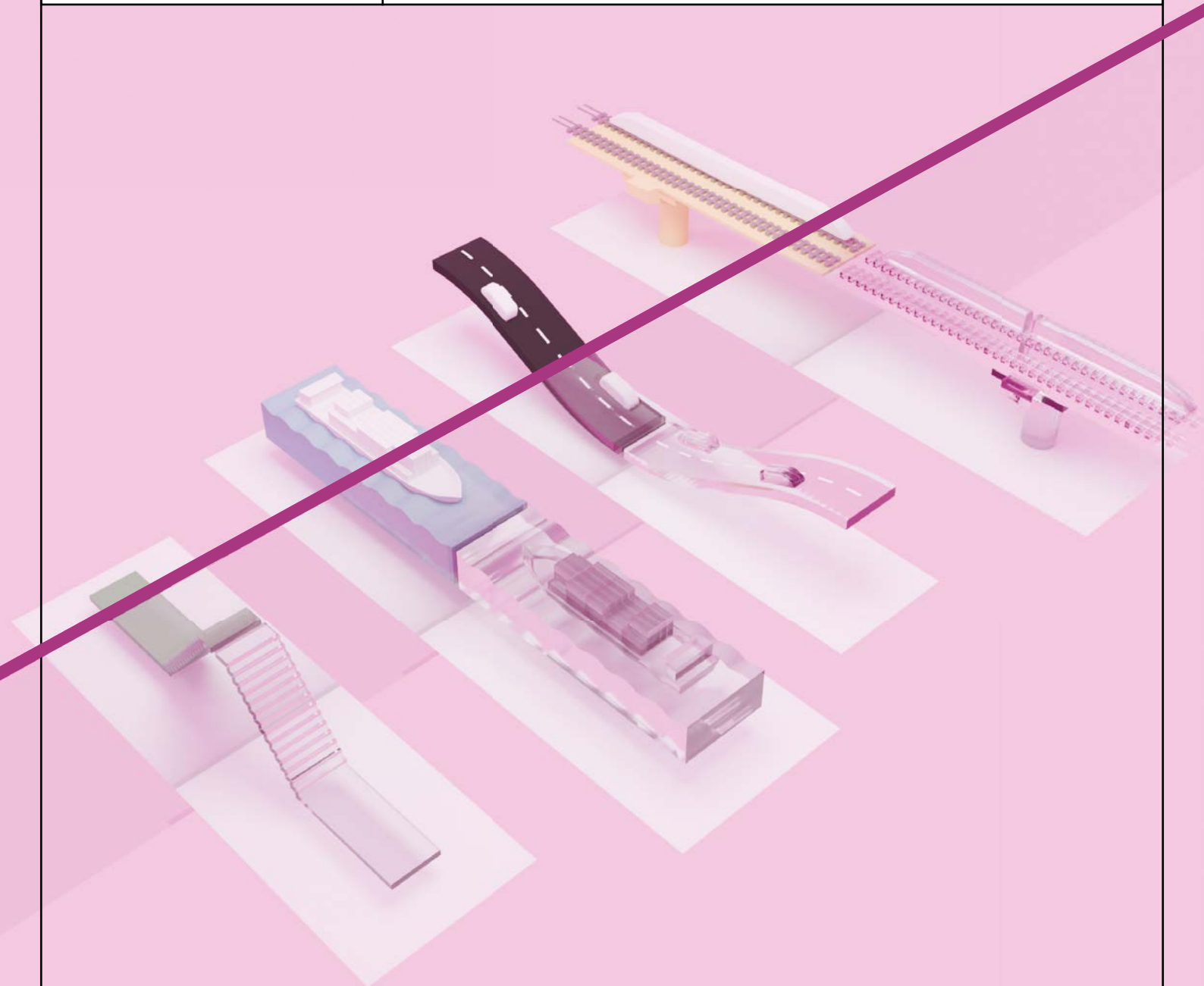


02/25

Praxisleitfaden

Digitale Zwillinge

im Infrastrukturmanagement
und -betrieb in Kommunen
planen und umsetzen



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung: Praxisleitfaden für die Planung und Umsetzung Digitaler Zwillinge	2
2. Handlungsempfehlungen für die Praxis	4
2.1 Zielsetzung und Rahmenbedingungen:	6
2.1.1 Einheitliches Verständnis herstellen	7
2.1.2 Anforderungen spezifizieren	10
2.1.3 Organisationsstrukturen prüfen und Prozesse aufsetzen	14
2.2 Daten und Technik:	18
2.2.1 Datenmanagement organisieren	19
2.2.2 Technische Infrastrukturaufbau langfristig denken	23
2.3 Rechtlicher und digitaletischer Rahmen:	28
2.3.1 Rechtliche Klarheit schaffen	29
2.3.2 Digitaletische Reflexion durchführen	34
3. Ausblick	37
Impressum	38

1.

Einführung: Praxisleitfaden für die Planung und Umsetzung Digitaler Zwillinge

Der Einsatz Digitaler Zwillinge eröffnet Kommunen und Infrastrukturbetreibern sowie den umsetzenden Bundes- und Landesbehörden neue Möglichkeiten für die Steuerung von Planungsprozessen und für den Betrieb und die Verwaltung von Infrastrukturmaßnahmen: Mit ihrer Hilfe lässt sich etwa das Infrastrukturmanagement optimieren oder das nachhaltige Betreiben bestehender und geplanter Infrastrukturen unterstützen.¹ Viele solcher Projekte sind noch Prototypen; der erfolgreiche Übergang in den praktischen und langfristigen Einsatz stellt eine zentrale Herausforderung dar.

Dieser Leitfaden bietet Anwenderinnen und Anwendern, Entscheidungsträgerinnen und -trägern sowie Projektverantwortlichen aus Politik und Verwaltung, insbesondere in den Kommunalverwaltungen, eine kompakte, praxisbezogene Orientierung, um Digitale Zwillinge zu planen und umzusetzen. Als „Digitale Zwillinge“ werden im Folgenden virtuelle Repräsentationen physischer Objekte oder Prozesse bezeichnet, die in Echtzeit Daten austauschen und so eine präzise Steuerung, Überwachung und Optimierung ermöglichen.²

