreativität von Verwaltungsmitarbeitern steigern und so zu Erfolgstreibern für digitale Zwillinge werden. Neuen Arbeitsmethoden wurde zuletzt im Themen Radar 2023 große Bedeutung für die zukunftsfähige Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung beigemessen (ÖFIT, 2023).

Die beschleunigte Erprobung durch bewährte Prototypen wurde als drittgrößter Erfolgstreiber für digitale Zwillinge von Kommunen eingestuft. Dies deutet darauf hin, dass krisenbelastete Kommunen auf bewährte Use Cases und Best Practice-Lösungen angewiesen sind, da ihnen die Ressourcen für langfristige Erprobungen fehlen. Es ist daher wichtig, bewährte Lösungen niederschwellig zu kommunizieren, sodass Kommunen passende Lösungen in einer Art „Zwillings-Store“ für ihre spezifischen Bedarfe ermitteln und anpassen können. Als gutes Beispiel enthält der Smart-City-Wissensspeicher⁵ bereits Fälle zu digitalen Zwillingen, die in eine spezifische Plattform für digitale Zwillinge mit strukturierten Metadaten überführt

⁵ Der Smart-City-Wissensspeicher dient als Informationsquelle für MPSC-Projekte (BMWSB, 2023b).

werden könnten. Die Zusammenarbeit mit der Wissenschaft und Technologiepartnern in einem „Zwillingsinkubator“ könnte dazu beitragen, Entwicklungsprozesse zu beschleunigen und den Nutzen von Use Cases empirisch zu erforschen. Es ist zu beachten, dass bewährte Prototypen eine städtische Datengrundlage fordern, um in den Regelbetrieb überführt zu werden.

Die identifizierten Erfolgstreiber stimmen mit den zuvor ermittelten positiven Einflussfaktoren auf digitale Zwillinge im öffentlichen Sektor überein (vgl. Frage 5.2 in Anhang 1), insbesondere in Bezug auf Erprobungsräume, offene Fehlerkultur und neue Arbeitsmethoden (E1, 0:30:35; E3, 0:44:55; E9, 0:22:15). Als weiteren relevanten Erfolgsfaktor nannten fünf Experten, dass der direkte Nutzen digitaler Zwillinge sichtbar gemacht werden muss, um Bewusstsein und Akzeptanz in der Verwaltung der Bürgerschaft für die Technologie zu schaffen. Bewährte Use Cases könnten dazu beitragen, diesen Nutzen nicht nur empirisch zu überprüfen und in Verwaltungsnetzwerken zu kommunizieren, sondern auch der Bevölkerung transparent zu vermitteln, welchen Mehrwert sie generieren können (E1, 0:30:40; E4, 0:27:12; E6, 0:56:15; E8, 0:26:50; E10, 0:22:15).

Erfolgshemmer von digitalen Zwillingen bei Kommunen

Als größten Erfolgshemmer schätzten die Experten mangelnde Ressourcen (Zeit, Geld, Personal, IuK-Infrastruktur) ein. Dies unterstreicht nicht nur die krisenbelastete Situation deutscher Kommunen, sondern impliziert auch den Bedarf an struktureller Unterstützung in der Etablierung innovativer Technologien wie die der digitalen Zwillinge. Daher sind Förderprogramme notwendig, die nicht mit zu strikten Anforderungen, Zweckbindungen und Laufzeiten ausgestattet sein sollten, damit sie kommunale Bedarfe punktuell treffen und diese langfristig adressieren können (E1, 0:12:29; E4, 0:52:28; E6, 1:08:58). Es wurde betont, dass finanzielle Förderung allein nicht ausreicht und auch personelle Ressourcen in Form von gezieltem Wissenstransfer, Kompetenzaufbau, geförderte Personalstellen oder „Implementierer vor Ort“ benötigt werden (E10, 0:35:07). Um eine fehlende technologische Basis in Kommunen zu überwinden, könnten Bund und Länder in bedarfsorientierte, konsolidierte Lösungen und begleitende Fortbildungsmaßnahmen investieren, die Kommunen niederschwellig beschaffen und umsetzen könnten. Gleichzeitig sollten die jeweiligen Akteure die Netzwerkinfrastruktur und IT-Sicherheitsstandards als Rückgrat der IuK-Infrastruktur stärken, um Kommunen weiter zu unterstützen.

Als zweitgrößter Erfolgshemmer wurde Risikoaversion und -vermeidung identifiziert. Dies steht im Einklang mit dem Befund, dass eine gesteigerte Kreativität der Verwaltungsmitarbeiter Erfolgstreiber für digitale Zwillinge ist und durch einen Perspektivenwechsel der klassischen Verwaltungskultur gefördert werden kann. Dies unterstreicht die Relevanz neuer Arbeits-

methoden, offener Fehlerkultur und agiler Methoden bei der Etablierung digitaler Zwillinge bei Kommunen, wie bereits in Kapitel 3.2.5 formuliert wurde.

Die identifizierten Erfolgshemmer stimmen mit den zuvor ermittelten Hürden für digitale Zwillinge im öffentlichen Sektor überein (vgl. Frage 5.1 Anhang 1), bei denen vor allem mangelnde finanzielle und personelle Ressourcen (E2, 0:18:58; E6, 0:54:07; E9, 0:19:54) und das Mindset von Mitarbeitern hinsichtlich fachübergreifender, projektbasierter und fehlertoleranter Arbeitsmethoden genannt wurden (E1, 0:27:30; E4, 0:23:54; E5, 0:24:28; E9, 0:20:10).

Als dritter Faktor mit einem leicht negativen Einfluss auf digitale Zwillinge wurden demografische Aspekte bewertet. Da diesem Faktor sechs Experten keine Wirkung auf die Etablierung digitaler Zwillinge beigemessen haben, und er mit leicht negativem Ausschlag gleichzeitig als neutralster Einfluss nahe null gewertet wurde, wird dieser Befund so gewertet, dass demografische Aspekte keinen Einfluss haben.

Abschließend ist anzumerken, dass die anderen Faktoren in dieser Arbeit vernachlässigt werden, da ihnen nur wenig Einfluss beigemessen wurde. Die forschungsleitende Vermutung, dass vor allem Einflussfaktoren auf der Organisationsebene die Einführung digitaler Zwillinge bei Kommunen vorantreiben (FV5), konnte von den Experten nicht bestätigt werden. Sie bewerteten die Einflussfaktoren auf der Innovationsebene als diejenigen mit der größten positiven Wirkung auf die Etablierung digitaler Zwillinge bei Kommunen. Da es sich um ein neues Forschungsfeld handelt, sollten die Einflussfaktoren zu einem späteren Entwicklungszeitpunkt empirisch gemessen werden, um Fortschritte auf dem Gebiet wirkungsorientiert zu lenken (FV5, 6).

5.5 Weitere relevante Rahmenbedingungen

Im Rahmen der Interviews wurde festgestellt, dass neben den zuvor identifizierten Einflussfaktoren aus Kapitel 3.1.3 im praxisnahen Kontext weitere Rahmenbedingungen für digitale Zwillinge bei Kommunen relevant sein könnten. Diese nachstehend strukturierten Erkenntnisse tragen nicht nur zur Beantwortung der dritten forschungsleitenden Frage bei und ermöglichen die Identifizierung weiterer Rahmenbedingungen für den Einsatz digitaler Zwillinge bei Kommunen, sondern dienen auch der späteren Ableitung von Handlungsempfehlungen und der Identifizierung weiteren Forschungsbedarfs.

Große Unterschiede zwischen ländlicheren Regionen und Großstädten

Da im ersten Teil der Arbeit festgestellt wurde, dass die meisten Vorhaben von geförderten Kommunen und vereinzelt auch von nicht geförderten Großstädten, allerdings nicht von nicht geförderten kleineren Kommunen, verfolgt werden, wurden Experten nach den Unterschieden in der Verbreitung digitaler Zwillinge zwischen Großstädten und ländlicheren Regionen befragt.

Als häufigster Unterschied wurden finanzielle und personelle Ressourcen genannt. In kleineren Kommunen sind diese aufgrund der dargestellten kommunalen Einnahmenstrukturen meist geringer im Vergleich zu Großstädten und stehen daher begrenzt für Innovationsinvestitionen und deren Umsetzung bereit (E3, 0:57:46; E4, 0:42:25; E5, 0:40:20; E10, 0:34:15). Es wurden auch unterschiedliche Bedarfe an digitalen Zwillingen aufgrund divergierender Aufgabenstrukturen und Herausforderungen genannt. Ländlichere Kommunen haben „oft nicht die Probleme, die Großstädte haben, da auf dem Land nicht so oft ein 30-stöckiges Hochhaus gebaut wird und auch der Nahverkehr sich in anderen Dimensionen [abspielt]“ (E7, 0:24:27). Stattdessen könnten in ländlicheren Regionen andere Fragestellungen relevant sein, wie zum Beispiel: „Wie viele Waldbrände haben wir eigentlich in unserem Gebiet?“ (E9, 0:38:32). Darüber hinaus wurde vermutet, dass in kleineren Gebieten weniger Datenplattformen und Datenstrukturen insgesamt vorhanden sind, die für die Zwillingstechnologie erforderlich sind (E9, 0:38:00). Die empirischen Daten bestätigen den Eindruck aus der einschlägigen kommunalen Literatur und der wissenschaftlichen Forschung, dass Städte mit Smart City-Förderung bereits über Technologien verfügen, auf denen digitale Zwillinge aufbauen können, und dass diese Städte sowie Großstädte häufiger über finanzielle und personelle Ressourcen für die Umsetzung digitaler Zwillinge verfügen.

Um diese strukturellen Unterschiede zu überwinden und die Potenziale digitaler Zwillinge auch bei kleineren Kommunen in ländlicheren Gebieten zu nutzen, schlugen Experten folgendes vor: Erstens sollten sich Kommunen in ländlicheren Regionen sowohl untereinander als auch mit Großstädten zusammenschließen, da „alle Themenfelder des digitalen Zwillinges wie Mobilität, Wetter, und Umwelt nicht an der Stadtgrenze enden“ (E5, 0:40:58) und das Thema für „digitale Zwillinge zu komplex und zu teuer ist, um sie für den ländlichen Raum nutzbar zu machen“ (E5, 0:43:10). Außerdem sollten ländlichere Gebiete von georeferenzierten Datengrundlagen größerer Zwillingprojekte, wie zum Beispiel dem „Digitalen Deutschland-

zwilling“⁶, profitieren können, indem sie die Daten im ländlicheren Raum nutzbar machen (E9, 0:40:03; E10, 0:33:00). Als aktuelles Praxisbeispiel kann die „Smart Region Apfeldorf, Unterdiesen und Fuchstal“ genannt werden, in der ein digitaler Zwilling als Planungsmodul und für Sozial- und Klimaschutzthemen kommunenübergreifend eingesetzt wird (Kommune 21, 2023a). Zweitens sollten günstige und standardisierte Angebote für kleinere Kommunen bereitgestellt werden, die durch Bund und Länder gefördert werden, um flächendeckende Datenvernetzung zu ermöglichen (E1, 0:49:00; E2, 0:24:45; E3, 0:58:53). Drittens sollte es gezielten Wissenstransfer zwischen größeren und kleineren Kommunen geben, vor allem im Hinblick auf skalierbare Use Cases und Datenexpertise, von denen auch kleine Kommunen profitieren (E7, 0:25:25).

Kooperation mit städtischen Akteuren

Experten sind der Meinung, dass die Zusammenarbeit zwischen Kommunen und der lokalen Stadtwirtschaft ein großes Potenzial mit sich bringt, Synergien zu nutzen. Die gemeinsame Nutzung eines Datenschatzes kann eine integrierte Planung, Steuerung und Monitoring des Stadtgebiets ermöglichen, die fach- und hausübergreifend ist. Dies hat nicht nur zur Folge, dass nicht mehrere Zwillinge für eine Stadt entwickelt und dasselbe Datenmaterial von verschiedenen Stellen erhoben wird. Außerdem erweitert die Zusammenarbeit die Perspektive auf Planungsfragen und Zusammenhänge, die intern nicht berücksichtigt werden würden (E6, 1:02:10; E7, 0:27:03). Ein Beispiel für die Zusammenarbeit zwischen der Kernverwaltung in Hamburg und der Hamburg Port Authority zeigt, dass diese „als teilöffentliches Unternehmen andere Fragestellungen aber auch Datensätze zur Hafenwirtschaft und zu Logistik- und Infrastrukturthemen haben, die einen großen Mehrwert für die unterschiedlichen Akteursgruppen darstellen“ (E9, 0:42:35). Ein Shared Data Center ermöglicht nicht nur die gemeinsame Erhebung und Nutzung städtischer Daten, sondern auch den Austausch von Datenkompetenzen, wobei städtische Konzerne mit ihren flexibleren Strukturen möglicherweise auch attraktiver auf Fachkräfte wirken (E5, 0:44:40). Dahingehend können Stadtwerke mit ihren Datenkompetenzen und Strukturen als „städtische Innovationskammern“ (E2, 0:27:00) und „Impulsgeber“ (E10, 0:22:22, 0:36:28) wirken, die digitale Zwillinge in Kernverwaltungen antreiben.

Bedarfsgerechte Inbetriebnahme digitaler Zwillinge

Die Experten haben unterschiedliche Meinungen darüber, wo digitale Zwillinge betrieben werden können (vgl. Frage 6.5, Anhang 1). Die meisten

⁶ Das Projekt „Digitaler Zwilling Deutschland“ läuft federführend beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie bis Dezember 2026 (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2023).

empfehlen den Betrieb in einem regionalen Rechenzentrum, um Synergieeffekte zu nutzen und Kosten zu sparen (E1, 0:54:04; E4, 45:30; E6, 1:04:20; E7, 0:28:07). Während der eigene Betrieb bei Großstädten möglich ist, würde dies einen „hohen Aufwand und wenig Synergieeffekte bedeuten“ (E7, 0:28:10). Aus technischer Sicht könnte ein zentrales Rechenzentrum für digitale Zwillinge auf Bundes- oder Landesebene hinsichtlich der Rechenleistung großen Sinn machen, sobald die technischen Fortschritte zur Echtzeit-Datenübertragung vorliegen (E3, 1:01:50; E5, 0:47:00). Es könnte eine Unterscheidung dahingehend getroffen werden, inwieweit die Infrastruktur zentral betrieben werden kann, während der Betrieb der digitalen Zwillinge selbst oder im Einsatz bei kritischen Bereichen bei der jeweiligen Kommune liegen sollte, da dort die Datenkompetenz für die städtischen Daten vorhanden ist (E4, 0:45:09; E3,1:01:40). Ob der Betrieb vorrangig bei öffentlichen oder privaten Anbietern erfolgen sollte, wurde nicht eindeutig empfohlen oder ausgeschlossen. Dies hängt unter anderem von den Kosten ab. Daher sollten Kommunen bedarfsgerechte Lösungen für sich bestimmen, wobei Datensouveränität und ein gewisser Sicherheitsstandard gewährleistet sein müssen (E3, 1:01:38; E9, 0:43:20; E10, 0:37:20). Es scheint sinnvoll, zentrale Lösungen anzubieten, um Kommunen bedarfsgerechte Entscheidungen ohne verbindliche Vorgaben zur Nutzung zu ermöglichen.

Open Data und Open Source als Motor

Die Experten stellten fest, dass in besondere kleinere Kommunen über geringere Datenbestände verfügen, auf denen digitale Zwillinge aktuell nicht aufsetzen können. Das MPSC-Projekt hat sich als gute Praxis erwiesen, da durch Open Source-Anforderungen auch nicht geförderte Kommunen profitieren können. Daher besteht Potenzial, Open Source-Lösungen auch für digitale Zwillinge zu fördern. Zudem können Open Data im Rahmen größerer Formate wie dem „Deutschlandzwilling“ oder durch kommunale Kooperationen dazu beitragen, Datenbestände zu erweitern und kleinere Kommunen zu unterstützen. Von manchen Experten wurde kritisiert, dass Open Source-Verpflichtung bei geförderten Kommunen dazu führen kann, dass vorhandene Datenbestände nicht genutzt werden können, da sie sich aufgrund fehlender Anforderungen nicht für Förderprojekte qualifizieren (E4, 0:52:36). Nicht qualifizierte Datenbestände sollten in Zukunft daher nicht grundsätzlich von Förderungen ausgeschlossen werden. Stattdessen sollten Anreize geschaffen werden, Open Source-Lösungen zu etablieren und vermehrt Open Data für andere Kommunen zugänglich zu machen, sofern es sich nicht um personenbezogene, unternehmerische, sensible oder kritische Daten handelt (E7, 0:27:08). Mit diesen Erkenntnissen wird die dritte forschungsleitende Frage beantwortet. Im nächsten Kapitel sollen die bisherigen empirischen Befunde um weitere Daten aus einem praxisnahen Use Case im Mobilitätsbereich bei einer deutschen Kommune ergänzt werden.

6 Use Case: Ein Mobilitätswilling für die Stadt Friedrichshafen

6.1 Vorgehensweise zur Erstellung des Use Cases

Im Design-Cycle wird das Artefakt im realen kommunalen Kontext untersucht und evaluiert. Um das Kosten-Nutzen-Verhältnis, die praktische Umsetzbarkeit und weitere Rahmenbedingungen zur Schaffung eines digitalen Zwillings praxisnah zu ermitteln, und die bestehende Forschungslücke auf diesem Gebiet mit einem Anwendungsfall für mittelgroße deutsche Kommunen zu schließen, wurde der Testfall „Ein digitaler Mobilitätswilling (DMZ) für Friedrichshafen“ gewählt. Der Use Case erarbeitet explorativ mit städtischen Akteuren die fiktive Weiterentwicklung aktueller Mobilitätsdatenbestände zum DMZ, um anhand des Anwendungsfalles ein Entscheidungsmodell für deutsche Kommunen abzuleiten und weitere Forschungsbedarfe auf dem neuen Forschungsgebiet aufzuzeigen.

Der Use Case wurde in fünf Schritten angelehnt an das Verfahren von D’Hauwers et al. (2022) und einer methodischen Anwendungshilfe für Use Cases erarbeitet (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2020; D’Hauwers et al., 2022):

Schritt 1: Identifizierung der Akteure

Bei der Implementierung eines DMZ in Friedrichshafen könnten sowohl das Amt für Digitalisierung der Stadt Friedrichshafen als strategischer Experte für städtisches Datenmanagement als auch die städtische Abteilung für Mobilität und Verkehr als organisatorischer Experte geeignet sein, um Auswirkungen des DMZ auf die interne Aufgabenerledigung und den Ressourceneinsatz in der konkreten Arbeitsumgebung zu identifizieren. Da in Friedrichshafen Mobilitätsdaten auch im Rahmen des Projekts „Automatisiertes und vernetztes Fahren in der Logistik am Testfeld Friedrichshafen (ALFRIED)“⁷ erhoben werden, wird die technologische Expertise vor dem Hintergrund etwaiger Synergienutzung miteinbezogen. Weitere relevante Akteure könnten politische Entscheidungsträger, Stadtplanungsämter, Unternehmen und Bürger sein. Da es sich allerdings um einen fiktiven Fall handelt, wurde sich zur Ermittlung grundlegender Entscheidungsfaktoren auf benannten Perspektiven, beschränkt.

⁷ ALFRIED ist ein seit 2021 vom BMDV gefördertes Projekt am Testfeld Friedrichshafen mit dem Ziel der Weiterentwicklung des komplexen Mobilitätssystems der Stadt (IWT Wirtschaft und Technik GmbH (2023).

Schritt 2: Beschreibung des Kontextes

Die Anwendung digitaler Technologien erfordert vor dem Hintergrund vieler potenzieller Anwendungsmöglichkeiten, vorliegender Strukturen und zu lösender Problemstellungen eine präzise und optimierte Kombination aus Mehrwert, Mitteleinsatz und Erfolgswahrscheinlichkeit (Fraunhofer IAO, 2022). In diesem Zusammenhang wird in dieser Arbeit ein Use Case zur Schaffung eines DMZ für die Stadt Friedrichshafen analysiert, der Mobilitätsdatenbestände mit weiteren städtischen Daten zusammenführen und Simulationen und Vorhersagen über das Verkehrsgeschehen der Stadt treffen soll. Der Anwendungsfall ist prädestiniert, um das Kosten-Nutzen-Verhältnis übertragbar auf andere Kommunen zu ermitteln, da bereits Grundstrukturen für die Erstellung eines DMZ existieren, die auch in vergleichbaren deutschen Kommunen vorliegen. Überdies weist der Use Case eine hohe Praxisrelevanz für Friedrichshafen auf, da die Stadt mit circa 100 000 täglichen Einpendlern als erfolgreicher Wirtschaftsstandort gilt und mit saisonalen Tourismusströmen ein effektives Verkehrsmanagement erfordert (Stadt Friedrichshafen, 2023a). Das Ziel des DMZ besteht darin, das Verkehrsmanagement in Friedrichshafen datenbasiert und wirkungsorientiert unter Einsparung von Ressourcen zu optimieren, insbesondere vor dem Hintergrund aktueller Herausforderungen, denen krisenbelastete Kommunen wie die Stadt Friedrichshafen gegenüberstehen.

Schritt 3: Hauptziel des Use Cases

Das Hauptziel des Use Cases ist die fiktive Entwicklung eines DMZ für die Stadt Friedrichshafen, um im ersten Schritt Anwendungsfälle zu entwickeln, im zweiten Schritt das Kosten-Nutzen-Verhältnis auf der Grundlage aktueller Informationen zu ermitteln und abschließend die praktische Umsetzbarkeit zu analysieren.

Schritt 4: Beschreibung der Datenerhebung

Um das Ziel des Use Cases zu erreichen, wurden fachspezifische Fragen nach der perspektivenorientierten Methode von Fraunhofer IAO formuliert (Fraunhofer IAO, 2021b). In diesem Zusammenhang wurden dem Amt für Digitalisierung der Stadt Friedrichshafen Fragen zur datenorientierten Perspektive, der Projektleitung von ALFRIED Fragen zur technischen Perspektive und der Abteilungsleitung Mobilität und Verkehr der Stadt Friedrichshafen Fragen zur organisatorischen Perspektive vorgelegt, die in Anhang 7 abgebildet sind. Um eine größtmögliche Kreativität bei der Beantwortung der Fragen zu gewährleisten, wurden offene Interviews geführt, bei denen der Fragenkatalog unterstützend zur Ideenfindung diente. Die Gespräche fanden in der 18. Kalenderwoche im Jahr 2023 im Umfang von jeweils circa 60 Minuten statt.

Schritt 5: Beschreibung der Ergebnisse

Das nachstehende Kapitel bereitet die Ergebnisse der geführten Gespräche kanonisiert auf. Dabei werden die Ergebnisse in Bezug auf das Erkenntnisinteresse dieses Use Cases strukturiert ausformuliert. Die Experten wurden im Vorfeld der Gespräche darüber informiert, dass ihre Aussagen nicht auf sie zurückgeführt werden können, um möglichst präzises Detailwissen abzurufen. Des Weiteren wurden die Ergebnisse hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Analyse und der Umsetzbarkeitsanalyse eines DMZ für die Stadt Friedrichshafen strukturiert dargestellt, analysiert und bewertet. Sofern nicht durch anderweitige Quellen gekennzeichnet, stützt sich die nachfolgende Auswertung ausschließlich auf die Aussagen der Experten.

6.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Das Verfahren der Kosten-Nutzen-Analyse wird in der öffentlichen Verwaltung überwiegend zur Bewertung wirtschaftlicher Entscheidungskriterien herangezogen, um den zukünftigen Mehrwert von Investitionsleistungen, basierend auf gegenwärtigen Kosten und Nutzwerten eines Projekts zu ermitteln und Alternativszenarien strategisch zu vergleichen zu können (Müller-Stewens, 2023). Die Ermittlung der monetären Aufwendungen (Kosten) und nicht monetären Aufwendungen orientiert sich am „Konzept zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Bundesverwaltung, insbesondere im Einsatz der IT (WiBe 5.0)“ der Bundesregierung Deutschland (Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik, 2014). Das Ergebnis umfasst neben der Kosten-Nutzen-Analyse und der Umsetzbarkeitsanalyse sechs Anwendungsfälle für einen DMZ in Friedrichshafen, eine Bestandsaufnahme der Mobilitätsdateninfrastruktur sowie weitere identifizierte Rahmenbedingungen.

