



Wissenschaftliche Begleituntersuchung zu digitalen Zwillingen von Kommunen im Bundesgebiet

REACT-EU – Digitaler Innenstadt-Zwilling: Unterstützung bei der inhaltlichen und technischen Konzeptionierung von Anwendungsfällen für ein digitales, raumbezogenes Abbild der Regensburger Innenstadt

Impressum

Herausgeber

Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung
D.-Martin-Luther Str. 1
93047 Regensburg

Emir Skulić

Durchführung der Studie

Arup Deutschland GmbH
Joachimsthaler Straße 41
10623 Berlin
Germany
arup.com

IMORDE Projekt- & Kulturberatung GmbH
Schorlemerstraße 4
48143 Münster

Autor*innen

Dr. Aurel von Richthofen (Arup)
Ali Saad (Arup)
Jan Cyganski (Arup)
Maria Aranda Sanchez (Arup)
Marlen Kroeske (Arup)
Simon Kniffki (Imorde)
Lisa Vogt (Imorde)
Emir Skulić (Stadt Regensburg)
Laura Berres (Stadt Regensburg)

Stand

06. Juni 2023

Bildnachweise

Titelbild: © JANDA+ROSCHER GmbH & Co. KG

ISBN: 978-3-943222-83-8



EUROPÄISCHER FONDS
FÜR REGIONALE ENTWICKLUNG
als Teil der Reaktion der Union auf die
COVID-19-Pandemie finanziert

REACT-EU

Inhalt

Impressum	2
Glossar	5
1. Kurzbeschreibung	7
2. Einleitung	9
3. Methodik	11
4. Forschungsstand	17
5. Fallbeispiele	29
6. Auswertung	59
7. Zusammenfassung	63
Literaturverzeichnis	67
Abbildungsverzeichnis	72
Tabellenverzeichnis	73
Anhang	74
A.1 Tabellen der untersuchten Städte	75
A.2 Interviewleitfaden Expert*innen	84
A.3 Interviewleitfaden Kommunen	85

Glossar

ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club
BIM	Building Information Modelling
CAD	Computer-aided design
CIM	City Information Modelling
DCAT-AP	Application profile for data portals
DIN	Deutsches Institut für Normung
DZMU	Digitaler Zwilling für Mobilität und Umwelt
GDI	Geodateninfrastruktur
GIS	Geoinformationssystem
HLRS	Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart
IAM	Identity and Access Management
IDEK	Digitales Entwicklungskonzept
IESE	Institut für Experimentelles Software Engineering
IoT	Internet of Things
IT	Informationstechnik
KI	Künstliche Intelligenz
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KPI	Key Performance Indicators
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
MIV	Motorisierter Individualverkehr
OGC	Open Geospatial Consortium
OPC UA	Open Platform Communications unified Architecture
OUP	Offene Urbane Plattform
OWL	Web Ontology Language
PLM	Product Lifecycle Management
POC	Proof of Concept
POI	Point of Interest
RVV	Regensburger Verkehrsverbund
SCDP	Smart City Digital Platform
SDDI	Smart Digital District Infrastructure
SaaS	Software as a Service
SWT	Semantische Webtechnologie
UBEM	Urban Building Energy Modelling
UX	User Experience
VR	Virtual Reality
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service

„[Ein] Digitaler Zwilling ist ein digitales Abbild eines vorhandenen analogen Sachverhalts, sei es eine Straße, ein Spielplatz, ein Gebäude, ein Industrieprozess oder eine Stadt. Ein digitaler Zwilling stützt sich auf verschiedene Datenquellen, die geeignet sind, diese Objekte und Prozesse digital abzubilden. Dazu zählen statistische Daten, Geodaten, Live-Daten aus Sensoren und s.g. Internet of Things (IoT). Diese Daten werden in einer Datenplattform zusammengeführt, aus der sich Anwendungen speisen.“

1. Kurzbeschreibung

Die vorliegende Studie analysiert umgesetzte oder in der Umsetzung fortgeschrittene Fallbeispiele digitaler (Stadt-) Zwillinge und Anwendungsfälle („Use Cases“) aus Kommunen in Deutschland anhand von ausgewählten Kriterien, die für die geplante Entwicklung und Umsetzung eines digitalen Zwillings und verschiedener Use Cases in Regensburg relevant sind.

Im Rahmen der Studie wurden 87 Kommunen in Deutschland und zwei Kommunen im deutschsprachigen Raum identifiziert, die sich gegenwärtig mit dem übergeordneten Thema „Smart City“ beschäftigen. 36 dieser Kommunen planen einen digitalen Zwilling. 25 der Kommunen, die einen digitalen Zwilling planen, befinden sich in einer fortgeschrittenen Umsetzungsphase und haben bereits einen Zwilling umgesetzt oder setzen gegenwärtig einen um. Von den 25 fortgeschrittenen Beispielen haben 16 Kommunen Anwendungsfälle, die sich mit den in Regensburg ermittelten Bedarfen decken, und befinden sich in Deutschland.

Von den 16 Kommunen konnten im Rahmen der relativ kurzen Bearbeitungszeit der Studie mit acht Kommunen Interviews durchgeführt werden und detailliertere Informationen zu den von der Stadt Regensburg vorgegebenen KPI (KPI: Key Performance Indicators) „technische Umsetzungsform“, „personelle Organisationsstrukturen“ und „finanzielle Rahmenbedingungen“ gewonnen werden (vgl. KPI Tabellen Kapitel 5 und 6). Die Kommunen Kempten (Allgäu), Stuttgart, Braunschweig, Krefeld, Sulzbach-Rosenberg, Herrenberg und Landkreis Hof erklärten sich mit der Veröffentlichung der Ergebnisse im Rahmen dieser Studie einverstanden.

Die befragten Städte haben unterschiedliche Auffassungen von der Definition eines digitalen Zwillings. Alle Städte verfügen über mindestens einen verwaltungsinternen Stadtwilling, während öffentlich zugängliche Zwillinge tendenziell als Add-On zu den internen Anwendungen entwickelt werden. Die Studie betont auch die Bedeutung von qualitativ hochwertigen Daten Grundlagen für die Entwicklung von digitalen Zwillingen und urbanen Datenplattformen. Die meisten Städte

schätzen ihre Datengrundlagen jedoch als lückenhaft bis befriedigend ein. Weitere Herausforderungen liegen in der Organisation der Daten, der technischen Infrastruktur und der Daten-Governance. Bei der Umsetzung von digitalen Zwillingen und urbanen Datenplattformen bestehen unterschiedliche organisatorische und finanzielle Ansätze.

Die vorliegende Studie zum Entwicklungsstand digitaler Zwillinge in Deutschland ist ein überblickartiger „Schnappschuss“ eines dynamischen Feldes, zu dem weitere Forschung notwendig ist. Die Studie zeigt, dass der Weg zum digitalen Stadtwilling für jede Kommune unterschiedlich ist. Jede der untersuchten Kommunen hat ihren individuellen Zugang zum Thema auf Basis ihrer spezifischen Rahmenbedingungen und Bedarfe entwickelt. Es kann daraus der Schluss gezogen werden, dass es nicht die eine technische, personelle oder finanzielle Lösung für die Entwicklung eines digitalen Zwillings gibt. Vielmehr gilt es für Kommunen aus den spezifischen Rahmenbedingungen und Potenzialen eine spezifische Strategie zu entwickeln.

Die Studie zeigt auch, dass die Entwicklung eines digitalen Zwillings oftmals in einen breit angelegten und langfristigen Digitalisierungsprozess und eine intensive verwaltungsinterne Kommunikation eingebettet ist. Die Stadt Regensburg hat mit der Verabschiedung der „Smart City Strategie“ eine Grundlage für die Digitalisierung der Stadtentwicklung geschaffen (Stadt Regensburg 2023h). Die vorliegende Studie und das parallel dazu entwickelte Konzeptpapier „Digitaler Innenstadtwilling“ sollen dazu beitragen den Weg in Richtung eines zukünftigen, digitalen Zwillings für Regensburg zu ebnen.

„Digitale Zwillinge im kommunalen Kontext sind nach Anwendungsfällen zu gliedern und dienen der Erkenntnisgewinnung und Einflussnahme urbaner Phänomene. Städtische Prozesse können mittels eines digitalen Zwillings modelliert, gesteuert und optimiert werden. Simulierte Szenarien werden für Planungen und Optimierungen genutzt und dienen als Entscheidungsgrundlage.“

2. Einleitung

Die vorliegende wissenschaftliche Begleituntersuchung wurde im Rahmen des REACT-EU-Projekts „Digitaler Innenstadt-Zwilling: Unterstützung bei der inhaltlichen und technischen Konzeptionierung von Anwendungsfällen für ein digitales, raumbezogenes Abbild der Regensburger Innenstadt“ von Anfang März bis Ende Mai 2023 durchgeführt.

Das Projekt wurde im Rahmen des REACT-EU Förderprogramms finanziert und dient der Anpassung von Innenstädten an digitale, klimatische und energetische Herausforderungen sowie zur Stärkung der Bedeutung des Standorts Innenstadt für das Gemeinwohl (Stadt Regensburg 2023e:4).

Die Studie analysiert umgesetzte oder in der Umsetzung fortgeschrittene Beispiele digitaler Zwillinge und Use Cases anderer Kommunen in Deutschland anhand von Kriterien (KPI: Key Performance Indicators), die für die geplante Entwicklung und Umsetzung eines Digitalen Zwillinges in Regensburg relevant sind. Die Informationen sollen der Stadt Regensburg helfen die Planung ihres digitalen Zwillinges, hinsichtlich personeller, finanzieller und technischer Aspekte, präzisieren zu können.

Im Gesamtprojekt werden die erforderlichen inhaltlichen, organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen für die Entwicklung eines digitalen Stadtzwillinges und geeigneter Anwendungsfälle („Use Cases“) für die Innenstadt von Regensburg ermittelt. Mit dem digitalen Stadtzwilling für die Innenstadt wird von der Stadt Regensburg die Absicht verfolgt „im Einklang mit den im Stadtentwicklungskonzept ‚Regensburg Plan 2040‘ definierten Schwerpunkten [...] die Möglichkeiten von Digitalisierung und innovativen Lösungen zielgerichtet einsetzen, um die Stadt weiterhin leben- und liebenswert zu gestalten.“ (Stadt Regensburg 2023:3)

Um das Wohlbefinden der Bürger*innen und die Schaffung einer nachhaltigeren Stadt zu gewährleisten, ist eine rasche, zuverlässige und interdisziplinäre Stadtentwicklung unerlässlich. Digitale Technologien und innovative, digitale Lösungen sind ein leistungsfähiges Instrument, um die Komplexität der Städte zu entschlüsseln (Patrizia, Ine, und Andrea 2022). In dieser Hinsicht stellen digitale Stadtzwillinge ein notwendiges und flexibles Werkzeug für eine nachhaltige Stadtentwicklung dar. Ein digitaler Zwilling einer Stadt kann als virtuelle Darstellung der physischen Ressourcen, Systeme und Prozesse, die in der Stadt stattfinden, verstanden werden. Er nutzt sowohl Echtzeit- als auch historische Daten zur Erstellung von Simulationsmodellen unter Verwendung von Algorithmen des maschinellen Lernens, der Datenanalyse und ggf. der künstlichen Intelligenz. Der digitale Zwilling ist also nicht nur ein 3D-Stadtmodell der bestehenden Stadt, sondern auch ein interdisziplinäres, dynamisches Werkzeug für die nachhaltige Planung von Städten.



Abbildung 1: Reifegradmodell für digitale Zwillinge des Fraunhofer IESE (2021)

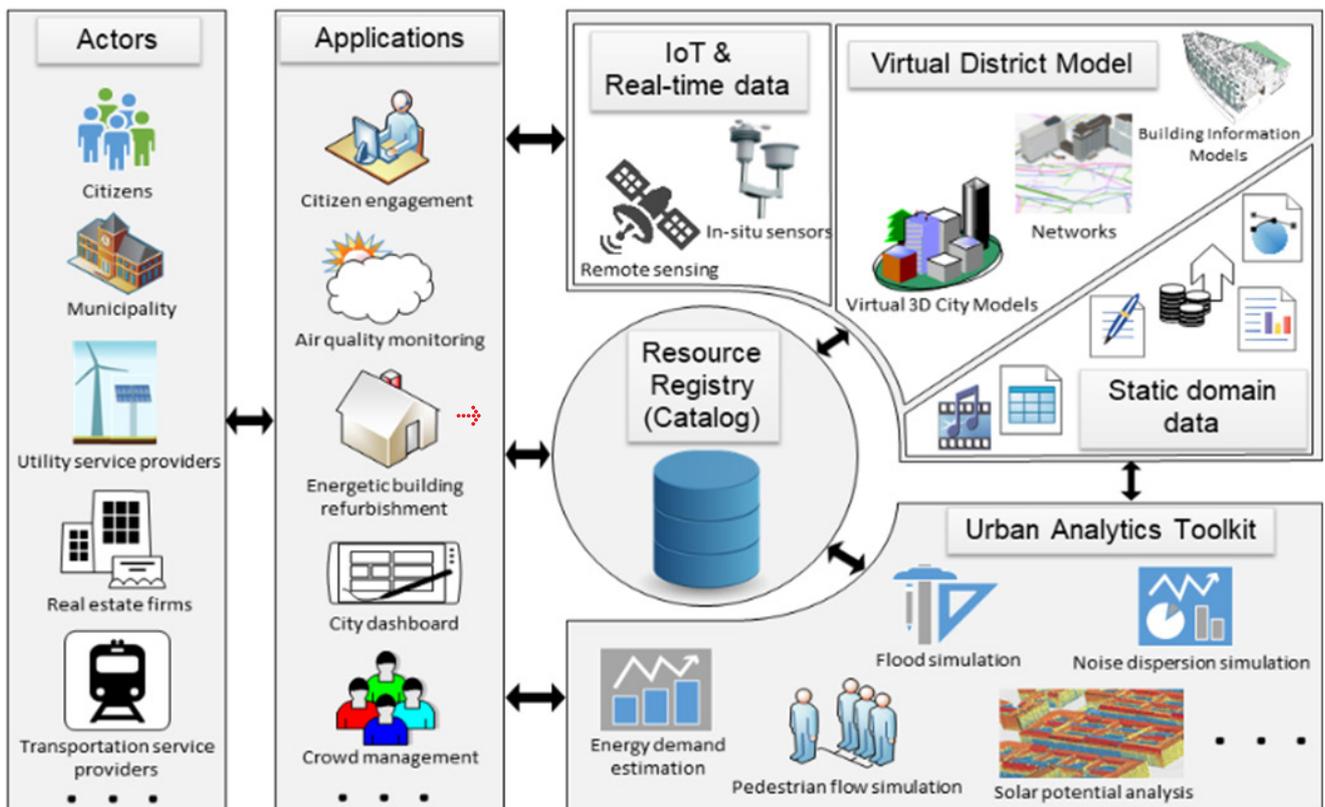


Abbildung 2: Smart District Data Infrastructure (SDDI)-Konzept der TU München

3. Methodik

Für die Bearbeitung der wissenschaftlichen Begleituntersuchung wurde eine Literatur- und Internetrecherche zum Thema „digitale Zwillinge“ durchgeführt. Auf dieser Basis erfolgte eine Auswahl und Analyse von Fallbeispielen digitaler Zwillinge und Use Cases von Kommunen in Deutschland. Dafür wurden zusätzlich semi-strukturierte, qualitative Interviews mit Expert*innen und kommunalen Vertreter*innen sowie ein Teilnehmungsworkshop und Gespräche zu den Use-Case-Bedarfen der Stadt Regensburg durchgeführt.

3.1 Literatur- und Internetrecherche zum Thema „digitale Zwillinge“

Die durchgeführte Literatur- und Desktoprecherche untersuchte folgende Arten an Quellen zu dem Thema digitaler Zwilling:

Die durchgeführte Literatur- und Desktoprecherche untersuchte folgende Arten an Quellen zu dem Thema digitaler Zwilling:

- aktuelle wissenschaftliche und praxisbezogene Fachliteratur, z. B. „Urbane Datenplattformen“ des BBSR (Hess, Koch, und Räuchle 2023, 5) oder „Der Digitale Zwilling für smarte Städte“ des Fraunhofer IESE (Guckenbiehl u. a. 2021);
- nationale Policy Papers und Normen, z. B. „Smart City Charta“ (Günthner u. a. 2017), DIN SPEC 91357 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2017) oder „Geschäftsplan DIN SPEC-Projekt ‚Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen‘“ (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2022);
- Online-Informationen zu digitalen Zwillingen und Use Cases von Stadtverwaltungen, z. B. Modellprojekte Smart Cities (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2023), das EU-Projekt „The 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030“ (Eurocities 2022) oder das Projekt

„TwinBy – Digitale Zwillinge für Bayern“ (Bayerisches Staatsministerium für Digitales 2023);

- Strategiepapiere zur Stadtentwicklung und zur Digitalisierung Regensburgs, z. B. der „Regensburg Plan 2040“ (Stadt Regensburg 2022) oder „Rahmenstrategie Smart City“ (Stadt Regensburg 2020).

Die recherchierte deutsch- und englischsprachige Literatur wurde ausgewertet und in einer Literaturliteraturdatenbank systematisiert. Die gewonnenen Informationen dienten dazu:

- den Begriff „digitaler Zwilling“ und seine Merkmale im Kontext des Projekts einzugrenzen und zu bestimmen;
- den Forschungsstand zum Thema „digitaler Zwilling“ darzustellen;
- ihre Anwendungsfälle in Deutschland hinsichtlich der geforderten KPI (Stadt Regensburg 2023e, 22–23) innerhalb einer Datenbank zu sammeln und für die Studie verfügbar zu halten (s. Anhang A.1).

3.2 Auswahl und Analyse von Fallbeispielen digitaler Zwillinge und Use Cases

Für die Auswahl von Fallbeispielen digitaler Zwillinge und Use Cases aus deutschen Kommunen wurden auf Basis der Literatur- und Desktoprecherche geeignete Fallbeispiele ermittelt, in eine vergleichende Datenbank (Excel-Tabellen) aufgenommen und anhand von verschiedenen Kriterien vergleichend analysiert (s. Anhang). Dabei wurde die Anzahl der Fallbeispiele im Ausschlussverfahren sukzessive von einer initialen Grobauswahl aus 88 Fallbeispielen bis zu einer finalen Auswahl von 10 Städten und 16 Use Cases reduziert. Das Auswahlverfahren wurde in vier Schritten anhand der folgenden Kriterien durchgeführt:

Grobauwahl: Entwicklung einer Smart City-Strategie

Zunächst wurden 89 Städte aus 96 potenziellen Kandidaten im deutschsprachigen Raum identifiziert und in die Datenbank aufgenommen, die sich gegenwärtig mit dem übergeordneten Thema „Smart City“ beschäftigen. Als Indikator dafür dienten vor allem die Städte der Modellprojekte Smart City (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2023) mit insgesamt 73 Projekten (Städte und / oder kommunale Verbände), die sechs deutschen Städte des EU-Programms „The 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030“ (Eurocities 2022), sowie die 20 Kommunen des bayrischen TwinBy-Projekts (Bayerisches Staatsministerium für Digitales. 2023).

Engere Wahl: Eingrenzung aufgrund des Smart District Data Infrastructure Konzepts der TU München

Aus der Grobauswahl wurden 61 Städte in die engere Wahl genommen, die tatsächlich einen digitalen Zwilling planen. Als Indikator dafür wurde auf Basis der ermittelten Informationen untersucht, ob die Städte eine digitale Plattform im Sinne des „Smart District Data Infrastructure“-Konzepts der TU München entwickeln. Diese Plattform umfasst als Komponenten mindestens einen zentralen Datenkatalog, statische Daten (z. B. GIS), Echtzeitdaten mittels Sensoren/IoT (Internet of Things) und ein virtuelles 3D-Stadtmodell. Der Datenkatalog ist eine zentrale Komponente, die auf alle Daten und Dienste verweist und mit einem Zugriffsmanagement den Zugang zu den Daten (teilautomatisch) ermöglicht. Die urbanen Daten können vereinfacht in Echtzeit-Daten (z.B. IoT Sensoren), 3D-Stadtmodellen (z.B. 3D-GIS-Daten), sowie statischen Daten (Zensus- und Katasterda-

ten) bestehen. Diese Komponenten sind in der oberen rechten Seite des Diagramms abgebildet und bilden den Kern eines digitalen Zwillings (siehe Abbildung 2). Die weiteren Komponenten wie planerische Analysewerkzeuge, Anwendungen und Akteur*innen lassen sich daran andocken. Das SDDI-Konzept erlaubt es also ein bestehende Geo-Datenportal, wie das der Stadt Regensburg, von einem digitalen Zwilling zu unterscheiden. Das Geo-Datenportal der Stadt Regensburg hat zwar schon ein 3D-Stadtmodell und statische Daten, jedoch keine Einbindung von Echtzeitdaten. Der Katalog verweist ebenfalls ‚nur‘ auf die Geo-Daten, ist also als „Silo“ zu verstehen. Ein digitaler Zwilling nach SDDI ist dagegen modular und interoperabel aufgebaut.

Feinauswahl: Reifegradmodell des Fraunhofer IESE

Aus der engeren Wahl wurde in einem weiteren Schritt eine Feinauswahl von 25 Städte ermittelt, die sich in einer fortgeschrittenen Planungs- und Umsetzungsphase des digitalen Zwillings befinden. Als Indikator wurde das Reifegradmodell für digitale Zwillinge des Fraunhofer-Instituts für experimentelles Software Engineering IESE (Guckenbiehl u. a. 2021) herangezogen. In die Auswahl miteinbezogen wurden digitale Zwillinge, die sich mindestens in den Reifegrad 3 „Explorativ“ einordnen lassen (siehe Abbildung 1). Dies sind Zwillinge, die bereits erste Use Cases testen und Finanzierungen dafür erhalten haben. Die Einordnung in die Reifegrade erfolgte anhand einer Interpretation der detaillierten Kriterien des Reifegradmodells (Guckenbiehl u. a. 2021, 14–17) und ihres Abgleichs mit den ermittelten Informationen.

Finale Auswahl: Use Case-Bedarfe der Stadt Regensburg

In einem letzten Schritt wurden die 25 fortgeschrittenen, digitalen Zwillinge mit den 16 Anwendungsfällen verglichen, die als Bedarfe des Stadt Regensburg mittels eines Beteiligungsworkshops ermittelt wurden (s. 3.4. Beteiligungsworkshop zu Bedarfen an Use Cases mit der Regensburger Stadtverwaltung). In einem finalen Auswahlschritt wurden schließlich 16 Kommunen, die sich auf Basis der recherchierten Informationen in einem (a.) fortgeschrittenen Stadium der Zwillingsentwicklung befinden, (b.) für die Stadt Regensburg interessante Anwendungsfälle entwickeln und (c.) in Deutschland angesiedelt sind, ausgewählt. Von den 16 Kommunen konnten im Rahmen der relativ kurzen Bearbeitungszeit der Studie mit acht Kommunen Interviews (s. 3.3.) durchgeführt werden und detailliertere Informationen zu den von der Stadt Regensburg vorgegebenen KPI

„technische Umsetzungsform“, „personelle Organisationsstrukturen“ und „finanzielle Rahmenbedingungen“ gewonnen werden (vgl. Stadt Regensburg 2023e, 22–23). Schließlich wurden die acht finalen Fallbeispiele digitaler Zwillinge in Form von Steckbriefen anhand personeller, finanzieller, technischer, fachlicher und betrieblicher Kriterien (Stadt Regensburg 2023e, 22–23) vergleichend beschrieben, analysiert und ausgewertet. Von den acht Kommunen erklärten sich Kempten (Allgäu), Stuttgart, Braunschweig, Krefeld, Sulzbach-Rosenberg, Herrenberg und dem Landkreis Hof mit der Veröffentlichung der Ergebnisse im Rahmen dieser Studie einverstanden. Die Informationen zum digitalen Zwilling der achten Kommune wurde bei der Auswertung der Ergebnisse anonymisiert berücksichtigt (s. 6. Auswertung).