Es werden drei wesentliche Handlungsfelder aufgegriffen:

[1.Zielsetzung und Rahmenbedingungen](#), [2.Daten und Technik](#) und [3.Rechtlicher und digitaletischer Rahmen](#). Diese Themenbereiche werden jeweils durch eine kurze Einführung, konkrete Vorgehensempfehlungen sowie Checklisten für wesentliche Handlungsschritte aufbereitet. Der Praxisleitfaden formuliert zentrale Maßnahmen aus der Perspektive der planenden und umsetzenden Stellen und veranschaulicht sie entlang möglicher Anwendungsszenarien. Verantwortliche und beteiligte Einrichtungen der öffentlichen Verwaltung können die Handlungsschritte als Wissensgrundlage und Übersicht bedarfsgerecht für ihre Zwecke und konkreten Anwendungsfälle nutzen, anpassen und erweitern, um den Aufbau ihrer Digitalen Zwillinge gezielt vorzubereiten und durchzuführen. Zusätzliche Unterstützung dafür bieten die am Ende eines jeden Themenbereichs aufgeführten und verlinkten weiterführenden Informationen.

Der Leitfaden dient den Leserinnen und Lesern als Referenz und Inspiration und fördert den Austausch zwischen Anwenderinnen und Anwendern sowie der öffentlichen Verwaltung, um diese in eine sprech- und handlungsfähige Position zu bringen.

¹ Für eine tiefergehende Darstellung der Einsatzpotenziale und des Nutzens Digitaler Zwillinge siehe Kapitel 3 der ergänzenden Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“.

² Für eine umfassende Definition des Konzepts Digitale Zwillinge siehe Kapitel 2 der ergänzenden Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“.