Ermittlung der Kosten:

Anhang 6 verdeutlicht die relevanten und ermittelten Kostenstellen eines DMZ.

Ermittlung sonstiger Aufwendungen:

Weitere Aufwendungen wirken sich nicht direkt als finanzielle Kosten aus, binden aber personelle, zeitliche und natürliche Ressourcen. Dazu zählt die Schaffung einer erforderlichen Governance für die Zwillingstechnologie, die interne und externe Kommunikation zur Schaffung von Akzeptanz, die Anpassung interner Prozesse, das Datenmanagement, um den DMZ mit aktuellen und bereinigten Daten zu speisen, sowie die Konzeption eines Risikomanagements bezogen auf den DMZ (Maresco, 2023; McKinsey & Company, 2022a; Roest, 2021).

Ermittlung des Nutzens:

Zur Ermittlung des Nutzens eines DMZ werden zunächst Anwendungsfälle im kommunalen Umfeld konstruiert, um eine mögliche Unterstützung durch den Einsatz eines DMZ in der Aufgabenerledigung quantifizieren zu können. Anschließend werden weitere Mehrwerte eines DMZ für Friedrichshafen ermittelt.

Ein DMZ in Friedrichshafen eignet sich für sechs Anwendungsfälle: Erstens, die Simulation von Verkehrsflüssen zur Optimierung der Verkehrsführung im Normalzustand und bei anlassbezogener Verkehrsleitung wie zum Beispiel bei Großveranstaltungen, Messen und Baustellen (sog. Baustellenmanagement). Zweitens, die Echtzeitmessung und Simulation zur Optimierung des Parkraummanagements. Drittens, das Echtzeitmonitoring zur digitalen Spiegelung des Straßen- und Beschilderungszustands, um beispielsweise auf Schlaglöcher mit Geschwindigkeitsdrosselung oder veränderter Ampelschaltung zeitnah reagieren zu können. Viertens, die integrierte Simulation von abteilungs- und hausübergreifenden Planungsvorhaben unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskennzahlen (beispielsweise zur Abgasreduktion oder Lärmvermeidung). Fünftens, die Visualisierung von Planungsvorhaben zur transparenten Entscheidungsfindung im Gemeinderat sowie sechstens, die Visualisierung von Planungsvorhaben und Baustellenmonitoring in Echtzeit als zusätzliche, transparente Dienstleistung für die Bürgerschaft (Mohl, 2023).

Für die Abteilung Mobilität und Verkehr mit 11,6 Vollzeitäquivalenten (VZÄ) könnte sich aus den sechs Anwendungsfällen ein organisatorischer Nutzen ergeben, der sich in veränderter Aufgabenerledigung und der Einsparung von 1,5 VZÄ auswirkt. Für die Erledigung der Pflichtaufgabe des Verkehrsmanagements werden wöchentlich 1,5 VZÄ für lokale Überwachungen und Kontrollen von Straßen- und Beschilderungszuständen abgestellt, die – durch Nachfragen des Gemeinderates und der Bürgerschaft oder pflichtigen Baustellenabnahmen ausgelöst – und vor- und nachbereitet werden. Die technologischen Fähigkeiten bieten die Möglichkeit, diese Ressourcen anderweitig einzusetzen. Für die entfallenden Ausfahrten können Kosten zur Nutzung eines strombetriebenen Automobils eingespart werden. Darüber hinaus könnte die Beauftragung externer Ingenieurbüros zur datenbasierten Ermittlung von Verkehrsflüssen entfallen. Basierend auf den Mobilitätsdaten könnte ein DMZ mit Ausprägung im fünften Reifegrad automatisierte Entscheidungen über Baustellen- und Umleitungsmaßnahmen treffen, die nur noch personell zu überprüfen sind, wodurch zeitliche Ressourcen in der Aufgabenerledigung und Behebung von Fehlentscheidungen reduziert würden. Ein weiterer Nutzen ergibt sich aus der zentralen Abbildung in einem DMZ, wodurch interne Informationsflüsse verbessert und

zeitintensive abteilungsübergreifende Kommunikation durch ein integriertes Planungsinstrument vermindert werden könnten.

Die sechs Anwendungsfälle können einen übergeordneten Nutzen bewirken, der über die organisatorische Perspektive hinausgeht. Eine Zusammenführung verschiedener städtischer (Mobilitäts-)Daten ermöglicht es, dem Gemeinderat strategische Entscheidungsfälle datenbasiert, transparent und visualisiert darzulegen. Datenbasierte Entscheidungsgrundlagen könnten auch die städtische Verkehrsinfrastruktur optimieren. Eine Optimierung von Infrastruktur und Verkehrsströmen würde sich für die Bürger in erhöhter Verkehrssicherheit und Zeitersparnis abzeichnen. Zusätzliche Verkehrsangebote könnten durch die effektivere Nutzung und Gestaltung von Verkehrsknotenpunkten im Stadtgebiet platziert werden, die transparente und nachhaltige Mobilitätsangebote für die Bürger erzeugen. Am Beispiel der Kieler Mobilitätsplattform können durch DMZ verschiedene Mobilitätsangebote in Echtzeit zusammengeführt und sichtbar gestaltet werden (KielRegion GmbH, 2023). Das Angebot könnte um lukrative autonome Ride-Pooling-Systeme, die zum Beispiel in München auf Basis eines digitalen Zwillings erprobt werden, ergänzt werden und so Anreize schaffen, nachhaltigere Mobilitätsangebote auszuwählen (BMDV, 2023). Die Möglichkeit zur Visualisierung und Simulation verschiedener Nachhaltigkeitsmaßnahmen und Identifikation von nicht personenbezogenen Energieverbrauchsmustern könnte die Akzeptanz der Bürger und ihr Bewusstsein für nachhaltigeres und energiesparsameres (Mobilitäts-)Verhalten insgesamt stärken. Die Datengrundlage bietet auch Mehrwerte für wissenschaftliche Forschung und lokale unternehmerische Entwicklungen. Verkehrsstromsimulation ermöglicht die Erprobung verkehrlicher Maßnahmen zur Katastrophenvorsorge bei Überschwemmungen, Menschenmassensammlungen oder terroristischen Angriffen, um die Sicherheit der Bevölkerung zu steigern. Zuletzt dient der DMZ als Grundinfrastruktur für zukünftiges autonomes Fahren in Friedrichshafen und erfüllt europäische Verpflichtungen⁸, die Verkehrsbehörden zur Bereitstellung von Mobilitätsdaten, insbesondere zur Informationsversorgung von Reisenden, auferlegt wurden (BDMV, 2019, 2023; IWT Wirtschaft und Technik GmbH, 2023).

Ergebnisbetrachtung Kosten-Nutzen-Analyse:

Um den Übergang vom fiktiven Design eines DMZ in die tatsächliche Entwicklung umzusetzen, müsste eine Entscheidung bezüglich der Realisierung getroffen werden. Diese Entscheidung wird in der Wirtschaft meist mithilfe von Rol-Betrachtungen getroffen (Maresco, 2023; Savian, 2022).

⁸ Die delegierte Verordnung (EU) 2017/1926 verpflichtet Verkehrsbehörden, Mobilitätsdaten über einen Nationalen Zugangspunkt, in Deutschland Mobilitätsdatenmarkt, zugänglich zu machen (BMDV, 2019).

Aufgrund der volatilen Preislage, anbieterabhängigen Kosten und lückenhafter Informationen fehlen der Analyse genaue Kennzahlen für bestimmte Kostenpositionen wie die Kosten für Sensoren, DMZ-Software, Host- und Server, Arbeitsplatzrechner und externe Unterstützung sowie laufende Softwarekosten (vgl. Anhang 6). Einige Einsparungspotenziale können auf Basis von Erfahrungswissen quantifiziert werden, jedoch erfordern einige Kriterien des übergeordneten Nutzens, wie zum Beispiel gesteigerte Verkehrssicherheit und erhöhte Transparenz, naturgemäß eine wissenschaftliche Quantifizierung. Derartige qualitative Nutzenkriterien im Umfeld der öffentlichen Verwaltung können im Rahmen einer SRoI-Analyse zur internen Entscheidungsfindung miteinbezogen werden. Das Verfahren sieht eine Quantifizierung von qualitativen Kriterien vor, deren Gewichtung kommunenspezifisch vor dem Hintergrund der jeweiligen politischen Interessenlage, vorhandener Ressourcen und konkurrierender Investitionen zu wählen ist. Die genannten Positionen dienen als Vorlage für interne Bewertungen und können in eine modifizierte SRoI-Formel, wie in Abbildung 3 veranschaulicht, nach kommunenspezifischer Gewichtung integriert werden, um Entscheidungen über DMZ für Kommunen greifbarer zu gestalten (Volker, Schober, Rauscher & Kehl, 2017):

$$\text{Social Return on Investment (SRoI)} = \frac{\text{Aufwendungen}}{\text{Nutzen nach kommunenspezifischen Kennzahlen}}$$

Abbildung 3: SRoI-Formel (Eigene Darstellung)

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse ist wichtig zu betonen, dass der identifizierte Nutzen zunächst vor allem in interner und externer öffentlicher Wertschöpfung resultiert und sich nicht direkt finanziell ausdrückt. Im Gegensatz dazu können Investitionskosten für die Beschaffung sowie Fixkosten für den dauerhaften Betrieb von vorneherein monetär erfasst werden (D’Hauwers et al., 2022). Einige der Kosten, wie zum Beispiel die Schaffung einer Governance für den DMZ oder der Aufbau personeller Expertise, fallen einmalig bei der Erstkonzeption eines digitalen Zwillings an, können aber bei weiteren Zwillingsvorhaben in der Stadt wiederverwendet werden. Langfristig wird sich das Kostenmodell mit der Etablierung von Strukturen und der Zunahme der Datenaggregation umkehren, sofern Dateninfrastrukturen wie ein DMZ oder urbane Datenplattformen für die kommunale Aufgabenerledigung langfristig in Friedrichshafen eingesetzt werden. Es liegt in der Verantwortung der Stadt, den qualitativen Mehrwerten eine kommunenspezifische Gewichtung zuzuschreiben, und sie in SRoI-Kalkulationen den quantifizierten Aufwendungen gegenüberzustellen.

6.3 Umsetzbarkeitsanalyse

Diese Analyse untersucht die praktische Umsetzbarkeit eines DMZ in Friedrichshafen. Dabei wird die praktische Implementierung unter Berücksichtigung aktueller Chancen und Herausforderungen bewertet.

Grundsätzlich bietet sich der Mobilitätsbereich aufgrund existierender Datenbestände und im Rahmen des ALFRIED-Projekts erprobter Messstrukturen an, um die Zwillingstechnologie in der Stadt Friedrichshafen real zu prüfen. Entgegen der Annahme, die bestehende ALFRIED-Infrastruktur könnte zur Schaffung eines DMZ dienlich sein, ist die Nutzung von Synergien mit dem ALFRIED-Projekt aufgrund zweckgebundener Fördermittel kurzfristig nicht realisierbar. Nach Abschluss des Projekts könnten jedoch Förderprojekte anvisiert werden, die eine Zusammenarbeit mit der Stadt Friedrichshafen zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur ermöglichen. Die Erkenntnisse aus der ALFRIED-Projektumgebung könnten bereits zum jetzigen Zeitpunkt für eine Realisierung des DMZ dienlich sein. Es wird vorgeschlagen, eine Machbarkeitsprüfung als Proof of Concept (PoC) durchzuführen, um zu untersuchen, ob die konzeptionell angenommenen Anwendungsfelder auch praktisch umsetzbar sind und den angenommenen Nutzen anhand von kennzahlenbasiert im Rahmen von empirischen Forschungsmethoden, wie zum Beispiel sozialwissenschaftliche Experimente, zu messen. Es bietet sich aufgrund der hohen Kosten für IoT-Infrastruktur an, den DMZ zunächst modular an Points of Interest (PoI) zu erproben, um die gewonnenen Erkenntnisse als Entscheidungsgrundlage über weitere Anwendungsfälle zu nutzen. Die Erkenntnisse der modularen Erprobung könnten mit kommunenspezifischen quantifizierten Nutzwerten einer SRoI-Kalkulation zugeführt werden und als Entscheidungsgrundlage für den Weiterbetrieb oder die Ausweitung des DMZ dienen. Es könnte sich kostensparend auswirken, die Software für den DMZ vom gleichen Anbieter zu beziehen, der sich für die Entwicklung einer urbanen Datenplattform qualifiziert (Roest, 2021).

Es ist fraglich, ob die derzeitigen Datenbestände den Anforderungen eines DMZ im Einsatz bei den anvisierten Anwendungsfeldern genügen, oder ob eine urbane Datenplattform grundsätzlich erforderlich ist. Derzeit liegen Datenbestände über Parkhäuserauslastung, Baustellenbearbeitung, und Maßnahmenplanung isoliert in Fachanwendungen vor, die zentral in den DMZ überführt werden könnten. Dies scheint nicht ausreichend, um die sechs antizipierten Anwendungsfälle zu realisieren. Geplant ist eine Parkraumdatenerhebung sowie eine Passagierfrequenzmessung in Friedrichshafen, die den Mobilitätsdatenbestand ergänzen. Der DMZ könnte jedoch als strategisches Ziel dem Zweck dienen, Datensilos aufzubrechen. In Bezug auf die zu realisierenden Anwendungsfälle ist in einem weiteren Schritt zielgerichtet zu ermitteln, welche weiteren relevanten Daten (Wetterdaten,

Wasserdaten et cetera) zu erheben und in den DMZ zu integrieren sind. Eine urbane Datenplattform ist als standardisierte Datengrundlage für den DMZ zwar dienlich, jedoch nicht erforderlich (Schonowski, 2023). Mangels Datengrundlage scheint die praktische Umsetzung des DMZ zum jetzigen Zeitpunkt nicht realisierbar, mittel- bis langfristig könnte der DMZ jedoch ein dienliches Instrument für die städtische Dateninfrastruktur sein und städtische Mobilitätsdaten durch die Zwillingstechnologie nutzbar machen. Dies scheint vor dem Hintergrund wachsender Datenbestände realistisch und strategisch sinnvoll. Mit dieser Grundlage könnten bereits jetzt Vorschläge im Gemeinderat und mit der Verwaltungsspitze diskutiert werden, um zu ermitteln, ob ein DMZ in Einsatz bei den vorgeschlagenen Anwendungsfeldern dem bürgerlichen Willen und kommunalspezifischen (politischen) Anforderungen entspricht, um eine einheitliche Zielsetzung zu formulieren. Darauf aufbauend ist mit weiteren städtischen Akteuren wie den Stadtwerken zu ermitteln, welche für die Anwendungsfälle relevanten Datenbestände vorliegen oder durch zusätzliche IoT-Infrastruktur zu erheben sind. Für eine Überführung des DMZ in den Echtbetrieb ist frühzeitig eine Governance zu Datenschutz und IT-Sicherheitsstrukturen sowie ein DMZ spezifisches Risikomanagement zu schaffen. Da die Verwendung von Mobilitätsdaten auf der Mikromobilitätsebene und deren regulatorische Einbettung in städtische Vorschriften komplex ist, bedarf dies einer gründlichen Vorarbeit (Papyshv & Yarime, 2021).

6.4 Praktische Implikationen und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Insgesamt zeigt der Use Case, dass die Übertragung der Ergebnisse auf andere Kommunen und Anwendungsbereiche herausfordernd sein kann, da kommunale Bedarfe, Strukturen und Datenbestände differieren. Nichtsdestotrotz kann der Use Case anderen Kommunen als Vorlage dienen, um ein Kosten-Nutzen-Verhältnis zu antizipieren und die genannten Kostenstellen mit realen und kommunenspezifischen Kennzahlen einer SRoI-Kalkulation zuzuführen. Der Use Case bietet eine analytische Bestandsaufnahme für einen DMZ in Friedrichshafen, indem er die organisatorische, technische und datenbasierte Perspektive zusammenführt. Diese Perspektiven sollten in offenen Gesprächsformaten mit weiteren städtischen Interessengruppen wie den Stadtwerken zusammengeführt werden, um weitere Synergien identifizieren und konkrete Anwendungsfälle bewerten zu können. Eine kennzahlenbasierte SRoI-Analyse sollte bereits jetzt Entscheidungsträgern vorgelegt werden, da eine Umsetzung des DMZ mittelfristig realistisch scheint, sofern jetzt Grundlagen geschaffen werden, um in den DMZ als Baustein städtischer Dateninfrastruktur und als Instrument zur Datennutzbarmachung zu investieren.

6.5 Entwicklung eines Entscheidungsmodells für Kommunen

Die Erkenntnisse des Use Cases und der qualitativen Inhaltsanalyse können in einem systematischen Entscheidungsmodell zusammengeführt werden (vgl. Anhang 8). Das Modell verfolgt das Ziel, Kommunen bei wirkungsorientierten Investitionsentscheidungen im Kontext digitaler Zwillinge zu unterstützen. Es fasst daher die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit zusammen und ergänzt diese um weitere relevante Entscheidungsdeterminanten, die in den Interviews genannt wurden (vgl. Frage 7.1, 7.2 und 7.3 in Anhang 1). Um die wirkungsorientierte Entscheidungsfindung für Kommunen im Kontext digitaler Zwillinge zu unterstützen, werden im ersten Schritt mögliche anvisierte Wirkungen abgefragt, und auf deren Basis nach innovationstheoretischer Ableitung der Wirkbeziehung eine Innovationsdimension zur Ausgestaltung der Zwillingstechnologie empfohlen. Das Modell in Anhang 8 veranschaulicht auf der ersten Ebene, dass digitale Zwillinge mehrere Ziele gleichzeitig verfolgen können, was auf deren Stärke durch die Kombination verschiedener komplexer Technologien zurückzuführen ist. Auf der zweiten Ebene wird ein Prozess vorgeschlagen, der sich an dem Use Case dieser Arbeit orientiert. Einer ersten Bestandsaufnahme folgen im Rahmen einer SROI-Analyse die Gegenüberstellung von ermittelten Kosten und kommunenspezifisch gewichtete Nutzenkriterien, so wie in Kapitel 6.2 dargestellt. Die Ergebnisse sollten sowohl kommunalen Entscheidungsträgern als auch Bürgern präsentiert werden und dabei die weiteren empirisch ermittelten Entscheidungsdeterminanten berücksichtigen. Bei positiver Entscheidung sollte die Technologie im Rahmen eines PoC erprobt, regelmäßig evaluiert und weiterentwickelt werden, bevor sie auf weitere Anwendungsbereiche durch Technologieausbau übertragen wird. Als letzter Schritt wird dauerhafter Wissenstransfer benannt, um andere Kommunen von Erkenntnissen und Best Practices profitieren zu lassen und Branchenwissen sowie weitere Anwendungsfälle in die kommunale Fläche zu tragen. Auf der dritten Ebene werden identifizierte Erfolgstreiber und Erfolgshemmer sowie weitere relevante Rahmenbedingungen genannt, die gezielt zur Steuerung bei der Implementierung digitaler Zwillinge eingesetzt werden können.

Die Entscheidungshilfe behandelt ausschließlich Investitionsfragen zu digitalen Zwillingen und lässt Fragen wie zum Beispiel zur Eignung alternativer Technologien zur Zielerreichung außer Acht. Die Entscheidungshilfe sowie die Kostenstellen für digitale Zwillinge dienen als Vorlage für Kommunen, um sie bei der Entscheidungsfindung über Investitionen in digitale Zwillinge zu unterstützen. Damit leisten sie einen zusätzlichen praktischen Beitrag in dieser Masterarbeit.

7 Resultierende Handlungsempfehlungen

Diese Arbeit analysiert Chancen und Herausforderungen von Einsatzbereichen, Veränderungspotenzialen und Rahmenbedingungen für digitale Zwillinge bei Kommunen. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen, werden im Folgenden konkrete Handlungsempfehlungen formuliert, um die Potenziale der Zwillingstechnologie unter Berücksichtigung der identifizierten Erfolgsfaktoren vollends auszuschöpfen.

1. Innovative Räume für kommunale Testfelder kreieren

Um fundierte Entscheidungsgrundlagen für die zielgerichtete Gestaltung von digitalen Zwillingen in Kommunen zu schaffen und die tatsächlichen lokalen Bedürfnisse zu ermitteln, empfiehlt es sich, die Technologie projektbasiert in Innovationslaboren oder als PoC zu erproben. Durch anwendungsorientierte Use Cases könnte ermittelt werden, inwieweit vorhandene Datenbestände genutzt werden können, welchen weiteren Aufwand es bedarf, um die anvisierten Ziele zu erreichen und welcher konkrete Nutzen kennzahlenbasiert erreicht werden kann. Städtische Innovationswettbewerbe und -labore haben sich als wesentlicher Erfolgsfaktor erwiesen, da sie den Austausch zwischen städtischen Akteuren ermöglichen und so die Zusammenführung von Datenbeständen und Fachkenntnissen unterstützen. Zudem tragen sie zum Wissenstransfer und zur Akzeptanz digitaler Zwillinge bei. Zur Finanzierung der innovativen Räume empfiehlt sich die Zusammenarbeit mit Kommunen, die ähnliche Ziele verfolgen.

2. Zentraler Rahmen von Bund und Ländern erforderlich

Die weitere Entwicklung digitaler Zwillinge in Kommunen benötigt gesellschaftliche Leitlinien, die interdisziplinäre Antworten auf ethische Fragen im Zusammenhang mit dem Einsatz von KI bieten. Es ist wichtig, dass Politik und Forschung klare Richtlinien festlegen, die sicherstellen, dass trotz der vielfältigen Möglichkeiten, die digitale Zwillinge bieten, der Mensch im Mittelpunkt der Entwicklungen steht und Entscheidungsträger bleibt (von Lucke, 2018). Ein wesentlicher Hemmschuh für den erfolgreichen Einsatz digitaler Zwillinge ist eine mangelnde strukturelle Grundlage auf Bundes- und Länderebene. Neben dem Ausbau einer belastbaren digitalen Infrastruktur ist es entscheidend, zentrale IT-Dienstleistungsangebote bereitzustellen, um insbesondere kleinere Kommunen bei den Entwicklungen zu unterstützen. Bund und Länder sollten zentrale Plattformen und SaaS bereitstellen, um Orientierungshilfen zu bieten und dezentrale Aufwände zu reduzieren. Durch die Skalierbarkeit von IT-Lösungen können Synergieeffekte

fekte erzielt werden, um Kommunen gemäß der „Dresdener Forderungen“⁹ zu entlasten. Die Erfahrungen mit dem Onlinezugangsgesetz zeigen, dass digitale Zwillinge Standardisierung und Schnittstellen benötigen und in einer verbindlichen Rahmenarchitektur orchestriert werden müssen, um den föderalen Flickenteppich zu überwinden. Es ist entscheidend, zentrale Themen wie Datenschutz und IT-Sicherheit im Voraus zu klären, um Mehrwerte unter Akzeptanz der Bevölkerung aus kommunalen Daten zu generieren.