Methodische Grenzen der Recherche

Die gewählte Auswahlmethode konnte im Rahmen der kurzen Bearbeitungszeit einen ersten Überblick über die in der Entwicklung befindlichen digitalen Zwillinge und Use Cases in Deutschland geben. Allerdings hat die Informationsbeschaffung per Internetrecherche auch einige Grenzen, was die Qualität und Verlässlichkeit der gewonnenen Informationen betreffen:

1. Die Vollständigkeit und Aktualität der gewonnenen Informationen konnten nicht überprüft werden, wenngleich überwiegend institutionelle Websites konsultiert wurden.
2. Aus den veröffentlichten Beschreibungen auf den Websites der Stadtverwaltungen, lies sich oftmals nicht eindeutig ermitteln, in welchem Umsetzungsstadium sich die digitalen Zwillinge und die Use Cases zum Zeitpunkt der Erhebung befanden. Hier musste teilweise anhand der jeweiligen Smart City Strategieimplementierung und Ausarbeitung anderer, unterstützender Technologien interpretiert werden.
3. Die personellen, finanziellen, technischen, fachlichen und betrieblichen KPI für die Use Cases waren per Internetrecherche bis auf wenige Informationen nicht veröffentlicht. Diese befinden sich möglicherweise noch in der Entwicklung / Formung.

Um diese Einschränkungen im Rahmen der zeitlichen Beschränkungen des Projekts so weit wie möglich ab-

zufedern, wurden zusätzlich die im Folgenden beschriebenen Interviews durchgeführt.

3.3 Semi-strukturierte Interviews per Videokonferenz mit Expert*innen und kommunalen Vertreter*innen

Zur (a.) Verifizierung der über die Literatur- und Internetrecherche ermittelten Informationen sowie zur (b.) Ermittlung weitergehender Informationen hinsichtlich der personellen, finanziellen, technischen, fachlichen und betrieblichen KPI für die Use Cases (s. 3.2. Methodische Grenzen der Internetrecherche) wurden parallel zur Recherche qualitative, semi-strukturierte Interviews per Videokonferenz durchgeführt und kontinuierlich mit den Informationen der Datenbank abgeglichen.

Einen geeigneten Zugang zu Bedarfen und Anforderungen digitaler Zwillinge bieten Personengruppen mit fachbezogenem Wissen über digitale Zwillinge im Allgemeinen und über die in der finalen Auswahl ermittelten digitalen Zwillinge und Use Cases im Speziellen. Aus diesem Grund wurden die Interviews (a.) mit Expert*innen auf dem Gebiet digitaler Zwillinge in Deutschland und (b.) mit den jeweiligen Ansprechpartner*innen für die digitalen Zwillinge der kommunalen Stadtverwaltungen, die einen oder mehrere der 16 interessierenden Use Cases aus der finalen Auswahl betreuen (s. 3.2.), durchgeführt. Semi-strukturierte Interviews basieren auf Zielsetzungen, Leitfragen und teilweise auch Antwortmöglichkeiten, die vorher festgelegt und dem*der Interviewten kommuniziert werden. Der*die Interviewte hat allerdings auch die Möglichkeit die Fragen frei zu beantworten und dadurch das geplante Gespräch durch eigene, vorher nicht berücksichtigte Themensetzungen zu erweitern, was einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn ermöglicht.

Insgesamt wurden im April 2023 sieben nationale Expert*innen im Bereich digitaler Zwillinge kontaktiert und drei circa 30-minütige Interviews anhand eines Interview-Leitfadens (s. Anhang A.2) durchgeführt und protokolliert. Die Interviews mit den kommunalen Ansprechpartner*innen wurden auf dieselbe Art durchgeführt, allerdings auf Basis eines Online-Fragenkatalogs (s. Anhang A.3), der einen größeren Fokus auf die personellen, finanziellen, technischen, fachlichen und betrieblichen KPI legt. Insgesamt wurden im April und Mai 2023 16 Vertreterinnen*innen von Kommunen kontaktiert und 8 Interviews durchgeführt und protokolliert.

3.4 Beteiligungsworkshop zu Use-Case-Bedarfen der Stadt Regensburg

Die Ableitung der insgesamt 16 Use Cases erfolgte auf Grundlage eines ganztägigen Beteiligungsworkshops, der am 23. März 2023 in Präsenz in Regensburg durchgeführt wurde (siehe Abbildung 3). Im Rahmen dessen wurden gemeinsam mit Vertreter*innen aus unterschiedlichen Fachbereichen der Regensburger Stadtverwaltung Bedarfe und Ideen für die Entwicklung eines digitalen Innenstadtzwillings diskutiert.

Als Diskussionsgrundlage und zur Orientierung diente ein Schaubild zu den unterschiedlichen Themenbereichen und Zielsetzungen aktueller strategischer Konzepte zur Regensburger Innenstadt, wie z.B. der Stadtentwicklungsplan Regensburg-Plan 2040. Zu den abgebildeten Themenschwerpunkten wurden in Kleingruppen Ideen für potenzielle Anwendungsfälle erarbei-

tet, die einen Mehrwert für verschiedene Akteur*innen der Stadt Regensburg sowie die Verwaltungsarbeit aufweisen. Die Ergebnisse wurden schriftlich festgehalten und in Form von Steckbriefen weiter ausformuliert. Die Workshopergebnisse wurden zunächst (in einer Excel-Tabelle) thematisch geclustert und unter Berücksichtigung ihres Verwendungszwecks zusammengefasst. Mehrere Ideen, die dasselbe Ziel verfolgten, wurden so unter einem Use Case vereint. Dieser Analyse-schritt erforderte z.T. eigene Interpretationsleistung, um einen ähnlichen Detaillierungsgrad aller gesammelten Ideen zu erhalten. Ausgehend von der Zuordnung des generierten Materials wurde ein induktives Kategoriensystem entwickelt. Dieses umfasst die Kategorien: Mobilität, Klima, Energie, Planung sowie Kultur/Welterbe/Tourismus. Die Inhalte konnten somit abschließend auf 16 Use Cases komprimiert werden.



❖ Abbildung 3: Beteiligungsworkshop mit Vertreter*innen der Stadt Regensburg am 23.3.2023 (Foto: Projektteam)

Mobilität
M1 - Bauliche Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur z.B. Darstellung der Beschädigung von Straßenbelag
M2 - Smarte MIV-Steuerung zur verkehrlichen Entlastung der Innenstadt z.B. Hinweise an Stadteingängen bei bereits ausgelastetem innerstädtischen Verkehrssystem
M3 - Smarte Navigation von Besucherströmen in der Innenstadt z.B. zur Vermeidung von überlasteten Gassen während Stoßzeiten durch Simulation von Passantenströmen und Auslastung von POIs
M4 - Multimodale Navigation (Routenvorschläge) z.B. durch die Integration von Echtzeitdaten (Berücksichtigung von Auslastungen und Verspätungen)
M5 - Intelligentes Parkraummanagement z.B. Navigation des MIV zu geeigneten Stellplätzen zur Vermeidung des Parksuchverkehrs
Klima
K1 - Potenzialflächenermittlung auf Gebäudeebene z.B. für Photovoltaik oder Fassaden- und Dachbegrünung
K2 - Navigation zu Schutzräumen bei Wetterereignissen z.B. „Erfrischungskarte“ bei Hitze
K3 - Ermittlung von klimarelevanten Bedarfen mit Hilfe von Sensorik z.B. Bewässerung von Bäumen oder Temperaturmessung
K4 - Identifikation von Anpassungserfordernissen z.B. auf Basis von Entwässerungs- und Hitzesimulationen
Energie
E1 - Energieeinsparpotenziale nutzen z.B. durch die Darstellung von Energieverbräuchen
E2 - Vereinbarkeit von Denkmalschutz und energetischer Sanierung greifbar machen z.B. durch die Schaffung einer Informationsplattform auf der Auswirkungen sichtbar gemacht werden können
Kultur, Welterbe und Tourismus
T1 - Abbildung relevanter Angebote und Infrastrukturen für Touristen z.B. mit Hilfe eines Infotools
T2 - Niedrigschwelliger Zugang zu kulturellen Angeboten in Bezug auf das Welterbe z.B. durch virtuelle Darstellung von Kulturangeboten, relevanten historischen Gebäuden und Informationsintegration z.B. durch Gamificationansätze oder Lehrpfade
T3 - Veranschaulichung der historischen Entwicklung der Altstadt z.B. durch die Darstellung von Nutzungsänderungen oder der dynamischen Veränderung der Altstadt
Planung
P1 - Identifizierung von Flächenpotenzialen in der Altstadt z.B. durch Leerstandsanzeiger- und Management
P2 - Vereinfachung und Veranschaulichung von Planungsprozessen z.B. durch Visualisierungen von georeferenzierten Daten

••••• Tabelle 1: Aus dem Workshop mit der Vertreter*innen der Stadtverwaltung Regensburg ermittelte Use-Case-Bedarfe

„Eine Datenstrategie der Stadt Regensburg dient als organisatorische Grundlage für eine wertschöpfende regionale Datenplattform und soll alle Zielgruppen (Bürger*innen, Verwaltung, Wissenschaft, organisierte Bürgerschaft, Unternehmen, Kultur) adressieren, durch die Einbindung aller Stakeholder regelmäßig aktualisiert werden, ein wertschöpfendes Datenökosystem ermöglichen, Daten mit Relevanz für die Zielgruppen nutzbar machen, der Stadt Regensburg die Rolle des Datenproduzenten ermöglichen, die Attraktivität des Innovationsstandorts Regensburg erhöhen und als Regelwerk für die Stadtverwaltung dienen sowie amtsintern Rollen, Prozesse und Zuständigkeiten definieren“

4. Forschungsstand

Im Folgenden wird der Forschungsstand zum relativ neuen Thema „Digitaler Stadtzwilling“ dargelegt. Ausgehend von einer Definition, werden Trends, Rahmenbedingungen und Standards im Rahmen der Entwicklung von digitalen Zwilling in Deutschland erörtert und die lokalen Rahmenbedingungen im Kontext Regensburgs beschrieben.

4.1 Was ist ein digitaler (Stadt-) Zwilling?

Ein „digitaler Zwilling“ ist eine digitale Repräsentanz eines materiellen oder immateriellen Objekts, Systems oder Prozesses aus der realen Welt in der digitalen Welt (Guckenbiehl et al., 2021). Es handelt sich im Grunde um eine digitale Darstellung, die durch statische Geodaten, Sensoren und andere Datenerfassungstechnologien in Quasi-Echtzeit aktualisiert wird und so ein ausreichend genaues Bild des realen Objekts liefert. Mit der baldigen Veröffentlichung der DIN SPEC 91607 „Digitale Zwilling für Städte und Kommunen“ (siehe Tabelle 1) wird erstmalig eine (voraussichtlich) allgemeingültige Definition digitaler Zwillinge in Deutschland geschaffen.

Der Zwilling ist also ein Modell, eine Abstraktion des Realen, auf wesentliche (nicht alle) Aspekte, die es im Kontext einer konkreten Fragestellung zu betrachten gilt. Es ist zu betonen, dass das digitale Abbild sowohl ‚hinter‘ dem Abbild der physischen Stadt abgebildet durch zeitversetzte Erfassung von Daten oder auch ‚vor‘ dem Abbild im Sinne einer Projektion oder eines zukünftigen Szenarios liegen kann. Der digitale Zwilling kann sowohl gewünschte als auch unerwünschte Szenarien abbilden, deren Konsequenzen auf andere Aspekte sich entsprechend datenbasiert ableiten lassen.

Digitale Zwillinge beruhen auf Daten aus vielfältigen Fachdomänen und Informationstechnologien. Diese können im urbanen Kontext vor allem auf zwei Arten genutzt werden: Sowohl zur Kommunikation (Information, Austausch, Visualisierung, Beteiligung) als auch zur Steuerung (Sensorik, Aktorik, Kontrolle, Planung).

Damit sind digitale Zwillinge zentrale Werkzeuge einer nachhaltigen Stadtentwicklung.

Digitale Stadtzwillinge bilden Städte und deren Systeme ab. Dabei bilden sie nicht nur die 3-dimensionalen Systeme der gebauten Umwelt (Bauten, Straßen, Infrastruktur, Gelände, usw.) ab, sondern auch natürliche (Vegetation, Klima, usw.) und anthropogene Phänomene (Mobilität, Energie, Kommunikation, Nutzung, Verhalten, usw.), sowie deren komplexe und dynamische Interaktionen (Quek u. a. 2023). Diese Komplexität macht deutlich, dass für die Modellierung ein offenes, modulares und vernetztes Datenmodell notwendig ist.

Im Rahmen der Begleituntersuchung hat sich herausgestellt, dass Kommunen ein unterschiedliches Verständnis der Begriffe „digitales Abbild“ und „digitaler Zwilling“ haben. Das digitale Abbild befindet sich in einem passiven Zustand und es werden Informationen lediglich in einer Plattform, beispielsweise einer 3D-Umgebung, dargestellt. Durch das Hinzufügen aktiver Elemente, wie Analysen, Simulationen und langfristig KI-Anwendungen entsteht in einem kontinuierlichen Prozess ein digitaler Zwilling. Das SDDI-Konzept der Technischen Universität München beinhaltet alle organisatorischen und technischen Komponenten, um Städte und Gemeinden in diesem Zusammenhang einzuordnen. Zur Vereinfachung wird im Rahmen dieser Untersuchung der Begriff digitaler (Stadt-)Zwilling synonym für beide Definitionen verwendet.

Herkunft des Begriffs „digitaler Zwilling“

Der erste Anwendungsfall eines digitalen Zwillings wur-

de im Zusammenhang mit dem Product Lifecycle Management (PLM) Center der University of Michigan im Jahr 2002 vom deutschen Informatiker Michael Grieves entwickelt (Grieves 2016). Das PLM ist ein Konzept, das darauf abzielt, den gesamten Lebenszyklus eines Produkts - von der Ideenfindung über die Produktion bis zur Entsorgung - zu verwalten und zu optimieren. Das Konzept des digitalen Zwillings hatte das Ziel, Systeme digital zu simulieren und zu überwachen, um die Leistung und Effizienz zu verbessern und Probleme frühzeitig zu erkennen.

Die Prämisse des Modells war, dass jedes Objekt oder jeder Prozess aus zwei Systemen besteht: dem real-existierenden physischen Raum und einem neuen virtuellen Raum, der alle Informationen über die physische Domäne enthält (siehe Abbildung 4). Dies bedeutete, dass es eine Spiegelung oder Zwillingsbildung von Systemen zwischen dem realen und dem virtuellen Raum gab und umgekehrt. Das PLM indizierte zudem, dass es sich nicht um eine statische Darstellung handelt, sondern dass die beiden Systeme während des gesamten Lebenszyklus miteinander verbunden sind. Der virtuelle und der reale Raum würden miteinander verbunden sein, während das System die vier Phasen der Entwicklung, der Produktion (Herstellung), des Betriebs (Wartung/Support) und der Entsorgung durchläuft (Grieves 2016).

In den Folgejahren wurde der digitale Zwilling als konzeptionelle Grundlage vor allem in der Luft- und Raumfahrt von der NASA und im Militär bei der Entwicklung neuer Generationen von Kampfjets benutzt, ehe das Konzept auch in anderen Industrien und Bereichen übernommen und angewendet wurde (Piascik et al. 2010).

Moderne Anwendungsbereiche Digitaler Zwillinge

Heute werden digitale Zwillinge nicht nur in der Luft- und Raumfahrt und im Militär eingesetzt. Zahlreiche, weitere Anwendungsfälle finden sich beispielsweise in den Bereichen Gesundheitswesen, der Fertigung und Automatisierung, der Logistik, dem Bauwesen und der Stadtplanung.

In der Stadtplanung können digitale Zwillinge als wertvolles Tool eingesetzt werden, um Prozesse effizienter zu steuern und um Simulationen durchzuführen, zu vereinfachen und zu beschleunigen. Durch die Erstellung eines dynamischen digitalen Zwillings der Stadt können Stadtplaner*innen und Stadtentwickler*innen verschiedene Szenarien als Planungsoptionen simulieren und

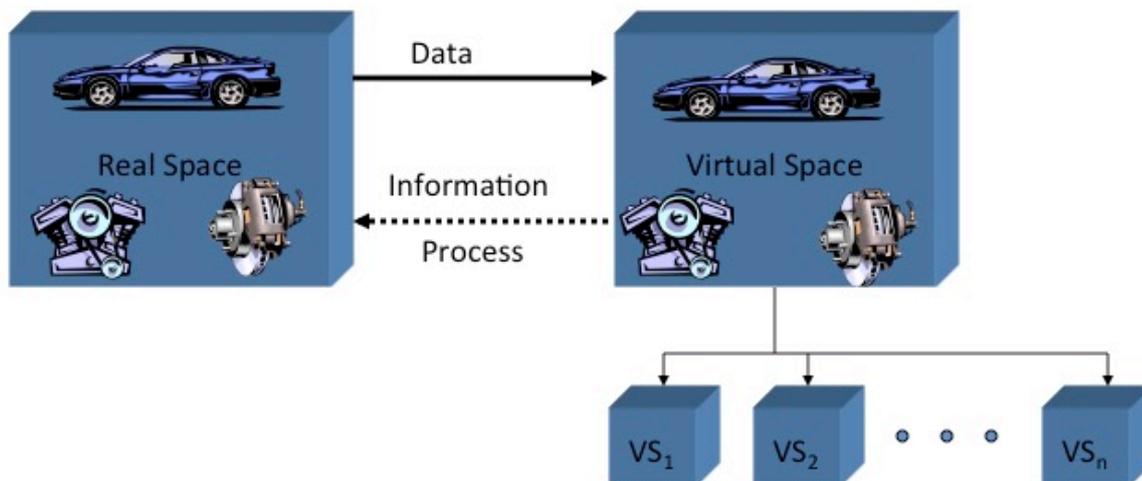
testen, bevor sie physische Veränderungen in der realen Stadt vornehmen. Wegen der langen Projektdauer, der Komplexität der Prozesse, der Vielzahl an Akteur*innen, sowie der Pfadabhängigkeit und weitreichenden Konsequenzen stadtplanerischer Entscheidungen sind digitale Entscheidungsfindungshilfen in Form digitaler Stadtzwillinge unabdingbar.

Eine Grundlage bildet City Information Modelling (CIM) in Analogie zum BIM. Allerdings ist das Modellieren der Stadtmorphologie, der Prozesse, Akteure und Wechselwirkungen deutlich komplexer. Ein statisches digitales 3D-Stadtmodell reicht deshalb nicht aus. Digitale Zwillinge nach dem SDDI-Konzept sind daher in der Lage weitere dynamische Aspekte auch zukünftig zu integrieren.

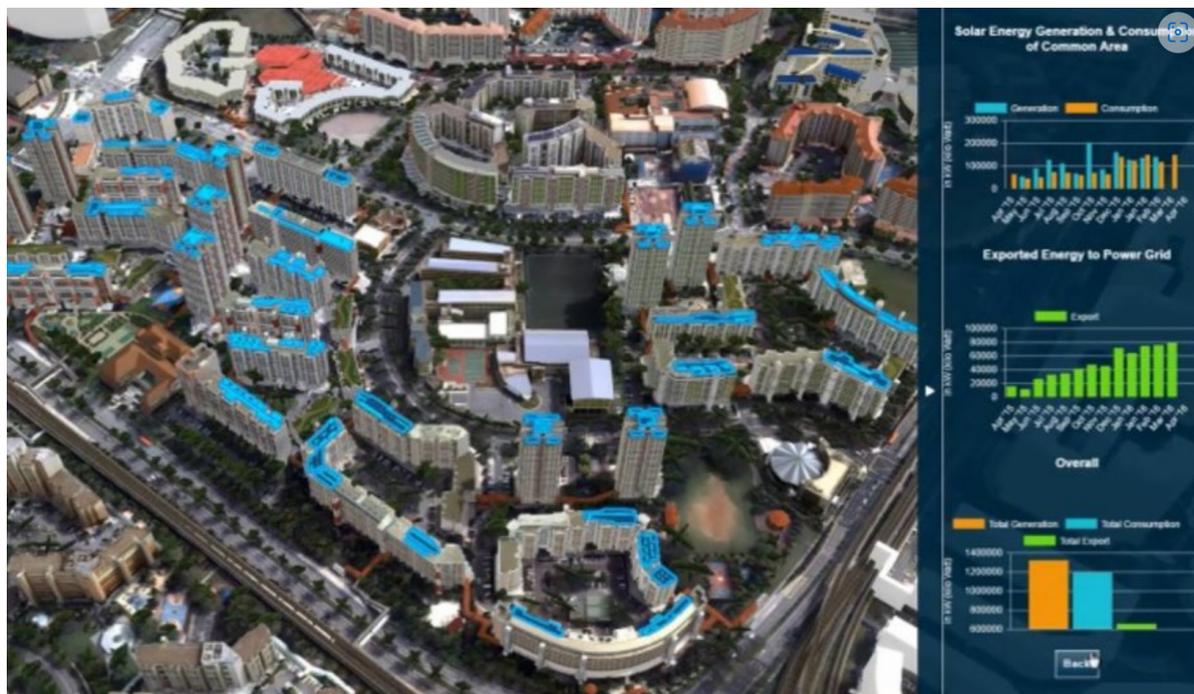
Darüber hinaus können digitale Stadtzwillinge als Kommunikationsmittel sowohl intern für die städtische Verwaltung als auch extern mit Bürgern genutzt werden. Interne Mitarbeiter*innen können gleichzeitig auf die digitale Kopie zugreifen und an dieser Änderungen und Updates vornehmen. Die Öffentlichkeit kann besser in Planungsprozesse einbezogen werden, indem Städte mittels Zwilling eine Darstellung von zukünftigen Stadtentwicklungen bereitstellen und Bürger in Entscheidungen einbeziehen, die ihren Wohnort betreffen. Dies regt den transdisziplinären Diskurs an, ermöglicht den Bürger*innen mehr Transparenz und Einblick in den Stadtentwicklungsprozess und kann so dazu beitragen, Bedenken und Frustrationen, die oft mit großen städtischen Veränderungen einhergehen, zu minimieren.