Über das Projekt und die Methodik

Das Förderprojekt „[Digitale Zwillinge für Infrastruktur, Bau, Wohnen – von Theorie und Konzeption in die Praxis](#)“ untersuchte von Januar 2023 bis Dezember 2024 bestehende Vorhaben zu Digitalen Zwillingen, um Erkenntnisse zu Umsetzungsschritten, Herausforderungen und Handlungsoptionen zu gewinnen. Ziel war es, (potenziellen) Nutzergruppen aus der Praxis eine Wissensgrundlage zum Umsetzungsstand Digitaler Zwillinge sowie einen praktisch nutzbaren Leitfaden zu Handlungsschritten für deren Einsatz zu bieten.

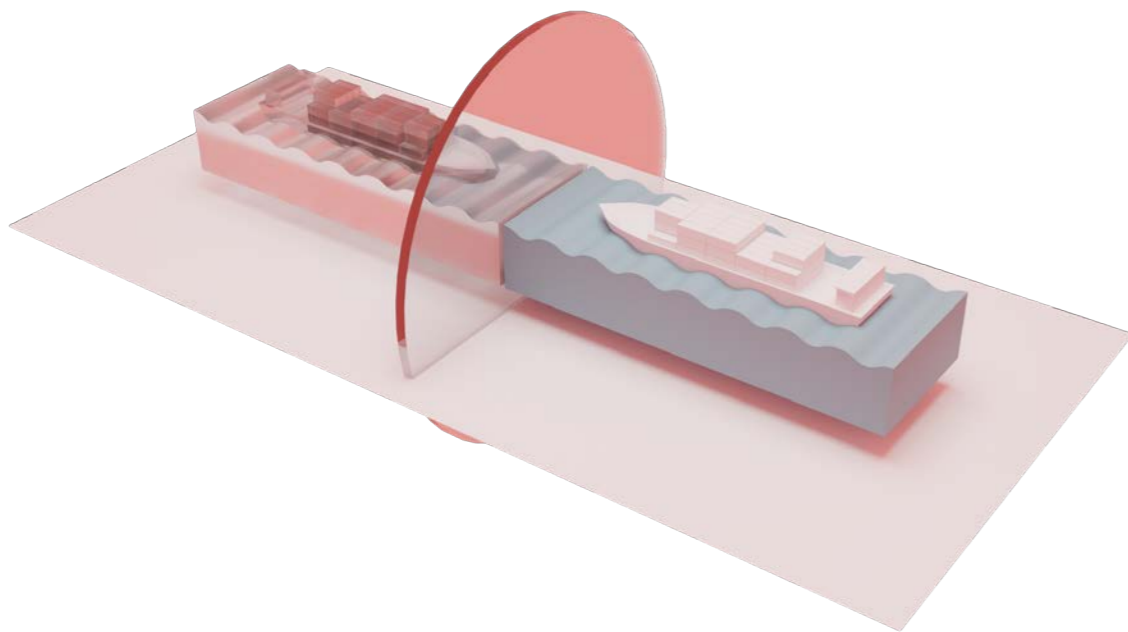
Hierzu wurden im Förderprojekt eine umfassende Literaturrecherche und eine systematische Analyse von 135 Praxis- und Forschungsprojekten aus verschiedenen Anwendungsfeldern in Deutschland durchgeführt. Zusätzlich wurden 49 Expertinnen und Experten aus Forschung, öffentlichen Verwaltungen und der Privatwirtschaft im Rahmen leitfadengestützter Interviews befragt.³ Darüber hinaus fanden vier durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) ausgerichtete Online-Veranstaltungen statt: am 19. September 2024 „Digitale Zwillinge in der Infrastruktur – Potenziale, Anwendungsbeispiele, Handlungsanleitungen“, am 12. November 2024 der Online-Workshop „Austausch und Empfehlungen: Digitale Zwillinge in der kommunalen Praxis“ sowie am 10. Dezember 2024 zwei Fachforen zu den Themen „Standards und Richtlinien für Digitale Zwillinge“ und „Data-Governance-Prozesse für Digitale Zwillinge“. Insbesondere die Erkenntnisse und der praxisnahe Austausch mit Vertreterinnen und Vertretern der Kommunen und Expertinnen und Experten der Fachforen wurden umfassend in die Erarbeitung dieses Leitfadens integriert.