3. Open Data und Open Source als Innovationsbeschleuniger

Die Nutzung städtischer Daten im Rahmen von Open Data kann wertvolle Vorteile bieten, ist allerdings durch Open Data Lizenzen zu regulieren. Gleichzeitig ist es wichtig, dass zentrale Data Governance zur Orientierung vorgelegt wird, um Datenstandards und Datensicherheitsstufen festzulegen, die Kommunen Klarheit im Umgang mit Daten verschaffen. Open Source-Lösungen dienen mit offenen Schnittstellen der interoperablen Nachnutzung, sodass Ressourcen eingespart und Datensilos überwunden werden können. Dennoch sollte beachtet werden, dass eine Verpflichtung zu Open Source diesen Fortschritt nicht hemmt. In der Vergangenheit führten enge Fördervorgaben dazu, dass sich kommunale Datenbestände nicht für Förderungen qualifizierten und so Innovation blockiert wurde. Daher sollten eher Anreize für Open Data und Open Source in Betracht gezogen werden, sofern dies Kommunen möglich ist.

4. Förderprogramme für weitere Entwicklungen essenziell

Experten bewerten den Mangel an Ressourcen als größte Herausforderung für den erfolgreichen Einsatz digitaler Zwillinge, insbesondere für kleinere Kommunen. Daher empfiehlt es sich, innovative Förderprogramme einzuführen, die nicht nur finanzielle Unterstützung für digitale Zwillinge bereitstellen, sondern auch Expertise in Form von Beratungsleistungen, Rahmenvereinbarungen und Inhouse-Unterstützung enthalten. Die Beherrschung der Zwillingstechnologie und die effektive Integration von Datenbeständen erfordert diese Expertise. Die Förderprogramme sollten leicht zugänglich sein und eine bedarfsgerechte Gestaltung ermöglichen, da meist kleineren Kommunen die Antragsstellung oft erschwert ist und dies in der Vergangenheit zu Investitionsstaus führten. Zentrale Förderprogramme sollten zudem die Koordination von regionalen Zwillingen mit Synergieeffekten fördern, da kommunale Aufgaben wie Verkehr nicht an Stadt- und Ländergrenzen haltmachen. Zuletzt sollte die langfristige Finanzierbarkeit auch nach Ende der Förderperiode geprüft und gesichert werden, um innovative Lösungen strukturell in den Kommunen zu verankern.

⁹ Die Dresdener Forderungen beinhalten Vereinfachungen bei der kommunalen Aufgabenwahrnehmung in der Verwaltungsdigitalisierung (Deutscher Städtetag, 2021b).

Dies gewährleistet eine nachhaltige Integration von Innovationen wie digitalen Zwillingen in den kommunalen Alltag.

5. Jetzt in zukunftsfähiges kommunales Datenmanagement investieren

Digitale Zwillinge bieten die Möglichkeit, langfristig Ressourcen durch die Nutzbarmachung von Daten einzusparen. Die Bereitstellung der erforderlichen Datenbasis kann zunächst als Herausforderung wahrgenommen werden. Es ist jedoch wichtig, Datenmanagementinstrumente wie digitale Zwillinge als Investition in langfristige Synergiegewinne durch Datenvernetzung und -nutzbarmachung zu betrachten. Das Aufbrechen von Datensilos und die Vernetzung von Daten sind nicht nur notwendig, um das volle Potenzial digitaler Zwillinge auszuschöpfen, sondern auch unerlässlich, um langfristig öffentliche Aufgabenerledigung sicherzustellen. Die Grundlage für diese Transformation muss bereits jetzt gelegt werden, indem Kommunen aktiv auf intelligentes Datenmanagement setzen sollten. Dabei sind die Technologieentscheidungen sorgfältig zu treffen, da sie weitreichende Auswirkungen haben. Eine gründliche Analyse des Migrationsaufwandes in bestehende Systeme ist erforderlich. Innovationsprozesse sollten auf Führungsebene verankert sein, um Bewusstsein für die Relevanz zu schaffen und eine strategische Ausrichtung sicher zu stellen.

6. Digitalisierung und Aufgabenkritik zu Pflichtaufgaben erklären

Angesichts des starken Personalmangels bei zunehmend wachsenden Aufgaben ist es erforderlich, eine sachliche Diskussion über die Gestaltung öffentlicher Aufgabenerledigung zu führen. Dabei sollten Aufgabenkritik und Diskussionen über freiwillige Aufgaben im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltung in Kommunen stattfinden. Obwohl effektives Datenmanagement formell keine Pflichtaufgabe ist, bildet es den Grundstein für effiziente Instrumente wie digitale Zwillinge, und sichert damit eine zukunftsfähige kommunale Aufgabenerfüllung. Vorzeitige Kosten-Nutzen-Kalkulationen und Erprobungen von Innovation zur Feststellung des tatsächlichen Nutzens sollten verpflichtend sein, wie im Rahmen des Use Cases in dieser Arbeit skizziert wurde. Bis Digitalisierungsprojekte als Pflichtaufgabe gesetzlich verankert sind, sollten Entscheidungsträger bereits jetzt sensibilisiert und ermutigt werden, Bewusstsein für Investitionen in langfristige Ressourceneinsparung zu schärfen. Diese Priorität sollte jetzt von kommunalen Spitzenverbänden, oberen Behörden im Rahmen ihrer Aufsicht und durch Förderinitiativen in Kommunen getragen und auf Cheftagen verankert werden.

7. Innovationsmanagement in öffentlichen Verwaltungen verankern

Diese Arbeit stellt so wie auch andere Studien fest, dass die klassische Verwaltungskultur ein Hindernis für Innovationen sein kann. Die Umsetzung von Innovationen wie digitale Zwillinge erfordert die Koordination relevanter Akteure einer Stadt sowie über kommunale Grenzen hinweg. Um dies zu ermöglichen, sollten auf Stadtebene Netzwerke geschaffen werden, die Kompetenzen und Wissen über Innovation in Shared Data Centern integrieren und transparente Kooperationen zwischen Städten vereinfacht werden, um eine Infrastruktur für bedarfsgerechtes Wissen zu schaffen und den Transfer von Branchenwissen zu fördern. Angesichts der strukturellen Unterschiede zwischen kleineren und größeren Kommunen ist es wichtig, relevante Informationen und Transparenz bei der gemeinsamen Entwicklung digitaler Zwillinge zu gewährleisten, um Mehrwerte zu generieren. Netzwerke und Wissenstransfer sind entscheidend, um Neugier zu wecken und Skepsis abzubauen. Die Arbeits- und Entwicklungsgemeinschaft „Urbane Digitale Zwillinge“ geht als Vorreiter voran, die von der Koordinierungs- und Transferstelle Modellprojekte Smart City unterstützt wird. Ihr Ziel ist es, zentrales Handlungswissen zu generieren und für nicht geförderte Kommunen im „Smart-City-Wissensspeicher“ zugänglich zu machen (Kommune 21, 2023a). Diese wertvollen Netzwerke sollten breit etabliert werden, und auf Bundes- und Landesebene in institutionellen Clearingstellen regionale und ähnliche Bedarfe in Städtekooperationen zusammenführen. Auch sollte Innovationsmanagement auf kommunaler Ebene institutionalisiert und organisatorisch verankert werden, da neue Arbeitsweisen als wesentliche Innovationstreiber gelten. Es ist wichtig, gezielten Wissenstransfer in Kommunen zu ermöglichen, um digitale Zwillinge effektiv und bedarfsgerecht zu gestalten.

8. Akteursübergreifende Inkubatoren für digitale Zwillinge in Kommunen

Um den Erfolg digitaler Zwillinge in Kommunen sicherzustellen, wurden zwei wesentliche Faktoren identifiziert: Eine schnelle Implementierung und der sichtbare Nutzen für Bürger. Um diese beiden Faktoren gezielt anzugehen, sind Inkubatoren mit Expertise aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung erforderlich. Diese ermöglichen die empirische Überprüfung getroffener Annahmen, die Exploration weiterer sinnvoller Anwendungsfälle und den evidenzbasierten Wissenstransfer in die Praxis, um den tatsächlichen Nutzen für Bürger erfahrbar zu machen. Es ist notwendig, weitere Anwendungsfälle zu erproben, die auf weitere Kommunen übertragbar sind. Dabei sollten spezielle (S)RoI-Modelle für digitale Zwillinge entwickelt werden, in die kommunenspezifische Kennzahlen niederschwellig integriert werden können. Als Vorlage können das entwickelte Modell in Anhang 6, die SRoI-Formel in Abbildung 3 sowie die Vorgehensweise im Use Case dieser Arbeit dienen. Die Schnittstelle zur Wirtschaft ist erforderlich, da

Kommunen allein oft nicht in der Lage sind, komplexe Lösungen in langwierigen und kostspieligen Prozessen zu entwickeln. Bewährte Anwendungsfälle mit evidenzbasiertem Nutzen sollten – sofern nicht öffentlich organisierte Start-Ups als Innovationsinkubator für digitale Zwillinge lohnend scheinen – an die Wirtschaft übergeben werden, die leicht implementierbare SaaS-Lösungen nach dem modularen Baukastenprinzip entwickeln könnten. Diese Lösungen sollten über eine Anwendungsplattform zugänglich sein, damit Kommunen Use Cases in ihrem Anwendungskontext erproben können. Der Nutzen sollte in fortlaufenden Schleifen durch die Wissenschaft empirisch überprüft werden, die ihre Erkenntnisse an die Wirtschaft zurückspiegeln. Die frühzeitige Einbindung der Bürger ist von entscheidender Bedeutung, um Akzeptanz zu schaffen und lokale Expertise einzuholen. Dabei ist es wichtig, Lösungen transparent vorzustellen und empirische Erkenntnisse aus der Wissenschaft kontinuierlich zu kommunizieren (von Lucke, 2018).

8 Fazit

8.1 Kurzzusammenfassung der Ergebnisse

Die Masterarbeit stellt eine erste explorative Untersuchung zu digitalen Zwillingen bei deutschen Kommunen vor und leistet somit einen Beitrag zur aktuellen Forschungslücke auf diesem neuen Forschungsgebiet. Dabei wurde das Forschungsinteresse in drei forschungsleitende Fragen strukturiert:

1. In welchen Bereichen können digitale Zwillinge die kommunale Aufgabenerfüllung unterstützen?
2. Wie können digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung wirkungsorientiert verändern?
3. Unter welchen Bedingungen können digitale Zwillinge eingesetzt werden?

Zur explorativen Beantwortung der forschungsleitenden Fragen wurde das gestaltungsorientierte DSR-Forschungsdesign verwendet und durch klassische Forschungsmethoden ergänzt, um sowohl einen wissenschaftlichen als auch praktischen Beitrag zu leisten. Es wurde ein Mixed-Methods-Ansatz angewandt, der eine systematische Literaturanalyse, eine qualitative Inhaltsanalyse von Experteninterviews und einen praxisnahen Use Case umfasste.

Die Arbeit bietet einen Überblick über aktuelle und potenzielle Einsatzbereiche von digitalen Zwillingen im kommunalen Umfeld. Als relevanteste Einsatzbereiche wurden Nachhaltigkeit und die Optimierung des städtischen Datenmanagements identifiziert. Es wurde empfohlen, eine grundlegende Aufgabenkritik vorzunehmen und digitale Zwillinge zur Optimierung von Pflichtaufgaben einzusetzen, bevor in die optimierte Erledigung freiwilliger Aufgaben investiert wird. Dies beantwortet die erste forschungsleitende Frage.

Zur Beantwortung der zweiten forschungsleitenden Frage wurde festgestellt, dass digitale Zwillinge bei Kommunen unterschiedliche Wirkungen erzielen können (FV2, 3, 4). Daher ist die Definition klarer Ziele im Voraus wichtig, um die Technologie wirkungsorientiert und entsprechend den kommunalen Bedarfen auszugestalten. Als relevanteste Wirkung wurde Performancesteigerung identifiziert, sodass digitale Zwillinge mit diesem Ziel als Prozessinnovation gestaltet werden sollten (FV2). Ein weiterer Beitrag ist die Entwicklung eines Entscheidungsmodells in Anhang 8, um

Kommunen bei wirkungsorientierten Investitionsentscheidungen über digitale Zwillinge zu unterstützen.

Es wurde erkannt, dass eine einfache Inbetriebnahme der Technologie, zunehmende Kreativität der Verwaltungsmitarbeiter und eine schnelle Integration in den Regelbetrieb die größten Erfolgsfaktoren für digitale Zwillinge bei Kommunen sind. Hingegen können der Mangel finanzieller, personeller und zeitlicher Ressourcen und Risikoaversion Erfolgshemmnisse darstellen. Zudem wurden strukturelle Unterschiede zwischen kleinen und großen Kommunen, die Zusammenarbeit städtischer Akteure, bedarfsgerechte Betriebsmöglichkeiten sowie Open Data und Open Source als weitere relevante Rahmenbedingungen identifiziert. Dies beantwortet die dritte forschungsleitende Frage.

Die Masterarbeit liefert ebenfalls eine Darstellung des aktuellen Verständnisses von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor, eine Kategorisierung digitaler Zwillinge als Innovationsdimension (FV1), einen praktischen Use Case im Mobilitätsbereich und ein Entscheidungsmodell zur Übertragbarkeit auf andere Kommunen. Handlungsempfehlungen wurden formuliert, um die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen. Für anknüpfende Forschungsarbeiten werden weitere forschungsleitende Vermutungen in Kapitel 8.3 entwickelt.

Insgesamt sind digitale Zwillinge bei Kommunen noch wenig erforscht, dennoch zeigt diese Arbeit explorativ auf, dass sie ein großes Potenzial haben, krisenbelastete Kommunen in ihrer Aufgabenerledigung zu unterstützen. Es wird daher empfohlen, weitere praxisnahe Forschung durchzuführen, um bereits jetzt wichtige evidenzbasierte Grundlagen für zukunftsfähige Technologien wie digitale Zwillinge zu schaffen, um die kommunale Aufgabenerledigung langfristig zu sichern. Diese Forschungsbemühungen sind von großer Bedeutung, um die Chancen und Herausforderungen digitaler Zwillinge von Kommunen besser verstehen und steuern zu können.

8.2 Limitationen

Die vorliegende Masterarbeit weist einige Beschränkungen hinsichtlich der Datenbasis und empirischer Grundlagen auf. Die qualitative Inhaltsanalyse basiert lediglich auf zehn Experteninterviews, während Use Case auf drei spezifischen Perspektiven beruht. Daher könnte die Generalisierbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt sein, da nicht das gesamte Spektrum digitaler Zwillinge bei Kommunen abgedeckt wird. Zukünftige Arbeiten könnten daher zusätzliche Datenquellen wie Befragungen von Bürgern einbeziehen, um ein umfassenderes und repräsentativeres Bild zu erhalten.

Die Auswertung der erhobenen Daten unterliegt insbesondere im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse der Subjektivität der Codierung, Kategorisierung und Interpretation der Ergebnisse. Daher könnte es sinnvoll sein, dass weitere Arbeiten auf andere Forschungsmethoden zurückgreifen, wie beispielsweise Feldexperimente zur empirischen, kennzahlenbasierten Messung des antizipierten Nutzens digitaler Zwillinge. Dies würde dazu beitragen, das neue Forschungsgebiet weiter zu erschließen.

Darüber hinaus stellt die Auswahl des Use Cases eine Limitation dar. Der gewählte Use Case beschreibt eine kommunalspezifische Situation im Mobilitätsbereich, die möglicherweise nicht auf alle anderen kommunalen Kontexte übertragbar ist. Eine alternative Herangehensweise könnte darin bestehen, eine vergleichende Analyse mehrerer Fallstudien aus verschiedenen kommunalen Kontexten durchzuführen. Dadurch könnten Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen verschiedenen Kommunen und Anwendungsfällen identifiziert werden, was zusätzliche Erkenntnisse mit sich bringen könnte.

Es ist wichtig anzumerken, dass die Masterarbeit unter zeitlichen Beschränkungen verfasst wurde. Im Verlauf der Arbeit wurde festgestellt, dass digitale Zwillinge bei Kommunen ein hochdynamisches Thema von großer Praxisrelevanz sind, was durch zahlreiche einschlägige Veröffentlichungen im ersten Halbjahr 2023 belegt wurde. Diese Dynamik führt dazu, dass die Beobachtungen und Erkenntnisse dieser Arbeit kurzfristig überholt sein könnten.

8.3 Implikationen für künftige Forschung

Diese Masterarbeit über digitale Zwillinge bei Kommunen hat sowohl wissenschaftliche als auch praktische Beiträge geleistet. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen können neu aufgetretene und nicht beantwortete Fragen als weiterführende forschungsleitende Vermutungen dienen und einen konzeptionellen Rahmen für weitere validierende Forschung bieten.

Erstens könnten Use Cases mit mehreren Kommunen erprobt und in vergleichenden Analysen gegenübergestellt werden, um weitere strukturelle und thematische Unterschiede in den Anwendungsfällen im realen kommunalen Umfeld zu ermitteln. Es wird vermutet, dass Kommunen sehr unterschiedliche Datenbestände und IT-Infrastrukturen aufweisen, was zu unterschiedlichen Anforderungen bei der Implementierung von digitalen Zwillingen führen kann.

Zweitens könnte die Forschung zu Innovationstheorien im öffentlichen Sektor hinsichtlich der deutschen Verwaltungsstrukturen vertieft werden. Es

wurde festgestellt, dass Experten neben wissenschaftlich identifizierten Wirkungen von Innovation im öffentlichen Sektor wie Effizienz und Effektivität, insbesondere Planungssicherheit und Informationsgewinn, als Wirkung digitaler Zwillinge bei Kommunen anvisieren (FV2, 3, 4). Ebenso wurde festgestellt, dass Einflussfaktoren auf der Innovationsebene als relevanter erachtet werden, obwohl die theoretischen Annahmen eher auf der Organisationsebene lagen (FV5). Daher ist es wichtig, die Wirkung von Einflussfaktoren auf verschiedenen Innovationsebenen zu erforschen (FV5, 6), da dies für die Praxis im Umgang mit Innovationen im öffentlichen Sektor von hoher Relevanz sein könnte. Dies impliziert, dass weitere Forschung zu Innovationen wie digitalen Zwillingen im Kontext der gewachsenen Verwaltungskultur in der öffentlichen Verwaltung Deutschlands erforderlich ist (FV7).

Drittens könnten weiterführende Untersuchungen, wie zum Beispiel mithilfe quantitativer Fragebögen mit einer größeren Anzahl an Kommunen, an den Ergebnissen der Arbeit zu digitalen Zwillingen bei Kommunen anknüpfen und dazu beitragen, diese Ergebnisse mit empirischer Datenbasis zu untermauern. Es wäre von praktischer Relevanz, die ermittelten Einflussfaktoren, Veränderungspotenziale und relevanten Rahmenbedingungen empirisch zu überprüfen und kennzahlenbasiert zu messen, um die weitere Entwicklung digitaler Zwillinge bei Kommunen zu beschleunigen und ressourcenschonend zu gestalten. Es wird vermutet, dass diese Faktoren – je nach Kommune – unterschiedliche Mehrwerte bieten können und weiterführende Forschung zur Strukturierung, Einordnung und weiteren Erschließung dieses neuen Forschungsgebiets beitragen können.

Abschließend wurde zum Zeitpunkt der Qualitätssicherung dieser Arbeit ein Expertenpapier zu digitalen urbanen Zwillingen vom Deutschen Städte- tag vorgelegt, das aus einer „geoinformatischen Brille“ auf die Potenziale von digitalen Zwillingen für deutsche Kommunen blickt (Deutscher Städte- tag, 2023). Das Expertenpapier enthält relevante Aspekte, die die Erkenntnisse dieser Arbeit ergänzen und in weiteren Forschungsarbeiten interdisziplinär gegenübergestellt werden sollten, um das neue Forschungsfeld weiter zu erschließen.

8.4 Futuristischer Ausblick

Diese Masterarbeit untersucht, wie digitale Zwillinge die Aufgabenerledigung deutscher Kommunen verändern können, und ob sie das Potenzial haben, diese trotz zunehmender Krisenbelastung langfristig sicherstellen können. Die Ergebnisse zeigen, dass Technologien wie digitale Zwillinge dieses Potenzial haben, sofern bereits jetzt Richtung weisende Grundsteine gelegt werden.

Die Relevanz von Megatrends wie KI und weiterer Schlüsseltechnologien zur digitalen Konnektivität nimmt aufgrund des rasanten und stetigen Wachstums von Big Data immer weiter zu (Zukunftsinstitut GmbH, 2023; Schnitzhofer, 2021). Es ist zu beobachten, dass technische Entwicklungen von High Performance Computing, wie zum Beispiel Quantencomputer, eine schnellere Auswertung der immer größer werdenden Datenmengen als bisherige Rechner ermöglichen (Berger, 2020; Ostrau & Kany, 2020). Die benannten Fortschritte befeuern auch die Progression von KI-Modellen, die zur Beantwortung geografischer und kommunalspezifischer Fragestellungen eingesetzt werden können (Scholz, 2022). Dies treibt nicht nur Innovationen wie digitale Zwillinge für Kommunen voran, sondern könnte auch einen Grundstein für das Zielbild der selbstfahrenden Verwaltung legen, sofern die Modelle durch zusätzlichen Forschungsaufwand erweitert und in begleitende ethische und rechtliche Vorgaben eingebettet werden (ebd.).

Die zunehmend leistungsfähigeren KI-Algorithmen gewinnen auch für das Konzept des Metaverse als eine virtuelle 3D-Erweiterung des Internets in der realen Welt an Bedeutung (Bitkom, 2022). Durch vielfältige Verbindungen zwischen realer und virtueller Welt ergeben sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten für digitale Zwillinge von Kommunen, zum Beispiel in der Informationsverbreitung, dem virtuellen Abbild einer Stadt oder dem zukünftigen Verkauf virtueller Produkte (Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie, 2022). Die Entwicklungen leistungsstarker KI und in der Datenübertragung in Echtzeit, wie zum Beispiel in 5G/6G-Netzen, sind wichtige Faktoren, um die Nutzung von digitalen Zwillingen im Metaverse zu ermöglichen und zu verbessern (ebd.). Prognostizierte drastische Veränderungen, nach denen die Grenzen zwischen physischer und digitaler Welt zunehmen verschwimmen und sich auf alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens auswirken, müssen daher jetzt interdisziplinär erforscht werden (McKinsey & Company, 2022b).

Die Marktentwicklungen für digitale Zwillinge zeigen positive Tendenzen: Bis zum Jahr 2025 sollen schätzungsweise 500 digitale Zwillinge von Städten entwickelt werden, die global im Bereich der Stadtplanung bis 2030 Kosteneinsparungen von über 280 Milliarden USD erzielen könnten (ABI Research, 2021). Auch soll der digitale Zwillingsmarkt Prognosen zufolge von 2023 bis 2030 eine jährliche Wachstumsrate von 37,5% aufweisen (GVR, 2021). Diese Entwicklungen machen deutlich, dass digitale Zwillinge sowohl im öffentlichen als auch privaten Sektor eine bedeutende Rolle – speziell als Schlüsseltechnologie für Kommunen bei der Bewältigung ihrer Krisenbelastung – spielen könnten.

Es ist wichtig, den Hype um digitale Zwillinge ausgewogen und kritisch zu hinterfragen und die Grenzen der vielfältigen Möglichkeiten zu erkennen. Digitale Zwillinge können komplexe Zusammenhänge vereinfachen, Daten-

schätze vernetzen, nutzbar machen und Maßnahmen virtuell erproben und bewerten. Allerdings gibt es auch Aspekte, die sich nicht durch digitale Repräsentanten abbilden lassen, wie zum Beispiel zwischenmenschliche Beziehungen, Kultur und emotionale Aspekte. Digitale Zwillinge sind daher wertvolle Instrumente, jedoch nicht die Lösung für alle zukunftsrelevanten Herausforderungen. Daher gilt es, frühzeitig Leitlinien zu entwickeln, um mögliche Risiken als Begleiterscheinung der Zukunftstechnologie frühzeitig zu adressieren. Als wichtige Leitlinien werden insbesondere Data Governance, die Reflektion ethischer Fragestellungen, Datensicherheits- und Cybersicherheitsaspekte, Risikomanagement und die Einbettung in eine rechtssichere Regulatorik mit Raum für Innovation erachtet. Im Ergebnis sollten die Vorteile digitaler Zwillinge dazu beitragen, Good Governance zu unterstützen und den Menschen dabei in den Mittelpunkt technischer Möglichkeiten stellen. Um gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Mehrwerte zu erzielen, ist die Zwillingstechnologie durch regulatorische Rahmenwerke und einschlägige Forschung in zukunftsrelevanten Bereichen evidenzbasiert zu begleiten.