Eine der ersten bekannten Anwendungen digitaler Zwillinge in der Stadtplanung wurden in Singapur im Rahmen des „Virtual Singapore“-Projekts entwickelt (Geospatial SG 2023). Das Projekt zielt darauf ab, ein umfassendes 3D-Stadtmodell zu erstellen, das zur Planung und Simulation von städtischen Entwicklungsprojekten genutzt werden kann (siehe Abbildung 5). Basis des Zwillings sind Daten, die von verschiedenen Quellen wie Satellitenbildern, Drohnen, Sensoren und anderen Quellen generiert werden. Der digitale Zwilling kann auch von Bürger*innen genutzt werden, um Informationen über ihre Stadt zu erhalten und an der Stadtplanung teilzunehmen. Das Projekt wurde 2014 offiziell gestartet und wird kontinuierlich aktualisiert und erweitert (Tomorrow's World Today 2022).

Eine Weiterentwicklung auf Basis verlinkter, offener Daten und mit Hilfe von Semantischer Webtechnologie (SWT) ist das Cities Knowledge Graph Projekt des Pro-



❖ Abbildung 4: Realer und virtueller Raum im stetigen Austausch während des gesamten Lebenszyklus (Grieves 2001)



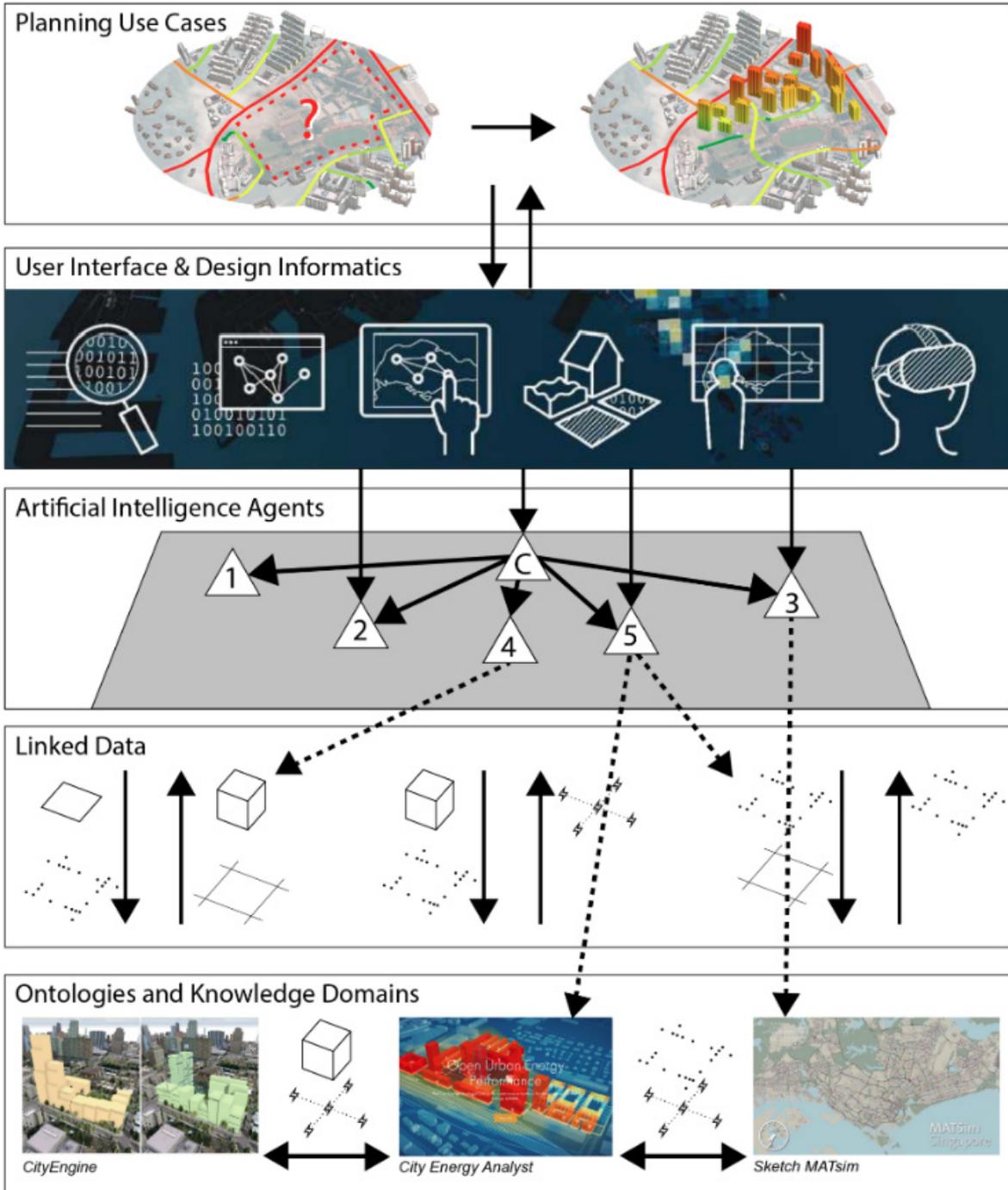
❖ Abbildung 5: Plattform Virtual Singapore © National Research Foundation Singapore

jektteams mit dem Singapur-ETH Centre und der University of Cambridge. Vernetzte, offene Daten erlauben es mittels kontrollierten Vokabularen (Ontologien) Wissensdomänen zu beschreiben. Damit kann neues Wissen (teilautomatisiert) aus vernetzten, offenen Daten generiert werden. SWT haben Mitte der 2000er Jahre bereits die Grundlage für das Web 2.0 geschaffen. SWT erlaubt es verschiedene, grundsätzliche Herausforderungen an komplexe und dynamische Phänomene zu lösen: Isolierte Datensilos können vernetzt, Datenzugang kontrolliert ermöglicht, Workflows verbessert und Datenqualität insgesamt verbessert werden. Damit sind die Probleme der Daten-Interoperabilität zwischen verschiedenen Datenquellen prinzipiell gelöst. Vorteile von Wissensgraphen zur Datenrepräsentation sind: Die Welt (oder das, was uns an ihr interessiert) können als Entitäten und Relationen abgebildet werden. Es entsteht ein verständliches Domänenmodell statt komplexer Datenmodelle. SWT erlaubt Schema-on-read anstatt komplexer Schemata, die migriert und erweitert werden müssen. Es entsteht eine einfache Integration verschiedenster Datenquellen (und deren Schemata) und -Typen (sowohl strukturiert, als auch unstrukturiert). Die formale semantische Repräsentation ermöglicht Inferenz und Maschinenverarbeitung (Von Richthofen u. a. 2022).

Im Cities Knowledge Graph Projekt werden Städte mittels verlinkter, offener Daten, SWT und darauf aufbauenden Wissensgraphen abgebildet. Wissensgraphen verwenden neben den erwähnten Ontologien auch „Agenten“, die das Wissen zusammenziehen und abbilden. In diesem Zusammenhang bezieht sich der Begriff „Agenten“ auf Softwarekomponenten oder Programme, die im Wissensgraphen eingesetzt werden, um das Wissen aus verschiedenen Datenquellen, -Modellen und -Diensten zusammenzuführen und abzubilden. Diese Agenten können spezifische Aufgaben übernehmen, wie das Extrahieren von Daten, die Transformation von Informationen in ein einheitliches Format, das Verknüpfen von relevanten Entitäten oder das Aktualisieren des Wissensgraphen. Sie dienen also als Vermittler oder Zwischenstufen, um das Wissen zeitnah und effizient zu sammeln und bereitzustellen. Daraus lassen sich wiederum Anwendungen (Apps) erstellen. Dieser digitale Zwilling kann also Wissen aus unterschiedlichen Datenquellen, -Modellen und -Diensten teilautomatisch zusammentragen und so zeitnah bereitstellen (Chadzynski u. a. 2021).

Abbildung 6 verdeutlicht die Funktionsweise des Wissensgraphen: Zu unterst werden drei Wissensdomänen der Stadt abgebildet für die es ebenfalls schon analytische oder generative digitale Werkzeuge gibt. CityEngine von ESRI dient zur regelbasierten 3D-Stadtgenese, City Energy Analyst dient der Berechnung des städtischen Energiebedarfs (Urban Building Energy Modeling, UBEM), MATSim ist ein agentenbasiertes Verkehrssimulationstool. Alle drei Werkzeuge benötigen Eingabe Parameter und liefern Werte, die wiederum Eingabeparameter sein können. Diese Input und Output Parameter werden mittels Ontologien beschrieben, durch SWT als verlinkte, offene Daten bereit gestellt und in den Wissensgraphen eingespeist. Dort sind Agenten (als Dreiecke dargestellt) mittels künstlicher Intelligenz (KI) Wissen aus diesen Information zu generieren. Damit lassen sich Anfragen (Queries) von Nutzer*innen aus der UX-(User Experience)-Ebene an die Werkzeuge in der Domain-Ebene weiterleiten.

Ein Beispiel einer komplexen Anfrage wäre: Wie verhalten sich die Emissionen einer Stadt, wenn sich Verkehr in Abhängigkeit von Umbaumaßnahmen (z.B. neue Infrastruktur) verändert? Solche Fragen, lassen sich nur sehr schwer mit konventionellen Methoden beantworten (Silvennoinen u. a. 2023). Es lassen sich ebenfalls legale Abfragen (teil-)automatisieren, indem z.B. Teile des Baurechts ontologisch abgebildet werden. Damit können digitale Agenten Entscheidungspfadern folgen und so Grundlagen für Genehmigungsverfahren vorbereiten. Mit SWT können in Zukunft alle Datenquellen, Modelle und Dienste eines Datenraums verknüpft und zur Wissensgenese nutzbar gemacht werden. Damit kann eine ‚Super-Suche‘ erreicht werden, die Antworten in quasi-Echtzeit liefert und barrierearm darstellt. Des Weiteren liefern SWT und Wissensgraphen evidenz-basiertes Wissen und neue Möglichkeiten für digitale Kommunikation und Partizipation (Quek u. a. 2023).



❖ Abbildung 6: Funktionsweise des Cities Knowledge Graph © Cambridge CARES & Singapore – ETH Centre

4.2 Trends und normative Rahmenbedingungen zu digitalen Zwillingen

Es gibt eine Reihe von übergreifenden Trends im Bereich digitaler Zwillinge, die seit mehreren Jahren verstärkt in vielen Standards, Normen, Regelwerken und Studien konkretisiert wurden (und noch immer werden). Im Folgenden sind die wichtigsten Trends identifiziert, zusammengefasst und mit den dazugehörigen Quellen aufgeführt:

Interoperabilität

Es besteht ein Bedarf an einheitlichen Standards und Schnittstellen, um digitale Infrastruktur austauschbar (anbieterunabhängig), skalierbar (analog zum Internet), zukunftsfähig (offen) und digital nachhaltig zu gestalten und den Informationsaustausch zwischen verschiedenen digitalen Zwillingen und Systemen zu erleichtern.

Standards sind allgemein anerkannte und angenommene Regeln, Richtlinien oder Verfahren, die eine bestimmte Technologie, ein Produkt oder eine Dienstleistung definieren. Sie legen beispielsweise fest, wie etwas gebaut oder entwickelt werden soll, wie es funktionieren soll oder welche Merkmale es aufweisen muss, um als grundsätzlich interoperabel zu gelten. Standards werden in der Regel von Regierungsbehörden, Industriegruppen oder unabhängigen Organisationen entwickelt und verabschiedet.

Schnittstellen sind dagegen die Wege oder Methoden, mit denen verschiedene Systeme, Produkte oder Technologien miteinander kommunizieren können. Sie ermöglichen den Datenaustausch und die Interaktion zwischen verschiedenen Systemen oder Komponenten, auch wenn sie unterschiedliche Sprachen oder Protokolle verwenden. Eine Schnittstelle kann zum Beispiel eine gemeinsame API oder ein Protokoll sein, die es verschiedenen Systemen ermöglichen, Daten auszutauschen oder miteinander zu interagieren.

In Bezug auf digitale Stadtzwillinge können Standards beispielsweise Regeln für die Datenstruktur oder Datenformatierung, für den Datenschutz oder für die Informationsqualität festlegen. Schnittstellen können dagegen beschreiben, wie verschiedene Systeme in den digitalen Zwilling integriert werden können, welche Protokolle oder APIs für die Kommunikation verwendet werden müssen oder wie die Datenvisualisierung erfolgen soll.

Folgend ist eine Übersicht von Standards zur Interoperabilität digitaler Zwillinge aufgeführt. Weil gängige Schnittstellen stark nach möglichen Anwendungen, Datentypen und Übertragungsarten variieren, handelt es sich nur um eine kurze Sammlung ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Generell bietet das Open Geospatial Consortium (OGC) eine große Auswahl gängiger Schnittstellen und Standards, die perspektivisch für Interoperabilität zwischen einzelnen Zwillingen sorgen werden.

Unternehmen und Organisationen setzen zunehmend auf Open-Source-Technologien und -Frameworks im Bereich von digitalen Zwillingen, um eine schnellere und effizientere Entwicklung sowie eine bessere Zusammenarbeit zwischen Städten zu ermöglichen. In Tabelle 2 finden Sie eine Reihe von Standards (Normen, Strategien), die eine Nutzung von Open Source Technologien bei der Umsetzung von digitalen Stadtzwillingen und generell Softwareprodukten fordern. Wie die Auswertung im Kapitel 6 aufzeigt, werden diese Standards tendenziell verstärkt, allerdings noch nicht flächendeckend von deutschen Verwaltungen umgesetzt.

Künstliche Intelligenz

Durch die Integration von maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz (KI) in digitale Zwillinge kann nicht nur die Fähigkeit zur autonomen Entscheidungsfindung verbessert werden, sondern es besteht auch die Möglichkeit zusätzlich zu dem geplanten Wissen unvorhergesehene Erkenntnisse zu generieren. SWT-basierte digitale Zwillinge wie das Cities Knowledge Graph Projekt (Kraft u. a., o. J.) nutzen intelligente Agenten als Form der KI zur Wissensgenese und dynamischen Simulation sowie Szenarioprojektion von Städten.

Derzeit gibt es keine konkreten Standards für KI-Anwendungen in Bezug auf digitale Zwillinge. Die deutsche DIN SPEC 91387 beschreibt lediglich den großen Nutzen von KI für Stadtzwillinge und nennt oberflächlich einige Anforderungen und Empfehlungen. Deutlich konkreter gehen der Leitfaden der EU zur Ethik und die DIN SPEC Reihe 92001-1 bis -3 zur Qualitätssicherung, Robustheit und Erklärbarkeit generell auf die Nutzung von KI ein (siehe Tabelle 3).

Standard	Ansprechpartner	Beschreibung	Quelle
SDDI	TU München	Die Smart District Data Infrastructure (SDDI) ist ein modularer Rahmen für eine stadtweite Datendrehscheibe, die alle Informationen, Sensoren und Anwendungen in einem gemeinsamen semantischen 3D-Stadtmodell auf dem CityGML-Standard verortet. Die SDDI setzt auf offene Standards und bietet Analysewerkzeuge für verschiedene Fachdisziplinen, um die Auswirkungen von Umbauprojekten auf Umwelt, Mobilität, Energie und Soziales gleichzeitig zu betrachten.	Link
CityGML		Ein Standard für die dreidimensionale Darstellung von Stadtmodellen, der es ermöglicht, die Stadtstruktur, Gebäude und Infrastrukturen in einem gemeinsamen Format und Semantik zu speichern.	
DIN SPEC 91607 (in Bearbeitung)	DIN e.V	Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen: Das Ziel ist die Erstellung eines (nationalen) Standards zur Übertragung des Konzepts Digitaler Zwilling auf den urbanen Raum, u. a. durch die Darstellung und Beschreibung von Anwendungsszenarien, Datenzugriffs- und Visualisierungsmethoden, sowie die Nutzung von verfügbaren Standards.	Link
DIN SPEC 91357	DIN e.V	Die DIN SPEC 91357 definiert das Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP) und klärt Lizenzierungsmodelle ab. Zudem werden offene Schnittstellen und relevante Normen im Bereich Offene Urbane Plattformen aufgeführt, um einen einheitlichen Sprachgebrauch sicherzustellen und die Plattform kompatibel mit anderen OUPs und Anwendungen zu gestalten.	Link
ISO/IEC DIS 24039	ISO	Der ISO/IEC DIS 24039 beschreibt die Architektur einer digitalen Smart City Plattform (SCDPs) mit dem Fokus auf dem Zugang zu Daten und Diensten für Anwendungen von Smart Cities und definiert grundlegende Anforderungen an die Daten und die Plattform.	Link
DCAT-AP.DE		DCAT-AP.de ist ein Standard für die Beschreibung von Datenressourcen in Datenkatalogen. Es bietet eine standardisierte Möglichkeit, um Informationen über Datenressourcen wie deren Name, Beschreibung, Lizenz, Format etc. zu beschreiben.	Link
OWL	W3C	Die OWL (Web Ontology Language) ist eine formale Sprache, die zur Beschreibung von Wissensmodellen und Ontologien verwendet wird. Ontologien sind formale Modelle von Konzepten und deren Beziehungen zueinander. Sie dienen dazu, Wissen auf eine standardisierte Art und Weise zu beschreiben und zu organisieren, damit es von Maschinen und Menschen gleichermaßen verstanden und verarbeitet werden kann.	Link
Schnittstellen			
WMS und WFS	OGC	WMS und WFS sind Standards des Open Geospatial Consortium (OGC) zur Verarbeitung und Übertragung von geografischen Informationen. WMS (Web Map Service) ist ein Standard zum Abrufen von statischen Kartenbildern über das Internet, während WFS (Web Feature Service) eine Schnittstelle zur Übertragung von Vektorinformationen wie Gebäuden, Straßen und Flüssen bietet.	Link
CSW	OGC	CSW ist ein standardisiertes Protokoll für die Suche und das Abrufen von Metadaten aus verteilten Katalogen von Geodaten. Es beruht auf den ISO-Normen 19115, 19119 und 19139 und wurde speziell für Geodaten entwickelt. Es umfasst eine Vielzahl von Metadatenattributen, die Informationen über die Geodaten und ihre Eigenschaften enthalten	Link
OGC APIs, z.B. Tiles	OGC	Dies ist ein Standard, um die Bereitstellung von räumlichen Daten als Kacheln (Tiles) über standardisierte Web-APIs zu ermöglichen. Der Standard definiert, wie die Kacheln von verschiedenen Arten von räumlichen Daten wie Vektor-Features, Raster-Daten, Karten und anderen Arten von räumlichen Informationen abgerufen werden können.	Link

Standard	Herausgeber	Beschreibung	Quelle
EU-Open-Source-Strategie	Europäische Union	Diese Strategie fördert die Verwendung von Open-Source-Technologien in der gesamten EU und betont die Bedeutung von Offenheit, Interoperabilität und Sicherheit bei der Nutzung von Technologien.	Link
DIN SPEC 91357	DIN e.V	Diese Norm definiert Anforderungen und Empfehlungen für offene, urbane Datenplattformen (OUP) und legt fest, dass offene Standards und Open-Source-Technologien für die Entwicklung und Implementierung von digitalen Stadtzwillingen bevorzugt werden sollten.	Link
ISO 37106	ISO	Diese Norm bietet Leitlinien für die Entwicklung und Implementierung von Smart-City-Konzepten und betont die Bedeutung von Offenheit und Transparenz bei der Nutzung von Technologien, einschließlich Open-Source-Software.	Link

➤ Tabelle 3: Übersicht der Standards (Open Source)

Standard	Herausgeber	Beschreibung	Quelle
Ethikleitfaden für vertrauenswürdige KI	Europäische Union	Ziel der vorliegenden Leitlinien ist die Förderung einer vertrauenswürdigen KI. Eine vertrauenswürdige KI zeichnet sich durch drei Komponenten aus: Rechtmäßig, ethisch korrekt, robust	Link
DIN SPEC 91387	DIN e.V	Die DIN SPEC 91387 bezieht sich auf die Anwendung von KI-Methoden in digitalen Zwillingen und beschreibt Anforderungen und Empfehlungen, um die Qualität und Zuverlässigkeit solcher Systeme sicherzustellen.	Link
DIN SPEC 92001-1	DIN e.V	Die DIN SPEC beschreibt eine Reihe von Qualitätsanforderungen für eine sichere und transparente Entwicklung und den Einsatz von KI-Anwendungen.	Link
DIN SPEC 92001-2	DIN e.V	Teil 2 der DIN SPEC Reihe (92001-x) erläutert eine Vielzahl von KI-spezifischen mathematischen Robustheitsanforderungen, insbesondere zu Adversarial Robustness (gezielte Systemangriffe mit optimierten Perturbationen) und Corruption Robustness (Abfälligkeiten gegen natürlich auftretende Störgeräusche / Daten-Ausreißer).	Link
DIN SPEC 92001-3	DIN e.V	Teil 3 der DIN SPEC Reihe ist noch in Bearbeitung und beschäftigt sich mit der Erklärbarkeit und Nachvollziehbarkeit von KI-Anwendungen.	Link

➤ Tabelle 4: Übersicht der Standards (Künstliche Intelligenz)

Standard	Herausgeber	Beschreibung	Quelle
DIN SPEC 92222	DIN e.V	Das Ziel der DIN SPEC ist, eine durchgängige Kommunikation in Industrieumgebungen durch die Definition von Übertragungsprotokollen und Schnittstellen zu ermöglichen. Betrachtet wird hierbei die Kommunikation von Maschinen (beziehungsweise sogenannter Edge-Komponenten) in der Cloud.	Link
OPC UA	OPC Foundation	OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) ist eine Sammlung von Standards für die Kommunikation und den Datenaustausch im Umfeld der Industrieautomation. Mithilfe von OPC UA werden sowohl der Transport von Machine-to-Machine-Daten als auch Schnittstellen und die Semantik von Daten beschrieben (Bigdata Insider 2018).	Linkv

➤ Tabelle 5: Übersicht der Standards (5G - Edge Computing)

Digitaler Zwilling als „Software as a Service“ (SaaS)

Eine Möglichkeit digitale Zwillinge oder einzelne technische Komponenten, wie urbane Datenplattformen, als Dienstleistung zu nutzen, anstatt eine eigene Infrastruktur und Fachkenntnisse für ihre Entwicklung und Wartung aufzubauen, ist das Konzept eines digitalen Zwillings als „Software as a Service“ (SaaS). Städte und Gemeinden können auf diese Weise schnell auf die Vorteile von digitalen Zwillingen oder einzelnen technischen Komponenten (z.B. Urbane Datenplattformen) zugreifen und diese in ihre Geschäftsprozesse integrieren (Esri 2023).

Allerdings gibt es eine Reihe an weiteren Punkten zu beachten und zu bewerten:

Datenhoheit und -sicherheit

Hier müssen sich Kommunen die Frage stellen, ob diese in den Händen des Anbieters oder der Kommune selbst liegen soll? Die Kommune als Kunden muss grundsätzlich darauf vertrauen können, dass der Anbieter die Daten auf eine sichere und verantwortungsvolle Weise verwaltet und vor unbefugtem Zugriff schützt.

Individuelle Bedarfe

In einem standardisierten Serviceangebot kann es schwierig sein, die individuellen Bedarfe, Anforderungen und Prozesse einer Kommune zu berücksichtigen.

Abhängigkeit

Ein weiterer Nachteil kann die Abhängigkeit vom Anbieter sein, insbesondere wenn es um die Integration des digitalen Zwillings in bestehende IT-Systeme und Prozesse der Kommune geht.

Betrieb und Wartung

Der Betrieb und die Wartung des digitalen Zwillings als Service können teuer werden, insbesondere wenn es um komplexe Anwendungen und große (bzw. immer größere) Datenmengen geht.