Die Ergebnisse der qualitativen und theoretischen Analysen dienen als Grundlage für die vorliegenden praxisorientierten Empfehlungen zur Implementierung Digitaler Zwillinge. Diese Grundlage ist systematisch in der Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“ dargestellt.

³ Die 49 Befragungen umfassen leitfadengestützte Experteninterviews und zusätzliche Konsultationen relevanter Stakeholder und Expertinnen und Experten.

2.

Handlungsempfehlungen für die Praxis



Die drei zentralen Handlungsfelder „Zielsetzung und Rahmenbedingungen“, „Daten und Technik“ sowie „Rechtlicher und digitaletischer Rahmen“ adressieren die Kernherausforderungen und Gelingensbedingungen, die sich in Forschungs- und Praxisprojekten als entscheidend herausgestellt haben.⁴ Sie kondensieren die wesentlichen praktischen, aber auch strategischen Vorgehensempfehlungen, die die damit befassten, umsetzenden Akteure in öffentlichen Verwaltungen und Infrastrukturbetrieben insbesondere zu Beginn der Umsetzung eines Digitalen Zwillings berücksichtigen sollten.

⁴ Die drei Handlungsfelder stellen besonders relevante Themenbereiche für die Umsetzung Digitaler Zwillingsvorhaben dar, in denen praxisbezogene Handlungsempfehlungen operationalisiert und für Anwenderinnen und Anwender aufbereitet werden. Die Auswahl ist eine Verdichtung von insgesamt acht Handlungsfeldern, die im Rahmen der ergänzenden Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“ auf Basis einer umfassenden Analyse der Fachliteratur, von Anwendungsprojekten und Experteninterviews identifiziert wurden.

Handlungsfelder des Praxisleitfadens

Zielsetzung und Rahmenbedingung: Voraussetzungen schaffen

Einheitliches Verständnis herstellen:

- Problemdefinition und Lösungsansatz erarbeiten
- Gemeinsames Verständnis von Digitalen Zwillingen sicherstellen
- Evaluation alternativer Ansätze
- Umfassendes Erwartungsmanagement

Anforderungen spezifizieren:

- Funktionsspektrum definieren, Einsatz von Reifegrad- bzw. Komplexitätsstufenmodellen erwägen
- Schrittweise Erweiterung planen
- Zielgruppe bestimmen
- Bestimmung der Anforderungen
- Ressourcenplanung und Priorisierung

Organisationsstrukturen prüfen und neue Prozesse schaffen:

- Prüfung der Organisationsstrukturen und -Prozesse
- Frühzeitige Einbeziehung aller Beteiligten
- Kompetenzaufbau
- Sicherstellung ausreichender Ressourcen
- Förderung einer offenen Fehlerkultur
- Roadmap für schrittweise Implementierung erstellen

Daten und Technik: Infrastrukturen auf- und ausbauen

Datenmanagement organisieren:

- Dateninventur: Datenquellen identifizieren und kategorisieren
- Datenqualitätsmanagement implementieren
- Data-Governance-Struktur aufbauen
- Technische Umsetzung der Datenverwaltung
- Technische Absicherung der Daten

Technischen Infrastrukturaufbau langfristig denken:

- Auswahl der technischen Komponenten
- Langlebigkeit der Komponenten ermitteln
- Kompatibilität sicherstellen
- Erweiterbarkeit ermöglichen
- Langfristige Kosten einbeziehen
- Abwägung der Faktoren

Rechtlicher und digitaletischer Rahmen: Compliance umsetzen

Rechtliche Klarheit schaffen:

- Rechtslage systematisch analysieren
- Bestehende Leitlinien und Handreichungen nutzen
- Datenschutzbeauftragte und Aufsichtsbehörden konsultieren
- Niederschwellige Anleitung erstellen