Die bedarfsspezifische Investition in Datenmanagementinstrumente wie digitale Zwillinge erscheint als langfristig rentable Investition für Kommunen. Technische Innovationen wie digitale Zwillinge haben das Potenzial, krisenbelastete Kommunen in ihrer Aufgabenerfüllung zu unterstützen und ihre Transformationsprozesse voranzutreiben. Um die Chancen und Risiken von digitalen Zwillingen im Kontext rasant voranschreitender Technologien frühzeitig zu adressieren, legt die Arbeit praktische Handlungsempfehlungen und zukünftige Forschungsthemen vor. Die vorliegende Masterarbeit wurde in einen innovationstheoretischen Rahmen eingebettet, um als Ausgangspunkt für weitere Forschung zu Innovationen im kommunalen Kontext zu dienen. Es ist wichtig, Innovationen wie digitale Zwillinge weiterhin explorativ und praxisnah zu erforschen, um die nachhaltige und zukunftsfähige Transformation von Kommunen zu ermöglichen. Die Ergebnisse dieser Masterarbeit machen Mut, da Experten Potenzial in technischen Innovationen wie digitalen Zwillingen sehen, kommunale Aufgabenerledigung positiv zu verändern. Bis digitale Zwillinge zum kommunalen Standardinstrumentarium zählen, ist noch ein weiter Weg zu gehen. Allerdings kann die Umsetzung der genannten Handlungsempfehlungen bereits jetzt die Voraussetzungen dafür schaffen, um krisenbelastete Kommunen bei ihrer Aufgabenerledigung zu unterstützen und den Grundstein für eine zukunftsfähige, selbstfahrende (kommunale) Verwaltung zu legen.

9 Anhang

9.1 Anhang 1: Interviewfragebogen der Experteninterviews

Fragen	
1	Vorstellung Würden Sie sich bitte kurz vorstellen, dabei auf Ihre Ausbildung und professionelle Erfahrung mit der Kommunalverwaltung eingehen und Ihre Berührungspunkte mit digitalen Zwillingen erläutern? 1.1 Ihre akademische Ausbildung 1.2 Ihre professionelle Erfahrung mit der deutschen Kommunalverwaltung 1.3 Ihre praktischen Berührungspunkte mit digitalen Zwillingen
2	Definition und Verständnis digitaler Zwillinge im öffentlichen Sektor 2.1 Was verstehen Sie unter einem digitalen Zwilling? 2.2 Wie würden Sie einen digitalen Zwilling für die öffentliche Verwaltung beschreiben? 2.3 In der wissenschaftlichen Literatur dominieren vier Innovationsdimensionen für den öffentlichen Sektor (Prozessinnovation, Produktinnovation, Konzeptionsinnovation, Governance-Innovation). Wo würden Sie digitale Zwillinge im Kontext der öffentlichen Verwaltung dort einordnen?
3	Aktuelle Einsatzbereich und perspektivische Einsatzmöglichkeiten 3.1 Welche Einsatzbereiche für digitale Zwillinge sind Ihnen im öffentlichen Sektor bekannt? 3.2 In welchen Bereichen sehen Sie weiteres oder großes Einsatzpotenzial für digitale Zwillinge im öffentlichen Sektor? 3.3 Welche Einsatzbereiche sind für Sie am relevantesten, in denen digitale Zwillinge öffentliche Aufgabenerledigung unterstützen können?

	<p>3.4 Wie bewerten Sie den aktuellen Stand digitaler Zwillinge in der öffentlichen Verwaltung in Deutschland?</p> <p>3.5 Geben Sie bitte einen Ausblick auf das Jahr 2033: Welche Potenziale werden Kommunen in zehn Jahren durch den Einsatz digitaler Zwillinge aus Ihrer Sicht heben können?</p>
4	<p>Anvisierte Wirkungen (sog. Outcomes) durch den Einsatz digitaler Zwillinge in der Kommunalverwaltung</p> <p>4.1 Unvoreingenommen und spontan würde ich gerne von Ihnen wissen, welche Wirkungen (Outcomes) werden durch den Einsatz digitaler Zwillinge für die Kommunalverwaltung angestrebt? (gegebenenfalls Beispiele der Wirkungsrichtung angeben: Personal, Prozesse, Funktionalität, Rationalisierung, Partizipation, Organisation et cetera)</p> <p>4.2 Die wissenschaftliche Literatur stellt fest, dass Innovationen im öffentlichen Sektor fünf verschiedene Wirkungen (Outcomes) erzielen sollen. Bitte schätzen Sie mittels einer Likert-Skala (0 = irrelevant, 5 = relevant, 10 = unerlässlich) ein, welche Wirkung durch den Einsatz digitaler Zwillinge in der öffentlichen Verwaltung angestrebt werden sollten:</p> <p>Effektivität</p> <p>Effizienz</p> <p>Partizipation</p> <p>Einbezug/Kooperation mit (privaten) Partnern</p> <p>Nutzerzufriedenheit</p>
5	<p>Einflussfaktoren auf die Etablierung digitaler Zwillinge in der Kommunalverwaltung</p> <p>Die öffentliche Verwaltung wird mit Ihren Strukturen häufig als innovationshemmend bewertet.</p> <p>5.1 Welche Hürden sehen Sie (denn) aktuell für die Etablierung digitaler Zwillinge in der Kommunalverwaltung?</p> <p>5.2 Welche Faktoren könnten den Einsatz digitaler Zwillinge positiv beeinflussen? Dem. Wandel</p>

5.3 Aus der wissenschaftlichen Literatur sind eine Reihe an Einflussfaktoren auf Innovationen im öffentlichen Sektor bekannt. Bitte bewerten Sie mittels einer Likert-Skala (-5 = sehr negativ bis +5 = sehr positiv), mit welchem Einfluss die Faktoren mit zunehmender Ausprägung auf die Etablierung digitaler Zwillinge in der Kommunalverwaltung wirken können:

Je ausgeprägter die Einflussfaktoren	desto negativer (-5) /positiver (+5) der Einfluss
<p><u>Umweltfaktoren:</u></p> <p>Externer Druck (Mediale Aufmerksamkeit, politische/öffentliche Forderung)</p> <p>Teilnahme in Netzwerken und organisationsübergreifende Beziehungen (Zusammenarbeit mit Städten, Landesministerium/Bundesministerium)</p> <p>Vergleichbare Behörden, die ebenfalls digitale Zwillinge einführen</p> <p>Wettbewerb mit anderen Organisationen (Privatwirtschaft et cetera)</p>	
<p><u>Organisationsfaktoren:</u></p> <p>Mangelnde Ressourcen (Zeit, Geld, Personal, IuK-Infrastruktur)</p> <p>Starker, ausgeprägter Führungsstil</p> <p>Risikoaversion und Risikovermeidung</p> <p>Anreize / Auszeichnungen</p>	
<p><u>Innovationscharakteristika:</u></p> <p>Einfache Inbetriebnahme und Verwendung</p> <p>Relativer Vorteil gegenüber anderen Lösungen</p> <p>Kompatibilität mit bestehenden Systemen (Interoperabilität)</p>	

	<p>Beschleunigte Erprobung durch bewährte Prototypen (direkte Übernahme in Regelbetrieb)</p>	
	<p>Individuelle Faktoren:</p> <p>Autonomie der Mitarbeiter (Ermächtigung zu selbstbestimmtem Arbeiten)</p> <p>Organisatorische Stellung (Arbeitszeit, Interne Mobilität in der Organisation)</p> <p>Berufsbezogene Kenntnisse und Fähigkeiten (Fachkompetenz)</p> <p>Kreativität (Risikofreude, Problemlösungsfähigkeit)</p> <p>Demografische Aspekte in Tendenzen (zum Beispiel Alter)</p>	
<p>6</p>	<p>Rahmenbedingungen digitaler Zwillinge in der Kommunalverwaltung</p> <p>6.1 Welche Strukturen müssen geschaffen werden, um die Technologie digitaler Zwillinge in der kommunalen Breite zu etablieren?</p> <p>6.2 Welche Unterschiede im Einsatz und in der Verbreitung digitaler Zwillinge von städtischen Großzentren zu ländlicheren Regionen sind zu erwarten?</p> <p>6.3 Wie können ländlichere Gebiete bei dieser Entwicklung mitgenommen werden?</p> <p>6.4 Was erwarten Sie von Kooperationen zu digitalen Zwillingen von Städten mit der lokalen Stadtwirtschaft?</p> <p>6.5 In welchem Rechenzentrum sollten digitale Zwillinge betrieben werden?</p>	
<p>7</p>	<p>Entscheidungsfindung</p> <p>Bitte stellen Sie sich vor, Sie sind (Ober-) Bürgermeister*in einer deutschen Kommune.</p> <p>7.1 Unter Annahme begrenzter kommunaler Ressourcen, sollten digitale Zwillinge in Ihrer Kommune vorrangig entweder zur Performancesteigerung oder zu Partizipationszwecken eingesetzt werden?</p>	

	<p>7.2 Welche weiteren Faktoren sind für Sie bei einer Investitionsentscheidung relevant?</p> <p>7.3 Würden Sie jeder Kommune zur Investition in digitale Zwillinge raten, wenn sie „Out of the box“ einsetzbar wären (zum Beispiel aufgrund etablierter Baukastensysteme)?</p> <p>7.4 Welche Unterstützung würden Sie sich von Bund/Ländern und weiteren Akteuren wünschen?</p>
8	<p>Abschluss und Danksagung</p> <p>8.1 Möchten Sie zum Abschluss noch etwas ergänzen, was bisher nicht thematisiert wurde?</p> <p>8.2 Haben Sie Literaturempfehlungen für mich, die ich in meiner Thesis unbedingt berücksichtigen sollte?</p>

(Eigene Darstellung)

9.2 Anhang 2: Übersicht der Experteninterviewpartner

- E1
Thomas Tursics, Produktmanager GovData, FITKO (Förderale IT-Kooperation), interviewt am 10.03.2023.
- E2
NN., Industrieverband, interviewt am 12.03.2023.
- E3
Steffen Hess, Abteilungsleiter „Digital Innovation & Smart City“, Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, interviewt am 13.03.2023.
- E4
Jana Dietrich, Abteilungsleiterin „GeodatenService – Amt für Geoinformation und Bodenordnung“, Stadt Leipzig, interviewt am 21.03.2023.
- E5
Jens Mößle, Senior Consultant, City & Bits GmbH, interviewt am 24.03.2023.
- E6
Gudrun Aschenbrenner, Vorstandsmitglied, AKDB (Anstalt für Kommunale Datenverbreitung in Bayern), und Reinhard Kofler, Prokurist, RIWA GmbH, gemeinsam interviewt am 31.03.2023.
- E7
Thomas Bönig, Chief Digital Officer, Chief Information Officer und Amtsleiter, Amt für Digitalisierung, Organisation und IT, Landeshauptstadt Stuttgart, interviewt am 03.04.2023.
- E8
Prof. Dr. Dirk Heckmann, Direktor TUM Center of Digital Public Services, Technische Universität München (TUM), interviewt am 07.04.2023.
- E9
Dr. Nora Reinecke, Gesamtprojektleiterin Connected Urban Twins (CUT), Senatskanzlei Hamburg, Amt für IT und Digitalisierung, interviewt am 13.04.2023.
- E10
Renate Mitterhuber, Referatsleiterin „Smart Cities“, Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), interviewt am 13.04.2023.

9.3 Anhang 3: Übersicht des Kategoriensystems

Codesystem	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
2.1 Verständnis von digitalen Zwillingen	1									
IoT					1	1				
Algorithmen						1				
Datenvernetzung						1			1	
Wirkungsebene/-richtung			1							
KI			1							
Datenaggregation			1			1	1		1	
Datenanalyse		1	1					1	1	
Echtzeitdaten		1		1			1		1	1
Allgemeine Begriffsunklarheit		1	1			1				
Unterschiedliche Reifegrade	1		1							
Erprobung/Planung	1	1		1	1	1			1	
Simulation	1	1	1	1	1	1	1		1	1
> Digitales Abbild der Realität	1	1		1	1	1	1	1	1	1
> Visualisierung	1		1			1			1	1
2.2 Verständnis von digitalen Zwillingen im öffentlichen Sektor	1									
Integrierte Stadtplanung							1		1	
Prozessautomation								1		
Partizipation						1				
3D-Abbild der Stadt						1	1		1	
Echtzeit		1		1						
> Optimierte Planung durch Simulation	1	1	1	1	1		1		1	1
Effizienzgewinn			1					1		
Soziale Komponenten			1						1	
Uneinheitliches Begriffsverständnis	1			1	1					
Datenbasierte Entscheidungsprozesse		1				1			1	
Transparenz		1				1	1			
2.3 Innovationsdimension										1
Prozessinnovation	1	1	1	1	1	1		1		
Produktinnovation			1	1	1	1		1		
Governance-Innovation		1	1	1	1	1				
Konzeptionsinnovation			1	1	1	1	1			1
Erfüllt alle Dimensionen			1	1	1	1			1	
3.2 Potenzielle Einsatzfelder	1									
> Neue Dienstleistungen	1			1	1	1	1		1	
> Optimierung bestehender Aufgabenerledigung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Instrument zur Integrierten Stadtplanung				1					1	1
3.3 Relevanteste Einsatzbereiche										
> Stadtentwicklung									1	
> Prozessoptimierung und -automatisierung								1		1
> Optimierung von Datenmanagement						1		1		1
> Messbare Bereiche			1							
> Nachhaltigkeit			1		1	1				
> Daseinsvorsorge		1								
> Bedarfsspezifisch	1			1						

Codesystem	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
4.1 Anvisierte Wirkung von digitalen Zwillingen bei Kommunen										
Innovationsförderer								1		
Datenbasierte Entscheidungen		1					1		1	
Transparenz							1		1	1
Flexibilität							1			
Steigerung der Lebensqualität					1					
Verbesserte Daseinsvorsorge					1					
Datenvernetzung					1	1	1		1	
Komplexitätsreduktion					1			1		1
Verbesserte Governance-Prozesse				1					1	
Informationsgewinn		1		1			1	1		1
Reporting		1								
Effizienzsteigerung	1	1	1	1					1	1
Wissenstransfer	1									
Effektivitätssteigerung	1	1		1				1	1	
Steigerung der Arbeitgeberattraktivität	1									
Automatisierung	1									
Planungssicherheit	1	1	1						1	1
Ressourcenschonung							1			1
Zeitersparnis	1									
Vorhersage	1						1			1
Digitalisierung	1			1	1					
5.1 Erfolgshemmer										
Open Source / Open Data										1
Ausschreibungsverfahren										1
keine Einigung auf Anwendungsfälle,										1
Finanzierung					1			1		1
Standardisierung und einheitliche Vorgaben von Bund und Ländern					1	1				
IT-Kompetenz					1	1				
beschränkter IT-Ausstattung	1									
eingeschränkte Kreativität	1									1
Mindset der Mitarbeiter	1					1	1			
5.2 Erfolgstreiber										
Kommunikation										1
Technologieentwicklung										1
gesellschaftlichen Druck										1
Erfolgsprojekte										1
Förderprogramme										1
finanzielle Ressourcen										1
demografische Wandel										1
Direkter Nutzen muss sichtbar sein	1									1
offene Fehlerkultur	1									1
Raum, neue Dinge auszuprobieren	1									1
Mitarbeiter für IT und Innovationen zu sensibilisieren	1									1

Codesystem	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
☐ offene Fehlerkultur										
☐ Raum, neue Dinge auszuprobieren	1		1						1	
☐ Mitarbeiter für IT und Innovationen zu sensibilisieren	1		1					1	1	
✓ 6.2 Unterschiede große und kleine Kommunen										
☐ Unterschiedliche Datenbestände									1	
☐ Unterschiedliche Bedarfe	1	1		1			1		1	
☐ Personelle Unterschiede			1		1	1				1
☐ Finanzielle Unterschiede			1	1	1	1				1
> ☐ Handlungsempfehlungen kleinere Kommunen	1	1	1	1	1	1	1		1	1
✓ 6.4 Kooperation mit städtischen Akteuren										
> ☐ Inbetriebnahme	1	1	1	1	1	1	1		1	1
☐ Transparenz							1	1		
☐ Shared Data Center					1	1	1			
☐ Datenkompetenz					1					
☐ Stadtwerke als Datenlieferant				1			1		1	
☐ Marktattraktivität für Stadtwerke			1							
☐ Arbeitgeberattraktivität			1							
☐ Innovationskammern		1			1					1
☐ DZ als integratives Instrument	1						1	1	1	
✓ 7.1 Entscheidungsfindung										
☐ Partizipationszwecke				1		1			1	
☐ Performancesteigerung	1	1	1		1		1			1
✓ 7.2 Relevante Entscheidungsfaktoren										
☐ Return on Invest			1	1	1		1		1	
☐ Dauerhafte Rahmenbedingungen verfügbar	1					1				1
☐ Geeignet für Wissens- und Datensicherung		1								
☐ Relevante Entscheidungsdeterminanten bekannt				1						
☐ Kooperationsmöglichkeit mit Kommunen					1					
☐ Top-Down-Ansätze verfügbar						1				
☐ Akzeptanz									1	
✓ 7.3 Entscheidungsempfehlung für Kommunen										
☐ Allen Kommunen							1	1		
☐ Kommunen, die langfristige Rahmenbedingungen bieten					1	1				
☐ Kommunen, die DZ als Booster für Datenmanagement nutzen				1	1				1	1
☐ Bedarfsgerechte Konzeption		1	1	1						
☐ Verbünde/Kooperationen für gemeinsame Entwicklung	1		1							
✓ 7.4 Struktureller Unterstützungsbedarf										
☐ Niederschwellige Förderprogramme	1	1	1	1			1			
☐ Bereitstellung langfristiger Strukturen		1	1	1						
☐ Etablierung von Standards		1	1			1				
☐ Zentrale Kompetenzzentren	1	1				1				
☐ Wissenstransfer durch bewährte Use Cases und Best Practice	1					1	1			
☐ Schnelle Inbetriebnahme durch anschlussfähige Software				1	1			1		
☐ Mandantenfähige zentrale Lösungen			1							1
☐ Entscheidungshilfen									1	
☐ Individuelle Beratungsleistung für Kommunen									1	
Σ SUMME	40	36	42	40	40	44	27	17	42	26

(Eigene Darstellung)

9.4 Anhang 4: Befragungsergebnisse zur Kategorisierung

Innovationsdimension	Paraphrasierung	Häufigkeit	Fundstelle
Produktinnovation	„Neue Use Cases für digitale Zwillinge (DZ) können neue, konkrete Produkte für die Verwaltung darstellen“ (E5, 0:06:00). Die Technologie bietet die Möglichkeit zur algorithmusbasierten Untersuchung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen und schafft damit ein neues Produkt, zum Beispiel dass Gefahren schneller erkannt und Prozesse automatisiert werden können.	4/10	E3 0:15:14, E5 0:06:00, E6 0:23:08, E8 0:11:16
Prozessinnovation	Der DZ ist eine Prozessinnovation „durch die Zusammenlegung der bisher bestehenden Produkte“ (E2, 0:06:00) und die Abbildung von bestehenden und neuen (Verwaltungs-) Prozessen (E4, E5 0:08:30).	7/10	E1 0:05:43, E2 0:06:15, E3 0:15:06, E4 0:08:35, E5 0:06:00, E6 0:22:45, E8 0:10:55
Konzeptionsinnovation	Im Aufbau eines DZ erarbeiten Kommunen, welche Daten vorhanden sind, für welche Anwendungen sich die Technologie eignet, und wie Daten miteinander vernetzt werden können (E5, 0:04:50). Durch die Datenvernetzung können (Verkehrs-)konzeptionen und andere Projekte neu gedacht werden (E6, 0:25:30, E3, 0:16:35). Auch Begleitprozesse wie DIN-Standardisierung gehen mit DZ konzeptionell einher (E4, 0:09:00).	6/10	E3 0:16:25, E4 0:09:00, E5 0:04:40, E6 0:25:30, E7 0:05:34, E10 0:06:53

Governance-Innovation	DZ sind als Governance-Innovation geeignet, „um Silostrukturen in der Stadtgesellschaft zu verknüpfen“ (E4, 0:08:45), und um „aktiver durch Entwicklungsprognosen in die Stadtgesellschaft einzugreifen“ (E2, 0:05:30). „Das führt automatisch zu einem neuen Verständnis von Governance, insbesondere unter regelmäßiger Beteiligung des Stadtkonzerns, der bisher keine hohe Stellung einnimmt, obwohl er über wertvolle städtische Daten verfügt“ (E5, 0:05:45). Überdies braucht „ein DZ-Regulieren, zum Beispiel Datenschutz- und Datenzugriffsregularien zum Umgang mit personenbezogenen Daten, (sowie) Auskunftsansprüche und Transparenz“, die gesamtheitlich gesteuert werden sollten (E6, 0:26:50).	5/10	E2 0:05:05, E3 0:15:19, E4 0:08:40, E5 0:05:20, E6 0:26:50
Alle Innovationsdimensionen	Ein DZ nimmt „über seinen Entwicklungsprozess unterschiedliche Innovationsdimensionen an, in dessen Ergebnis neue Produkte und Prozesse entstehen“ (E5, 0:04:40). „Zunächst ist die Einführung des DZ eine Produktinnovation. Eine Grundlage dafür ist eine Governance-Innovation, in der Kommunen Datensilos miteinander verknüpfen und erproben“. (E3, 0:15:19). Als Konzeptions-Innovation benötigt der DZ begleitende Standards und kann selbst das Denken der Verwaltung in Projekten ermöglichen. Langfristig sollte der DZ eine Prozessinnovation sein, da neue Prozesse abgebildet werden. (E4, 0:09:00).	5/10	E3 0:15:19, E4 0:08:25, E5 0:05:50, E6 0:22:40, E9 0:03:53

(Eigene Darstellung)

9.5 Anhang 5: Befragungsergebnisse zu Einflussfaktoren

Umweltfaktoren	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	Ø	σ
Externer Druck (Mediale Aufmerksamkeit, politische/öffentliche Forderung)	3	-3	4	4	3	4	1	5	2	0	2,3	2,4
Teilnahme in Netzwerken und organisationsübergreifende Beziehungen	1	4	1	5	5	4	3	3	5	3	3,4	1,5
Vergleichbare Behörden, die ebenfalls digitale Zwillinge einführen	3	2	1	2	4	4	3	4	0	3	2,6	1,3
Wettbewerb mit anderen Organisationen (Privatwirtschaft etc.)	-2	2	0	0	-2	-1	0	3	3	1,5	0,45	1,9
Organisationsfaktoren												
Mangelnde Ressourcen (Zeit, Geld, Personal, IuK-Infrastruktur)	-5	-5	-5	-3	-5	4	-3	-3	-3	-3	-3,1	2,7
Starker, ausgeprägter Führungsstil	4	4	2	2,5	-2	-5	3	3	-3	0	0,85	3,2
Risikoaversion und Risikovermeidung	0	-3	-4	-2	-5	5	0	3	-5	-3	-1,4	3,4
Anreize / Auszeichnungen	4	0	1	0	3	3	3	1	1	1	1,7	1,4
Innovationscharakteristika												
Einfache Inbetriebnahme und Verwendung	3	5	5	4	4	4	4	5	5	5	4,4	0,7
Relativer Vorteil gegenüber anderen Lösungen	-1	5	1	2,5	2	0	2	4	3	5	2,35	2,0
Kompatibilität mit bestehenden Systemen (Interoperabilität)	0	4	2	5	5	4	3	5	2	5	3,5	1,7
Beschleunigte Erprobung durch bewährte Prototypen (direkte Übernahme in Regelbetrieb)	2	5	1	2,5	5	5	3	5	5	3	3,65	1,5
Individuelle Faktoren												
Autonomie der Mitarbeiter	2	-2	1	0	3	4	3	2	4	4	2,1	2,0
Organisatorische Stellung (Amtszeit, Interne Mobilität in der Organisation)	0	0	2	1,5	4	-3	3	4	-4	0	0,45	2,8
Berufsbezogene Kenntnisse und Fähigkeiten (Fachkompetenz)	4	3	4	2,5	4	5	3	4	0	5	3,45	1,5
Kreativität (Risikofreude, Problemlösungsfähigkeit)	5	2	5	3,5	3	5	4	3	4	5	3,95	1,1
Demografische Aspekte in Tendenzen (zum Beispiel Alter)	0	-2	-4	0	0	0	2	2	0	0	-0,2	1,8