5G - Edge Computing

Da die Datenerfassung und -verarbeitung immer schneller und dezentraler wird, kann Edge Computing eingesetzt, um die Verarbeitung von Daten in Echtzeit zu ermöglichen. Heutige Cloud-Services und generell heterogene Datenquellen können dagegen nicht all diese Aufgaben übernehmen (Reder und Donner 2019), da auch leistungsstarke Netzwerke teils zu lange brauchen, um Daten zur Analyse an ein Rechenzentrum oder

an die Cloud zu übertragen. Edge Computing bedeutet, dass die Datenverarbeitung dezentral am Device (z.B. IOT Device) erfolgt (T-Systems 2023).

Edge Computing ermöglicht so vielfältige Innovationen und neue Anwendungen durch eine verzögerungsfreie Datenübertragung und -verarbeitung (Baumann 2021). Beim Einsatz von Augmented Reality und Virtual Reality spielt Edge Computing beispielsweise eine große Rolle. Die Daten müssen direkt vor Ort verarbeitet werden, damit die reibungslose Nutzung der Devices wie VR-Brille oder der Augmented-Reality-App auf dem Smartphone gewährleistet ist (T-Systems 2023).

Gegenwärtig gibt es noch keine konkreten Standards, die sich mit Edge Computing in Verbindung mit digitalen Stadtwillingen beschäftigen. Allerdings definieren die DIN SPEC 92222 und die OPC UA für die Industrie Anforderungen an Schnittstellen bezüglich einer durchgängigen Kommunikation von Echtzeit-Daten. Folgend werden diese Standards aufgeschlüsselt.

Zusammenarbeit

Das Fraunhofer Institut beschreibt die Umsetzung von Stadtwillingen und datenbasierten Anwendungen als eine interkommunale Gemeinschaftsaufgabe, die deutlich mehr Nutzen als Aufwand mit sich bringt (Fraunhofer IAO u. a. 2022). Der Trend interkommunaler Zusammenarbeit hat sich in diesen Bereichen in den letzten Jahren verstärkt. Beispielsweise erarbeiten die Städte Hamburg, München und Leipzig gemeinsam an der Umsetzung digitaler Stadtwillinge (Connected Urban Twins 2023), im Landkreis Hof arbeiten mehrere Gemeinden an der gemeinsamen Umsetzung einer offenen, urbanen Datenplattform und einem Zwilling mit mehreren Anwendungsfällen.

Ein weiteres Beispiel für interkommunale Zusammenarbeit ist die (noch andauernde) Erstellung der DIN SPEC 91607 „Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen“, an der neben Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft über 14 Kommunen teilnehmen. Mit der DIN SPEC 91607 soll ein technischer Flickenteppich und Doppelarbeit vermieden und anderen interessierten Kommunen ein Leitfaden zur Anwendung des Digitalen Zwillings an die Hand gegeben werden (Deutsche Institut für Normung 2022).

4.3 Regensburger Kontext

Dieses Kapitel beleuchtet wichtige Rahmenbedingungen für die Konzipierung und Umsetzung eines digitalen Zwillings, die bis zur Erstellung dieses Konzepts von der Stadt Regensburg bereits gesetzt wurden, bzw. sich zu diesem Zeitpunkt kurz vor Abschluss befinden.

Existierende Strategien und Konzepte

Eine Vielzahl verschiedener Rahmenwerke ebnet den Weg für die Definition qualitativer Anforderungen und die technische Umsetzung des Regensburger Stadtzwilling in der Zukunft.

Stadtentwicklung Regensburg 2040

Der im Jahr 2022 von der Stadt Regensburg beschlossene Stadtentwicklungsplan sieht die Digitalisierung als wesentliche Voraussetzung für die Lösung aktueller und zukünftiger Probleme im städtischen Umfeld und als Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung nahezu aller Stadtentwicklungsziele und -projekte. Technologie ist dabei aber kein Selbstzweck, sondern muss im Dienst der Bürger stehen. Der digitale Wandel muss gesellschaftlich gestaltet werden, das heißt, die gesamte Stadtgesellschaft muss einbezogen werden, um digitale Zugänglichkeit, Chancengleichheit und Selbstbestimmung zu gewährleisten. Dies eröffnet große Potenziale für die Stadtgesellschaft aus Sicht von Wirtschaft und Wissenschaft (Stadt Regensburg 2022).

Integriertes Digitales Entwicklungskonzept (IDEK)

Ziel des IDEK ist es, die Potenziale der Digitalisierung für die Entwicklung nachhaltiger Quartiere und ihre Auswirkungen auf den räumlichen Kontext aufzuzeigen. Gleichzeitig soll es integriertes Handeln auf verschiedenen Ebenen der beteiligten Akteure, d.h. aller relevanten Fachabteilungen der Verwaltung, externer Akteure und unter enger Einbindung der Bürgerinnen und Bürger, anregen und koordinieren. Besonders interessant ist im Rahmen des Konzepts der IKT-Radar, der basierend auf zahlreichen Interviews Regensburgs Expertise im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien bewertet. Der Radar bestätigt unter anderem, dass Regensburg über hohe Kompetenz im Bereich städtischer IT verfügt und dass es einige – teils kommunale- Unternehmen gibt, die bei der Umsetzung eines digitalen Stadtzwilling unterstützen können. Wichtig für die Umsetzung des Zwillings ist dagegen ein ämterübergreifendes Verständnis für den Mehrwert gemeinsam genutzter Daten (Stadt Regensburg 2021).

R_NEXT

Als eine von 28 ausgewählten Kommunen ist Regensburg Teil der Förderkulisse Modellprojekte Smart Cities des Bundes, die in der diesjährigen dritten Staffel unter der Zielsetzung „Gemeinsam aus der Krise: Raum für Zukunft“ steht. Seit Mitte 2021 wird gemeinsam mit der Stadtgesellschaft eine Vision und Strategie entwickelt, um die Smart City Regensburg zu gestalten (Stadt Regensburg 2023g).

Im Rahmen des Förderprojekts arbeitet die Stadt Regensburg an einer Datenstrategie, die eine Entwicklung des digitalen Zwillings maßgeblich mitbestimmen wird (s. Textbox). Des Weiteren eignen sich 2 Teilprojekte des Förderprojektes sehr für eine Einbindung in den digitalen Stadtzwilling Regensburg. Der digitale Energiezwilling der Stadt Regensburg wird eine Kombination verschiedener statischer und dynamischer Daten nutzen und durch Simulationen mit Hilfe der Daten ein verbessertes Verständnis von Energie- und Materialflüssen schaffen (Stadt Regensburg 2023b). Ein weiterer Fokus des zu entwickelnden digitalen Zwillings kann auf der Integration des Teilprojekts „Virtuelles Welterbe“ liegen. Ziel ist es über verschiedene digitale Formate das Welterbe virtuell darzustellen und für alle Nutzer*innen barrierefrei erlebbar zu machen (Stadt Regensburg 2023g).

Durchgeführte Beteiligungsformate

Im Rahmen der obigen Strategien und Konzepte wurden bereits eine Vielzahl von Beteiligungsformaten, wie z. B. im Rahmen von R_NEXT (siehe Abbildung 7), durchgeführt, die potenzielle Bedarfe und Use-Cases für einen Stadtzwilling über die Beteiligung dieses Konzepts hinaus bieten.

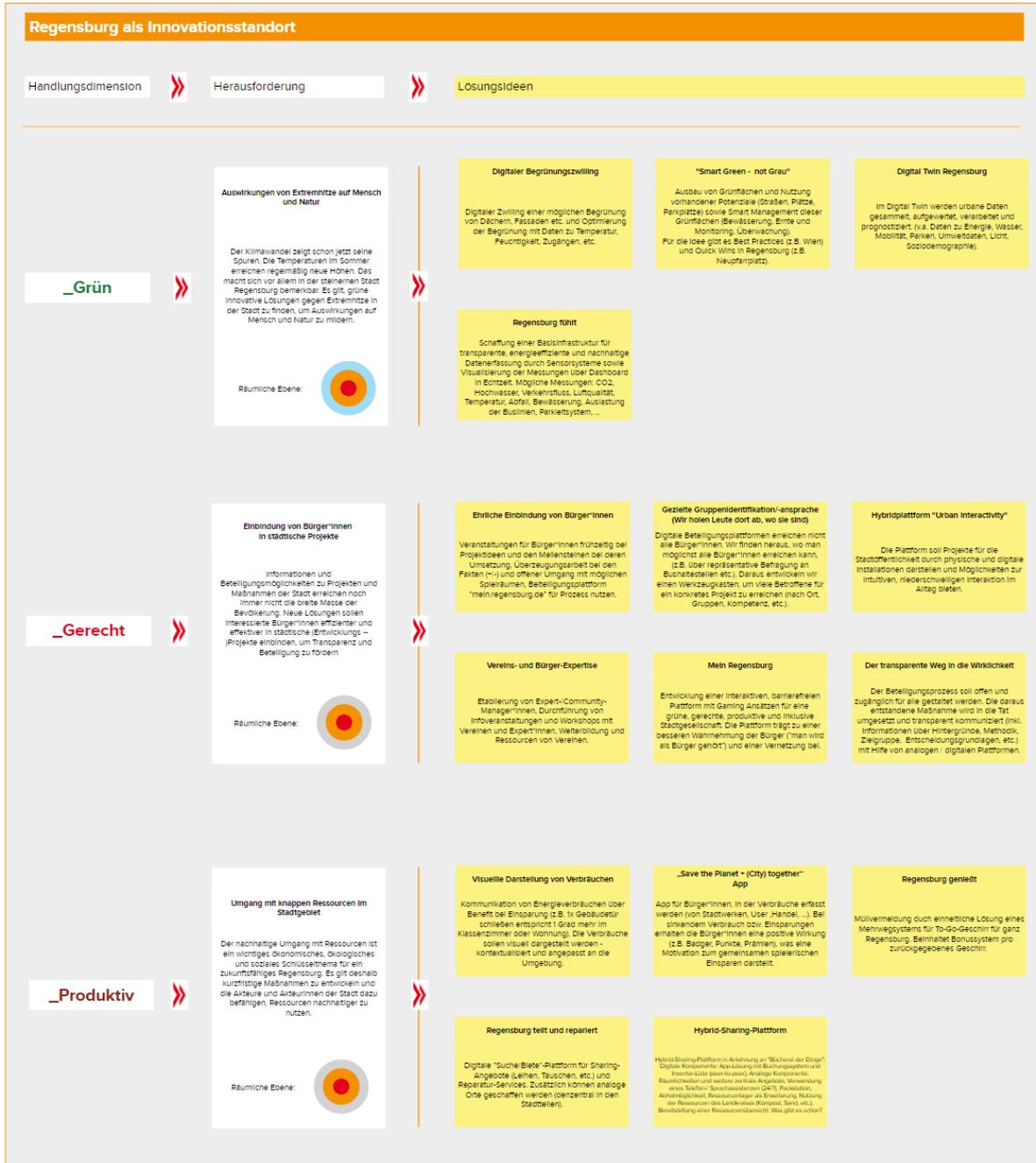


Abbildung 7: Ergebnisse von Beteiligungsprozessen als Teil von R_NEXT

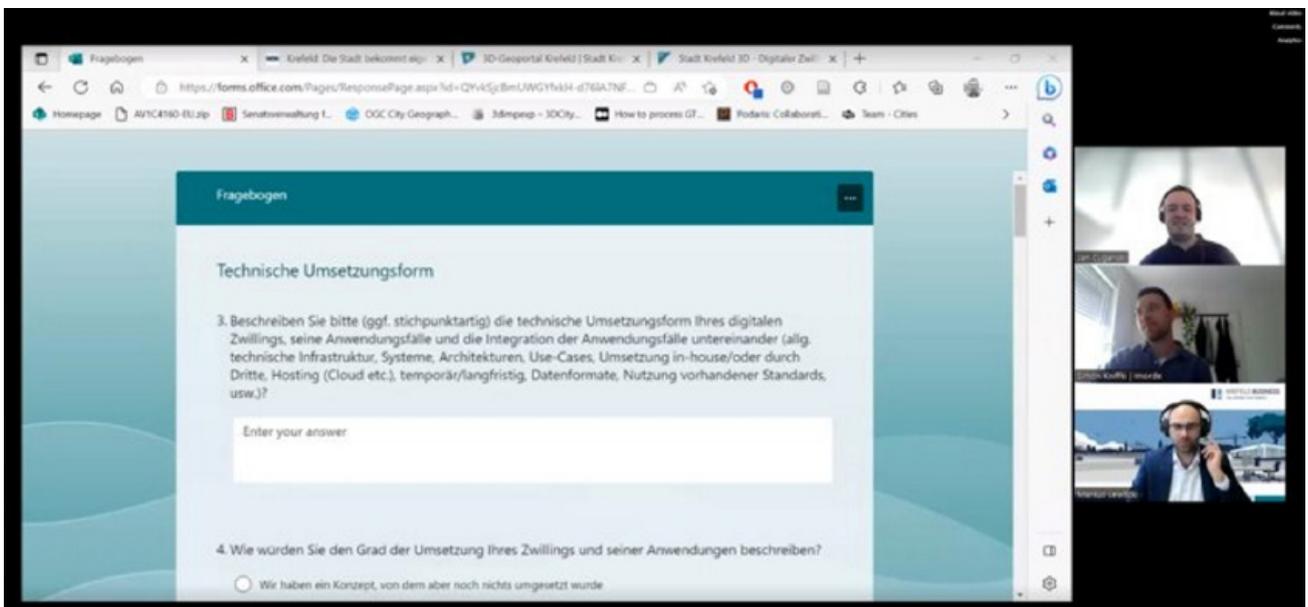


Abbildung 8: Online-Interviews mit kommunalen Vertreter*innen

5. Fallbeispiele

Auf Basis der durchgeführten Desktop-Literaturrecherche sowie der Online-Interviews mit Expert*innen und Kommunen (s. Abbildung 8 und Kapitel 3 „Methodik“), wurden fortgeschrittene Fallbeispiele digitaler Zwillinge von acht deutschen Kommunen ermittelt. Die folgenden sieben Kommunen haben sich mit der Publikation der Informationen zu ihrem Zwilling bereit erklärt:

- Stadt Braunschweig (Seite 30)
- Stadt Herrenberg (Seite 34)
- Stadt Kempten (Allgäu) (Seite 38)
- Stadt Krefeld (Seite 42)
- Landkreis Hof (Seite 46)
- Stadt Stuttgart (Seite 50)
- Stadt Sulzbach-Rosenheim (Seite 54)

Im Folgenden werden die digitalen Zwillinge der Kommunen anhand von Steckbriefen vergleichend beschrieben und mittels einer KPI-Matrix zur technischen Umsetzungsform, zur personellen Organisationsstruktur und zu den finanziellen Rahmenbedingungen eingeordnet. Es ist zu bemerken, dass nicht jede Kommune den Begriff „Zwilling“ im Sinne der zuvor angeführten Definition (s. S. 17) verwendet, sondern je nach Anwendungsfall auch Begriffe wie „3D-Stadtmodell mit erweiterten Funktionen“, „digitales Abbild“, „Tool“ oder Ähnliches verwendet.

Stadt Braunschweig

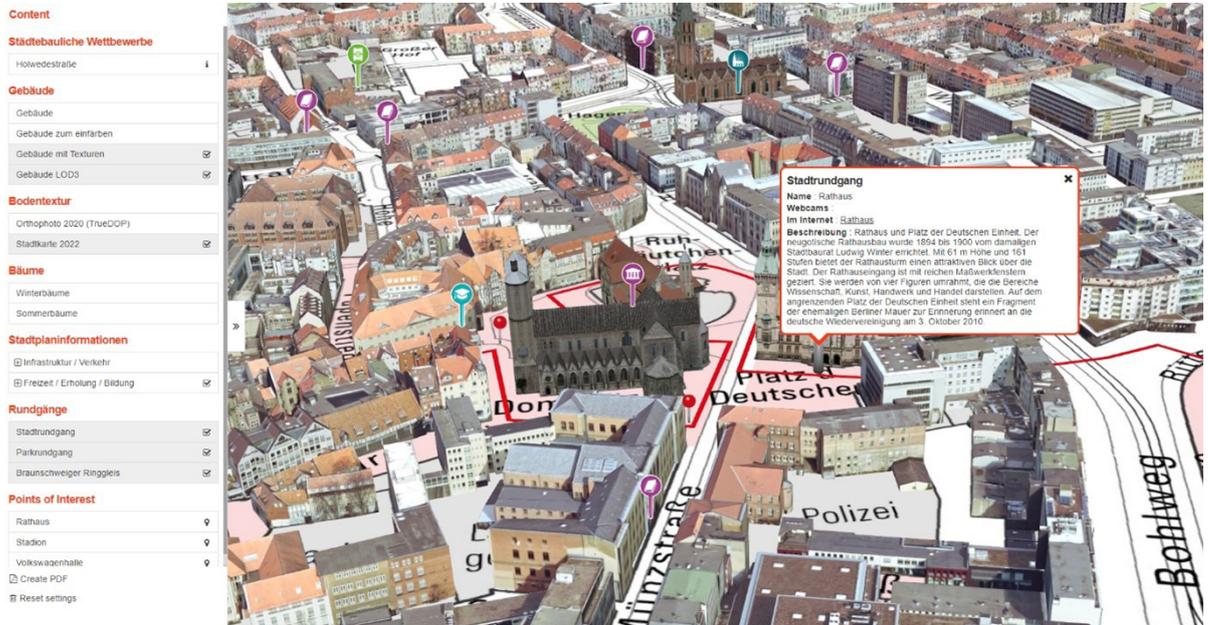


Abbildung 9: Ansicht des öffentlichen Stadtzwillings mit der Darstellung eines Rundgangs in der Braunschweiger Altstadt

© Stadt Braunschweig

Allgemeine Informationen

Stadt Braunschweig

Größe 253.167 Einwohnerzahl (Stadt Braunschweig 2023)

Abstract Die Stadt Braunschweig verfügt über einen internen und externen Stadtzwilling, die bereits weitestgehend umgesetzt sind und kontinuierlich selbstfinanziert weiterentwickelt werde. Die Stadt bezeichnet

Die Zwillinge unterscheiden sich in Ihrem Funktionsumfang und im Bereich Data Governance vor allem bei der Datensicherheit. Die Stadt selbst beschreibt die externe Plattform als 3D-Stadtmodell, indem lediglich geometrische Visualisierungen und Informationen dargestellt werden. Der eigentliche Zwilling wird intern für verschiedene Simulationen und Analysen eingesetzt. Er enthält neben den Datenquellen, die auch im öffentlichen Zwilling zu finden sind, deutlich mehr (sensible) Informationen als die externe Plattform auch eine Exportfunktion von Daten in alle gängigen CAD-Formate.

Die Zwillinge werden von der Abteilung Geoinformationen kontinuierlich weiterentwickelt. Die Kompetenzen wurden gemeinschaftlich innerhalb der Abteilung aufgebaut (u.a. die Editionierung und Pflege eines 3D-Stadtmodells oder die Weiterentwicklung von IoT, Dashboards, Automatisierung und Programmierung). Als größte verwaltungsinterne Herausforderung gilt die amtsübergreifende Standardisierung von Datenquellen, da Datensätze momentan mehrfach in verschiedenen Systemen und Formaten vorliegen. Ab dem Sommer 2023 wird die städtische Infrastruktur um Sensorik erweitert und im externen Stadtzwilling eingebunden.

Kontaktperson Thomas Steinbick, Abteilung Geoinformationen, Stadt Braunschweig

Use Cases

Kultur, Welterbe und Tourismus **T2* - Verbesserter barrierefreier Zugang zu Informationen für eine breite Bevölkerungsschicht über kulturelle Angebote in Bezug auf das Welterbe**
Integriert im externen und internen Stadtwilling

Beide Zwillinge der Stadt Braunschweig visualisieren Park- und Stadtrundgänge in der Braunschweiger Altstadt und das Braunschweiger Ringgleis. Entlang der Pfade sind Sehenswürdigkeiten mit weiteren Informationen hervorgehoben und verlinkt.

Polylinien werden zur Beschreibung der Pfade genutzt und POIs der Sehenswürdigkeiten werden mit relevanten Informationen angereichert.

Die Anwendung wurde vom Braunschweiger Vermessungsamt umgesetzt und zum Zeitpunkt der Begleituntersuchung administriert. Die Umsetzung erfolgte auf Basis technischer Module vom Anbieter Virtual City Systems.

Stadtplanung **P2 - Vereinfachung und Veranschaulichung von Planungsprozessen für Partizipationszwecke**
Integriert im internen Stadtwilling

Die umfangreichste Anwendung im internen Braunschweiger Stadtwilling betrifft die Vereinfachung und Veranschaulichung von Planungsprozessen. Stadtplaner*innen und Stadtentwickler*innen können Gebäude abreißen und 3D-Stadtmodelle importieren (wie neue Masterpläne). So kann der Einfluss auf das Stadtbild untersucht werden, wie Trauf- und Gebäudehöhen, Abstandsflächen oder Sichtachsen. Zudem gibt es ein Schattensimulationstool.

Heterogene Datenquellen müssen je nach konkretem Anwendungsfall eingebunden werden. In diesem Zusammenhang benennt Herr Steinbick (Abteilung Geoinformationen, Stadt Braunschweig) das Thema Datenstandardisierung im Rahmen der Data Governance als besonders herausfordernd.

Die Anwendung wurde vom Braunschweiger Vermessungsamt umgesetzt und zum Zeitpunkt der Begleituntersuchung administriert. Die Tools werden nur verwaltungsintern genutzt. Perspektivisch sollen die Informationen zur öffentlichen Beteiligung genutzt werden. Im externen Zwilling sind momentan nur sehr wenige Informationen sichtbar, beispielsweise wenige neue Stadtquartiere.

* Kürzel dienen der Zuordnung zu den ermittelten Use-Case-Bedarfen der Regensburger Stadtverwaltung (s. S. 15).

Keys	Indikatoren				
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungsintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungsintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillings umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Insellösungen <i>(Hinweis: Nur bei besonders komplexen Anwendungen)</i>	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

Table 6: KPIs Technische Umsetzungsform Braunschweig

Keys	Indikatoren				
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungsorgans vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz- aufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz- aufbau
Organisations-struktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisations- struktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisations- einheit	

❖ Tabelle 7: KPIs Organisationsstruktur Braunschweig

Keys	Indikatoren				
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

❖ Tabelle 8: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Braunschweig

Bei den KPI-Matrizen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und Einordnung der Stadt. Es ist ausdrücklich zu berücksichtigen, dass dies keine Wertung der Autor*innen darstellt. Eine Zuordnung der Daten in die rechten Felder der Matrizen kann nicht zwangsläufig als eine optimale Lösung angesehen werden, da jede Kommune ihre individuellen Merkmale besitzt und der Fokus stets darauf liegt, dass das System den Bedürfnissen der betroffenen Stadt gerecht wird.