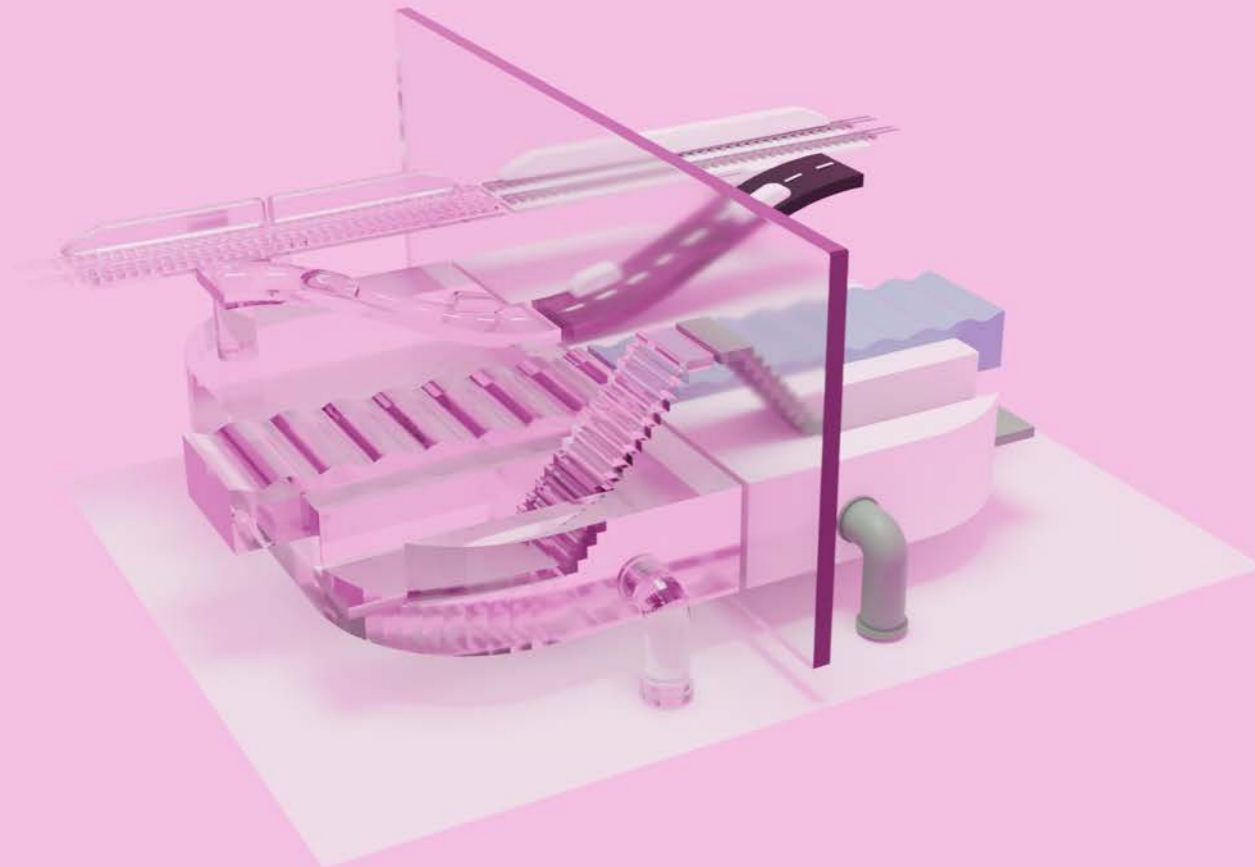
Digitaletische Reflexion durchführen:

- Umfeldanalyse
- Herausforderungen und Risiken identifizieren
- Partizipationsformate aufsetzen
- Maßnahmen ableiten und umsetzen
- Dokumentation
- Monitoring

2.1

Zielsetzung und Rahmenbedingungen:

Voraussetzungen schaffen



Grundlage für die Planung und Einführung Digitaler Zwillinge für Infrastrukturmaßnahmen sowie für die Kommunalplanung und -verwaltung ist ein Grundkonsens über die Definition und Zielsetzung des Digitalen Zwillings. Darüber hinaus ist es notwendig, dass die Beteiligten die konkreten Anwendungsfälle und das Funktionsspektrum spezifizieren. Dies ist eine zentrale Voraussetzung, um darauf aufbauend weitere Anforderungen an die Umsetzung festzulegen, beispielsweise an Organisationsprozesse und -struktur, an Verantwortlichkeiten zwischen den beteiligten Abteilungen und Akteuren sowie an die technische Umsetzung und Kalkulation der notwendigen Ressourcen. Denn die Umsetzung Digitaler Zwillinge geht vielfach mit Veränderungen in den genannten Bereichen einher.

2.1.1 Einheitliches Verständnis herstellen

Die erste Prozessphase für die Umsetzung eines Digitalen Zwillings ist die Konzeption: Im ersten Handlungsschritt erarbeiten die Projektbeteiligten eine konkrete Bedarfs- oder Problemdefinition. Ausgehend davon kann im nächsten Schritt ein Lösungsansatz definiert und so der Rahmen für das Vorhaben festgelegt werden. Besteht ein Grundkonsens über Herausforderungen und Lösungen, sind die Verantwortlichen in der Lage, das Vorhaben sowie die damit verbundenen Ziele zu präzisieren. Dadurch können sie prüfen, ob der Digitale Zwilling tatsächlich ein wirksames Werkzeug zur Problemlösung darstellt oder ob andere, gegebenenfalls weniger komplexe Anwendungen besser geeignet sind.

Konkretisierung

Die Problemdefinition umfasst meist, dass die Projektverantwortlichen die spezifischen Herausforderungen oder Bedarfe im jeweiligen Anwendungsbereich identifizieren, die durch den potenziellen Einsatz eines Digitalen Zwillings adressiert werden sollen. Beispielsweise erfordern zunehmende Extremwetterereignisse Veränderungen in deren Monitoring und deren Analyse, um langfristig geeignete Maßnahmen zum dauerhaften Schutz der Bürgerinnen und Bürger zu definieren und kurzfristig ein konkretes Vorgehen für Einsatzkräfte zu planen. Ein weiteres Beispiel für ein Einsatzgebiet ist die Brückenwartung, die aufgrund fehlender aktueller und umfassender Daten ineffizient ist, sodass die langfristige Planung von Instandhaltungsmaßnahmen und die Kostenplanung hierfür erheblich erschwert werden.

Ausgehend von der Konkretisierung dieser Problemstellung können im nächsten Schritt Lösungsansätze und erwünschte sowie messbare Ziele definiert werden. Im Fall der Wartung einer Brücke kann das beispielsweise folgender Lösungsansatz sein: Durch die Integration von IoT-Technologien (Internet of Things) und die Analyse von Sensordaten wird es möglich, eine vorausschauende Wartungsstrategie und eine effiziente Kostenplanung zu entwickeln. Anschließend gilt es, die Ziele, die in Verbindung

mit dem Lösungsansatz stehen, genauer zu spezifizieren, beispielsweise das Ziel, frühzeitig kritische Verschleißstellen zu erkennen.

Wenn die Problemstellung, der Lösungsansatz und die Zielsetzung definiert wurden, prüfen die Projektverantwortlichen im nächsten Schritt, ob das Konzept Digitaler Zwillinge für die Umsetzung geeignet ist. Hierzu gilt es zunächst, ein einheitliches Verständnis zu erarbeiten, insbesondere in Abgrenzung zu bereits genutzten Konzepten und Lösungen wie Building Information Modeling (BIM), geografischen Informationssystemen (GIS) sowie Digitalen Modellen und Digitalen Schatten.⁵ Diese Auseinandersetzung befähigt die Beteiligten, mögliche Synergien zwischen bestehenden Ansätzen wie GIS-Systemen einer Kommune und dem geplanten Digitalen Zwilling zu identifizieren (siehe Abbildung 2).