Fundstellen: E1, 0:35:33; E2, 0:20:38; E3, 0:45:20; E4, 0:27:20; E5, 0:28:30; E7, 0:15:20; E9, 0:24:00; E10, 0:23:15. Die Interviewpartner E6 (0:59:28) und E8 (0:30:04) übersandten die ausgefüllte Tabelle aus Gründen der Zeiteffizienz im Anschluss an das Interview elektronisch. (Eigene Darstellung)

9.6 Anhang 6: Kostenstellen für einen digitalen Mobilitätszwilling

Relevante Kostenstellen	Bewertung hinsichtlich Use Case
1. Entwicklungskosten	Einmalig anfallende Beschaffungskosten für DMZ
1.1 Planungskosten	Für die Planungskosten können Kosten für das eigene Personal, externe Beratung, der Entwicklungsumgebung und sonstige Kosten für Sach- und Hilfsmittel anfallen. Die Stadt Friedrichshafen entwickelt Anwendungen wie eine urbane Datenplattform oder digitale Zwillinge grundsätzlich nicht selbst und bezieht diese als SaaS-Leistung. Demnach fallen Personalkosten für Zeitaufwand zur Recherche von Marktübersichten, Ausschreibungs- und Vergabeverfahren, Beratungen und Migrationsaufwand zur Datenübertragung an.
1.2 Entwicklungs- und Investitionskosten:	Im Rahmen von Entwicklungs- und Investitionskosten fallen Hard- und Software sowie Installationskosten in der Beschaffung an.
1.2.1 Hardware	Die Hardware von DMZ besteht aus IoT-Sensorik, die dezentral Mobilitätsdaten im Stadtgebiet erhebt, Datenübertragungssystemen wie IoT-Netzen, die Mobilitätsdaten an das städtische Computersystem übertragen, sowie leistungsstarken Computerplattformen zur Datenanalyse und Datenverwendung. In Friedrichshafen existieren bereits acht bis zehn Sensoren und zwei Induktionsschleifen an insgesamt drei Standorten in der Stadt, die Mobilitätsdaten erheben und in Echtzeit an ALFRIED-Server steuern. Diese sind allerdings projektgebunden und können daher nicht als IoT-Grundlage für DMZ eingesetzt werden. Die Kosten für Hardware unterliegen bedingt durch wirtschaftliche Folgen des Ukraine-Konflikts und der Corona-Krise verstärkt volatilen Preisschwankungen, sodass eine exakte Preiskalkulation zum Zeitpunkt der Beschaffung vorgenommen werden sollte. Insgesamt differieren die

	<p>Preise für Sensoren auch stark hinsichtlich ihrer Qualität und Klassifikation (Maresco, 2023). Die Sensoren könnten im Stadtgebiet über LoRa-WAN kommunizieren, da bereits eine LoRa-WAN-Infrastruktur im Stadtgebiet existiert. Diese wird aktuell von der Konzerntochter der lokalen Stadtwerke betrieben, sodass sich die Infrastruktur perspektivisch im Rahmen integrierter Zusammenarbeit grundsätzlich synergetisch nutzen lässt.</p>
<p>1.2.2 Software</p>	<p>Da die Softwarekosten hinsichtlich der Eigenentwicklung einer Individuallösung vernachlässigt werden können umfassen diese im konkreten Fall die Beschaffung, Anpassung, und Qualitätssicherung von Software für einen DMZ sowie die zugehörige Sensoriksoftware. Die Kosten für Sensoriksoftware ist meist im Festpreis für Sensoren enthalten und als Fixpreis im Verhältnis bei großen Sensormengen günstiger pro Sensor. Die Kosten für die DZM-Software selbst hängt vom Anwendungskontext ab, sodass Software zur reinen Informationsspeicherung und Visualisierung den Kosten einer Online-Datenbank ähnelt. Sofern eigene algorithmusbasierte Datenmodelle entwickelt werden, die mit anderen Datenquellen zusammengeführt und Informationen über eine übersichtliche Benutzeroberfläche aufbereiten, schlägt sich dies kostenintensiver nieder (Roest, 2021). Ein Anhaltspunkt für DMZ-Software könnten die kalkulierten Kosten für die urbane Datenplattform¹⁰ als Grundlage für den DMZ sein, deren Beschaffung als Grundsatzentscheidung mit Gemeinderatsbeschluss vom 22.05.2023 erging. Da die Kosten für DMZ-Software meist den größten Kostenfaktor darstellen kann es kostensparend sein kann, integrierte Plattformlösungen von einem Anbieter zu beziehen (Maresco, 2023, Stadt Friedrichshafen, 2023b).</p>

¹⁰ Veranschaulicht in der Sitzungsvorlage der Stadt Friedrichshafen vom 17.04.2023, Drucksache-Nr. 2023/V 00087 (Stadt Friedrichshafen, 2023b).

1.2.3 Installationskosten	Zur Verlegung technischer Infrastruktur, Büro- und Raumausstattung mit technischem Zubehör und Personalkosten für die Systeminstallation fallen bei SaaS-Lösungen anbieterabhängige Kosten an.
1.3 Kosten der Systemeinführung	Diese Kostenstelle fasst Kosten für System- und Integrationstests, die Übernahme von existierenden städtischen Datenbeständen, Erstschulungen für IT-Fachpersonal, Einarbeitungskosten für IT-Fachpersonal sowie sonstige Umstellungskosten zur Integration in städtische Systeme zusammen. Da bei der Stadt Friedrichshafen durch eine Checkliste bei allen Beschaffungen für Software und Sensorik sichergestellt wird, dass die technischen Komponenten mit der bestehenden Infrastruktur kommunizieren können, wird hier ein verhältnismäßig geringer Migrationsaufwand aufgrund etablierter Governance-Leitlinien für die städtische IT-Infrastruktur eingeschätzt. Allerdings liegen einige Mobilitätsdatenbestände in isolierten Fachprogrammen vor, sodass aktuell von zusätzlichen Kosten für eine Verknüpfung dieser Software der DMZ-Datenbasis auszugehen ist.
2. Betriebskosten	Dauerhafte Kosten für Betrieb und Wartung DMZ
2.1 Laufende Sachkosten	Die Sachkosten umfassen Host- und Serverkosten, Kosten für den Arbeitsplatzrechner und externe Unterstützung, und laufende Softwarekosten. Die Zusammenlegung zur integrierten Nutzung von Host- und Serverstrukturen für Synergiegewinne durch etablierte Strukturen von ALFRIED kann nicht realisiert werden, da projektbasierte Zweckbindung vorherrscht. Eine gemeinsame Infrastruktur könnte in Abhängigkeit an die Anforderungen eines Folgeförderprogrammes neu evaluiert werden. Die Stadt Friedrichshafen hat den Bedarf demnach zunächst eigenständig zu finanzieren, Synergien können sich lediglich aus integrierten Plattformlösungen im Zusammenhang mit der zu beschaffenden urbanen Datenplattform ergeben.

	<p>Die urbane Datenplattform soll in einer externen Cloudinfrastruktur betrieben werden, sodass deren Bereitstellung und Betrieb, Wartung und Pflege der Software innerhalb der externen Cloudinfrastruktur durch Dienstleister anfallen. Alternativ zum Betrieb in der Cloud können DZ über Server der lokalen Infrastruktur installiert beziehungsweise betrieben werden (sog. On-Premise) (BBSR, 2023).</p>
2.2 Sonstige Kosten	<p>Weitere Betriebskosten ergeben sich aus Personalkosten, deren Qualifizierung zum Umgang mit der Software in Form von Schulungen, einer stetigen Systembetreuung- und Administration seitens des Amtes für Digitalisierung mit entsprechender personeller Qualifikation, die aufgrund der laufend weiterentwickelnden Fähigkeiten der Zwillingstechnologie verstetigt werden muss.</p>

(Eigene Darstellung)

Hinweis: Diese Übersicht enthält keine Preisangaben, da diese volatilen Schwankungen unterliegen, anbieterabhängig und demnach nicht auf andere Kommunen übertragbar sind.

9.7 Anhang 7: Fragebogen zur Erarbeitung des Use Cases

Datenorientierte Perspektive:

1. Wie werden Mobilitätsdaten bei der Stadt Friedrichshafen zusammengeführt?
2. In welchem Status befindet sich die urbane Datenplattform, welche Mobilitätsdaten führt diese zusammen und wann wird diese in den Echtbetrieb überführt?
3. Aus welchen Datenquellen werden die Mobilitätsdaten für die urbane Datenplattform generiert?
4. Über wie viele Sensoren/Schleifen und sonstige Hardware verfügt die Stadt Friedrichshafen und ist ein Ausbau geplant?
5. Wird die urbane Datenplattform selbst entwickelt oder als SaaS-Leistung bezogen und welchen Ansatz würden Sie für DMZ empfehlen?
6. Was wäre nötig, um eine urbane Datenplattform zu DMZ weiterzuentwickeln (monetärer und nicht monetärer Aufwand)?
7. Auf welchen existierenden Strukturen könnte dieser DMZ aufbauen (urbane Datenplattform, städtische IoT, ALFRIED)?
8. Welche Daten, Infrastrukturen und sonstige Aufwendungen wären überdies für die Entwicklung eines DMZ erforderlich?
9. Welche Datenmodelle und Algorithmen bedarf ein DMZ aus Ihrer Sicht und inwieweit könnten Analysen von ALFRIED dienlich sein?
10. Welche Chancen und Risiken könnte eine Zusammenarbeit mit ALFRIED im Aufbau eines DMZ bedeuten?
11. Wo könnte der DMZ betrieben werden?
12. Könnten durch den Betrieb eines DMZ kostenintensivere Fachprogramme in der Abteilung Mobilität & Verkehr substituiert werden?
13. Bietet ein DMZ weitere Mehrwerte mit Blick auf das städtische Datenmanagement?
14. Bitte skalieren Sie:

A: Wie viel Mehrwert ein DMZ für die Bedeutung der IT-Strategie der Stadt Friedrichshafen hätte (0=keine Bedeutung, 10=maximale Bedeutung)?

B: Inwieweit vorhandene Technologien für den DMZ-Aufbau nachgenutzt werden könnten (0=keine Nachnutzung möglich, 10=maximale Nachnutzung möglich)?

C: Inwieweit Plattform-/Herstellerunabhängigkeit bei DMZ gegeben wäre (0=keine Unabhängigkeit, 10=maximale Unabhängigkeit)?

Technische Perspektive:

1. Welche Mobilitätsdaten werden aktuell über die Smart City Leitstelle abgebildet und wie werden diese generiert?

2. Wie viele Sensoren, Schleifen und weitere Messgeräte sind in Friedrichshafen zur Erhebung von Mobilitätsdaten eingesetzt?

3. Ist angedacht, die Mobilitätsdaten für das gesamte Stadtgebiet Friedrichshafen zu erheben?

4. Welcher Schritte bedarf es, um die Mobilitätsdaten des gesamten Stadtgebiets von Friedrichshafen zu erheben?

5. Werden die Mobilitätsdaten in der Smart City Leitstelle ausschließlich visualisiert oder dienen sie auch der Analyse, Simulation und Steuerung? Falls nein, welcher Schritte bedarf es, damit Analyse, Simulation und Steuerung in Echtzeit möglich werden?

6. Welche Datenquellen müssten in die aktuelle Leitstelle integriert werden, damit eine umfassende Analyse, Steuerung und Vorhersage der Verkehrssituation in Friedrichshafen möglich ist?

7. Werden ihre Mobilitätsdaten aktuell in Echtzeit generiert und falls nein, wie könnten die Datenquellen effektiv in Echtzeit gesammelt und verarbeitet werden?

8. Wie werden Datensicherheit und Datenschutz bei der aktuellen Sammlung und Verbreitung von Verkehrsdaten gewährleistet?

9. Welche Schritte wären im Ausbau der Smart City Leitstelle zum DMZ aus ihrer Sicht zu unternehmen, um Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit sicherzustellen?

10. Was hat der Aufbau und die Entwicklung der Smart City Leitstelle (Hard- und Software) gekostet?
11. Was könnte ein Ausbau zu DMZ für weitere Kosten mit sich bringen (zum Beispiel: Entwicklung, Entwicklungsumgebung, Hard- und Software, Personalkosten, Host -und Serverkosten)?
12. Welchen Mehrwert bietet die Smart City Leitstelle und lässt dieser kennzahlenbasiert quantifizieren?
13. Welche Mehrwerte könnte ein DMZ aus Ihrer Perspektive für die Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und die Bürgerschaft bringen?
14. Wie schätzen Sie die aktuelle Plattform-/Herstellerunabhängig der Smart City Leitstelle ein?
15. Wie schätzen Sie die Plattform-/Herstellerunabhängig für DMZ ein, sofern dieser auf der Smart City Leitstelle aufgebaut wird?

Organisatorische Perspektive

1. Wie viele VZÄ sind in der Abteilung Mobilität & Verkehr beschäftigt?
2. Angenommen, die rechtlichen Fragen um den Einsatz von DMZ zur Aufgabenerledigung wären geklärt. Welche Aufgaben könnten durch DMZ unterstützt werden?
3. Welche neuen Dienstleistungen sind mit DMZ denkbar?
4. Welche Aufgaben sind repetitiv und/oder ressourcenintensiv, und könnten durch DMZ optimiert werden?
5. Welche Entscheidungen könnten durch DMZ datenbasiert unterstützt werden?
6. Könnte ein DMZ Mobilitätsmaßnahmen nachhaltiger gestalten?
7. Inwiefern könnte ein DMZ die Bürgerzufriedenheit steigern?
8. Angenommen, Sie erhalten einen DMZ zur Echtzeitüberwachung des Verkehrsflusses und der Straßenbedingungen sowie zur Erprobung von verschiedenen Verkehrsszenarien, wie zum Beispiel Umleitungsbeschilderung. Welche Ressourcen könnten in im Aufgabenbereich eingespart werden?

9. Angenommen, der DMZ würde darüber hinaus verschiedene Verkehrsszenarien eigenständig bewerten, prüfen und Verkehrsmaßnahmen automatisiert entscheiden (zum Beispiel die Genehmigung von Baustellen). Welche Ressourcen könnten im Aufgabenbereich eingespart werden?

10. Welcher Aufwand müsste zur Einführung eines DMZ aus organisatorischer Perspektive miteinkalkuliert werden (zum Beispiel Schulungen, Einarbeitungszeit, Systembetreuung durch DIG)?

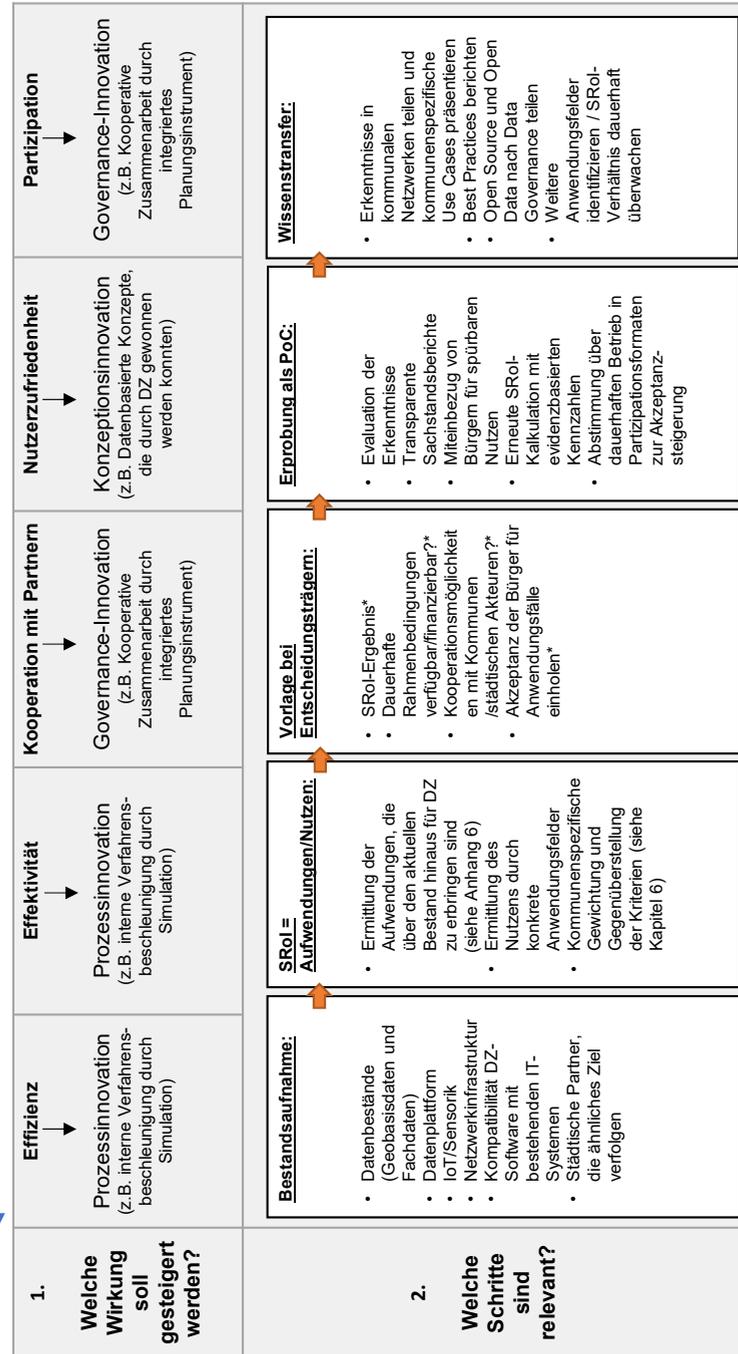
11. Wie hoch schätzen Sie die Bedeutung eines DMZ im Kontext Mobilität vor dem Hintergrund zunehmender Ressourcenknappheit öffentlicher Kommunalverwaltungen ein? (0 irrelevant, 5 relevant, 10 unerlässlich)

12. Wie hoch schätzen Sie die Bedeutung eines DMZ im Kontext Mobilität zur Verbesserung von Nachhaltigkeitswerten wie zum Beispiel Emissionsreduktion und Ressourcenoptimierung in der Planung ein? (0 irrelevant, 5 relevant, 10 unerlässlich)

13. Wie hoch schätzen Sie die Umsetzbarkeit zur Implementierung eines DMZ zum jetzigen Zeitpunkt, in fünf Jahren und in zehn Jahren ein?

9.8 Anhang 8: Entscheidungsmodell für Kommunen

Entscheidungsmodell für Kommunen über digitale Zwillinge (DZ)



Entscheidungsmodell für Kommunen über digitale Zwillinge (DZ)

<p>3. Welche Faktoren beeinflussen den Implementier- ungserfolg?</p>	<p style="text-align: center;"><u>Positive Einflussfaktoren stärken:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Einfache Inbetriebnahme und Verwendung → Handlungsempfehlung: Best Practice-Austausch und Inkubatoren mit Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung 2. <u>Kreativität der Mitarbeiter</u> → Handlungsempfehlung: Erprobungsräume schaffen, agile Methoden etablieren 3. Beschleunigte Erprobung durch bewährte Prototypen → Handlungsempfehlung: Wissenstransfer in Experten-Netzwerken 4. <u>Sichtbarer Nutzen für die Bürger</u> → Handlungsempfehlung: Partizipationsformate, transparentes Reporting mit kennzahlenbasierter Evidenz über erzielten Nutzen 	<p style="text-align: center;"><u>Negative Einflussfaktoren vermeiden:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Mangelnde Ressourcen (Geld, Personal, LuK-Infrastruktur)</u> → Handlungsempfehlung: Ermittlung einschlägiger Förderprogramme 2. <u>Risikoaversion/Risikovermeidung</u> → Handlungsempfehlung: Fehlerkultur etablieren, Verwaltungskultur überwinden
<p><u>Weitere relevante Rahmenbedingungen beachten:</u></p> <p>Strukturelle Unterschiede zwischen kleineren Kommunen und Großstädten Kooperation mit städtischen Akteuren Bedarfsgerechte Gestaltung Open Source und Open Data als Motor</p>		

*Fundstellen: wesentliche Entscheidungsdeterminanten: (S)RoI (E2, 0:29:49; E3, 1:03:08; E4, 0:50:03; E5, 0:50:20; E7, 0:30:08; E9, 0:50:00), dauerhafte Rahmenbedingungen verfügbar (E1, 0:53:20; E6, 1:07:09; E10, 0:39:38), Kooperationsmöglichkeiten mit Kommunen/städtischen Akteuren (E1, 0:53:20; E5, 0:51:18), Akzeptanz der Bürger für Anwendungsfälle (E5, 0:50:40; E9, 0:50:30).

Hinweis: Ein Entscheidungsmodell zu digitalen städtischen Zwillingen des Fraunhofer ISE wird aktuell erarbeitet, in das erste Einblicke gewährt wurden (E3, 0:16:58). Bei der Erstellung des vorliegenden Modells wurde sich allerdings ausschließlich an den Ergebnissen dieser Masterarbeit orientiert.