Stadt Herrenberg



❖ Abbildung 10: Multimodale Navigation Stadtnavi Herrenberg © Stadt Herrenberg

Allgemeine Informationen

Stadt Herrenberg

Größe 33.379 Einwohnerzahl (Stadt Herrenberg 2022)

Abstract Seit Mitte 2022 setzt die Stadt Herrenberg einen verwaltungsinternen Stadtzwilling um, der aus einem 3D-Stadtmodell der Stadt und Katasterdaten (unterirdische Infrastruktur, Bäume) besteht. Zeitnah plant Herrenberg die Bereitstellung eines Bürger-GIS, eine 2D Kartenansicht der Stadt mit Informationen zu Bebauungs- und Flächennutzungsplänen anzeigen wird. Die Plattform wird vom Anbieter entwickelt, der auch das verwaltungsinterne Webgis betreibt.

Parallel zu den obigen Plattformen kooperiert die Stadt Herrenberg seit 2016 mit dem Hochleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart (HLRS) und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Die Stadt fungiert demnach als Testfeld für die Erprobung innovativer Technologien und Anwendungen, wie der Messung von Stressfaktoren bei Fahrradfahrern im dichten Straßenverkehr (die:gemeinde 2022). Im Gegenzug erleichtert die Stadt den Partnern bestimmte administrative Vorgänge, wie die Unterstützung bei Drohnenflügen und die Bereitstellung von Orten für den Einsatz von Sensorik bei Verkehrszählungen.

Vor dem Hintergrund der starken Kooperationspartner, wie dem HLRS, KIT und ADFC, ist die Organisationsstruktur für den Betrieb und die Weiterentwicklung des digitalen Zwillinges und des Bürger-GIS erst im Aufbau.

Im Sommer 2023 ist lediglich Herr Basalla aus dem Amt für Tiefbau und Entwässerung für das Thema neben seiner regulären Tätigkeit verantwortlich. Mittelfristig ist der Wunsch innerhalb des Amtes eine Abteilung Geoinformationen durch personale Aufstockung entstehen und mit den Plattformen betraut werden.

Kontaktperson Herr Urs Basalla, Amt für Tiefbau und Entwässerung, Stadt Herrenberg

Use Cases

Mobilität

K3* - Bauliche Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur

Geplante, verwaltungsinterne Anwendung

Die Stadt Herrenberg befindet sich zum Zeitpunkt der Konzepterstellung in der Umsetzung einer App, die mit Hilfe von Handyaufnahmen und KI Technologien den Zustand von Straßenbelag bewerten und auf potentielle Sanierungsbedarfe hinweisen kann.

M4 - Multimodale Navigation (Routenvorschläge)

Integriert im öffentlich zugänglichen Stadtnavi

Die Anwendung „Stadtnavi“ ermöglicht anonymes, intermodales Routing in einer App und Desktop Ansicht. Sie erweitert herkömmliche Karten- und Navigationsdienste, wie Google Maps, um zusätzliche Informationen, wie beispielsweise Stadtführungsinformationen oder Abfallbehälter. Es werden verschiedene statische Datenquellen über Openstreetmap und aus dem städtischen GDI sowie dynamische Sensordaten integriert, beispielsweise in den Bereichen ÖPNV und Mikromobilität. Perspektivisch sollen die Daten in das neue Bürger-GIS eingebunden werden.

M5 - Intelligentes Parkraummanagement

Integriert im öffentlich zugänglichen Stadtnavi

Die Anwendung Stadtnavi weist über Sensorik den Belegungsstatus verschiedener Parkhäuser (reguläre und barrierefreie Stellplätze) in Echtzeit aus. Die Navigation wird allerdings bisher nicht vom Belegungsstatus der Parkhäuser beeinflusst.

Klima

K3 - Analyse klimarelevanter Bedarfe und Anpassungserfordernisse durch Sensorik- und Simulationstechnologien

Integriert im verwaltungsinternen Stadtwilling

Gemeinsam mit der Abteilung Technische Dienste (Bauhof) hat die Stadt Herrenberg an Bäumen Feuchtigkeitssensoren installiert, um den Wasserhaushalt zu messen und an einigen Zu- und Laufstellen smart zu regulieren.

Stadtplanung

P2 - Vereinfachung und Veranschaulichung von Planungsprozessen für Partizipationszwecke

Verwaltungsinterne Anwendung

Zur Veranschaulichung von Planungsprozessen sollen Neubau- und Masterplanungsprojekte in das städtische 3D-Stadtmodell integriert und mithilfe von Virtual Reality für verwaltungsinterne Beteiligungsprozesse genutzt. Beispielsweise können Politiker*innen oder Mitarbeitende der Stadt vor Ort erkennen, wie sich die Projekte baulich in die unmittelbare Umgebung einfügen.

* Kürzel dienen der Zuordnung zu den ermittelten Use-Case-Bedarfen der Regensburger Stadtverwaltung (s. S. 15).

Keys	Indikatoren				
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungsintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungsintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillings umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Insellösungen <i>(Hinweis: Nur bei besonders komplexen Anwendungen)</i>	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

... Tabelle 9: KPIs Technische Umsetzungsform Herrenberg

Keys	Indikatoren				
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungs-organs vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau
Organisationsstruktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisationsstruktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisationseinheit	

❖ Tabelle 10: KPIs Organisationsstruktur Herrenberg

Keys	Indikatoren				
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

❖ Tabelle 11: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Herrenberg

Bei den KPI-Matrizen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und Einordnung der Stadt. Es ist ausdrücklich zu berücksichtigen, dass dies keine Wertung der Autor*innen darstellt. Eine Zuordnung der Daten in die rechten Felder der Matrizen kann nicht zwangsläufig als eine optimale Lösung angesehen werden, da jede Kommune ihre individuellen Merkmale besitzt und der Fokus stets darauf liegt, dass das System den Bedürfnissen der betroffenen Stadt gerecht wird.

Stadt Kempten (Allgäu)

Allgemeine Informationen

Stadt Kempten (Allgäu)

Größe 71.918 Einwohnerzahl (Stadt Kempten (Allgäu) 2023)

Abstract Die Stadt Kempten (Allgäu) baut ihre digitale Infrastruktur seit 2000 mit eigenen Mitteln aus. Dazu gehört ein gut etablierter verwaltungsinterner digitaler Zwilling (Bayern Innovativ GmbH 2023) als Instrument für eine zielgerichtete und nachhaltige Stadtentwicklung und insbesondere als Hilfsmittel für die Baukontrolle (Altzschner 2022). Der interne digitale Zwilling ist in das RIWA GIS der Stadt integriert und gehostet, mit Schnittstellen zum 3D-Modul und Street View.

Im Jahr 2021 erhielt Kempten (Allgäu) im Rahmen des Smart-City-Projekts Fördermittel des Bundes, mit denen unter anderem die Implementierung der IoT-Plattform finanziert wird. Der Aufbau eines LoRaWAN-Netzes erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Allgäuer Überlandwerk (AÜW). Gleichzeitig erhielt die Stadt Fördermittel des Bayerischen Digitalministeriums (Ideenwettbewerb „Kommunal? Digital!“ und das Twin-By-Projekt mit Wissenstransfer) für die Erstellung eines öffentlich zugänglichen digitalen Zwillings (2D- und 3D-Geoportal inklusive Datenkatalog).

In diesem Zusammenhang wurde vor zwei Jahren eine neue unabhängige Organisationseinheit (Stabsstelle „Digitale Stadtentwicklung“) mit den vorhandenen Personalressourcen und unabhängig von der Abteilung Smart City geschaffen.

Zusätzlich pflegt jedes Amt seine spezifischen Daten. Die Server und Datenbanken liegen in der Verantwortung der IT-Abteilung. Darüber hinaus werden komplexe Module und Schnittstellen von externen Anbietern entwickelt.

Eine besondere Herausforderung für Kempten (Allgäu) ist die Integration und Qualität der Daten, OGC-konform, da sie einen hohen Arbeitsaufwand erfordert und es eine Fluktuation von Mitarbeitern zwischen den verschiedenen Abteilungen gibt.

Ab 2023 werden alte Projekte weiterhin mit Eigenmitteln finanziert, während neue Projekte mit den regionalen und nationalen Zuschüssen finanziert werden.

Kontaktperson Sandro Mertens, Stabsstelle Digitale Stadtentwicklung, Stadt Kempten (Allgäu)

Use Cases

Mobilität

M1* - Bauliche Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur

Integriert im internen Zwilling

Die Stadt nutzt das Streetview Modul, eine App des internen städtischen GIS, und verschneidet Fachdaten zur Kontrolle von Straßen, Bäumen und Spielplätzen und zur Identifizierung von Sanierungsbedarfen.

Stadtplanung

P1 - Identifizierung von Flächenpotenzialen in der Altstadt

Integriert im internen Zwilling

Für die Erfassung, Verwaltung und Vermarktung von Leerständen gibt es bereits eine interne Anwendung, aber eine öffentlich zugängliche Plattform ist noch in Planung (Smart City Dialog o. J.).

P2 - Vereinfachung und Veranschaulichung von Planungsprozessen für Partizipationszwecke

Integriert im internen Zwilling

Für die Stadt Kempten (Allgäu) ist der digitale Zwilling ein nützliches Werkzeug für die Stadtplanung. Er ermöglicht durch die Verschneidung von Fachdaten die Steuerung von Planungsprozessen und Prognosen. So wurde beispielsweise die Baukontrolle als eigenes Modul entwickelt. Auf diese Weise ist es möglich, einen übermittelten Bauantrag in das Modul zu importieren und zu überprüfen, ob er wie ursprünglich genehmigt auch gebaut wurde.

Darüber hinaus können aus Schnittmengen von Daten Prognosen generiert werden. Beispielsweise ermittelt die Stadt durch die Verschneidung von Bevölkerungsdaten und Daten zu öffentlichen Schulgebäuden die notwendigen Kapazitäten in der Zukunft.

* Kürzel dienen der Zuordnung zu den ermittelten Use-Case-Bedarfen der Regensburger Stadtverwaltung (s. S. 15).

Keys	Indikatoren				
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungsintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungsintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine interne Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillings umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Inselösungen	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

••• Tabelle 12: KPIs Technische Umsetzungsform Kempton (Allgäu)

Keys	Indikatoren				
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungsorgans vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau <i>(Hinweis: Unterstützung anderer Abteilungen bei der Integration von Geodaten)</i>	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsinernen Wissens- und Kompetenzaufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsinernen Wissens- und Kompetenzaufbau
Organisationsstruktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisationsstruktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisationseinheit	

❖❖❖ Tabelle 13: KPIs Organisationsstruktur Kempton (Allgäu)

Keys	Indikatoren				
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

❖❖❖ Tabelle 14: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Kempton (Allgäu)

Bei den KPI-Matrizen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und Einordnung der Stadt. Es ist ausdrücklich zu berücksichtigen, dass dies keine Wertung der Autor*innen darstellt. Eine Zuordnung der Daten in die rechten Felder der Matrizen kann nicht zwangsläufig als eine optimale Lösung angesehen werden, da jede Kommune ihre individuellen Merkmale besitzt und der Fokus stets darauf liegt, dass das System den Bedürfnissen der betroffenen Stadt gerecht wird.

Stadt Krefeld

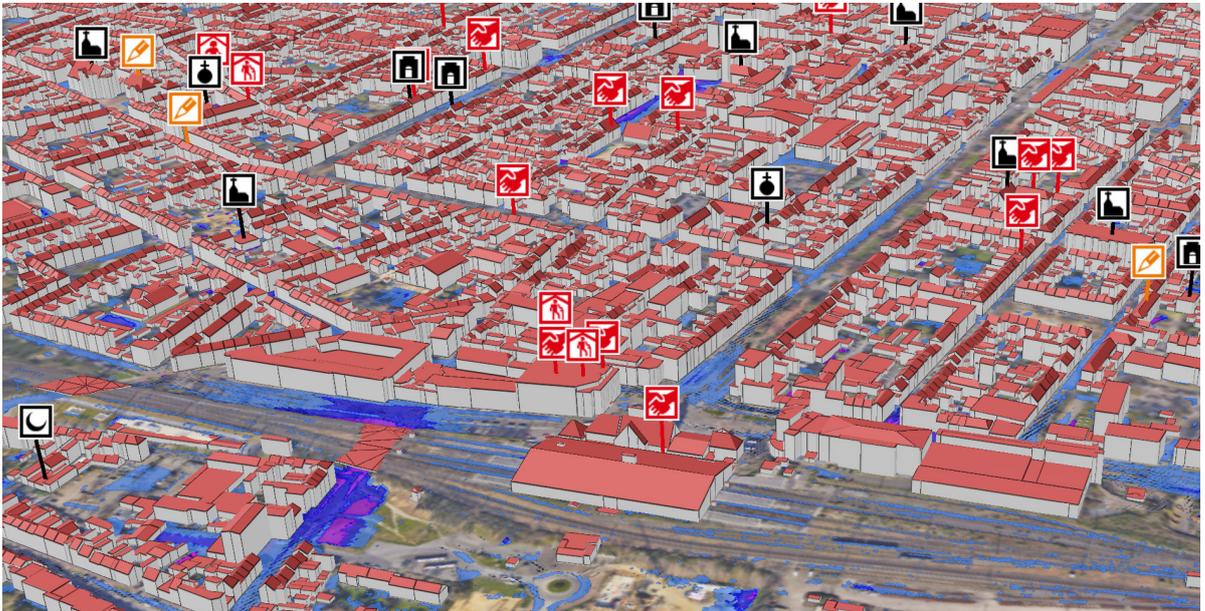


Abbildung 11: POIs und Starkregensimulation im 3D-Geoportal der Stadt Krefeld © Stadt Krefeld

Allgemeine Informationen

Stadt Krefeld

Größe 235.806 Einwohnerzahl (Stadt Krefeld 2023a)

Abstract Die Stadt Krefeld verfügt zum Zeitpunkt der **Konzepterstellung** über ein digitales 3D-Geoportal (digitales Abbild der Stadt), das neben einem 3D-Stadtmodell und einer Vielzahl von POIs Simulationen zu Starkregenereignissen enthält. Verwaltungsintern verfügt die Stadt über ein deutlich höher aufgelöstes 3D-Stadtmodell und kann beliebige Geolayer überlagern. Die Basis für das 3D-Geoportal bildet die kostenpflichtige Software der Firma Virtual City Systems. Für den Geodatenkatalog wird das Open-Source-Produkt InGrid eingesetzt, das sich in der produktionsvorbereitenden Pilotierung befindet.

Das Katasteramt bildet das operative Herz der (3D-)Geodatenverarbeitung. Die Entwicklung einer OUP wird perspektivisch von der städtischen Smart City Unit übernommen, die auf bestehenden Komponenten, wie dem Open Data Portal aufbaut (Stadt Krefeld 2023). Die technische Infrastruktur wird über lokale, städtische Server und das kommunale Rechenzentrum betrieben.

Die Stadt hat sich zwar im Jahr 2021 auf Smart City Modellprojekte beworben, allerdings den Zuschlag verpasst (Stadt Krefeld 2021). Die Krefelder Entwicklungen im Bereich Smart City werden aktuell daher ausschließlich über Eigenmittel finanziert. Gleichzeitig werden Fördermittel projektorientiert gesucht. Das Thema Smart City Unit hat eine hohe Priorität, auch in der lokalen Politik. Die Stadt arbeitet zudem stark mit lokalen Akteuren zusammen. Bisher wurden beispielsweise gemeinsam mit den Stadtwerken 30 Umweltsensoren installiert, die mittels der LoRaWAN-Technologie verbunden sind (Westdeutsche Zeitung 2023).

Kontaktperson Markus Lewitzki, Dezernat I/Wirtschaft, Digitalisierung, Internationales, Stadt Krefeld

Use Cases

Mobilität

M5* - Intelligentes Parkraummanagement

Passende, externe Anwendung

Die Anwendung hilft dabei, freie Parkplätze auf der Straße in Echtzeit zu finden und zu lokalisieren. Zu diesem Zweck wurden in Kooperation vom Wirtschaftsdezernat der Stabsstelle Innenstadtkoordination im Rahmen eines Pilotprojekts Sensoren installiert. Dies wiederum liefert Daten über den Parkbedarf und die Parkgewohnheiten (Krefeld Business o. J.).

Klima

K1 - Potenzialflächenermittlung auf Gebäudeebene für Klimaanpassung

Integriert im externen und internen Stadtwilling

Im 3D-Geoportal der Stadt Krefeld lassen sich Dachhöhen und Dachflächen von Gebäuden vermessen, was die Planung von Photovoltaikanlagen ermöglicht (WDR 2023).

K2 - Navigation zu Schutzräumen bei extremen Wetterereignissen (Extremhitze oder Starkregen)

Integriert im externen und internen Stadtwilling

Der digitale Zwilling ermöglicht die Darstellung der Simulation von außergewöhnlich starken, intensiven und extremen Regenfällen (Stadt Krefeld o. J.). Im Rahmen des Projekts „SmartKrefeld - intelligente Stadt gestalten“ wurden zudem 30 Sensoren zur Messung von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag installiert, um die Auswirkungen des Klimawandels in der Stadt zu untersuchen und darauf zu reagieren (Westdeutsche Zeitung 2023).

Kultur, Welterbe und Tourismus

T3 - Veranschaulichung der historischen Entwicklung der Altstadt

Prüfung der technischen Machbarkeit zur Einbettung in den externen Stadtwilling

Krefeld erwägt historische Stätten, die heute im Stadtbild nicht mehr sichtbar sind, im 3D-Geoportal zu visualisieren, z. B. ein römisches Kastell im heutigen Hafengebiet.

* Kürzel dienen der Zuordnung zu den ermittelten Use-Case-Bedarfen der Regensburger Stadtverwaltung (s. S. 15).

Keys	Indikatoren				
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungsintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungsintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillings umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Insellösungen <i>(Hinweis: Nur bei besonders komplexen Anwendungen)</i>	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

🔗 Tabelle 15: KPIs Technische Umsetzungsform Krefeld

Keys	Indikatoren				
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungs-organs vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau
Organisationsstruktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisationsstruktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisations-einheit	

❖❖❖ Tabelle 16: KPIs Organisationsstruktur Krefeld

Keys	Indikatoren				
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

❖❖❖ Tabelle 17: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Krefeld

Bei den KPI-Matrizen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und Einordnung der Stadt. Es ist ausdrücklich zu berücksichtigen, dass dies keine Wertung der Autor*innen darstellt. Eine Zuordnung der Daten in die rechten Felder der Matrizen kann nicht zwangsläufig als eine optimale Lösung angesehen werden, da jede Kommune ihre individuellen Merkmale besitzt und der Fokus stets darauf liegt, dass das System den Bedürfnissen der betroffenen Stadt gerecht wird.

Landkreis Hof



Abbildung 12: Hochwassersimulation im Landkreis Hof © hoferLand

Allgemeine Informationen

Landkreis Hof

Größe 94.574 Einwohnerzahl (Landkreis Hof 2022)

Abstract Der Landkreis Hof, bestehend aus 27 Einzelgemeinden, hat im Rahmen der Smart City Förderung einen prototypischen digitalen Zwilling entwickelt, der den gesamten Landkreis als 3D-Modell abbildet und mit verschiedenen Anwendungen kombiniert (siehe Use-Cases). Der Zwilling wurde von Drittanbietern entwickelt und wird momentan ausschließlich verwaltungsintern genutzt.

Die Stabsstelle Smart City des Landratsamts ist federführend verantwortlich für den Stadtzwilling. Eine Einzelperson koordiniert die Administration und Kommunikation in enger Abstimmung mit der IT-Abteilung des Amtes. Die Stabsstelle und der Zwilling wurden über Fördermittel finanziert (90% Förderung).

Der Landkreis plant zusätzlich die Umsetzung einer urbanen Datenplattform inklusive Sensorik und einem Data Lake sowie einen öffentlich zugänglichen Zwilling des gesamten Landkreises. In diesem Zusammenhang hat das Thema Datenschutz einen besonders hohen Stellenwert, da der Landkreis sich eng mit 27 Gemeinden und verschiedenen Datenschutzrichtlinien koordinieren und diese hinsichtlich der zukünftigen technischen Infrastruktur harmonisieren muss.

Kontaktperson Vanessa Wagner, Stabsstelle Smart City, Landkreis Hof

Use Cases

Klima

K1* - Potenzialflächenermittlung auf Gebäudeebene für Klimaanpassung

Externe Anwendung

Um regenerative Energien und effiziente Technologien zu fördern, stellt der Landkreis Hof der Öffentlichkeit ein Solarpotenzialkataster auf einer vom digitalen Zwilling unabhängigen Plattform zur Verfügung (Landkreis Hof o. J.). So können die Bürgerinnen und Bürger schnell feststellen, ob sich ihr Dach zur Stromerzeugung oder zur Warmwasseraufbereitung eignet.

K3 – Analyse klimarelevanter Bedarfe und Anpassungserfordernisse durch Sensorik- und Simulationstechnologien

Integriert im verwaltungsinternen Stadtzwilling

Der digitale Zwilling des Landkreises Hof wurde mit dem Anwendungsfall der Starkregen- und Hochwassersimulation mit Niederschlagsvorhersage entwickelt. In Zusammenarbeit mit einem Drittanbieter wurden hydrodynamisch-numerische Simulationen mit dem 3D-Stadtmodell kombiniert. Zusätzlich wurden historische Hochwasserereignisse mit Hilfe von Bildaufnahmen rekonstruiert. Die Simulation wird in Zukunft nicht weitergeführt, da diese einmalig durch ein Ingenieurbüro erstellt wurden.

K3 – Analyse klimarelevanter Bedarfe und Anpassungserfordernisse durch Sensorik- und Simulationstechnologien

Externe Anwendung

Im Landkreis Hof wird IoT erstmalig für die Überwachung von Pegelständen genutzt. Durch vernetzte Sensoren werden Messdaten in Echtzeit erfasst und verarbeitet. Die Überwachung von Pegelständen (Löschwasservorräte) dient dazu abzusichern, dass bei Brandfällen immer genügend Löschwasser zur Verfügung steht. Ferner werden mit der Anwendung Gewässer dritter Ordnung (Rückhaltebecken) überwacht, um Überschwemmungen oder Dürren vorzubeugen. Das Projekt startete in Geroldsreuth in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt Hof, der Firma ONENEO GmbH und der Gemeinde Geroldsgrün.

Kultur, Welterbe und Tourismus

T3 - Veranschaulichung der historischen Entwicklung der Altstadt

Externe Anwendung

In Mödlareuth im Landkreis Hof wird geplant mittels Virtual-Reality die Geschichte des Dorfs erlebbar zu machen (Landkreis Hof 2023). Die Umsetzung und Konzeptionierung erfolgt über externe Anbieter. Eine Mauer trennte das Dorf, das auch „Little Berlin“ genannt wird, im Kalten Krieg in einen amerikanischen und einen sowjetischen Sektor. Es wurde zu einem Symbol für die Teilung Deutschlands.

* Kürzel dienen der Zuordnung zu den ermittelten Use-Case-Bedarfen der Regensburger Stadtverwaltung (s. S. 15).