Darauf aufbauend können die Verantwortlichen prüfen, ob der Digitale Zwilling im jeweiligen Kontext tatsächlich das effektivste Werkzeug zur Problemlösung darstellt oder ob alternative, möglicherweise kostengünstigere Ansätze wie einfache Datencockpits zur Datenvisualisierung (Plattformen zur interaktiven Aufbereitung und Darstellung von Daten) oder andere Business-Intelligence-Tools (Softwarelösungen zur datenbasierten Analyse und Entscheidungsunterstützung) den Herausforderungen im gegebenen

⁵ Siehe hierzu vertiefend Kapitel 2.2 der Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“.

Datenfluss in Digitalen Modellen, Schatten und Zwillingen

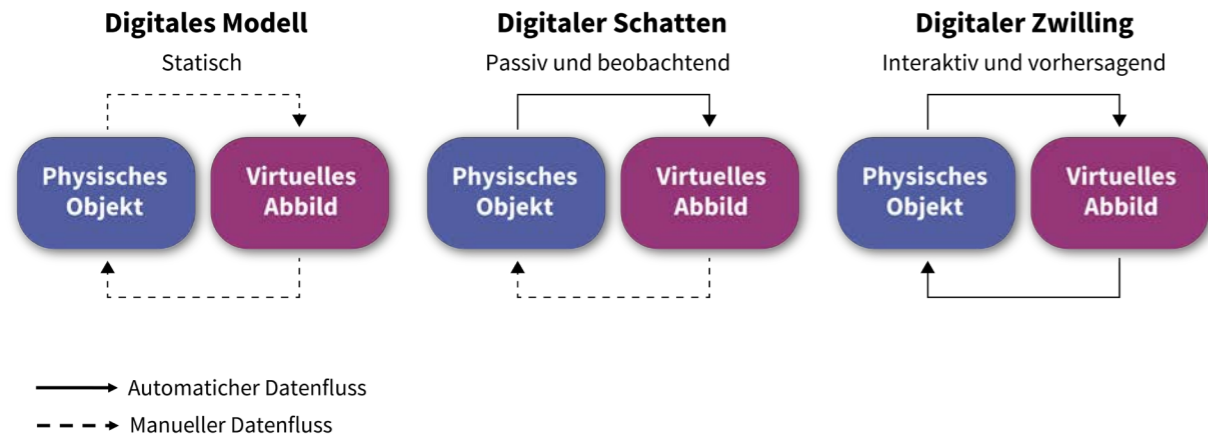


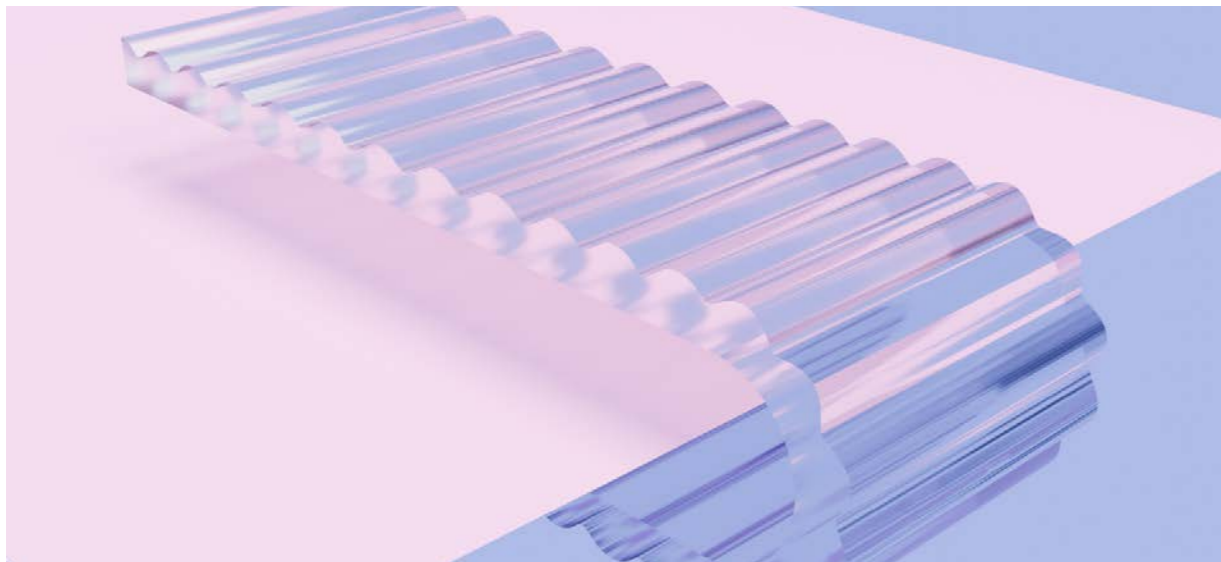
Abb. 2.; eigene Darstellung iRights.Lab

Fall eher entsprechen. So können gegebenenfalls Ressourcen gespart werden. Die Auseinandersetzung mit der angemessenen Lösung kann auch ergeben, dass nur einzelne Teilaspekte der Problemstellung durch das Konzept Digitale Zwillinge gelöst werden können, während andere Aspekte durch ein separates (Teil-)Projekt umgesetzt werden müssen.

Ein Digitaler Zwilling sollte nur dann eingesetzt werden, wenn er einen klaren Mehrwert bietet und die definierten Anforderungen effektiver erfüllt als alternative Lösungen. Ist der Digitale Zwilling die passende Lösung, spezifizieren die Projektbeteiligten in der Regel die konkrete Zieldefinition des Digitalen Zwillings

wie Anwendungsumfang, Einsatzszenarien und weitere Rahmenbedingungen ([siehe Kapitel 2.1.2](#)).

Frühzeitig ein einheitliches Verständnis, sowohl in Bezug auf das zu lösende Problem als auch in Bezug auf das Konzept des Digitalen Zwillings als Teil des Lösungsansatzes zu entwickeln, ist eine wichtige Grundlage für die Planungsphase. Darauf aufbauend wird ein Erwartungsmanagement zwischen den beteiligten Akteuren möglich. So werden die Grundlagen zur technischen und organisatorischen Umsetzung geschaffen und das Risiko für spätere Anpassungsbedarfe verringert sich.