(Eigene Darstellung)

Literaturverzeichnis

- ABI Research 2023: Allied Business Intelligence Research: New Urban Use Cases Drive Over 500 Cities to Adopt Digital Twins by 2025**, ABI Research, New York 2023. Online: <https://www.abiresearch.com/press/new-urban-use-cases-drive-over-500-cities-adopt-digital-twins-2025/>.
- Agolla/van Lill 2016: Agolla, Joseph Evans und van Lill, Jacobus Burger**: An empirical investigation into innovation drivers and barriers in public sector organisations, in: *International Journal of Innovation Science*, 8(4), 404-422. Online: 10.1108/IJIS-06-2016-0006.
- Agostinelli/Cumo/Guidi/Tomazzoli 2021: Agostinelli, Sofia; Cumo, Fabrizio und Guidi, Giambattista**: Cyber-Physical Systems Improving Building Energy Management – Digital Twin and Artificial Intelligence, in: *Energies*, 14(8), 2338, Online: 10.3390/en14082338.
- Airaksinen/Bergstrom/Heinonen/Kaisla/Lahti/Suomisto 2019: Airaksinen, Enni; Bergstrom, Maija; Heinonen, Heinonen; Kaisla, Kari; Lahti, Kristiina und Suomisto, Jarmo**: The Kalasatama digital twins project – The final report of the KIRA-digi pilot project – Technical report, KIRA-digi, Helsinki 2019. Online: https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kaupunginkanslia/Helsinki3D_Kalasatama_Digital_Twins.pdf.
- Armbruster 2015: Armbruster, Ralf**: Geodaten loslassen - Open Geodata, Kommune21, Tübingen 2015. Online: https://www.kommune21.de/meldung_22091.html.
- Atalay/Murat/Oksuz/Parlaktuna/Pisirir/Testik 2022: Atalay, Murat; Murat, Ugur; Oksuz, Bursa; Parlaktuna, Ayse; Pisirir, Erhan und Testik, Murat**: Digital twins in manufacturing – systematic literature review for physical – digital layer categorization and future research directions, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 35(7), 679-705. Online: 10.1080/0951192X.2021.2022762.
- Austin/Delgoshaei/Coelho/Heidarinejad 2020: Austin, Mark; Delgoshaei, Parastoo; Coelho, Maria und Heidarinejad, Mohammad**: Architecting Smart City Digital Twins – Combined Semantic Model and Machine Learning Approach, in: *Journal of Management in Engineering*, 36(4). Online: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000774.
- Bala Krishna/Naga Swapna Sri/Vamsi Krishna/Satya Sandeep 2020: Bala Krishna, P., Naga Swapna Sri, V., Vamsi Krishna, T und Satya Sandeep, K**: Smart city waste management control and analysis system using IoT, in: *International Journal of Advanced Science and Technology* S. 29, 3178-3186. Online: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/13892>.
- Barcik/Coufalikova/Frantis/Vavra 2023: Barcik, Peter; Coufalikova, Aneta; Frantis, Petr; und Vavra, Jiri**: The Future Possibilities and Security

- Challenges of City Digitalization, in: Smart Cities, 6(1), 137-155. Online: [10.3390/smartcities6010008](https://doi.org/10.3390/smartcities6010008).
- Bartlett/Dibben 2002: Bartlett, Dean und Dibben, Pauline:** Public Sector Innovation and Entrepreneurship: Case Studies from Local Government. Local Government Studies, 28, 107-121. Online: [10.1080/714004159](https://doi.org/10.1080/714004159).
- Barzelay/Thompson 2010: Barzelay, Michael und Thompson, Fred:** Back to the Future – Making Public Administration a Design Science, in: Public Administration Review, 70, 295-297. Online: [10.1111/j.1540-6210.2010.02290.x](https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2010.02290.x).
- Batty 2018: Batty, Michael:** Digital twins – Environment and Planning B – Urban Analytics and City Science, 45(5), 817-820. Online: [10.1177/2399808318796416](https://doi.org/10.1177/2399808318796416).
- Baur/Blasius 2022: Baur, Nina und Blasius, Jörg:** Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, 3. Auflage, Band 2, Springer VS, Wiesbaden 2022. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-37985-8>.
- Bayerisches Staatsministerium für Digitales 2023a: Bayerisches Staatsministerium für Digitales:** Digitalplan Bayern – Zukunftsstrategie für unsere Heimat – TwinBy – Digitaler Zwilling Bayerns, Bayerisches Staatsministerium für Digitales, München 2023. Online: <https://digitalplan.bayern/bayern/de/flexPrjList/57903/project/77>.
- Bayerisches Staatsministerium für Digitales 2023b: Bayerisches Staatsministerium für Digitales:** Digitale Zwillinge für Bayern, Bayerisches Staatsministerium für Digitales, München 2023. Online: <https://twinby.bayern/de/startseite>.
- Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation 2023: Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation:** Internet der Dinge – Definition und Abgrenzung, Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation, München 2023. Online: <https://www.bidt.digital/glossar/internet-der-dinge/>.
- Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik 2014: Die Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik:** Konzept zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Bundesverwaltung, insbesondere beim Einsatz der IT – WiBe 5.0, Anlage zum Beschluss Nr. 2015/3 des Rates der IT-Beauftragten der Ressorts vom 19. Februar 2015, Die Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik, Berlin 2014. Online: https://www.cio.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/CIO/DE/digitale-loesungen/it-beschaffung/wirtschaftlichkeitsbetrachtung/wibe5-0/wibe-fachkonzept-5-0.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- Behörden Spiegel 2021: Pro-Press Verlagsgesellschaft mbH:** Betrieb öffentlicher Rechenzentren – Erfahrungen und Lehren aus der Corona-Krise, ProPress Verlagsgesellschaft mbH, Bonn 2021. Online:

- <https://www.digitaler-staat.online/2021/01/21/betrieb-oeffentlicher-rechenzentren-erfahrungen-und-lehren-aus-der-corona-krise/>.
- Behörden Spiegel 2023a: Pro-Press Verlagsgesellschaft mbH:** Ein Baukastensystem für moderne Stadtentwicklung, ProPress Verlagsgesellschaft mbH, Bonn 2023.
Online: <https://www.behoerden-spiegel.de/2023/03/15/ein-baukastensystem-fuer-moderne-stadtentwicklung/>.
- Behörden Spiegel 2023b, 18. April: Pro-Press Verlagsgesellschaft mbH:** Neue Geschäftsmodelle für die Verwaltung, In: Newsletter Digitaler Staat und Cyber Security, Nr. 1.178, ProPress Verlagsgesellschaft mbH, Bonn 2023. Online: <https://www.behoerden-spiegel.de/nl/nl1178.pdf>.
- Bekkers/Edelenbos/Steijn 2011: Bekkers, Victor; Edelenbos Jurian und Steijn Bram:** Innovation in the Public Sector – Linking Capacity and Leadership, Palgrave Macmillan, London 2011. Online: <https://link.springer.com/book/10.1057/9780230307520>.
- Bendel 2023: Bendel, Oliver:** Kunst: Definition - Was ist „Kunst“?, Gabler Wirtschaftslexikon, Wiesbaden 2023. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kunst-123143#:~:text=Kritik%20und%20Ausblick-,Allgemein,Struktur%20oder%20einen%20Prozess%20handeln.>
- Benz 2022: Benz, Ilona:** Zukunft smarte Kommune - Modellentwurf, Vorgehen und Handlungsempfehlungen für kleine Städte und Gemeinden, Springer VS, Wiesbaden 2022. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-40373-7>.
- Berger 2020: Berger, Ariane:** Digitalisierung und kommunale Datenräume, In: Flächenmanagement und Bodenordnung, 3, 2020. Online: http://www.fub-online.info/fachaufsaetze_20_3.html.
- Bernhard/Mäs 2020: Bernhard, Lars und Mäs, Stephan:** Digitale Geodaten, in: Tanja Klenk, Frank Nullmeier und Göttrik Wever (Hrsg.): Handbuch Digitalisierung in Staat und Verwaltung, S. 1-10, Springer VS, Wiesbaden 2020. Online: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-658-23669-4_7-1.
- Bhatti/Olsen/Pedersen 2011: Bhatti, Yosef; Olsen, Asmus und Pedersen, Lene:** Administrative Professionals and the diffusion of innovations – The case of citizen service centers, in: Public Administration, 2, 577-594. Online: 10.1111/j.1467-9299.2010.01882.x.
- Bitkom 2022 26. Oktober: Bitkom e.V.:** Beim Metaverse ist die deutsche Wirtschaft gespalten – Presseinformation vom 26.10.2022, Bitkom e.V., Berlin 2022. Online: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Metaverse-deutsche-Wirtschaft-gespalten>.
- Bitkom 2023: Bitkom e.V.:** Digitale Zwillinge werden in der Industrie zum Standard – Presseinformation vom 12.04.2023, Bitkom e.V., Berlin

2023. Online:
<https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitale-Zwillinge-Industrie-Standard>.
- Bogner/Littig/Menz 2005: Bogner, Alexander; Littig, Beate und Menz, Wolfgang:** Das Experteninterview: Theorie, Methode, Anwendung, 2. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Stuttgart 2005.
- Bogner 2014: Bogner, Alexander:** Interviews mit Experten - Eine praxisorientierte Einführung, Springer VS, Wiesbaden 2014. Online:
<http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-531-19416-5>.
- Bogumil/Jann 2020: Bogumil, Jörg und Jann, Werner:** Verwaltung und Verwaltungswissenschaft in Deutschland – Eine Einführung, 3. Auflage, Springer VS, Wiesbaden 2020. Online:
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-28408-4>.
- Bohnsack/ Meuser/Geimer 2018: Bohnsack, Ralf; Meuser, Michael und Geimer, Alexander:** Hauptbegriffe qualitativer Sozialforschung, 4. Auflage, Verlag Barbara Budrich, Leverkusen 2018. Online:
<https://link.springer.com/book/9783810033024>.
- Borins 2001: Borins, Sandford:** Encouraging innovation in the public sector, in: Journal of Intellectual Capital, 3, 2001, 310-319 Online:
 10.1108/14691930110400128.
- Bott 2013: Bott, Jutta:** Die Wirkung von Macht auf Innovationen innerhalb einer öffentlichen Verwaltung, Kassel University Press, Kassel 2013. Online: <https://www.econbiz.de/Record/die-wirkung-von-macht-auf-innovationen-innerhalb-einer-%C3%B6ffentlichen-verwaltung-bott-jutta/10009783845>.
- Bremeier/Brinckmann/Kilian 2006: Bremeier, Wolfram; Brinckmann, Hans und Kilian, Werner:** Public Governance kommunaler Unternehmen: Vorschläge zur politischen Steuerung ausgegliederter Aufgaben auf der Grundlage einer empirischen Erhebung, 1. Auflage, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf 2006. Online:
https://www.boeckler.de/pdf/p_edition_hbs_173.pdf.
- Brunzel 2023: Brunzel, Marco:** Digitale Daten als Rohstoff und Ressource - Nutzung raumbezogener Planungs- und Genehmigungsverfahren für den Aufbau kooperativer Dateninfrastrukturen, in: Tobias Krause; Christian Schachtner und Basanta Thapa (Hrsg.): Handbuch Digitalisierung der Verwaltung, utb, S. 113-140, Bielefeld 2023.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2023: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie:** Digitaler Zwilling Deutschland, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main 2023. Online:
https://evrs.bkg.bund.de/DE/Forschung/Projekte/Digitaler-Zwilling/Digitaler-Zwilling_cont.html.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2022: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung:** Die digitale Stadt gestalten: Eine Handreichung für Kommunen. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Berlin 2023. Online:

https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2022/handreichung-digitale-stadt-gestalten-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Urbane Datenplattformen – Von der Idee bis zur Umsetzung – Entscheidungshilfen für Kommunen, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Berlin 2022. Online:

https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2023/urbane-datenplattformen-dl.pdf?__blob=publicationFile.

Bundeskanzleramt 2023: Bundeskanzleramt: Eine Open Source-Plattform der öffentlichen Verwaltung – Dritter Nationaler Aktionsplan | Verpflichtung 7.1., Bundeskanzleramt, Berlin 2023. Online:

<https://www.open-government-deutschland.de/opengov-de/ogp/aktionsplaene-und-berichte/3-nap/eine-open-source-plattform-der-oeffentlichen-verwaltung-1981538>.

Bundesministerium der Finanzen 2022: Bundesministerium der Finanzen: Bundespolitik und Kommunalfinanzen in Krisenzeiten – Monatsbericht des BMF November 2022 – Analysen und Berichte, Bundesministerium der Finanzen, Berlin 2022. Online

https://www.bundesfinanzministerium.de/Monatsberichte/2022/11/Inhalte/Kapitel-3-Analysen/3-1-bundespolitik-und-kommunalfinanzen-in-krisenzeiten-pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Bundesministerium des Innern und für Heimat 2023a: Bundesministerium des Innern und für Heimat: Open CoDE - Open Source-Plattform der Öffentlichen Verwaltung, Bundesministerium des Innern und für Heimat, Berlin 2023. Online:

[https://www.cio.bund.de/Webs/CIO/DE/digitale-loesungen/digitale-souveraenitaet/open-code/open-code-no-de.html#:~:text=Open%20CoDE%20%2D%20Open%20Source%2DPlattform%20der%20C3%96ffentlichen%20Verwaltung&text=Open%20CoDE%20\(www.opencode.,%2DW%C3%BCrtemberg%20und%20Nordrhein%2DWestfalen](https://www.cio.bund.de/Webs/CIO/DE/digitale-loesungen/digitale-souveraenitaet/open-code/open-code-no-de.html#:~:text=Open%20CoDE%20%2D%20Open%20Source%2DPlattform%20der%20C3%96ffentlichen%20Verwaltung&text=Open%20CoDE%20(www.opencode.,%2DW%C3%BCrtemberg%20und%20Nordrhein%2DWestfalen).

Bundesministerium des Innern und für Heimat 2023b: Bundesministerium des Innern und für Heimat: Organisationshandbuch – 1.1.2 Funktionsorientierung vs. Prozessorientierung, Bundesministerium des Innern und für Heimat, Berlin 2023: Bundesministerium des Innern und für Heimat. Online:

https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/1_Einfueh-

- rung/11_Organisation/112_FunktionVsProzess/funktionvsprozess-node.html.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2019: Bundesministerium für Digitales und Verkehr:** Mobilitätsdaten für durchgängige Reiseinformationsdienste. Die Delegierte Verordnung (EU) 2017/1926 für multimodale Reiseinformation, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Berlin 2019. Online: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/multimodale-reisefunktionen-flyer.pdf?__blob=publicationFile.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2022: Bundesministerium für Digitales und Verkehr:** Digitales Planen, Bauen, Infrastrukturmanagement: Einführung und Einsatz von Building Information Modeling (BIM), Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Berlin 2022. Online: <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Building-Information-Modeling/BIM/building-information-modeling.html>.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2023: Bundesministerium für Digitales und Verkehr:** BMDV fördert selbstfahrende Fahrzeuge in München – Wissing – Autonome und vernetzte Mobilitätslösungen für modernen und bedarfsgerechten ÖPNV, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Berlin 2023. Online: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2023/035-wissing-selbstfahrende-fahrzeuge-muenchen.html>.
- Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend 2016: Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend:** Siebter Altenbericht – Sorge und Mitverantwortung in der Kommune – Aufbau und Sicherung zukunftsfähiger Gemeinschaften und Stellungnahme der Bundesregierung, Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend, Berlin 2016. Online: <https://www.bmfsfj.de/resource/blob/120144/2a5de459ec4984cb2f83739785c908d6/7-altenbericht-bundestagsdrucksache-data.pdf>.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2023: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz:** Offene Daten sind elementar für die smarte Kommune, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin 2023. Online: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Standardartikel/Magazin/smart-city-digitale-koepfe.html>.
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2023a: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen:** Modellprojekte Smart Cities – Smart Cities in Deutschland, Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Berlin 2023. Online: <https://www.smart-city-dialog.de/category/modellprojekte>.
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2023b: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen:** Wissensspeicher: Suchbegriff „Digitaler Zwilling“, Bundesministe-

- rium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Berlin 2023. Online: https://wuv.smart-city-dia-log.de/wissensspeicher?f%5B0%5D=digital_services%3ADigitaler%20Zwilling.
- Bundesstadt Bonn 2022: Bundesstadt Bonn:** Kommunalverwaltungen sind keine IT-Entwickler, Bundesstadt Bonn, Bonn 2022. Online: <https://blog.bonn.de/digitaleverwaltung/kommunalverwaltungen-sind-keine-it-entwickler/>.
- Burth/Gnädinger 2023a: Burth, Andeas und Gnädinger, Marc:** Lexikon zur öffentlichen Haushalts- und Finanzwirtschaft. Online: <https://www.haushaltssteuerung.de/lexikon-finanzwesen-oeffentliches.html>.
- Burth/Gnädinger 2023b: Burth, Andeas und Gnädinger, Marc:** Öffentliche Finanzwirtschaft. Online: <https://www.haushaltssteuerung.de/lexikon-finanzwirtschaft-oeffentliche.html>.
- Burth/Gnädinger 2023c: Burth, Andeas und Gnädinger, Marc:** Haushaltsgrundsatz. Online: <https://www.haushaltssteuerung.de/lexikon-haushaltsgrundsatz.html>.
- Capgemini 2022: Capgemini SE:** Digitale Zwillinge – Erweiterung unserer Intelligenz in der realen Welt, Capgemini SE, Berlin 2022. Online: <https://www.capgemini.com/de-de/insights/research/studie-digitale-zwillinge/#linkToForm>.
- Conejos Fuertes/Martínez Alzamora/Hervás Carot/Alonso Campos 2020: Conejos Fuertes, Pilar; Martínez Alzamora, Fernando; Hervás Carot, Marta und Alonso Campos, Joan Carles:** Building and exploiting a Digital Twin for the management of drinking water distribution networks, in: *Urban Water Journal*, 17(8), 704-713. Online: 10.1080/1573062X.2020.1771382.
- Coorey/Figtree/Fletcher/Redfern 2021: Coorey, Geneviece; Figtree, Gemma; Fletcher, David und Redfern, Julie:** The health digital twin: advancing precision cardiovascular medicine, in: *Nature reviews cardiology*, 18(12), 803-804. Online: 10.1038/s41569-021-00630-4.
- Damanpour/Schneider 2009: Damanpour, Fariborz und Schneider, Marguerite: Characteristics of Innovation and Innovation Adoption in Public Organizations: Assessing the Role of Managers,** in: *Journal of Public Administration Research and Theory*, 19/3, 495-522. Online: 10.1093/jopart/mun021.
- Deloitte 2023: Deloitte GmbH:** Die Zukunft der öffentlichen Verwaltung datenbasiert gestalten – Die öffentliche Verwaltung der Zukunft ist datenbasiert – Darin sind sich führende KI-Expert:innen einig. Was bedeutet das für den öffentlichen Sektor?, Deloitte GmbH, München 2023. Online: <https://www2.deloitte.com/dse/de/pages/public->

- sector/articles/zukunft-der-oeffentlichen-verwaltung-datenbasiert-gestalten.html.
- Dembski/Wössner/Letzgus/Ruddat/Yamu 2020: Dembski, Fabian; Wössner, Uwe; Letzgus, Mike; Ruddat, Michael und Yamu, Claudia:** Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens – The Case Study of Herrenberg, Germany, in: Sustainability, 12(6), 2307. Online: 10.3390/su12062307.
- Demir 2022: Demir, Fatih:** Innovation in the Public Sector - Smarter States, Services and Citizens, Springer Nature Switzerland, Cham 2022. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-11331-4>.
- Deng/Zhang/Shen 2021: Deng, Tianhu; Zhang, Keren; Shen, Zupo-Jun:** A systematic review of a digital twin city – A new pattern of urban governance toward smart cities, in: Journal of Management Science and Engineering, 6(2), 125-134. Online: 10.1016/j.jmse.2021.03.003.
- Deren/Wenbo/Zhenfeng 2021: Deren, Li; Wenbo, Yu; Zhenfeng, Shao:** Smart city based on digital twins, in: Computational Urban Science, 1, 4. Online: 10.1007/s43762-021-00005-y.
- Detecon International GmbH 2019a: Detecon International GmbH:** Detecon STUDIE - Digitale Zwillinge: Wegbereiter für Ökosysteme von morgen, Detecon International GmbH, Köln 2019. Online: https://www.detecon.com/drupal/sites/default/files/2019-10/ST_Digitaler_Zwilling_final_online_091019_0.pdf.
- Deutscher Städtetag 2021a: Deutscher Städtetag:** Die Stadt der Zukunft mit Daten gestalten – Souveräne Städte – nachhaltige Investitionen in Dateninfrastrukturen, Deutscher Städtetag, Berlin 2021. Online: <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Weitere-Publikationen/2021/stadt-der-Zukunft-mit-daten-gestalten-studie-2021.pdf>.
- Deutscher Städtetag 2021b: Deutscher Städtetag:** Forderungen für die digitale Verwaltung von morgen: Beschluss des Präsidiums des Deutschen Städtetages, Deutscher Städtetag, Berlin 2021. Online: <https://www.staedtetag.de/positionen/beschlusse/2021/praesidium-forderungen-fuer-die-digitale-verwaltung-von-morgen>.
- Deutscher Städtetag 2023: Deutscher Städtetag:** Urbane Digitale Zwillinge – Eine Stadt sehen, verstehen und lebenswert gestalten – Expertenpapier der Fachkommission Geoinformation, Vermessung und Bodenordnung des Deutschen Städtetages, Deutscher Städtetag, Berlin 2023. Online: <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Weitere-Publikationen/2023/expertenpapier-urbane-digitale-zwillinge-2023.pdf>.
- Deutsches Institut für Normung 2022: Deutsches Institut für Normung:** Der „Digitale Zwilling für Städte und Kommunen“ kommt! Erfolgreiche Konstituierung des Konsortiums zur DIN SPEC 91607, Deutsches

- Institut für Normung, Berlin 2022. Online: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/smart-cities/aktuelles/der-digitale-zwilling-fuer-staedte-und-kommunen-kommt--859000>.
- Deutsches Institut für Normung 2023: Deutsches Institut für Normung:** Geschäftsplan für ein DIN SPEC-Projekt nach dem PAS-Verfahren zum Thema „Datenmodelle und Protokolle in offenen urbanen Plattformen“ – Status: Zur Erarbeitung der DIN SPEC nach Annahme am 04.05.2023, Deutsches Institut für Normung, Berlin 2023. Online: <https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:361014544>.
- D’Hauwers/Walravens/Ballon 2022: D’Hauwers, Ruben; Walravens, Nils und Ballon, Pieter:** Data Ecosystem Business Models, in: Journal of Business Models, 10(2), 1-30. Online: 10.54337/jbm.v10i2.6946.
- Diaz-Bone/Weischer 2015: Diaz-Bone, Rainer und Weischer, Christoph:** Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften, Springer VS, Wiesbaden 2015. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-531-18889-8>.
- Doody 2019: Doody, Lean:** Digital twin - Towards a meaningful framework. Online: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/digital-twin-towards-a-meaningful-framework>.
- DUET 2023: DUET:** Digital Twins for Better Policy Making – Cities Innovating for Other Cities, DUET, Brüssel 2023. Online: <https://www.digitalurbantwins.com/digitaltwins>.
- Ernst Basler & Partner 2020: Ernst Basler & Partner AG:** Von smarten Systemen zu digitalen Zwillingen, Ernst Basler & Partner, Zürich 2023. Online: <https://digital.ebp.ch/2020/06/11/von-smarten-systemen-zu-digitalen-zwillingen/>.
- Edquist/Hommen/McKevley 2001: Edquist, Charles; Hommen, Leif und McKevley, Maureen:** Innovation and Employment – Process versus Product Innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham 2001. Online: https://www.researchgate.net/publication/31744680_Innovation_and_Employment_Process_Versus_Product_Innovation.
- Ellu/Stoter/Bucher 2022: Ellul, Claire; Stoter, Jantien und Bucher, Bénédicte:** Location-enabled Digital Twins – Understanding the Role of NMCAS in a European Context, in: Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, X-4/W2-2022, 53-60. Online: 10.5194/isprs-annals-X-4-W2-2022-53-2022.
- Engel/Heilshorn 2022: Engel, Rüdiger und Heilshorn, Thorsten:** Kommunalrecht Baden-Württemberg – Kompendium für Studium, Praxis und Fortbildung, 12. Auflage, Nomos, Baden-Baden 2022.
- Esri Deutschland GmbH 2023: Esri Deutschland GmbH:** Digital Twin – WhereNext Spezialausgabe, Esri Deutschland GmbH, Kranzberg 2023. Online: <https://www.esri.de/de-de/digital-twin/wherenext->

spezial?utm_medium=banner&utm_source=urban-digi-
tal&utm_campaign=digital_twin&utm_term=wn_spezial&utm_content=bild_link.

Europäische Kommission 2019: Europäische Kommission: Rotterdam's Digital Twin Redefines Our Physical, Digital, & Social Worlds, Europäische Kommission, Brüssel 2019. Online: <https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/news-and-events/news/2019/rotterdams-digital-twin-redefines-our-physical-digital-social-worlds>.

Europäische Kommission 2022: Europäische Kommission: Data Act: Shaping Europe's digital future, Europäische Kommission, Brüssel 2022. Online: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-act>.

Europäische Kommission 2023: Europäische Kommission: Was sind offene Daten? Open Data entdecken, Europäische Kommission, Brüssel 2023. Online: <https://data.europa.eu/elearning/de/module1/#/id/co-01>.

Feike 2022: Feike, Maximilian: In 4 Schritten zum ersten KI Use Case. Fraunhofer IAO, Stuttgart, 2022. Online: <https://blog.iao.fraunhofer.de/in-4-schritten-zum-ersten-ki-use-case/>.