Keys	Indikatoren				
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungsintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungsintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillings umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Insellösungen <i>(Hinweis: Nur bei besonders komplexen Anwendungen)</i>	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

❖ Tabelle 18: KPIs Technische Umsetzungsform Landkreis Hof

Keys	Indikatoren				
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungs-organs vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau
Organisationsstruktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisationsstruktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisations-einheit	

❖❖❖ Tabelle 19: KPIs Organisationsstruktur Landkreis Hof

Keys	Indikatoren				
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

❖❖❖ Tabelle 20: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Landkreis Hof

Bei den KPI-Matrizen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und Einordnung der Stadt. Es ist ausdrücklich zu berücksichtigen, dass dies keine Wertung der Autor*innen darstellt. Eine Zuordnung der Daten in die rechten Felder der Matrizen kann nicht zwangsläufig als eine optimale Lösung angesehen werden, da jede Kommune ihre individuellen Merkmale besitzt und der Fokus stets darauf liegt, dass das System den Bedürfnissen der betroffenen Stadt gerecht wird.

Stadt Stuttgart



Abbildung 13: Objekterkennung aus Straßenpanoramadaten zur Instandhaltung der verkehrlichen Infrastruktur
© Stadt Stuttgart

Allgemeine Informationen

Stadt Stuttgart

Größe 610.391 Einwohnerzahl (Stadt Stuttgart 2023)

Abstract Im Rahmen des Förderprojekts Digitalen Zwillings Mobilität und Umwelt (DZMU) wird bis 2024 verwaltungsintern ein digitaler Stadtzwilling mit starkem Fokus auf Mobilität genutzt und kontinuierlich weiterentwickelt. Der Fokus des Zwillings liegt dabei nicht auf einer 3D-Visualisierung, sondern soll vor allem helfen Datenlücken zu schließen, fehlende Schnittstellen hinzufügen und dem amtsübergreifenden Aufbau digitaler Infrastruktur dienen. Zusätzlich befindet sich eine IOT-Plattform und ein LoRa Netzwerk in der Umsetzung. Der Zwilling wird ausschließlich auf lokalen Servern betrieben und ist eng mit der städtischen GDI verknüpft.

Der Zwilling wird leitend vom Stadtmessungsamt mit 4 weiteren Ämtern und einem Arbeitskreis Mobilität im Hintergrund umgesetzt und betrieben. Die Größte Herausforderung im Rahmen des Zwillings sind dabei nicht die fachlichen Kompetenzen, die vom Team bereits gut abgedeckt werden, sondern die Ressourcen.

Derzeit wird bis Juli 2023 ein Smart-City-Konzept entwickelt, das einen digitalen Zwilling für weitere Bereiche vorsieht. Der neue Zwilling wird aufgrund des starken Geobezugs ebenfalls tendenziell im Stadtmessungsamt angesiedelt sein. Der Fachbereich mit starkem GIS- und BIM-Bezug wird voraussichtlich um eine Geschäftsführung in den Bereichen Entwicklung und Verwaltung ergänzt.

Kontaktperson Markus Müller, Leiter Abteilung Geoinformation und Kartografie, Stadtmessungsamt Stuttgart

Use Cases

Mobilität

M1* - Bauliche Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur

Integriert im internen Mobilitätszwilling

Durch eine digitale Objekterkennung aus Strassenpanoramabildern (z.B. Strassenschilder) überwacht die Stadt Stuttgart die Instandhaltung ihrer verkehrlichen Infrastruktur im digitalen Zwilling. Der Zustand des Straßenbelags ist nicht Teil der Anwendung, wird aber potenziell im Anschluss das Förderprojekt in 2024 integriert.

M2 - Smarte MIV Steuerung zur verkehrlichen Entlastung der Innenstadt

Integriert im internen Mobilitätszwilling

Mit Hilfe von Sensorik, Echtzeitdaten und Simulationen optimiert die Stadt den MIV-Verkehrfluss und gibt Empfehlungen für langfristige Maßnahmen. Diese Anwendungen befindet sich zum Zeitpunkt der Begleituntersuchung noch in der Entwicklung. Die Anwendung wird nur verwaltungsintern im Rahmen des Stuttgarter Mobilitätszwillings genutzt.

M3 - Smarte Navigation von Besucherströmen in der Innenstadt

Passende, externe Anwendung

Im Projekt Cape Reviso untersucht das HLRS anhand eines digitalen Zwillings des Marienplatzes, wie Konflikte zwischen Fußgängern, Radfahrern und anderen Verkehrsteilnehmern reduziert werden können (HLRS 2022). Mit Hilfe von Sensoren werden u.a. Nutzertypen und Bewegungsabläufe erfasst. Ein Fahrradsimulator ermöglicht eine intuitive Interaktion von Verkehr und erfassten Situationen.

M3 - Smarte Navigation von Besucherströmen in der Innenstadt

Passende, externe Anwendung

Die integrierte Verkehrsleitzentrale strebt ein optimales Fußgängerverkehrsmanagement an. (Stadt Stuttgart o. J.). Konkret werden im Rahmen des OpenCam-Projekts die Fußgängerströme aufgezeichnet und für die Planung genutzt. Zu den Maßnahmen gehören unter anderem neue Regelungen an Bushaltestellen und Schulwegen und Verkehrstests an Fußgängerampeln mit Grünzeitverlängerung.

M5 - Intelligentes Parkraummanagement

Passende, externe Anwendung

Im Verbundprojekt „Park_up“ wertet die Stadt gemeinsam mit dem Fraunhofer IAO und weiteren Partnern mittels IoT-Sensordaten die Belegung von Parkplätzen aus, um die Effizienz des städtischen Parkraummanagements zu verbessern (Stadt Stuttgart o. J.).

* Kürzel dienen der Zuordnung zu den ermittelten Use-Case-Bedarfen der Regensburger Stadtverwaltung (s. S. 15).

Keys	Indikatoren				
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine interne Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillings umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Insellösungen	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

❖ Tabelle 21: KPIs Technische Umsetzungsform Stuttgart

Keys	Indikatoren				
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungsorgans vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenzaufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenzaufbau
Organisationsstruktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisationsstruktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisationseinheit	

❖ Tabelle 22: KPIs Organisationsstruktur Stuttgart

Keys	Indikatoren				
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

❖ Tabelle 23: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Stuttgart

Bei den KPI-Matrizen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und Einordnung der Stadt. Es ist ausdrücklich zu berücksichtigen, dass dies keine Wertung der Autor*innen darstellt. Eine Zuordnung der Daten in die rechten Felder der Matrizen kann nicht zwangsläufig als eine optimale Lösung angesehen werden, da jede Kommune ihre individuellen Merkmale besitzt und der Fokus stets darauf liegt, dass das System den Bedürfnissen der betroffenen Stadt gerecht wird.

Stadt Sulzbach-Rosenberg

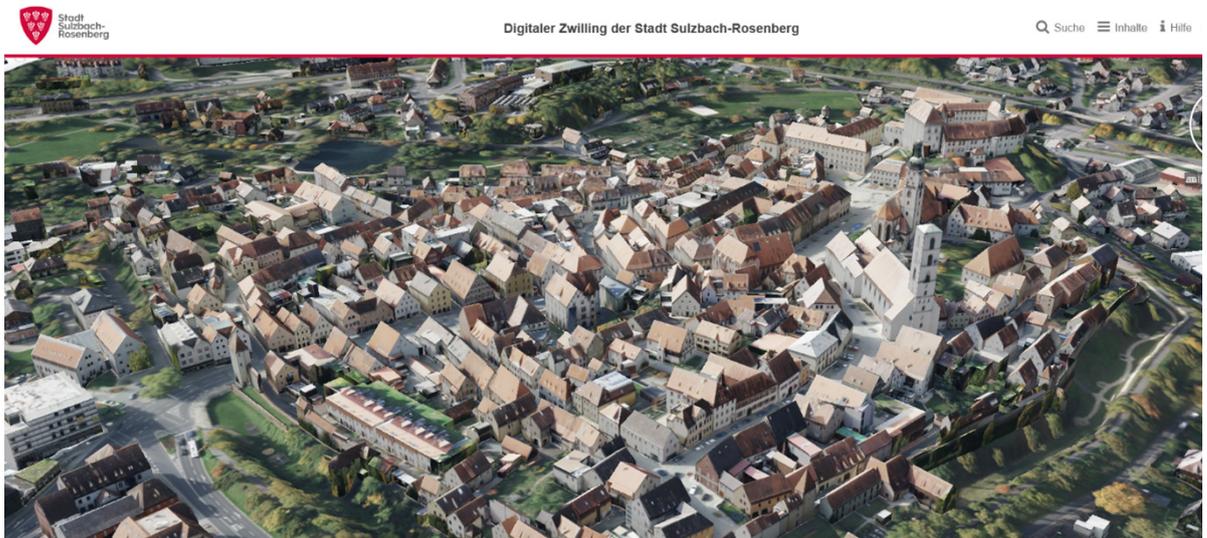


Abbildung 14: Digitaler Zwilling der Altstadt Sulzbach-Rosenberg ©Sulzbach-Rosenberg

Allgemeine Informationen

Stadt Sulzbach-Rosenberg

Größe 19.094 Einwohnerzahl (Stadt Sulzbach-Rosenberg 2022)

Abstract Im Rahmen der REACT-EU Förderung setzt die Stadt bis Sommer 2023 einen verwaltungsinternen digitalen Zwilling für die Altstadt um, der sich aus einem 3D-Stadtmodell und einer Datenplattform zusammensetzt. In die Datenplattform werden verschiedene Sensoren für künftige Projekte in den Bereichen Umweltmonitoring und Passantenfrequenzmessung integriert, die sich perspektivisch von Pilotprojekten zu einer stadtweiten Abdeckung weiterentwickeln sollen.

Das Management und die Umsetzung des Projekts liegen in der Verantwortung der Innenstadtmanagerin Frau Reindl. Wegen der referatsübergreifenden Arbeit im Vergleich zu einem klassischen Amt wurde kurzfristig eine Stabsstelle gegründet, um größere Entscheidungsfreiheit zu haben. Langfristig wird das Organ Teil des Referats für Wirtschaftsförderung und Liegenschaften und betreibt den digitalen Zwilling.

Die Umsetzung der Datenplattform und des 3D-Stadtmodells wurde an externe Anbieter vergeben und durch proprietäre Softwarelösungen und Technologien umgesetzt. Bis zum Zeitpunkt der Begleituntersuchung fand kein verwaltungsinterner, technischer Kompetenzaufbau statt. Die Stadt wurde mit insgesamt 290.000€ gefördert. Davon wurden 100.000€ in zusätzliches Personal und 190.000€ in die Erstellung der Plattform und Umsetzung der Use-Cases investiert. Im Anschluss an das Projekt wird der Zwilling aus Eigenmitteln finanziert.

Mittelfristig soll ein Teil der Daten öffentlich zugänglich gemacht werden. Bei der Abwägung ist der Datenschutz das Hauptkriterium.

Kontaktperson Sophie Reindl, Stabsstelle Innenstadtmanagement, Stadt Sulzbach-Rosenberg

Use Cases

Mobilität

M3* – Smarte Navigation von Besucherströmen in der Innenstadt

Integriert im verwaltungsinternen Stadtzwilling

Im Rahmen der REACT-EU Förderung wurden Sensoren installiert um Besucherströme zu messen und Besucherhotspots in der Innenstadt zu identifizieren (Stadt Sulzbach-Rosenberg o. J.).

Klima

K3 - Analyse klimarelevanter Bedarfe und Anpassungserfordernisse durch Sensorik- und Simulationstechnologien

Integriert im verwaltungsinternen und öffentlich zugänglichen Stadtzwilling

Sulzbach-Rosenberg erhebt innerhalb des Förderzeitraums REACT-EU Klimadaten für die Erstellung eines Klima- bzw. Wärmeschutzplans und die darauf aufbauende Umsetzung von Einzelmaßnahmen (Stadt Sulzbach-Rosenberg o. J.).

Stadtplanung

P1 - Identifizierung von Flächenpotenzialen in der Altstadt

Verwaltungsinterne Anwendung

Die Stadt nutzt intern ein Leerstandskataster, um städtische Leerstände aktiv zu managen und langfristig zu beseitigen. Dazu werden die Daten von der Stadt manuell erfasst und in das städtische GIS System eingepflegt. Beim Leerstandsmanagement handelt es sich gegenwärtig noch um einen analogen Prozess, indem städtische Mitarbeiter zwischen den Anbietern und Interessenten den Kontakt herstellen und vermitteln.

* Kürzel dienen der Zuordnung zu den ermittelten Use-Case-Bedarfen der Regensburger Stadtverwaltung (s. S. 15).

Keys	Indikatoren				
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillings und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungsintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungsintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillings umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Insellösungen <i>(Hinweis: Nur bei besonders komplexen Anwendungen)</i>	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

❖ Tabelle 24: KPIs Technische Umsetzungsform Sulzbach-Rosenberg

Keys	Indikatoren				
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungs-organs vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung <i>Hinweis: Aussage bzgl. Projektmanagement, nicht (!) technisch</i>	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsin-ternen Wissens- und Kompetenz-aufbau
Organisationsstruktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisationsstruktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisationseinheit	

❖ Tabelle 25: KPIs Organisationsstruktur Sulzbach-Rosenberg

Keys	Indikatoren				
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

❖ Tabelle 26: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Sulzbach-Rosenberg

Bei den KPI-Matrizen handelt es sich um eine Selbsteinschätzung und Einordnung der Stadt. Es ist ausdrücklich zu berücksichtigen, dass dies keine Wertung der Autor*innen darstellt. Eine Zuordnung der Daten in die rechten Felder der Matrizen kann nicht zwangsläufig als eine optimale Lösung angesehen werden, da jede Kommune ihre individuellen Merkmale besitzt und der Fokus stets darauf liegt, dass das System den Bedürfnissen der betroffenen Stadt gerecht wird.

Keys	Indikatoren				
Technische Umsetzungsform					
Umsetzungsgrad des digitalen Zwillinges und seiner Anwendungen	Konzept vorhanden, Umsetzung hat noch nicht begonnen	Konzept vorhanden, Finanzierung beantragt, Umsetzung beginnt zeitnah	Konzept und Finanzierung vorhanden, einige Komponenten bereits umgesetzt	Zwilling und einzelne Komponenten sind umgesetzt	
Umsetzungsform des digitalen Zwillinges und seiner Anwendungen	Der Zwilling wird nur verwaltungsintern genutzt	Der Zwilling wird verwaltungsintern genutzt und eine öffentliche Version ist geplant	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling	Es existiert ein öffentlich zugänglicher Zwilling, ein interner Zwilling oder eine Anwendung ist geplant	Es wurden bereits eine verwaltungsinterne und eine öffentliche Version des Zwillinges umgesetzt
Langfristig geplante Organisationsform der technischen Infrastruktur	Vereinzelte Anwendungen als Insellösungen	Geoportal mit 3D-Stadtmodell	Datenkatalog mit IAM-Komponente	Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)	Vollständig integrierte Datenplattform / -raum, die alle vorherigen Komponenten abdeckt
Vollständigkeit und Ursprung der Datengrundlage	Lückenhaft, und/oder von Dritten eingekauft	Lückenhaft, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist geplant	Befriedigend, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen ist teilweise umgesetzt	Vollständig, Erhebung neuer und / oder kontinuierliches Update existierender Datenquellen wird praktiziert	
Amtsübergreifende Organisationsform der Daten	Getrennte Daten-Silos	Vereinzelte Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)	Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle)		
Hosting	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern	Ausschließlich auf lokalen, klassischen Servern, Cloud-Nutzung befindet sich in der Planung	Systeme werden vollständig in der Cloud gehostet	Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Komponenten in der Cloud)	
Für die Stadt aktuell besonders relevante Bereiche der Data-Governance	Datenschutz und Datensicherheit	Datenqualität und -integrität	Datenzugriff- und -freigabe	Standardisierung von Datenformaten	Transparenz und Rechenschaftspflicht

Table 27: Auswertung Interviews

6. Auswertung

Das folgende Kapitel wertet die Resultate der Steckbriefe nach den Kategorien „Technische Umsetzungsform“, „Organisationsstrukturen“ und „Finanzielle Rahmenbedingungen“ aus, um Trends zu identifizieren und verschiedene Wege zur Umsetzung digitaler Zwillinge aufzuzeigen. Als Basis dienen die Matrizen aus den KPI Übersichten der Steckbriefe. In der Auswertung wird die folgende Farbkodierung angewendet. Unter dem Begriff „Übereinstimmung“ wird die Anzahl der Städte verstanden, die einen spezifischen Indikator in einem Schlüsselwert (Key) ausgewählt haben. Für die Auswertung wurden die sieben im vorangegangenen Kapitel präsentierten Fallbeispiele sowie das Fallbeispiel der Kommune, die einer Veröffentlichung der Informationen nicht zugestimmt hat, herangezogen.

6.1 Technische Umsetzungsform

Im Rahmen des Interviews gaben alle befragten Städte an, dass bereits einzelne Komponenten oder ein Zwilling implementiert wurden (siehe Tabelle 29). Dabei ist zu beachten, dass die Teilnehmenden eine unterschiedliche Auffassung von der Definition eines digitalen Stadtzwillinges haben. Die Befragten grenzen in der Regel die Begriffe „3D-Stadtmodelle“ und „Digitales Abbild“ deutlich von einem digitalen Zwilling ab. Ein digitaler Zwilling geht über die bloße Darstellung von Informationen hinaus und ermöglicht auch Simulationen und Analysen.

Alle Städte verfügen über mindestens einen verwaltungsinternen Stadtzwilling und verschiedene Anwendungen. Öffentlich zugängliche Zwillinge wurden, bzw. werden, tendenziell als Add-On zu den internen Anwen-

dungen entwickelt (siehe Tabelle 29) und unterscheiden sich stark bezüglich der Datengrundlage und der Funktionalitäten.

Technische Infrastruktur

Sieben von acht Städten planen mittel- bis langfristig die Entwicklung einer vollständig integrierten, urbanen Datenplattform (siehe Tabelle 29) inklusive Datenkatalog, 3D-Umgebung, Sensorik und einer IAM-Komponente (Identity and Access Management: Identitäts- und Zugriffsmanagement). Eine Stadt setzt zumindest kurzfristig auf ein Geoportal mit 3D-Stadtmodell und eine IoT-Plattform. Braunschweig betont, dass Anwendungen bei besonders hoher, technischer Komplexität weiterhin vereinzelt als Insellösungen umgesetzt werden müssen.

Datengrundlagen

In der Literatur zum Thema Stadtzwillinge wird die Bedeutung der Verfügbarkeit und des Zugangs zu qualitativ hochwertigen Datengrundlagen für die Entwicklung und den Betrieb von Stadtzwillingen hervorgehoben (Guckenbiehl u. a. 2021). Gleichzeitig schätzt die große Mehrzahl an befragten Städten ihre Datengrundlagen

	Keine Übereinstimmung
	Bis zu 2 Übereinstimmungen
	3 bis 4 Übereinstimmungen
	5 bis 6 Übereinstimmungen
	7 oder mehr Übereinstimmungen

als lückenhaft bis befriedigend ein (siehe Tabelle 29). Neue Datenerhebungen und kontinuierliche Updates werden bisher nur teilweise umgesetzt oder befinden sich noch komplett in der Planung. Lediglich eine Kommune schätzt ihr Datengrundlage als „vollständig“ ein und erhebt in regelmäßigen Abständen neue Datensätze. Ein wichtiger Schritt für die Umsetzung eines Stadtzwillings und einer urbanen Datenplattform ist eine amts- und domänenübergreifende Dateninventur, denn die meisten Kommunen verfügen über einen großen Datenschatz und wissen nicht, dass er existiert (Deutscher Städtetag 2021).

Organisation der Daten

Die Organisation der Daten hängt eng mit deren Verfügbarkeit für den Stadtzwilling zusammen, da getrennte Daten-Silos eine Datenhaltung in verschiedenen System und Formaten verursachen. Folglich haben die für den Zwilling verantwortlichen Ämter kein Wissen welche Datensätze vorliegen und in welchem Format sie sich befinden. Die Standardisierung von Datenformaten wird daher als eine der größten Herausforderungen im Bereich Data-Governance genannt (siehe Tabelle 29). Die Mehrzahl der Städte hat die Verknüpfung von Datensätzen noch nicht komplett umgesetzt (siehe Tabelle 29), aber als mittelfristiges Ziel benannt und beginnt mit der Umsetzung meist innerhalb des verantwortlichen Amtes.

Hosting der Systeme

Alle Städte nutzen lokale Server, um ihre gesamte oder Teile der technischen Infrastruktur zu hosten. Gleichzeitig haben die befragten Städte die Vorteile von Cloud-Lösungen (Skalierbarkeit, Verfügbarkeit etc.) erkannt. Ein Großteil der Teilnehmer setzt daher schon auf Anwendungen in der Cloud und die restlichen Städte planen den Einsatz von Cloud-Lösungen in der Zukunft (siehe Tabelle 29). Die Entscheidung, welche technischen Komponenten und Daten auf lokalen Servern und welche in der Cloud betrieben werden, variiert stark zwischen den Städten und hängt vom Einzelfall ab. Grundlegend für die Entscheidung sind vor allem die Aspekte Datensicherheit und Datenschutz, da sensible Daten und kritische Infrastrukturen grundsätzlich auf lokalen Servern liegen sollen.

Daten-Governance

Grundsätzlich sind alle Bereiche der Daten-Governance bei der Umsetzung von digitalen Zwillingen und urbanen Datenplattformen wichtig. Allerdings stellen einige Themen die befragten Städte tendenziell vor be-

sondere Herausforderungen (siehe Tabelle 29). Datenschutz und Datensicherheit werden von sieben Städten als besondere Herausforderungen genannt, da diese Abwägung direkt mit dem Betrieb der technischen Infrastruktur zusammenhängt (siehe Auswertung Hosting) und mit der Frage welche Daten und Anwendungen der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden können. Außerdem hat die Abwägung direkte Auswirkungen auf die Auswahl der Technologien und die Datenhoheit (proprietäre Softwareanbieter oder Open Source Technologien in der städtischen IT Umgebung etc.). Als besonders herausfordernd für die Umsetzung eines digitalen Zwillinges und einer gemeinsamen Dateninfrastruktur hat der Landkreis Hof den Datenschutz eingeordnet, da das Thema mit 27 Gemeinden kommuniziert und koordiniert werden muss (siehe Steckbrief Landkreis Hof).

Im Bereich der Datenqualität und Integrität wurde vor allem die Erfassung, Integration und kontinuierliche Pflege qualitativ hochwertiger Daten aus verschiedenen Quellen als besondere Herausforderung genannt. Es muss demnach sichergestellt werden, dass Daten regelmäßig aktualisiert und Mechanismen zur Qualitätssicherung implementiert werden, um verlässliche Daten für Simulationen, Analysen, interne Entscheidungen und Informationen für Bürger*innen bereitstellen zu können. Die domänen- und ämterübergreifende Standardisierung von Datenformaten wird als weitere besonders große Herausforderung genannt, da für dieses Unterfangen mit den städtischen Ämtern oder anderen Organen intensiv zusammengearbeitet werden muss. Einige der befragten Städte beschreiben die verwaltungsinterne Kommunikation aufgrund langer Kommunikationswege als verhältnismäßig zeitaufwendig.

6.2 Personelle Organisationsstruktur

Zusätzliche verwaltungsinterne, fachliche Kompetenzen

Jede zweite Stadt hat die bisherigen technischen Komponenten und Anwendungen mit Hilfe bereits vorhandener Kompetenzen umgesetzt. In diesen Städten sind für die Umsetzung Ämter mit einem starken Fokus auf Geoinformationen verantwortlich, wie die Abteilung Geoinformation und Kartografie in Stuttgart oder die Abteilung Geoinformationen in Braunschweig. Die verantwortlichen Bereiche einiger Städte haben sich intern weiterentwickelt. Beispielsweise hat Braunschweig innerhalb der Abteilung gemeinschaftlich gelernt, wie die Editierung und Pflege eines 3D-Stadtmodells oder die Weiterentwicklung von IoT, Dashboards, Automatisierung und Programmierung. EdExterne Dienstleister

wurden besonders dort eingebunden, wo die Verantwortung bei städtischen Organen mit einem geringeren Fokus auf Geoinformationen liegt. Beispielsweise sind in Sulzbach-Rosenberg die Stabsstelle Innenstadtmanagement und in Krefeld das Dezernat I/Wirtschaft, Digitalisierung, Internationales für die Entwicklung und Umsetzung eines digitalen Zwillings verantwortlich.

Organisation und Zuständigkeiten

Die Organisationsformen sind sehr heterogen und es ist ersichtlich, dass die Umsetzung digitaler Zwillinge organisatorisch auf verschiedenen Wegen erfolgreich möglich ist. Verantwortliche Ämter mit starkem Bezug zu Geoinformation setzten die Zwillinge meist innerhalb ihrer bestehenden Organisationseinheit um, oder erweitern diese personell bei Bedarf. Die personelle Aufstockung und Entfristung existierender Stellen benennt die Stadt Stuttgart als besonders große Herausforderung. Gründe für die Schaffung einer neuen, eigenen Organisationseinheit sind eher strategischer als technischer Natur. In Sulzbach-Rosenberg waren die Hauptgründe für die kurzfristige Schaffung einer Stabsstelle und die damit einhergehende, größere Entscheidungsfreiheit und der höhere Fokus auf referatsübergreifende Arbeit im Vergleich zu einem klassischen Amt oder Abteilung. In der Stadt Krefeld wurde eine Smart City Unit gegründet, die einen hohen Stellenwert in der lokalen Politik aufweist und auch in Zukunft die Finanzierung aus Eigenmitteln sicherstellen soll.

6.3 Finanzielle Rahmenbedingungen

Die Befragung der teilnehmenden Städte zeigt, dass digitale Zwillinge und deren Infrastruktur auf verschiedene Arten erfolgreich finanziert werden können. Dies zeigt die ausgeglichene Verteilung der Finanzierungsarten in der unteren Tabelle. Sulzbach-Rosenberg finanziert die Umsetzung zu 90% aus der REACT-EU Förderung und Stuttgart entwickelt den Mobilitätszwilling im Rahmen des Förderprojekts „Digitaler Zwilling für Mobilität und Umwelt“. Die Städte Krefeld, Herrenberg und Braunschweig entwickeln ihre Systeme ausschließlich aus Eigenmitteln und haben bereits mit verhältnismäßig wenig Ressourcen sehr gute Resultate erzielen können. Die eine Finanzierungsart schließt die andere nicht aus. Einige Städte kombinieren (bzw. planen) bereits eine eigene Finanzierung mit der gleichzeitigen Nutzung von Fördermitteln. Die Stadt Sulzbach-Rosenberg hebt in diesem Zusammenhang hervor, dass Städte sich bereits bei der Antragsstellung zu Fördermitteln Gedanken über den nachhaltigen Betrieb der Projekte machen und klären müssen, wie sie diese über den Förderzeitraum hinaus finanzieren können.

Organisationsstruktur					
Fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings	Bereits innerhalb des Verwaltungsorgans vorhanden	Umgesetzt durch personellen Kompetenzaufbau	Umgesetzt durch Personelle Aufstockung	Umsetzung durch externe Dienstleister ohne verwaltungsinternen Wissens- und Kompetenzaufbau	Umsetzung durch externe Dienstleister mit verwaltungsinternen Wissens- und Kompetenzaufbau
Organisationsstruktur	Von einer existierenden Organisationseinheit mit dem vorhandenen Personal übernommen	Personelle Erweiterung bestehender Organisationsstruktur	Neuer Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung	Schaffung einer neuen, eigenständigen Organisationseinheit	
Finanzielle Rahmenbedingungen					
Entwicklung und / oder Betrieb des Zwillings	Kurzfristig aus Eigenmitteln	Langfristig aus Eigenmitteln	Im Rahmen einer Förderung	Durch Industrie oder Wirtschaft	Noch nicht final geklärt, aber eingeleitet

Die Stadt Regensburg hat mit der Verabschiedung der „Smart City Strategie“ eine Grundlage für die Digitalisierung der Stadtentwicklung geschaffen. Die vorliegende Studie und das parallel dazu entwickelte Konzeptpapier „Digitaler Innenstadtzwilling“ sollen dazu beitragen den Weg in Richtung eines zukünftigen, digitalen Zwillings für Regensburg zu ebnen.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie analysiert umgesetzte oder in der Umsetzung fortgeschrittene Fallbeispiele digitaler Stadtzwillinge und Anwendungsfälle („Use Cases“) aus Kommunen in Deutschland anhand von ausgewählten Kriterien (KPI: Key Performance Indicators), die für die geplante Entwicklung und Umsetzung eines digitalen Zwillings und verschiedener Use Cases in Regensburg relevant sind. Die Informationen sollen der Stadt Regensburg helfen die Planung ihres digitalen Zwillings, hinsichtlich personeller, finanzieller und technischer Aspekte, präzisieren zu können.

Forschungsstand

Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Repräsentation eines realen Objekts, Systems oder Prozesses, die durch kontinuierliche Aktualisierung mit Geodaten, Sensoren und anderen Technologien ein genaues Bild des realen Objekts liefert. Zwillinge sind zentrale Werkzeuge zur digitalen Entwicklung von Systemen und können in verschiedenen Bereichen und Ämtern, wie der Stadtplanung eingesetzt werden, um Prozesse effizienter zu steuern, Simulationen für faktenbasierte Entscheidungsfindungen durchzuführen und Bürger*innen einzubeziehen. Neben einer Reihe zunehmender technischer Trends in den letzten Jahren im Bereich digitaler Zwillinge, wie die Integration künstlicher Intelligenz, hat sich vor allem die interkommunale Zusammenarbeit verstärkt als wichtiger Baustein zur erfolgreichen und effizienten Umsetzung digitaler Zwillinge erwiesen. Konzeptionell hat Regensburg neben diesem Projekt bereits eine Reihe grundlegender Maßnahmen getroffen, beispielsweise im Rahmen des Smart-City-Projekts R_NEXT oder durch die Beteiligung verschiedener Akteure, die eine gute Ausgangslage für die zukünftige Umsetzung eines digitalen Zwillings und einer urbanen Datenplattform darstellen.

Entwicklungsstand

Im Rahmen der Studie wurden 87 Kommunen in Deutschland und 2 Kommunen im deutschsprachigen Raum identifiziert, die sich gegenwärtig mit dem über-

geordneten Thema „Smart City“ beschäftigen. 36 dieser Kommunen planen einen digitalen Zwilling. 25 der Kommunen, die einen digitalen Zwilling planen, befinden sich in einer fortgeschrittenen Umsetzungsphase und haben bereits einen umgesetzt oder setzen gegenwärtig einen um. Von den 25 fortgeschrittenen Beispielen haben 16 Kommunen Anwendungsfälle, die sich mit den in Regensburg ermittelten Bedarfen decken, und befinden sich in Deutschland.

Fallbeispiele

Von den 16 Kommunen konnten im Rahmen der relativ kurzen Bearbeitungszeit der Studie mit acht Kommunen Interviews durchgeführt werden und detailliertere Informationen zu den von der Stadt Regensburg vorgegebenen KPI (KPI: Key Performance Indicators „technische Umsetzungsform“, „personelle Organisationsstrukturen“ und „finanzielle Rahmenbedingungen“ gewonnen werden (vgl. KPI-Tabellen Kapitel 5 und 6). Die Kommunen Kempten (Allgäu), Stuttgart, Braunschweig, Krefeld, Sulzbach-Rosenberg, Herrenberg und Landkreis Hof erklärten sich mit der Veröffentlichung der Ergebnisse im Rahmen dieser Studie einverstanden.

Kempten (Allgäu) hat seit dem Jahr 2000 mit eigenen Mitteln eine gut etablierte digitale Infrastruktur aufgebaut, einschließlich eines verwaltungsinternen digitalen Zwillings. Die Stadt hat auch Fördermittel erhalten, um eine öffentlich zugängliche IoT-Plattform und einen öf-

fentlich zugänglichen digitalen Zwilling zu erstellen. Ferner hat sie eine unabhängige Organisationseinheit für die Weiterentwicklung des Stadtzwillings, unabhängig vom Bereich Smart City, geschaffen.

In Stuttgart wurde im Rahmen des Förderprojekts „Digitaler Zwilling für Mobilität und Umwelt“ ein verwaltungsinterner digitaler Stadtzwilling im Bereich Mobilität und Verkehr entwickelt und kontinuierlich verbessert. Gleichzeitig wird eine IoT-Plattform und ein LoRa Netzwerk implementiert. Ein Smart-City-Konzept ist in Arbeit, um einen universellen digitalen Zwilling zu schaffen, der voraussichtlich im Stadtmessungsamt angesiedelt sein wird und einen starken Geobezug aufweist.

Braunschweig verfügt über einen verwaltungsinternen und einen öffentlich zugänglichen Stadtzwilling. Beide Zwillinge sind bereits weitestgehend umgesetzt und werden kontinuierlich selbstfinanziert weiterentwickelt. Die beiden Zwillinge unterscheiden sich in ihrem Funktionsumfang und bei der Datensensibilität, wobei der interne Zwilling umfangreichere Daten enthält und für Simulationen und Analysen genutzt wird. Ab dem Sommer 2023 wird die städtische Infrastruktur um Sensorik erweitert.

Die Stadt Krefeld verfügt über ein digitales 3D-Geoportale mit einem 3D-Stadtmodell und Starkregen-Simulationen. Die Stadt arbeitet mit lokalen Partnern zusammen, um IoT-Projekte umzusetzen, darunter die Installation von 30 Umweltsensoren. Die Smart City-Entwicklungen in Krefeld wurden ausschließlich durch Eigenmittel finanziert, und die Smart City Unit spielt eine bedeutende Rolle in der lokalen Politik.

Im Rahmen der REACT-EU Förderung entwickelt die Stadt Sulzbach-Rosenberg einen verwaltungsinternen digitalen Zwilling für die Altstadt, bestehend aus einem 3D-Stadtmodell und einer urbanen Datenplattform mit Sensorik im Rahmen zweier Pilotprojekte. Die Umsetzung erfolgt durch externe Anbieter ohne verwaltungsinternen Kompetenzaufbau, während die Verantwortung für das Projekt bei der Innenstadtmanagerin liegt.

Die Stadt Herrenberg setzt seit 2022 einen verwaltungsinternen digitalen Zwilling um und plant die Einführung eines öffentlichen Stadtzwillings (Bürger-GIS), um Kartenansichten und Informationen über die Stadt bereitzustellen. Sie kooperiert zudem mit verschiedenen

wissenschaftlichen Institutionen, um innovative Technologien zu erproben. Vorerst ist lediglich ein Mitarbeiter des Amtes für Tiefbau und Entwässerung für die Zwillinge zuständig.

Der Landkreis Hof hat im Rahmen der Smart City Förderung einen prototypischen Stadtzwilling entwickelt, der ein 3D-Stadtmodell mit verschiedenen Anwendungen kombiniert. Zukünftige Pläne beinhalten eine urbane Datenplattform und einen öffentlich zugänglichen Stadtzwilling, wobei die Koordination um den Datenschutz eine wichtige Rolle spielt, da der Landkreis mit 27 Gemeinden zusammenarbeitet und verschiedene kommunale Datenschutzrichtlinien berücksichtigen muss.

Auswertung

Die Auswertung zeigt, dass die befragten Städte unterschiedliche Auffassungen von der Definition eines digitalen Zwillings haben und diesen von anderen Begriffen wie „3D-Stadtmodelle“ und „Digitale Abbildes“ abgrenzen. Alle Städte verfügen über mindestens einen verwaltungsinternen Stadtzwilling, während öffentlich zugängliche Zwillinge tendenziell als Add-On zu den internen Anwendungen entwickelt werden. Die Studie betont auch die Bedeutung von qualitativ hochwertigen Datengrundlagen für die Entwicklung von digitalen Zwillingen und urbanen Datenplattformen. Die meisten Städte schätzen ihre Datengrundlagen jedoch als lückenhaft bis befriedigend ein. Weitere Herausforderungen liegen in der Organisation der Daten, der technischen Infrastruktur und der Daten-Governance. Die Daten sind häufig noch nicht ämterübergreifend organisiert, und die Standardisierung von Datenformaten wird als große Herausforderung betrachtet. In Bezug auf die technische Infrastruktur setzen die Städte sowohl auf lokale Server als auch auf Cloud-Lösungen. Die Daten-Governance stellt insbesondere im Bereich Datenschutz und Datensicherheit eine Herausforderung dar. Die Studie zeigt auch, dass die Umsetzung von digitalen Zwillingen und urbanen Datenplattformen mit verschiedenen organisatorischen Ansätzen funktioniert, wobei sowohl bestehende Kompetenzen innerhalb der Verwaltung als auch externe Dienstleister einbezogen werden können. Bei den meisten Kommunen waren fachliche Kompetenzen für die Entwicklung und den Betrieb des digitalen Zwillings bereits innerhalb der Verwaltung vorhanden. Einige Kommunen haben fachliche Kompetenzen oder Personal zusätzlich aufgebaut oder externe Dienstleister*innen miteinbezogen. Der Aufbau und der Betrieb des Zwillings wird in den meisten Fällen

von einer existierenden Organisationseinheit (meist in den Ämtern / Abteilungen für Geoinformation) mit dem vorhandenen Personal übernommen. Einige Kommunen haben bestehende Organisationseinheiten erweitert, einen neuen Arbeitsbereich innerhalb einer bestehenden Abteilung geschaffen oder sogar eine neue, eigenständige Organisationseinheit aufgebaut.

Schließlich zeigt die Studie, dass für die Entwicklung und den Betrieb von digitalen Zwillingen verschiedene Arten der Finanzierung genutzt wurden. Die meisten Kommunen finanzieren ihren Zwilling kurz- oder langfristig aus Eigenmitteln oder im Rahmen einer Förderung. Eine Kooperation mit der Wirtschaft konnte nicht ermittelt werden.

Ausblick

Das Thema der digitalen Stadtwillinge in Deutschland ist relativ neu und bildet sich gegenwärtig als dynamische Landschaft ab, die sich in der Entwicklung befindet. Folglich ist der Umsetzungsstand von digitalen Zwillingen in Deutschland von Kommune zu Kommune unterschiedlich und befindet sich entsprechend auf einer Skala zwischen Absichtserklärung und bereits umgesetzten digitalen Zwilling. Innerhalb eines solchen neuen und dynamischen Feldes ist der Wissenstransfer zur Umsetzung von digitalen Zwillingen zwischen den Kommunen von hoher Wichtigkeit, denn Kommunen können dadurch von einander lernen. Bisher gab es kaum systematische Untersuchungen zum Stand der bundesweiten Umsetzung von digitalen Zwillingen, was sicherlich dem prozesshaften Charakter dieses Feldes geschuldet ist.

Die vorliegende Studie ist ein erster, überblickartiger „Schnappschuss“ in diese Richtung, der aufgrund seiner zeitlichen Rahmenbedingungen nur lückenhaft und begrenzt sein kann (s. 3.2. unter „Methodische Grenzen der Recherche“). Dies macht weitere Forschung und Wissenstransfer zu diesem Thema notwendig. Entsprechend ist es zu begrüßen, dass sich diesbezüglich offensichtlich eine weitere Studie der Koordinierungs- und Transferstelle Smart City (KTS) und des BBSR in Arbeit befinden. Die Studie zeigt, dass der Weg zum digitalen Stadtwilling für jede Kommune unterschiedlich ist. Jede Kommune ist hinsichtlich ihrer Lage, Größe, Verwaltungsstruktur oder Bedarfe einzigartig. Entsprechend haben die untersuchten Kommunen jeweils einen an die lokalen Strukturen und Bedürfnisse angepassten, individuellen Zugang zum Thema digitaler Stadtwilling entwickelt.

Es kann daraus der Schluss gezogen werden, dass es nicht die eine technische, personelle oder finanzielle Lösung für die Entwicklung eines digitalen Zwillinges gibt. Vielmehr gilt es für Kommunen aus den spezifischen Rahmenbedingungen und Potenzialen eine spezifische Strategie zu entwickeln.

Schließlich zeigt die Studie, dass die Entwicklung eines digitalen Zwillinges ein breitangelegter und langfristiger Prozess ist. Will er gelingen, zieht er die Anpassung und Reorganisation von Verwaltungsstrukturen in Richtung Digitalisierung mit sich. Um zu gelingen, muss diese unvermeidliche Transformation von einer breiten Masse getragen werden. Dafür ist eine umfassende Digitalisierung auf Basis einer intensiven Kommunikation innerhalb der Verwaltungen essenziell. Die Stadt Regensburg hat mit der Verabschiedung der „Smart City Strategie“ eine Grundlage für die Digitalisierung der Stadtentwicklung geschaffen (Stadt Regensburg 2023h). Die vorliegende Studie und das parallel dazu entwickelte Konzeptpapier „Digitaler Innenstadtwilling“ sollen dazu beitragen den Weg in Richtung eines zukünftigen, digitalen Zwillinges für Regensburg zu ebnen.

Literaturverzeichnis

- Altzschner, Janine. 2022. „Drei Antworten von ... Thomas Volkwein: ‚Der Digitale Zwilling muss der Stadtentwicklung dienen!‘“ atene KOM (blog). <https://atenekom.eu/drei-antworten-von-thomas-volkwein-der-digitale-zwilling-muss-der-stadtentwicklung-dienen/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Baumann, Janette. 2021. „Digitale Zwillinge aus der Cloud: So macht 5G Edge Computing Echtzeit-Services möglich“. <https://www.vodafone.de/featured/innovation-technologie/digitale-zwillinge-aus-der-cloud-so-macht-5g-edge-computing-echtzeit-services-moeglich/#/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Bayerisches Staatsministerium für Digitales. 2023. „TwinBy – Digitale Zwillinge für Bayern“. <https://twinby.bayern.de/startseite>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Bayern Innovativ GmbH, Reg. 2023. TwinBy - Digitale Zwillinge für Bayern: Projektvorstellung Kempten (Allgäu). <https://www.youtube.com/watch?v=dmxtlfdMgs0>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Bigdata Insider. 2018. „Was ist OPC UA?“ [https://www.bigdata-insider.de/was-ist-opc-ua-a-698144/#:~:text=OPC%20UA%20\(Open%20Plattform%20Communications,die%20Semantik%20von%20Daten%20beschrieben](https://www.bigdata-insider.de/was-ist-opc-ua-a-698144/#:~:text=OPC%20UA%20(Open%20Plattform%20Communications,die%20Semantik%20von%20Daten%20beschrieben). (Zugriff am 22.05.2023)
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. 2023. „Modellprojekte Smart Cities“. <https://www.smart-city-dialog.de/modellprojekte>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Business Geomatics. 2022. „Digitaler Zwilling für Starkregenereignisse im Landkreis Hof“. <https://www.business-geomatics.com/2022/04/28/digitaler-zwilling-fuer-starkregenereignisse-im-landkreis-hof/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Chadzynski, Arkadiusz, Krdzavac, Nenad, Feroz Farazi, Mei Qui Lim, Shiyong Li, Ayda Grisiute, Pieter Herthogs, Stephen Cairns, Markus Kraft, und Aurel von Richthofen. 2021. „Semantic 3D City Database — An Enabler for a Dynamic Geospatial Knowledge Graph“. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100106>.
- Connected Urban Twins. 2023. „In der Praxis“. <https://www.connectedurbantwins.de/in-der-praxis/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Deutsches Institut für Normung. 2022. „Der ‚Digitale Zwilling für Städte und Kommunen‘ kommt!“ 2022. <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/smart-cities/aktuelles/der-digitale-zwilling-fuer-staedte-und-kommunen-kommt--859000>. (Zugriff am 22.05.2023)
- die:gemeinde. 2022. „Die Stadt Herrenberg und ihr digitaler Zwilling“. <https://diegemeinde.de/die-stadt-herrenberg-und-ihr-digitaler-zwilling>. (Zugriff am 22.05.2023)
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2017. „DIN SPEC 91357:2017-12: Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP); Text Englisch“. (Zugriff am 22.05.2023)

- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2023. https://www.ospi.es/export/sites/ospi/documents/documentos/DIN_91357.pdf. (Zugriff am 22.05.2023)
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2022. „Geschäftsplan für ein DIN SPEC-Projekt nach dem PAS-Verfahren zum Thema ‚Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen‘“. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. <https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:347212214>. (Zugriff am 22.05.2023)
- DIPAS. 2023. „Digitale Bürgerbeteiligung weiter denken“. <https://www.dipas.org/>. (Zugriff am: 22.05.2023)
- Esri. 2023. „Mit Esri Technologie zum Digital Twin“. <https://www.esri.de/de-de/digital-twin/uebersicht>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Eurocities. 2022. „The 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030“. <https://eurocities.eu/latest/the-100-climate-neutral-and-smart-cities-by-2030/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Fraunhofer IAO, Hendrik Frieling, Rebecca Nell, Eva Ottendörfer, Louisa Helmrich, und Eva Schmitz. „Interkommunale Zusammenarbeit - Die Zukunft kommunaler Innovationen?“ Stuttgart. <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/e76abe97-a337-4b82-b464-809a22a0daf3/content>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Geospatial SG. 2023. „Virtual Singapore“. <https://www.sla.gov.sg/geospatial/gw/virtual-singapore>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Glasfaser, Deutsche. 2023. „Herrenberg nutzt den digitalen Zwilling“. Digitales Bürgernetz (blog). <https://www.deutsche-glasfaser.de/blog/digitaler-zwilling-in-herrenberg-ein-un glaublicher-schatz-an-daten/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Grieves, Michael. 2016. „Origins of the Digital Twin Concept“. https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept. (Zugriff am 22.05.2023)
- Guckenbiehl, Pascal, Steffen Hess, Moritz Mumme, GERALT Swarat, Sophie Vogt-Hohenlinde, Simon Burton, und Karsten Roscher. 2021. Der Digitale Zwilling für smarte Städte – zwischen Erwartungen und Herausforderungen: Was wir in der Zukunft erwarten können und wo wir heute stehen. München: Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
- Günthner, Stephan, Eva Schweitzer, Peter Jakobowski, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, und Deutschland, Hrsg. 2017. Smart City Charta: digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten.
- Smart City Charter: making digital transformation at the local level sustainable. 2017. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2017/smart-city-charta-de-eng.html>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Hess, Steffen, Matthias Koch, und Charlotte Räuchle. 2023. Urbane Datenplattformen von der Idee bis zur Umsetzung: Entscheidungshilfen für Kommunen. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).
- HLRS. 2022. „Digitale Zwillinge für die Planung in Städten und Gemeinden“. <https://www.hlrs.de/de/news/detail/digitale-zwillinge-fuer-die-planung-in-staedten-und-gemeinden>. (Zugriff am 22.05.2023)