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. 2020: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.: Anwendungshilfe Use Case Methodik – Eine praktische Anwendungshilfe für die Use Case Entwicklung (Version 2.0), Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München 2020. Online: https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2020/04/20200318_Veroeffentlichung_Anwendungshilfe-Use-Case-Methodik_final.pdf.

Forsthoff 1938: Forsthoff, Ernst: Die Verwaltung als Leistungsträger, Kohlhammer, Stuttgart 1938.

Forsthoff 1973: Forsthoff, Ernst: Lehrbuch des Verwaltungsrechts - Allgemeiner Teil Band 1, C.H. Beck, München 1973.

Francisco/Mohammadi/Taylor 2020: Francisco, Abigail; Mohammadi, Neda und Taylor, John: Smart City Digital Twin-Enabled Energy Management – Toward Real-Time Urban Building Energy Benchmarking, in: Journal of Management in Engineering, 36, 04019045, Online: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000741.

Fraunhofer IAO 2021a: Fraunhofer IAO: Offene urbane Datenplattform als Schlüssel für digitale Transformation, Fraunhofer IAO, Stuttgart 2021. Online: <https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/offene-urbane-datenplattform-als-schluesel-fuer-digitale-transformation.html>.

Fraunhofer IAO 2021b: Fraunhofer IAO: Nachhaltige Stadtplanung mit Digitalem Zwilling und VR, Fraunhofer IAO, Stuttgart 2021. Online: <https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und->

- medien/aktuelles/nachhaltige-stadtplanung-mit-digitalem-zwilling-und-vr.html.
- Fraunhofer IESE 2021: Fraunhofer IESE:** Whitepaper – Der Digitale Zwilling für Smart Cities – zwischen Erwartungen und Herausforderungen, Fraunhofer IESE, Kaiserslautern 2021. Online: <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/whitpaper-smart-cities/>.
- Fraunhofer IGD 2019: Fraunhofer IGD:** Fraunhofer-Software – Visualisierungen für eine effiziente Stadtplanung, Fraunhofer IGD, Darmstadt 2019. Online: <https://www.igd.fraunhofer.de/de/media-center/presse/fraunhofer-software--visualisierungen-fuer-eine-effiziente-stadt.html>.
- Fraunhofer IOSB 2022: Fraunhofer IOSB:** Digitaler Zwilling – das Schlüsselkonzept für Industrie 4.0, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe 2022. Online: <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/automatisierung-digitalisierung/anwendungsfelder/digitaler-zwilling.html>.
- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. 2020: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.:** Digitaler Zwilling für den Wissenstransfer – Neue Formen der Zusammenarbeit in Krisenzeiten, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Stuttgart 2020. Online: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2020/juli/digitaler-zwilling-fuer-den-wissenstransfer.html>.
- Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie 2022: Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie:** Technologien und Use Cases für das (Industrial) Metaverse – Fakt oder Fiktion?, Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie, Berlin 2022. Online: [https://www.iuk.fraunhofer.de/content/dam/iuk/de/Download/Technologie%20und%20Use%20Cases%20f%C3%BCr%20das%20\(Industrial\)%20Metaverse.pdf](https://www.iuk.fraunhofer.de/content/dam/iuk/de/Download/Technologie%20und%20Use%20Cases%20f%C3%BCr%20das%20(Industrial)%20Metaverse.pdf).
- Friedländer 2019: Friedländer, Benjamin:** Öffentliche Unternehmen und Beteiligungsmanagement im kommunalpolitischen Prozess - Konzeptionelle Fundierung und Befunde einer Befragung und Dokumentenanalyse, in: Zeitschrift für Öffentliche und Gemeinwirtschaftliche Unternehmen, 42, 2019, 181-197. Online: 10.5771/0344-9777-2019-3-181.
- Friedrich Ebert Stiftung 2014: Friedrich Ebert Stiftung e.V.:** Kommunalpolitik verstehen: Für junges Politikverständnis, Friedrich Ebert Stiftung, Berlin 2014. Online: <https://library.fes.de/pdf-files/dialog/10667.pdf>.
- Fuß/Karbach 2019: Fuß, Susanne und Karbach, Ute:** Grundlagen der Transkription: Eine praktische Einführung, 2. Auflage, Verlag Barbara Budrich, Leverkusen 2019. Online: https://www.researchgate.net/publication/270567010_Grundlagen_der_Transkription.

- Gartner 2022: Gartner Inc.:** Gartner Glossary – Digital Twin, Gartner, Stamford 2022. Online: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digital-twin>.
- Gesellschaft für Informatik 2021: Gesellschaft für Informatik e.V.:** Digitaler Zwilling – Einleitung – Was ist ein digitaler Zwilling? Gesellschaft für Informatik, Kaiserslautern 2021. Online: <https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling>.
- Grand View Research 2021: Grand View Research Inc.:** Digital Twin Market Size, Share & Trends Analysis Report By End-use (Manufacturing, Agriculture) – By Solution (Component, Process, System), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030. Grand View Research 2021. Online: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market>.
- Gröpl 2022: Gröpl, Christoph:** Staatsrecht - Staatsgrundlagen, Staatsorganisation, Verfassungsprozess, 14. Auflage, C.H. Beck., München 2022.
- Guo/Goodchild/Annoni 2020: Guo, Huadong; Goodchild, Michael und Annoni, Alessandro:** Manual of Digital Earth, 1. Auflage, Springer Nature. Singapur 2020. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-32-9915-3>.
- Hamburg Port Authority 2023: Hamburg Port Authority, Anstalt des öffentlichen Rechts:** smartBRIDGEHamburg. Die Gegenwart der Zukunft, Hamburg Port Authority, Hamburg 2023. Online: <https://www.homeport.hamburg/portfolio/smartbridge>.
- Han/Zhao/Li 2020: Han, Tianran; Zhao, Jianming und Li, Wenquan:** Smart-Guided Pedestrian Emergency Evacuation in Slender-Shape Infrastructure with Digital Twin Simulations, in: Sustainability, 12(22), 9701. Online: 10.3390/su12229701.
- Haße/van der Valk/Möller/Otto 2022: Haße, Hendrik; van der Valk, Hendrik; Möller, Frederik und Otto, Boris:** Design Principles for Shared Digital Twins in Distributed Systems. Business & Information Systems Engineering, 64(6), 751-772. Online: 10.1007/s12599-022-00751-1.
- Haus 2023: Haus, Alexander:** Public Management in Städten und Gemeinden - Verwaltungsreformen und deren Auswirkungen in der Schweiz, Sonderband 51, Nomos Gemeinsamer Bibliotheksverband, Baden-Baden 2023. Online: <https://www.nomos-elibrary.de/10.5771/9783748937302/public-management-in-staedten-und-gemeinden?page=1>.
- Heib 2004: Heib, Ralf:** Effiziente Verwaltungsprozesse durch E-Government, in: August-Wilhelm Scheer; Ferri Abolhassan; Helmut Kruppke und Wolfram Jost (Hrsg.): Jahrbuch business process excellence 2004/05 – Innovation durch Geschäftsprozessmanagement, S. 385-398, Springer, Berlin/Heidelberg 2004. Online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-17138-3_30.

- Hevner 2007: Hevner, Alan:** A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 19, 2007, 87-92. Online: https://www.researchgate.net/publication/254804390_A_Three_Cycle_View_of_Design_Science_Research.
- Hevner/March/Park/Ram 2004: Hevner, Alan; March, Salvatore; Park, Jinsoo und Ram, Sudha:** Design Science in Information Systems Research, in: *MIS Quarterly*, 28/1, 75-105. Online: 10.2307/25148625.
- Holm 2021: Holm, Helge:** Entscheidungsmethoden in der öffentlichen Verwaltung - Sicher, wirtschaftlich, transparent, 1. Auflage), Haufe, Freiburg 2021. Online: <https://www.beck-elibrary.de/10.34157/9783648147122/entscheidungsmethoden-in-der-oeffentlichen-verwaltung>.
- IBM 2009: IBM:** A vision of smarter cities – How cities can lead the way into a prosperous and sustainable future, IBM, New York 2009. Online: <https://www.ibm.com/downloads/cas/2JYLM4ZA>.
- IBM 2022: IBM:** Wie funktioniert ein digitaler Zwilling? IBM, New York 2022. Online: <https://www.ibm.com/de-de/topics/what-is-a-digital-twin>.
- Infrastructure Global 2023: Infrastructure Global GIP:** Singapore’s digital twin – from science fiction to hi-tech reality, Infrastructure Global GIP, Geneva 2023. Online: <https://infra.global/singapores-digital-twin-from-science-fiction-to-hi-tech-reality/>.
- The Institution of Engineering and Technology 2019: The Institution of Engineering and Technology IET:** Digital twins for the built environment – An introduction to the opportunities, benefits, challenges and risks. The Built Environment Panel of the Institution of Engineering and Technology, The Institution of Engineering and Technology, London 2019. Online: <https://www.theiet.org/impact-society/factfiles/built-environment-factfiles/digital-twins-for-the-built-environment/>.
- IWT Wirtschaft und Technik 2023: Wirtschaft und Technik GmbH: ALFRIED:** Über das Projekt ALFRIED, IWT Wirtschaft und Technik, Friedrichshafen 2023. Online: <https://alfried.net/>.
- Janowicz/Gao/McKenzie/Hu/Bhaduri 2020: Janowicz, Krzysztof; Gao, Song; McKenzie, Grant; Hu, Yingjie und Bhaduri, Budhendra:** GeoAI – spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond, in: *International Journal of Geographical Information Science*, 34(4), 625-636. Online: 10.1080/13658816.2019.1684500.
- Kaczorowski 2014: Kaczorowski, Willi:** Die smarte Stadt - Den digitalen Wandel intelligent gestalten - Handlungsfelder, Herausforderungen, Strategien, Richard Boorberg Verlag, Stuttgart 2014. Online: <https://download.e-bookshelf.de/download/0002/3765/26/L-G-0002376526-0014207537.pdf>.

- Kaur/Mishra/Maheshwari 2020: Kaur, Maninder, Mishra, Ved und Maheshwari, Piyush:** The Convergence of Digital Twin, IoT, and Machine Learning – Transforming Data into Action, in: Maryam Farsi; Alireza Daneshkhan; Amin Hosseinian-Far und Hamid Jahankhani (Hrsg.): Internet of Things. Digital twin technologies and smart cities, S. 3-17, Springer, Berlin/Heidelberg. Online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-18732-3_1.
- Kelle 2022: Kelle, Udo:** Mixed Methods, in: Baur, Nina und Blasius, Jörg (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, 3. Auflage, S. 163-177, Springer VS, Wiesbaden 2022. Online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-37985-8_9.
- Ketzler/Naserentin/Latino/Zangelidis/Thuvander/Logg 2020: Ketzler, Bernd; Naserentin, Vasilis; Latino, Fabio; Zangelidis, Christopher; Thuvander, Liane und Logg, Anders:** Digital Twins for Cities – A State of the Art Review, in: Built Environment, 46(4), 547-573. Online: [10.2148/benv.46.4.547](https://doi.org/10.2148/benv.46.4.547).
- KielRegion 2023: KielRegion GmbH:** Datenplattform: Die Datenplattform der KielRegion – Gemeinsam. Innovativ. Digital, KielRegion, Kiel 2023. Online: <https://mobility.kielregion.de/projekte/datenplattform/>.
- Klostermeier/Haag/Benlian 2018: Klostermeier, Robin; Haag, Steffi und Benlian, Alexander:** Digitale Zwillinge – Eine explorative Fallstudie zur Untersuchung von Geschäftsmodellen, in: Praxis der Wirtschaftsinformatik, 55(2), 297-311. Online: [10.1365/s40702-018-0406-x](https://doi.org/10.1365/s40702-018-0406-x).
- Knezevic/Donaubauer/Moshrefzadeh/Kolbe 2022: Knezevic, Marija; Donaubauer, Andreas; Moshrefzadeh, Mandana und Kolbe, Thomas:** Managing Urban Digital Twins with an Extended Catalog Service, in: Annals of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS, X-4/W3-2022, 119-126. Online: [10.5194/isprs-annals-X-4-W3-2022-119-2022](https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W3-2022-119-2022).
- Komm.ONE 2023: Komm.ONE, Anstalt des öffentlichen Rechts:** Open Source Code für die Öffentliche Verwaltung, Komm.ONE, Stuttgart 2023. Online: <https://opencode.de/de>.
- Kommune 21 2022: K21 media GmbH:** Förderung für digitale Planungsmodelle, Kommune 21, Tübingen 2022. Online: https://www.kommune21.de/meldung_39770_F%C3%B6rderung+f%C3%BCr+digitale+Planungsmodelle.html.
- Kommune 21 2023a: K21 media GmbH:** Digitale Doppelgänger: Serie Smart Cities, K21 media GmbH, Tübingen 2023. Online: https://www.kommune21.de/meldung_41243_Digitale+Doppelg%C3%A4nger.html.
- Kommune 21 2023b: K21 media GmbH:** Besser mit Zwilling: Facility Management, K21 media GmbH, Tübingen 2023. Online: https://www.kommune21.de/meldung_35274_Besser+mit+Zwilling.html.

- Kompetenzzentrum Öffentliche IT 2019: Das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS:** Wie sind die Kommunen digital aufgestellt?, Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Berlin 2019. Online: <https://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/Wie+sind+die+Kommunen+in+Deutschland+digital+aufgestellt>.
- Kompetenzzentrum Öffentliche IT 2022: Das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS:** Ein Open-Source-Ökosystem für die öffentliche Verwaltung. Berlin: Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Berlin 2022. Online: <https://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/Ein+Open-Source-%C3%96kosystem+f%C3%BCr+die+%C3%B6ffentliche+Verwaltung>.
- Kompetenzzentrum Öffentliche IT 2023: Das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS:** ThemenRadar 2023: Digitalthemen in der öffentlichen Verwaltung 2023, Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Berlin 2023. Online: <https://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/278024/ThemenRadar+2023.pdf/271a2ffe-f626-6eca-4468-2d18a714844f?t=1682329341213>.
- Kromrey 2009: Kromrey, Helmut:** Empirische Sozialforschung: Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung, 12. Auflage, Lucius & Lucius, Stuttgart 2009. Online: <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.36198/9783838510408>.
- Kuckartz 2014: Kuckartz, Udo:** Mixed Methods - Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren, Springer VS, Wiesbaden 2014. Online: <http://link.springer.com/978-3-531-93267-5>.
- Kuckartz 2018: Kuckartz, Udo:** Qualitative Inhaltsanalyse - Methoden, Praxis, Computerunterstützung, 4. Auflage, Beltz Juventa, Weinheim/Basel 2018.
- Kuckartz/Rädiker 2019: Kuckartz, Udo und Rädiker, Stefan:** Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA: Text, Audio und Video, Springer VS, Wiesbaden 2019.
- Kumar/Rose 2012: Kumar, Naresh und Rose, Raduan:** The impact of knowledge sharing and Islamic work ethic on innovation capability, in: Cross Cultural Management: An International Journal, 19, 142-165. Online: 10.1108/13527601211219847.
- Lamnek/Krell 2016: Lamnek, Siegfried und Krell, Claudia:** Qualitative Sozialforschung – Mit Online-Materialien, 6. Auflage, Beltz, Weinheim/Base 2016.
- Laux/Liermann 1990: Laux, Helmut und Liermann Felix:** Die Determinanten der Entscheidung – Eine Systematik, in: Helmut Laux und Felix Liermann (Hrsg.): Heidelberger Lehrtexte Wirtschaftswissenschaften – Grundlagen der Organisation – Die Steuerung von Entscheidungen als Grundproblem der Betriebswirtschaftslehre, 2. Auflage,

- S. 70-81, Springer, Berlin/Heidelberg 1990. Online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-07593-7_4.
- Lehner/Dorffner 2020: Lehner, Hubert und Dorffner, Lionel:** Digital geoTwin Vienna: Towards a Digital Twin City as Geodata Hub, in: Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 88/1, 63-75. Online: 10.1007/s41064-020-00101-4.
- Li/Batty/Goodchild 2020: Li, Wenwen; Batty, Michael und Goodchild, Michael:** Real-time GIS for smart cities, in: International Journal of Geographical Information Science, 34/2, 311-324. Online: 10.1080/13658816.2019.1673397.
- Lindner 2020: Lindner, Dominic:** Forschungsdesigns der Wirtschaftsinformatik: Empfehlungen für die Bachelor- und Masterarbeit, Springer Gabler, Wiesbaden 2020. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-31140-7>.
- Liu/Fang/Dong/Xu 2021: Liu, Mengnan; Fang, Shuiliang; Dong, Huiyue und Xu, Cunzhi:** Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications, in: Journal of Manufacturing Systems, 58, 346-361. Online: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
- Lu/Parlikad/Woodall/Don Ranasinghe/Xie/Liang ... Schooling 2020: Lu, Qhichen; Parlikad, Ajith; Woodall, Philip; Don Ranasinghe, Gishan; Xie, Xiang; Liang, Zhenglin ... Schooling, Jenniger:** Developing a Digital Twin at Building and City Levels – Case Study of West Cambridge Campus, in: Journal of Management in Engineering, 36/3, 05020004. Online: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000763.
- von Lucke/ Reinermann 2000: von Lucke, Jörn und Reinermann, Heinrich:** Electronic Government in Deutschland, Ziele – Stand – Barrieren – Beispiele – Umsetzung. Forschungsbericht, Band 226, Forschungsinstitut für öffentliche Verwaltung Speyer, Speyer 2000. Online: https://www.researchgate.net/publication/275408188_Speyerer_Definition_von_Electronic_Government.
- von Lucke/Geiger 2012: von Lucke, Jörn und Geiger, Christian:** Open Government and (Linked) (Open) (Government) (Data), in: eJournal of eDemocracy and Open Government, 2, 265-278. Online: 10.29379/jedem.v4i2.143.
- von Lucke 2015: von Lucke, Jörn:** Smart Government - Wie uns die intelligente Vernetzung zum Leitbild „Verwaltung 4.0“ und einem smarten Regierungs- und Verwaltungshandeln führt. Whitepaper. Online: <https://www.zu.de/institute/togi/assets/pdf/ZU-150914-SmartGovernment-V1.pdf>.
- von Lucke 2016: von Lucke, Jörn:** Intelligent vernetztes Regierungs- und Verwaltungshandeln (Smart Government) im einsetzenden Zeitalter des Internets der Dinge und des Internets der Dienste, in: Detlef Rätz; Dagmar Lück-Schneider; Sigfried Kaiser und Erich Schweighofer (Hrsg.): Digitale Transformation - Methoden, Kompe-

- tenzen und Technologien für die Verwaltung, S. 163-174, Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn 2016.
- von Lucke 2018: von Lucke, Jörn:** In welcher smarten Welt wollen wir eigentlich leben? In: Verwaltung und Management, 4, 2018, 177-196. Online: [10.5771/0947-9856-2018-4-177/](https://doi.org/10.5771/0947-9856-2018-4-177/).
- von Lucke 2021, 20. Mai: von Lucke, Jörn:** IoT-Datenplattformen: Ein Impuls zum Aufschlag, in: Reihe „Bürger gestalten smarte Städte“ Smart Government Akademie Bodensee am 20.05.2021 in Friedrichshafen. The Open Government Institute, Zeppelin Universität, Friedrichshafen 2021. Online: <https://www.zu.de/institute/togi/assets/pdf/veranstaltung-iot/JvL-210520-PRaE-Impuls-IoT-Datenplattformen-V2.pdf>.
- von Lucke 2023a: von Lucke, Jörn:** Zeit für eine digitale Zeitenwende! „Auf ein Wort.“ In: Verwaltung und Management, 29/02, 2023, 50. Online: [10.5771/0947-9856-2023-2/](https://doi.org/10.5771/0947-9856-2023-2/).
- von Lucke 2023b, 16. Februar: von Lucke, Jörn:** Selbstfahrende Verwaltung, in: Seminar Digitalisierung des öffentlichen Sektors (nicht veröffentlichte Seminarunterlagen), The Open Government Institute, Friedrichshafen 2023.
- von Lucke/Gollasch 2022: von Lucke, Jörn und Gollasch, Katja:** Open Government: Offenes Regierungs- und Verwaltungshandeln - Leitbilder, Ziele und Methoden, Springer Gabler, Wiesbaden 2022. Online: [10.1007/978-3-658-36795-4](https://doi.org/10.1007/978-3-658-36795-4).
- von Lucke/Zanchet Maciel 2023: von Lucke, Jörn und Zanchet Maciel, Paulo Vinicius:** Smart Government und Smart City, in: Norbert Kersting, Jörg Radtke und Sigrid Barinhorst (Hrsg.): Handbuch Digitalisierung und politische Beteiligung, S.1-20, Springer VS, Wiesbaden 2023. Online: [10.1007/978-3-658-31480-4_30-1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-31480-4_30-1).
- March/Olsen 1990: March, James und Olsen, Johann:** Rediscovering Institutions – The Organizational Basis of Politics, in: Journal of Public Policy, 10/3, 349-351. Online: [10.1017/S0143814X00005869](https://doi.org/10.1017/S0143814X00005869).
- Marconcini/ Esch 2023: Marconcini, Mattia und Esch, Thomas:** Special Issue “Digital Twins for Sustainable and Smart Cities”, Remote Sensing. Online: https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/Digital_Twins_Sustainable.
- Maresco 2023: Maresco, Devon:** How to Measure Digital Twin Cost. Online: <https://spaceiq.com/blog/how-to-measure-digital-twin-cost/>.
- Martin 2022: Martin, Matthias:** Kommunen als Innovationstreiber – Das Beispiel Sachsen - kommunal. innovativ. Sächsisch, in: Franz-Reinhard Habbel, Diane Robers und Jürgen Stember (Hrsg.): Edition Innovative Verwaltung – Die innovative Kommune: Mindset, Konzepte, Ideen und Praxisbeispiele zukunftsorientierter Städte, Gemeinden und Landkreise, S. 303-319, Springer Gabler Wiesba-

- den 2022. Online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-35675-0_20.
- Mayntz 1978: Mayntz, Renate:** Soziologie der öffentlichen Verwaltung, C. F. Müller Juristischer Verlag, Heidelberg/Karlsruhe 1978.
- Mayring 2016: Mayring, Philipp:** Einführung in die qualitative Sozialforschung, 6. Auflage, Beltz, Weinheim/Base 2016. Online: <https://www.beltz.de/fileadmin/beltz/leseproben/978-3-407-25734-5.pdf>.
- Mayring 2022: Mayring, Philipp:** Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken, 13. Auflage, Beltz, Weinheim/Basel 2022.
- McKinsey & Company 2022a: McKinsey & Company:** Digital twins – How to build the first twin: Twins today, meataverse tomorrow, McKinsey & Company, New York 2022. Online: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/digital-twins-how-to-build-the-first-twin>.
- McKinsey & Company 2022b: McKinsey & Company:** Digital twins: The foundation of the enterprise metaverse, McKinsey & Company, New York 2022. Online: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/digital-twins-the-foundation-of-the-enterprise-metaverse>.
- McKinsey & Company 2023: McKinsey & Company:** Action, bitte! Wie der öffentliche Sektor den Mangel an digitalen Fachkräften meistern kann: Im öffentlichen Dienst fehlen bis 2030 140.000 IT-Fachkräfte, McKinsey & Company, New York 2023. Online: <https://www.mckinsey.de/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/publikationen/2023-01-25%20it%20talent%20im%20public%20sector/action%20bittemckinsey.pdf>.
- Meeus/Hage 2006: Meeus, Marius und Hage, Jerald:** Introduction to Part I – Product and Process Innovation, in: Innovation, Science, and Institutional Change. A Research Handbook, R & D Management, 39, 108-109. Online: 10.1111/j.1467-9310.2008.00543_1.x.
- Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg 2017: Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg:** Die Kommunen und ihre Einnahmen, Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg, Stuttgart 2017. Online: https://fm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-fm/intern/Publikationen/171214_Steuertipps_Kommunen.pdf.
- Mohl 2023: Mohl, Markus:** München unterwegs - GeoPortal München - Baustellen in München, Servicekarte Baustellen. Online: https://www.linkedin.com/posts/markusmohl_digitaltwin-digitaltwins-smartcity-activity-7049353045238833152-BK58/?utm_source=share&utm_medium=member_ios.
- Moore/Hartley 2008: Moore, Mark und Hartley, Jean:** Innovations in Governance, in: Public Management Review, 10/1, 3-20. Online: 10.1080/14719030701763161.