- Hoferland Digital. o.J. „hoferLand.digital - Themen“. <https://www.hoferland.digital/themen/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Interkommunales NRW. 2020. „Entwicklungspartnerschaft Open SmartCity App“. <https://interkommunales.nrw/projekt/entwicklungspartnerschaft-open-smartcity-app/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Kraft, Markus, Martin Raubal, Aurel von Richthofen, Stephen Cairns, Pieter Herthogs, und Franziska Sielker. o. J. „Cities Knowledge Graph - Planning a smart nation builds on knowledge“. <https://fcl.ethz.ch/research/research-projects/cities-knowledge-graph.html>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Krefeld Business. o. J. „Erstes smartes Parkleitsystem als Pilotprojekt auf der Königstraße“. https://www.krefeld-business.de/smart-city_news/erstes-smartes-parkleitsystem-als-pilotprojekt-auf-der-koenigstrasse/. (Zugriff am 22.05.2023)
- Landkreis Hof. 2023. „Smart-Cities-Modellprojekt: Umsetzungsphase startet mit spannenden Projekten“. <https://www.landkreis-hof.de/smart-cities-umsetzungsphase-projekte/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Landkreis Hof o. J. „Solarpotenzialkataster“. https://www.solare-stadt.de/hoferland/Start?fbclid=IwAR2qGHZmu-e0V0QXv1Zlrr_XybsTDiGTv94x35T5NA17E8PtE4pWLwqgN8_1. (Zugriff am 22.05.2023)
- Patrizia, Sulis, Vandecasteele Ine, und Halmos Andrea. 2022. „Cities Fit for the Digital Age“. JRC128724. JRC Publications Repository: European Commission. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128724>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Piascik, R., et al. 2010. Technology Area 12: DRAFT Materials, Structures, Mechanical Systems, and Manufacturing Road Map. https://www.nasa.gov/pdf/501625main_TA12-MSMSM-DRAFT-Nov2010-A.pdf (Zugriff am 5.6.2023)
- Quek, Hou Yee, Franziska Sielker, Jethro Akroyd, Amit N Bhave, Aurel von Richthofen, Pieter Herthogs, und Claudia van der Laag Yamu. 2023. „The Conundrum in Smart City Governance: Interoperability and Compatibility in an Ever-Growing Ecosystem of Digital Twins“. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/dap.2023.1>.
- Reder, Bernd, und Andreas Donner. 2019. „Standardisierter Datenfluss vom Edge bis zur Cloud“. <https://www.data-center-insider.de/standardisierter-datenfluss-vom-edge-bis-zur-cloud-a-818062/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Regensburger Verkehrsverbund. 2023. „Open Data Service“. 2023. <https://www.rvv.de/opendata>.
- Silvennoinen, Heidi, Arkadiusz Chadzynski, Feroz Farazi, Ayda Grišiūtė, Zhongming Shi, Aurel Von Richthofen, Stephen Cairns, Markus Kraft, Martin Raubal, und Pieter Herthogs. 2023. „A Semantic Web Approach to Land Use Regulations in Urban Planning: The OntoZoning Ontology of Zones, Land Uses and Programmes for Singapore“. Journal of Urban Management, Februar, S2226585623000067. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2023.02.002>.
- Stadt Hamburg. 2023. „Geowerkstatt Hamburg - Open Source Geo-Lösungen aus Hamburg“. <https://www.hamburg.de/geowerkstatt/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Krefeld. 2021. „Smart City: Krefeld wird 2021 nicht als Modellprojekt gefördert“. <https://www.krefeld.de/inhalt/smart-city-krefeld-wird-2021-nicht-als-modellprojekt-gefoerdert/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Krefeld. 2023. „Open Data - Angebot“. <https://www.krefeld.de/de/dienstleistungen/open-data/>. (Zugriff am 22.05.2023)

- Stadt Krefeld. o. J. „3D-Geoportal Krefeld“. <https://www.krefeld.de/de/vermessung/3d-geoportal-krefeld/>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2009. „Planungs- und Baureferat Werkbericht“. https://www.regensburg.de/fm/121/werkbericht_planungs_baureferat_2009.pdf. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2020. „Smart City Regensburg: Rahmenstrategie. Smart City Regensburg (SCR) heißt Lebensqualität für alle in unserer Stadt und in globaler Verantwortung“. <https://www.regensburg-digital.de/wp-content/uploads/2020/03/SCR-RahmenstrategieAnlage.pdf> (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2022. Regensburg-Plan 2040: Stadtentwicklungsplan der Stadt Regensburg.
- Stadt Regensburg. 2023a. „Datenkonzept und Urbane Datenplattform“. Präsentation von Laura Berres. Stadt Regensburg.
- Stadt Regensburg. 2023b. „Digitaler Energie-Zwilling“. <https://www.regensburg.de/r-next/projekte/digitaler-energie-zwilling>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2023c. „Geoportal“. <https://geoportal.regensburg.de/geoportal/Basic/#>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2023d. „Informationen und Zahlen“. http://www.statistik.regensburg.de/menue/informationen_u_zahlen.php. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2023e. „Leistungsbeschreibung - REACT_EU – Digitaler Innenstadt-Zwilling: Unterstützung bei der inhaltlichen und technischen Konzeptionierung von Anwendungsfällen für ein digitales, raumbezogenes Abbild der Regensburger Innenstadt“. Stadt Regensburg.
- Stadt Regensburg. 2023f. „r_next: Strategische Ziele“. <https://www.regensburg.de/r-next/vision/strategische-ziele>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2023g. „r_next: Virtuelles Welterbe“. <https://www.regensburg.de/r-next/projekte/virtuelles-welterbe>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Regensburg. 2023h. „Grün Gerech Produktiv: Die Smart-City-Strategie für Regensburg Entwurf 06.04.2023“. https://srv19.regensburg.de/bi/___tmp/tmp/45081036858878655/858878655/00377149/49-Anlagen/02/Anlage1_SmartCityStrategie_ENTWURF_20230406.pdf (Zugriff am 06.06.2023)
- Stadt Regensburg, PLANWERK STADTENTWICKLUNG, Fraunhofer IAO, und FICHTNER. „Integriertes Digitales Entwicklungskonzept (IDEK), Zwischenbericht“. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Stuttgart. o. J. „Die Zukunft der IVLZ“. <https://www.stuttgart.de/leben/mobilitaet/verkehrsleitzentrale/zukunft.php>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Stuttgart. o. J. „Smart City Stuttgart“. <https://www.stuttgart.de/service/digitalisierung/smart-city.php>. (Zugriff am 22.05.2023)
- Stadt Sulzbach-Rosenberg. o. J. „INNENSTADTMANAGEMENT“. <https://www.suro.city/buergerservice/stadtverwaltung/innenstadtmanagement/>. (Zugriff am 22.05.2023)

Stadt Stuttgart. o. J. „STADTENTWICKLUNG“. <https://www.suro.city/rathaus/stadtverwaltung-rathaus/stadtentwicklung/>. (Zugriff am 22.05.2023)

Tomorrow's World Today. 2022. „Singapore's Digital Twin of Entire Country“. <https://www.tomorrowstoday.com/2022/09/12/singapores-digital-twin-of-entire-country/#:~:text=Before%20VIZZIO%20created%20the%20world%27s,of%20its%20Smart%20Nation%20effort.> (Zugriff am 22.05.2023)

T-Systems. 2023. „Edge Computing – Power. Where you need it.“ https://www.t-systems.com/de/de/cloud-services/managed-platform-services/edge-computing?wt_ga=110131341087_577824320765&wt_kw=e_110131341087_5g%20edge%20computing&wt_mc=110131341087.577824320765.e.5g%20edge%20computing&gad=1&gclid=CjwKCAjw9J2iBhBPEiwAErwpeXQd-AISuMGGIGQ7UCT9XXu0SYHyq8BK-qir1mTRD2m4pc3ZCKOXclRoCLJQQA_vD_BwE. (Zugriff am 22.05.2023)

Von Richthofen, Aurel, Pieter Herthogs, Markus Kraft, und Stephen Cairns. 2022. „Semantic City Planning Systems (SCPS): A Literature Review“. *Journal of Planning Literature* 37 (3): 415–32. <https://doi.org/10.1177/08854122211068526>.

WDR. 2023. „Krefeld: Die Stadt bekommt eigene 3-D-Simulation“. <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/stadt-krefeld-dreidimensionale-simulation-100.html>. (Zugriff am 22.05.2023)

Westdeutsche Zeitung. 2023. „Sensoren messen die Hitze in Krefeld“. https://www.wz.de/nrw/krefeld/sensoren-messen-die-hitze-in-krefeld_aid-89584251. (Zugriff am 22.05.2023)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Smart District Data Infrastructure (SDDI)-Konzept der TU München	10
Abbildung 2: Reifegradmodell für digitale Zwillinge des Fraunhofer IESE (2021)	13
Abbildung 3: Beteiligungsworkshop mit Vertreter*innen der Stadt Regensburg am 23.3.2023 (Foto: Projektteam)	15
Abbildung 4: Realer und virtueller Raum im stetigen Austausch während des gesamten Lebenszyklus (Grieves 2001)	19
Abbildung 5: Platform Virtual Singapore © National Research Foundation Singapore	19
Abbildung 6: Funktionsweise des Cities Knowledge Graph © Cambridge CARES & Singapore ETH Centre	21
Abbildung 7: Ergebnisse von Umfragen im Rahmen von Neue Horizonte Altstadt	27
Abbildung 8: Screenshot Online/Interviews mit kommunalen Vertreter:innen	28
Abbildung 9: Ansicht des öffentlichen Stadtzwillings mit der Darstellung eines Rundgangs in der Braunschweiger Altstadt © Stadt Braunschweig	30
Abbildung 10: Multimodale Navigation Stadtnavi Herrenberg © Stadtnavi Herrenberg	34
Abbildung 11: POIs und Starkregensimulation im 3D-Geoportal der Stadt Krefeld © Stadt Krefeld	42
Abbildung 12: Hochwassersimulation im Landreis Hof © hoferLand	46
Abbildung 13: Objekterkennung aus Straßenpanoramadaten zur Instandhaltung der verkehrlichen Infrastruktur © Stadt Stuttgart	50
Abbildung 14: Digitaler Zwilling der Altstadt Sulzbach-Rosenberg © Sulzbach-Rosenberg	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aus dem Workshop mit der Vertreter*innen der Stadtverwaltung ermittelte Use-Case-Bedarfe	15
Tabelle 2: Übersicht der Standards und Schnittstellen (Interoperabilität)	23
Tabelle 3: Übersicht der Standards (Open Source)	24
Tabelle 4: Übersicht der Standards (Künstliche Intelligenz)	24
Tabelle 5: Übersicht der Standards (5G - Edge Computing)	24
Tabelle 6: KPIs Technische Umsetzungsform Braunschweig	32
Tabelle 7: KPIs Organisationsstruktur Braunschweig	33
Tabelle 8: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Braunschweig	33
Tabelle 9: KPIs Technische Umsetzungsform Herrenberg	36
Tabelle 10: KPIs Organisationsstruktur Herrenberg	37
Tabelle 11: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Herrenberg	37
Tabelle 12: KPIs Technische Umsetzungsform Kempten (Allgäu)	40
Tabelle 13: KPIs Organisationsstruktur Kempten (Allgäu)	41
Tabelle 14: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Kempten (Allgäu)	41
Tabelle 15: KPIs Technische Umsetzungsform Krefeld	44
Tabelle 16: KPIs Organisationsstruktur Krefeld	45
Tabelle 17: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Krefeld	45
Tabelle 18: KPIs Technische Umsetzungsform Landkreis Hof	48
Tabelle 19: KPIs Organisationsstruktur Landkreis Hof	49
Tabelle 20: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Landkreis Hof	49
Tabelle 21: KPIs Technische Umsetzungsform Stuttgart	52
Tabelle 22: KPIs Organisationsstruktur Stuttgart	53
Tabelle 23: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Stuttgart	53
Tabelle 24: KPIs Technische Umsetzungsform Sulzbach-Rosenberg	56
Tabelle 25: KPIs Organisationsstruktur Sulzbach-Rosenberg	57
Tabelle 26: KPIs Finanzielle Rahmenbedingungen Sulzbach-Rosenberg	57
Tabelle 27: Auswertung Interviews	58
Tabelle 28: Auswertung Interviews	61

Anhang

A.1 Tabellen der untersuchten Städte

A.2 Interviewleitfaden Expert*innen

A.3 Interviewleitfaden Kommunen

Interviewleitfaden Expert*innen

1. Wie definieren Sie einen digitalen Stadtzwilling?

2. Welche deutschen Kommunen haben einen digitalen Zwilling bereits umgesetzt oder sind bereits verhältnismäßig weit in der Umsetzung?

3. Welche der folgenden Use-Cases wurden Ihres Wissens bereits in einem digitalen Stadtzwilling umgesetzt oder befinden sich in einem fortgeschrittenen Planungsstadium?

Mobilität

- M1 - Bauliche Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur
- M2 - Smarte MIV-Steuerung zur verkehrlichen Entlastung der Innenstadt
- M3 - Smarte Navigation von Passantenströmen in der Innenstadt
- M4 - Multimodale Navigation (Routenvorschläge)
- M5 - Intelligentes Parkraummanagement

Klima

- K1 - Potenzialflächenermittlung auf Gebäudeebene für Klimaanpassung
- K2 - Navigation zu Schutzräumen bei extremen Wetterereignissen (Extremhitze oder Starkregen)
- K3 - Analyse klimarelevanter Bedarfe und Anpassungserfordernisse durch Sensorik- und Simulationstechnologien

Energie

- E1 - Identifizierung von Energieeinsparungspotenzialen (Darstellung von Energieverbräuchen)
- E2 - Identifizierung von Potenzialflächen für Erneuerbare Energien unter Berücksichtigung von Denkmalschutzbelangen

Kultur, Welterbe und Tourismus

- T1 - Abbildung relevanter Angebote und Infrastrukturen für Touristen
- T2 - Verbesserter und barrierefreier Zugang zu Informationen für eine breite Bevölkerungsschicht über kulturelle Angebote in Bezug auf das Welterbe
- T3 - Veranschaulichung der Historische Entwicklung der Altstadt
- T4 - Darstellung von Informationen zur Barrierefreiheit in der Stadt (Barrierefreie Geschäfte oder relevante POIs, Rollstuhlgeeignete Wege wie Oberflächenstruktur der Wege etc.)

Planung

- P1 - Identifizierung von Flächenpotenzialen in der Altstadt
- P2 - Vereinfachung und Veranschaulichung von Planungsprozessen für Partizipationszwecke

Interviewleitfaden Kommunen

Technische Umsetzungsform

1. Beschreiben Sie bitte (ggf. stichpunktartig) die technische Umsetzungsform Ihres digitalen Zwillings, seine Anwendungsfälle und die Integration der Anwendungsfälle untereinander (allg. technische Infrastruktur, Systeme, Architekturen, Use-Cases, Umsetzung in-house/oder durch Dritte, Hosting (Cloud etc.), temporär/langfristig, Datenformate, Nutzung vorhandener Standards, usw.)?

2. Wie würden Sie den Grad der Umsetzung Ihres Zwillings und seiner Anwendungen beschreiben?

- Wir haben ein Konzept, von dem aber noch nichts umgesetzt wurde
- Wir haben ein Konzept, Finanzierung ist beantragt bzw. vorhanden und wir werden demnächst mit der Umsetzung beginnen
- Wir haben ein Konzept, eine Finanzierung ist vorhanden, einzelne Komponenten werden bereits umgesetzt
- Wir haben unseren Zwillings und einzelne Anwendungen bereits umgesetzt

3. Bitte beschreiben Sie, inwiefern Ihre Anwendungsfälle untereinander vernetzt sind oder ob diese unabhängig voneinander funktionieren?

4. Welche Organisationsform Ihrer technischen Infrastruktur ist momentan geplant?

- Vereinzelt Anwendungen, die nicht miteinander integriert sind (Insellösungen)
- Geoportal inkl. eines integrierten 3D-Stadtmodells
- Datenkatalog mit IAM-Komponente (Identität und Zugriffsmanagement) für statische und / oder dynamische (Geo-)Daten
- Städtische IOT-Plattform (Sensorik, Echtzeitdaten)
- Vollständig integrierte Datenplattform (Datenkatalog mit IAM-Komponente und integriertem Geoportal, 3D-Stadtmodell, IoT/Sensorik und Echtzeitdaten)

5. Wie würden Sie die Vollständigkeit und den Ursprung Ihrer Datengrundlagen insgesamt einstufen?

- Lückenhaft, und von Dritten eingekauft
- Lückenhaft, geplante, aber nicht umgesetzte, kontinuierliche Erhebung neuer und /oder Aktualisierung existierender Datenquellen
- Befriedigend vollständige Daten, teilweise umgesetzte, kontinuierliche Erhebung neuer und /oder Aktualisierung existierender Datenquellen
- Vollständig, kontinuierliche Erhebung neuer und /oder Aktualisierung existierender Datenquellen

6. Wie sind Ihre Daten organisiert?

- Getrennte Daten-Silos (Daten sind isoliert und getrennt voneinander gespeichert)
- Vereinzelt Verknüpfungen (Peer-to-Peer, ohne dass eine zentrale Datenbank verwendet wird)
- Linked Open Data nach DCAT-AP.de (Nutzung standardisierter Schnittstellen und Protokolle, um eine einheitliche und interoperable Dateninfrastruktur zu schaffen)

7. Wie hosten Sie Ihre Systeme?

- Systeme werden ausschließlich auf lokalen Servern gehostet, keine Cloud
- Systeme werden ausschließlich auf lokalen Servern gehostet, aber die Nutzung von Cloud-Services befindet sich in der Planung
- Systeme werden vollständig in der Cloud betrieben
- Hybridlösung (teilweise lokale Server, zusätzlich bestimmte Services oder Komponenten in der Cloud, beispielsweise Hybrid Cloud Modell)

8. Welche Formen im Bereich der Daten-Governance sind für die Umsetzung und den Betrieb Use-Case-spezifisch relevant und warum?

- Datenschutz und Datensicherheit
- Datenqualität und -integrität
- Datenzugriff und -freigabe
- Standardisierung von Datenformaten
- Transparenz und Rechenschaftspflicht
- Weitere Formen?

9. Welche dieser Formen aus Frage 8 ist für sie besonders herausfordernd und warum?

Personelle Organisationsstruktur

10. Beschreiben Sie bitte (ggf. stichpunktartig) Ihre Organisationsstruktur für den Aufbau bzw. Betrieb des digitalen Zwillings (Zuständigkeiten, Verantwortung, eingebundene Stellen bzw. Akteure)?

11. Auf welche zusätzlichen fachlichen Kompetenzen sind Sie für die Entwicklung und Umsetzung Ihres Zwillings und Ihrer Anwendungsfälle angewiesen?

Bitte wählen Sie einen der folgenden Punkte aus:

- Die fachlichen Kompetenzen für die Entwicklung und Umsetzung des Zwillings und der Anwendungsfälle waren innerhalb unserer Verwaltung bereits vorhanden.
- Die zusätzlichen fachlichen Kompetenzen für die Entwicklung und Umsetzung des Zwillings und der Anwendungsfälle wurden durch personelle Aufstockung o. Ä. akquiriert.
- Die zusätzlichen fachlichen Kompetenzen für die Entwicklung und Umsetzung des Zwillings und der Anwendungsfälle wurden mit dem Know-How externer Dienstleister entwickelt und umgesetzt, ohne dass ein Kompetenz-/Wissensaufbau stattgefunden hat.
- Die zusätzlichen fachlichen Kompetenzen für die Entwicklung und Umsetzung des Zwillings und der Anwendungsfälle wurden mit dem Know-How externer Dienstleister entwickelt und umgesetzt. Zusätzlich fand ein interner Kompetenz-/Wissensaufbau statt (z.B. durch personelle Aufstockung).

12. Sofern fachliche Kompetenzen intern vorhanden waren oder aufgebaut wurden: Welche fachlichen Kompetenzen waren konkret vorhanden und welche haben Sie aufgebaut, um Ihren Zwilling samt Anwendungsfällen zu entwickeln und umzusetzen?

Bitte wählen Sie einen der folgenden Punkte aus:

- Wir bauen keine angepasste Organisationsstruktur für den digitalen Zwilling auf. Der Aufbau/Betrieb wird von existierenden Organisationseinheiten und dem bestehenden Personal übernommen (z. B. Stadtmarketing).
- Wir erweitern die bestehende Organisationsstruktur (z.B. IT-Abteilung) personell zur Verteilung der zusätzlichen Aufgaben.
- Wir schaffen einen neuen Arbeitsbereich für den digitalen Zwilling innerhalb einer bestehenden Abteilung (z. B. Arbeitsbereich „digitaler Zwilling“ innerhalb der IT-Abteilung).
- Wir schaffen eine neue, eigenständige Organisationseinheit (z.B. Stabstelle, Abteilung, Amt) für den digitalen Zwilling.

Finanzielle Rahmenbedingungen

13. Beschreiben Sie bitte (ggf. stichpunktartig) die finanziellen Rahmenbedingungen für Ihren digitalen Zwilling und seine Anwendungsfälle. Welche Finanzierungsformen haben Sie jeweils für die Entwicklung, den Aufbau und den Betrieb der einzelnen Anwendungsfälle gewählt?

14. Bitte wählen Sie einen der folgenden Punkte aus:

Die Entwicklung und / oder den Betrieb des Zwillings und seiner Anwendungsfälle haben wir ...

- kurzfristig aus Eigenmitteln finanziert (im Rahmen eines Projektes, z.B. bis 3 Jahre)
- langfristig aus Eigenmitteln finanziert (verstetigte Finanzierung)
- im Rahmen einer Förderung (regional, national oder EU) finanziert
- durch Industrie oder Wirtschaft (z.B. Energieversorger) finanziert
- Finanzierung ist noch nicht geklärt, aber eingeleitet (Bitte genauer ausführen)

Studie Digitale Zwillinge

Die vorliegende Studie analysiert umgesetzte oder in der Umsetzung fortgeschrittene Fallbeispiele digitaler (Stadt-) Zwillinge und Anwendungsfälle („Use Cases“) aus Kommunen in Deutschland anhand von ausgewählten Kriterien, die für die geplante Entwicklung und Umsetzung eines digitalen Zwillings und verschiedener Use Cases in Regensburg relevant sind. Ein Stadtzwilling wird im Rahmen dieser Studie als besondere, auf städtische Bedürfnisse wie Planung, Steuerung und Beteiligung im urbanen Kontext zugeschnittene, Form von digitalen Zwillingen aufgefasst. Im Sinne der Lesbarkeit wird im Folgenden von digitalen Zwillingen gesprochen, wenn solche Stadtzwillinge gemeint sind. Die Informationen sollen der Stadt Regensburg helfen die Planung ihres digitalen Zwillings, hinsichtlich personeller, finanzieller und technischer Aspekte, präzisieren zu können.

Amt für Stadtentwicklung

ISBN: 978-3-943222-83-8

Stadt Regensburg
Amt für Stadtentwicklung
D.-Martin-Luther Str. 1
93047 Regensburg
Tel: 0941/507-96630

 Weitere Informationen unter
www.regensburg.de



EUROPÄISCHER FONDS
FÜR REGIONALE ENTWICKLUNG
als Teil der Reaktion der Union auf die
COVID-19-Pandemie finanziert

REACT-EU