- msg systems AG 2021: msg systems AG:** Dienstleistungszentren in der öffentlichen Verwaltung. Studie 2021, msg systems AG, Ismaning 2021. Online: <https://www.yumpu.com/de/document/read/65984951/studie-2021-it-konsolidierung-in-der-offentlichen-verwaltung>.
- Mu/Wang 2022: Mu, Rui und Wang, Huanming:** A systematic literature review of open innovation in the public sector – comparing barriers and governance strategies of digital and non-digital open innovation, in: *Public Management Review*, 24/4, 489-511. Online: 10.1080/14719037.2020.1838787.
- Müller-Stewens 2023: Müller-Stewens, Wolfgang:** Kosten-Nutzen-Analyse - Definition: Was ist „Kosten-Nutzen-Analyse“?, Springer Nature, Wiesbaden 2023. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kosten-nutzen-analyse-40767>.
- Nählinder/Eriksson 2019: Nählinder, Johanna und Eriksson, Anna:** Outcome, process and support: analysing aspects of innovation in public sector organizations, in: *Public Money & Management*, 39/6, 443-449. Online: 10.1080/09540962.2018.1559617.
- Nationales E-Government Kompetenzzentrum e. V. 2021: Nationales E-Government Kompetenzzentrum e. V.:** Positionspapier – Innovation im öffentlichen Sektor, Nationales E-Government Kompetenzzentrum e. V., Berlin 2021. Online: <https://negz.org/wp-content/uploads/2022/12/NEGZ-Positionspapier-Innovation-im-oeffentlichen-Sektor-2021.pdf>.
- Niedzela 2022: Niedelza Laura:** Die Literaturanalyse, in: Laura Niedzela (Hrsg.): *Ansätze zur wirtschaftlichen Bewertung von Geschäftsprozess-Compliance – Eine systematische Literaturanalyse*, S. 17-28, Springer Gabler, Wiesbaden 2022. Online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-36725-1_3.
- Obi/Iwasaki 2021: Obi, Toshio und Iwasaki, Naoko:** Smart Government using Digital Twin in Japan, in: *International Conference on ICT for Smart Society*, 1-4. Online: 10.1109/ICISS53185.2021.9533190.
- Ostrau/Kany 2020: Ostrau, Stefan und Kany, Christoph:** Vernetzte Digitalisierung als Grundlage der heutigen Wissensgesellschaft – Kommunale Datenräume, Geointelligenz und Digitale Zwillinge, in: *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 4/2020, 205-212. Online: 10.12902/zfv-0309-2020.
- Papyshev/Yarime 2021: Papyshev, Gleb und Yarime, Masaru:** Exploring city digital twins as policy tools: A task-based approach to generating synthetic data on urban mobility, in: *Data & Policy*, 3, E16. Online: 10.1017/dap.2021.17.
- Przyborski/Wohlrab-Sahr 2021: Przyborski, Aglaja und Wohlrab-Sahr, Monika:** *Qualitative Sozialforschung: Ein Arbeitsbuch*, 5. Auflage, De Gruyter, Oldenburg 2021. Online:

- <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110710663/html>.
- Pünder/Schellenberg 2019: Pünder, Herrmann und Schellenberg, Martin:** Vergaberecht: GWB, VgV, VSVgV, SektVO, VOB/A, KonzVgV, UVgO, Haushaltsrecht, Öffentliches Preisrecht: Handkommentar, 3. Auflage, Nomos, Baden-Baden 2019. Online: https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata/komm/PuenScheKoVergabeR_3/cont/PuenScheKoVergabeR.htm.
- Punz 2021: Punz, Matthias:** Digitaler Zwilling - Das Herzstück der Smart City. Online: <https://background.tagesspiegel.de/digitalisierung/digitaler-zwilling-das-herzstueck-der-smart-city>.
- Real Experts 2023: Real Experts Network GmbH: #43 Digitale Zwillinge als Modellprojekt moderner Bürgerbeteiligungen der Stadt Leipzig, Real Experts Network GmbH, Dresden 2023.** Online: <https://www.realexperts.de/podcast/43-digitale-zwillinge-als-modellprojekt-moderner-buergerbeteiligungen-der-stadt-leipzig>.
- Reichard 2013: Reichard, Christoph:** Zur Organisation öffentlicher Aufgaben, Barbara Budrich-Esser, Leverkusen 2013. Online: <https://www.jstor.org/stable/j.ctvdf08gn>.
- Reidenbach/Bracher/Grabow/Schneider/Seidel-Schulze 2008: Reidenbach, Michael; Bracher, Tilman; Grabow, Busso; Schneider, Stefan und Seidel-Schulze, Antje:** Investitionsrückstand und Investitionsbedarf der Kommunen – Ausmaß, Ursachen, Folgen und Strategien, Band 4, Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin 2008. Online: <https://difu.de/publikationen/2008/investitionsrueckstand-und-investitionsbedarf-der-kommunen>.
- Remer 2023: Remer, Sven:** Social-Return-on-Investment Analyse (SRoI-Analyse). Online: <https://www.gabler-banklexikon.de/definition/social-return-investment-analyse-70775>.
- von Richthofen 2023, 08. Mai: von Richthofen, Aurel:** Smart City - Digitale Zwillinge für Kommunen - Wissensgraphen für Städte - Digitale Stadtzwillinge auf semantischen Webtechnologien aufbauen. Smart City & Government, in: Digitale Woche Kiel, Landeshauptstadt Kiel, Kiel 2023. Online: <https://digitalewochekiel.de/programm/01gxwy79vpd5p0zwpf93ex4kct>.
- Roest 2021: Roest, Mark:** The business case for digital twins. Online: <https://www.linkedin.com/pulse/business-case-digital-twins-mark-roest/>.
- Rolfes 2023: Rolfes, Bernd:** Return on Investment (RoI). Online: <https://www.gabler-banklexikon.de/definition/return-investment-roi-60969>.

- Romme/Meijer 2020: Romme, Georges und Meijer, Albert:** Applying design science in public policy and administration research, in: Policy & Politics, 48/1, 149-165. Online: [10.1332/030557319X15613699981234](https://doi.org/10.1332/030557319X15613699981234).
- Ruohomaki/Airaksinen/Huuska/Kesaniemi/Martikka/Suomisto 2018: Ruohomaki, Timo; Airaksinen, Emni; Huuska, Petteri; Kesaniemi, Outi; Martikka, Mikko und Suomisto, Jarmo:** Smart City Platform Enabling Digital Twin, in: International Conference on Intelligent Systems, 155-161. Online: [10.1109/IS.2018.8710517](https://doi.org/10.1109/IS.2018.8710517).
- Savian 2022: Savian, Christina:** Creating a digital twin business case: Digital Twin Cities (Video), in: Construction Technology Festival 2022. Dubai: Digital Construction Hub. Online: <https://dchub.me/digital-construction/creating-a-digital-twin-business-case/>.
- Schliesky/Classen 2010: Schliesky, Udo un Classen, Mirja:** Schriften zur Modernisierung von Staat und Verwaltung – Staatliches Innovationsmanagement, Band 8, Christian-Albrechts-Universität, Kiel 2010. Online: <https://d-nb.info/1007685700/04>.
- Schnitzhofer 2021: Schnitzhofer, Florian:** Das Selbstfahrende Unternehmen: Ein Denkmodell Für Organisationen der Zukunft, Springer Gabler, Berlin / Heidelberg 2021. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-63067-9>.
- Schoeman/Baxter/Goffin/Micheli 2012: Schoeman, Magnus; Baxter, David; Goffin, Keith und Micheli, Pietro:** Commercialization Partnerships as an Enabler of UK Public Sector Innovation: The Perfect Match?, in: Public Money & Management, 32/6, 425-432. Online: [10.1080/09540962.2012.728782](https://doi.org/10.1080/09540962.2012.728782).
- Scholz 2022: Scholz, Johannes:** Geospatial Artificial Intelligence und Geoinformatik – neue Paradigmen in der räumlichen Analyse, in: GeoNews, 2, 6-7. Online: <https://www.rmdatagroup.com/aktuelles/geonews/geonews-2-2022/#c15759>.
- Schonowski 2023: Schonowski, Joachim:** Smart City - Digitale Zwillinge für Kommunen - Smart City & Government, in: Digitale Woche Kiel. Landeshauptstadt Kiel 2023. Online: <https://digitalewochekiel.de/programm/01gxwy79vdp5p0zwpf93ex4kct>.
- Schrotter/Hürzeler 2020: Schrotter, Gerhard und Hürzeler, Christian:** The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning. Journal of Photogrammetry, in: Remote Sensing and Geoinformation Science, 88/1, 99-112. Online: [10.1007/s41064-020-00092-2](https://doi.org/10.1007/s41064-020-00092-2).
- Schubbe/Boedecker/Moshrefzadeh/Dietrich/Mohl/Brink, ... Gras 2023: Schubbe, Nicole; Boedecker, Mathias; Moshrefzadeh, Mandana; Dietrich, Jana; Mohl, Markus ... Brink, Marina:** Urbane Digitale Zwillinge als Baukastensystem: Ein Konzept aus dem Projekt Connected Urban Twins (CUT), in: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation

- und Landmanagement, 1/2023, S. 14-23. Online: 10.12902/zfv-0417-2022.
- Schwerdtfeger 2022: Schwerdtfeger, Jasmin:** Stadtklimaanalyse light | Ein deutschlandweit anwendbares GIS-Analysetool, in: Esri Konferenz. Esri GmbH, Bonn 2022. Online: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=3SWuH1OvAiM&ab_channel=EsriDeutschland-Schweizgo.
- Semeraro/Lezoche/Panetto/Dassisti 2021: Semeraro, Concetta; Lezoche, Mario; Panetto, Herve und Dassisti, Michele:** Digital twin paradigm – A systematic literature review, in: Computers in Industry, 130, 103-469. Online: 10.1016/j.compind.2021.103469.
- Senatskanzlei Hamburg 2023a: Senatskanzlei Hamburg:** Innovative Anwendungsfälle der Stadtentwicklung, Senatskanzlei Hamburg, Hamburg 2023. Online: <https://www.connectedurbantwins.de/das-projekt/innovative-anwendungsfaelle-der-stadtentwicklung/>.
- Senatskanzlei Hamburg 2023b: Senatskanzlei Hamburg:** Das Baukastensystem: Wie funktioniert das Baukastensystem?, Senatskanzlei Hamburg, Hamburg 2023. Online: <https://www.connectedurbantwins.de/urbane-digitale-zwillinge/das-baukastensystem/>.
- Shahat/Hyun/Yeom 2021: Shahat, Ehab; Hyun, Chang und Yeom, Chunho:** City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda, in: Sustainability, 13/6, 3386. Online: 10.3390/su13063386.
- Siepermann 2023a: Siepermann, Markus:** Smart City: Ausführliche Definition im Online-Lexikon, Springer Nature, Wiesbaden 2023. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/smart-city-54505>.
- Siepermann 2023b: Siepermann, Markus:** Internet der Dinge: Ausführliche Definition im Online-Lexikon, Springer Nature, Wiesbaden 2023. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/internet-der-dinge-53187>.
- Simon 1988: Simon, Herbert:** The Science of Design: Creating the Artificial, in: Designing the Immaterial Society, 4, 67-82. Online: https://academics.design.ncsu.edu/student-publication/wp-content/uploads/2016/11/Simon_H_ScienceofArtificial.pdf.
- Souza/Bueno 2022: Souza, Leticia und Bueno, Christiane:** City Information Modelling as a support decision tool for planning and management of cities – A systematic literature review and bibliometric analysis, in: Building and Environment, 207, 108403. Online: 10.1016/j.buildenv.2021.108403.
- Spektrum der Wissenschaft 2023: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH:** Kommunale Informationssysteme – Lexikon der Geowissenschaften, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 2023. Online: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/kommunale-informationssysteme/8581>.

- Stadt Bamberg 2023: Stadt Bamberg:** Projekt „Digitaler Zwilling“, Stadt Bamberg, Bamberg 2023. Online: <https://smartcity.bamberg.de/2021/11/18/projekt-digitaler-zwilling/>.
- Stadt Friedrichshafen 2023a: Stadt Friedrichshafen:** Zahlen, Daten, Fakten – Friedrichshafen, Stadt Friedrichshafen, Friedrichshafen 2023. Online: <https://www.friedrichshafen.de/buerger-stadt/stadtportraet/zahlen-daten-fakten/>.
- Stadt Friedrichshafen 2023b: Stadt Friedrichshafen:** Sitzungsvorlage der Stadt Friedrichshafen vom 17.04.2023, Drucksache-Nr. 2023/V 00087, auffindbar in Sitzungsdokumenten der Gemeinderatssitzung vom 22.05.202, Stadt Friedrichshafen, Friedrichshafen 2023. Online: https://sitzungsdienst.friedrichshafen.de/si0057.asp?__ksinr=292431.
- Stadt Karlsruhe 2023: Stadt Karlsruhe:** Digitaler Zwilling, Stadt Karlsruhe, Karlsruhe 2023. Online: <https://www.karlsruhe.de/mobilitaet-stadtbild/bauen-und-immobilien/geoportal-karlsruhe/digitaler-zwilling>.
- Stadt München 2021: Stadt München:** Simulationen und Analysen im Digitalen Zwilling München, Stadt München, München 2021. Online: <https://muenchen.digital/blog/simulationen-und-analysen-im-digitalen-zwilling-muenchen/>.
- Stadt München 2023: Stadt München:** Digitaler Zwilling München, Stadt München, München 2023. Online: <https://muenchen.digital/twin/>.
- Stadt Regensburg 2023: Stadt Regensburg:** Digitaler Energie-Zwilling, Stadt Regensburg, Regensburg 2023. Online: <https://mein.regensburg.de/digitaler-energiezwilling>.
- Statista 2020: Statista:** Volumen der jährlich generierten/replizierten digitalen Datenmenge weltweit in den Jahren 2012 und 2020 und Prognose für 2025, Statista, Köln 2020. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/267974/umfrage/prognose-zum-weltweit-generierten-datenvolumen/>.
- Ströbele 2022: Ströbele, Natascha:** Pohlheim profitiert von Vialytics Daten im kommunalen GIS INGRADA. Online: <https://blog.vialytics.de/intelligent-zeit-sparen-mit-dem-vialytics-stra%C3%9Fenmanagementsystem-0>.
- t2informatik GmbH 2023a: t2informatik GmbH:** Artefakt – das erzeugte Ergebnis, t2informatik, Berlin 2023. Online: <https://t2informatik.de/wissen-kompakt/artefakt/>.
- t2informatik GmbH 2023b: t2informatik GmbH:** Use Case Whitepaper: Alles Wichtige über Use Cases auf einen Blick – das Verhalten eines Systems aus Anwendersicht beschreiben, t2informatik, Berlin 2023. Online: <https://t2informatik.de/downloads/use-case-whitepaper/>.
- Tagesspiegel Background 2023: Tagesspiegel Background:** „Wir haben mehr digitalisiert als alle anderen Behörden“ – Digitale Verwaltung, Tagesspiegel Background, Berlin 2023. Online:

- <https://background.tagesspiegel.de/digitalisierung/wir-haben-mehr-digitalisiert-als-alle-anderen-behoerden>.
- Tagliabue/Cecconi/Maltese/Rinaldi/Ciribini/Flammini 2021: Tagliabue, Lavinia; Cecconi, Fulvio; Maltese, Sebastiano; Rinaldi, Stefano; Ciribini, Angelo und Flammini, Alessandra:** Leveraging Digital Twin for Sustainability Assessment of an Educational Building, in: Sustainability, 13/2, 480. Online: [10.3390/su13020480](https://doi.org/10.3390/su13020480).
- Tao/Zhang/Liu/Nee 2019: Tao, Fei; Zhang, He; Liu, Ang und Nee, Andrew:** Digital Twin in Industry – State-of-the-Art, in: IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15/4, 2405-2415. Online: [10.1109/TII.2018.2873186](https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186).
- Technische Universität München 2023a: Technische Universität München:** Digital Twins für Städte: Zukunftsweisende Methoden zur Gestaltung von Mobilität, Umwelt und Wohnen, München 2023. Online: <https://www.ed.tum.de/loc/executive-programs/digital-twins-fuer-staedte/>.
- Technische Universität München 2023b: Technische Universität München:** VR-Technologie für Simulatoren – Untersuchungen der aktiven Mobilität und schwächerer Verkehrsteilnehmer im urbanen Raum (T4), Technische Universität München, München 2023. Online: <https://www.connectedurbantwins.de/wissenstransfer/akademie-extern/webinar-vr-technologie-fur-simulatoren/>.
- Technische Universität München 2023c: Technische Universität München:** Smart District Data Infrastructure (SDDI), Technische Universität München Lehrstuhl für Geoinformatik, München 2023: Online: <https://www.asg.ed.tum.de/gis/projekte/sddi/>.
- Then/Schober/Rauscher/Kehl 2017: Then, Volker; Schober, Christian; Rauscher, Olivia und Kehl, Konstantin:** Palgrave studies in impact finance. Social return on investment analysis – Measuring the impact of social investment, 1. Auflage, Palgrave Macmillan, London 2017. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-71401-1>.
- Töpfer 2012: Töpfer, Armin:** Erfolgreich Forschen: Ein Leitfaden für Bachelor-, Master-Studierende und Doktoranden, 3. Auflage, Springer, Berlin/Heidelberg 2012. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-34169-4>.
- Turulski 2023: Turulski, Anna-Sofie:** Anzahl der Gemeinden in Deutschland nach Gemeindegrößenklassen – Stand 05.05.2023. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1254/umfrage/anzahl-der-gemeinden-in-deutschland-nach-gemeindegroessenklassen/>.
- Ubilabs GmbH 2023: Ubilabs GmbH:** Experimentelle Stadtforschung: Die Connected Urban Twins des CityScienceLab: Wie das CityScienceLab die Stadtentwicklung mit digitalen Zwillingen vorantreibt, Ubilabs, Hamburg 2023. Online: <https://ubilabs.com/de/insights/hcu-connected-urban->

- twin?utm_content=164383187&utm_medium=social&utm_source=linkedin&hss_channel=lcp-156285.
- Universität Hamburg 2023: Universität Hamburg:** Ein digitaler Zwilling für den Hamburger Hafen: Projekt „TwinSim“, Universität Hamburg, Hamburg 2023. Online: <https://www.uni-hamburg.de/newsroom/forschung/2022/0825-fv-11-projekt-hafenzwilling.html>.
- de Vries/Bekkers/Tummers 2015: de Vries, Hanna; Bekkers, Victor und Tummers, Lars:** Innovation in the Public Sector – A Systematic Review and Future Research Agenda, in: *Public Administration*, 94/1, 146-166. Online: 10.2139/ssrn.2638618.
- Walker 2006: Wagner, Richard:** Innovation Type and Diffusion - An Empirical Analysis of Local Government, in: *Public Administration*, 82/2, 311-335. Online: 10.1111/j.1467-9299.2006.00004.x.
- Walker 2014: Wagner, Richard:** Internal and External Antecedents of Process Innovation - A review and extension, in: *Public Management Review*, 16/1, 22-44. Online: 10.1080/14719037.2013.771698.
- Wang/Chen/Jia/Cheng 2023: Wang, Hao; Chen, Xiawei; Jia, Fu und Cheng, Xiaojuan:** Digital twin-supported smart city: Status, challenges and future research directions, in: *Expert Systems with Applications*, 217, 119531. Online: 10.1016/j.eswa.2023.119531.
- Weber 2023: Weber, Jürgen:** *Steuern*, Springer Nature, Wiesbaden 2023. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/steuern-45766>.
- Weber/Kopelman/Messick 2004: Weber, Joseph; Kopelman, Shirli und Messick, David:** Conceptual Review of Decision Making in Social Dilemmas – Applying a Logic of Appropriateness, in: *Personality and Social Psychology Review*, 8/3, 281-307. Online: 10.1207/s15327957pspr0803_4.
- Weber/Ziemer 2023: Weber, Vanessa und Ziemer, Gesa:** *Die Digitale Stadt: Kuratierte Daten für urbane Kollaborationen*. Bielefeld: Transcript Verlag. Online: <https://www.transcript-verlag.de/978-3-8376-6474-4/die-digitale-stadt/>.
- Weiß 2019: Weiß, Jens:** *Strategisches Management und wirkungsorientierte Steuerung in Kommunen*, Springer VS, Wiesbaden 2019. Online: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-27359-0>.
- Wernersson 2014: Wernersson, Brank:** *Methoden zur Entscheidungshilfe in der öffentlichen Verwaltung*. Online: <https://www.grin.com/document/373731>.
- Weß 2022: Weß, Sophia:** *Digitale Zwillinge von Städten: Welche Chancen und Risiken birgt die Technologie für deutsche Kommunen? - Eine kritische Analyse nationaler und globaler Anwendungsfälle, unveröffentlichte Seminararbeit, Zeppelin Universität, Friedrichshafen 2022.*

- Westdeutscher Rundfunk Köln 2023: Westdeutscher Rundfunk Köln, Anstalt des öffentlichen Rechts:** Krefeld: Die Stadt bekommt eigene 3-D-Simulation. Köln: Westdeutscher Rundfunk Köln. Online: <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/stadt-krefeld-dreidimensionale-simulation-100.html>.
- White/Zink/Codecá/Clarke 2021: White, Gary; Zink, Anna; Codecá, Lara und Clarke, Siobhan:** A digital twin smart city for citizen feedback, in: *Cities*, 10, 103064. Online: 10.1016/j.cities.2020.103064.
- Wiener Stadtwerke Holding 2011: Wiener Stadtwerke Holding AG:** Smart City – Begriff, Charakteristika und Beispiele, Materialien der Wiener Stadtwerke zur nachhaltigen Entwicklung, Band 7, Wiener Stadtwerke Holding 2011. Online: <https://www.zu.de/institute/togi/assets/pdf/TOGI-160929-TOGI-Band-16-Smart-Government-V1.pdf>.
- World Economic Forum 2022: World Economic Forum:** Digital Twin Cities – Framework and Global Practices: Insight Report April 2022, World Economic Forum, Cologne 2022. Online: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Digital_Twin_Cities_Framework_and_Practice_2022.pdf.
- Wrabel 2022: Wrabel, Tamira:** Standards für den digitalen Zwilling der Stadt: Bachelorarbeit. Technische Universität München, München 2022. Online: https://mediatum.ub.tum.de/doc/1659615/sxp4tvuwq2vvh0rnm4cb9rbi.Bachelorarbeit_TW_25-04-2022-FinaleVersion-MitUmfragealsAnhang.pdf#page35.
- Zaballos/Briones/Massa/Centelles/Caballero 2020: Zaballos, Agustin; Briones, Alan; Massa, Alba; Centelles, Pol und Caballero, Victor:** Smart Campus' Digital Twin for Sustainable Comfort Monitoring, in: *Sustainability*, 12/21, 9196. Online: 10.3390/su12219196.
- Zukunftsinstitut 2023: Zukunftsinstitut GmbH:** Die Megatrends – 12 Megatrends, Zukunftsinstitut, Frankfurt am Main 2023. Online: <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/#12-megatrends>.

Verzeichnis der zitierten Richtlinien und Gesetze

Grundgesetz (GG): Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland vom 19. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2478).

EU-Verordnung (2010/40/EU): Verordnung 2010/40/EU der Kommission vom 31.05.2017 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Bereitstellung EU-weiter multimodaler Reiseinformationsdienste, Amtsblatt der Europäischen Union, Brüssel 2010, S. L 272/1 DE.