Handlungsschritte

- **Problemdefinition und Lösungsansatz erarbeiten:** Eine frühzeitige Abstimmung aller Stakeholder über das zu lösende Problem, den Lösungsansatz und die Rolle des Digitalen Zwillings als Teil der Lösung bildet die Basis für eine klare Definition des Anwendungsumfangs und die Auswahl geeigneter digitaler Systeme.
- **Gemeinsames Verständnis von Digitalen Zwillingen sicherstellen:** Alle relevanten Stakeholder entwickeln ein gemeinsames Verständnis in Bezug darauf, was das Konzept Digitaler Zwilling umfasst und welche Ziele dieser im konkreten Anwendungsfall erfüllen kann. Das kann durch Workshops, Schulungen und kontinuierliche Abstimmungen erreicht werden.
- **Evaluation alternativer Ansätze:** Die Projektbeteiligten bewerten kritisch, ob der Digitale Zwilling die optimale Lösung ist oder ob alternative Ansätze den Bedarf effizienter abdecken könnten.
- **Umfassendes Erwartungsmanagement:** Eine frühzeitige Abstimmung und Kommunikation der Erwartungen aller Projektbeteiligten ist die Grundlage für das Erwartungsmanagement im Projektverlauf und minimiert das Risiko für spätere Anpassungen und das Entstehen von Missverständnissen.

Mögliches Anwendungsszenario

Ein städtisches Bauamt steht vor der Herausforderung, ein energieeffizientes Wohnbauprojekt über den gesamten Lebenszyklus hinweg – von der Planung über den Bau bis hin zum Betrieb und zur langfristigen Instandhaltung – effizient zu überwachen und zu optimieren. Um dieses Problem anzugehen, wird zunächst der Lösungsansatz definiert, eine datenbasierte Grundlage für den Baufortschritt, die Überwachung des Energieverbrauchs und die Wartungsprognosen zu schaffen. In einem Workshop mit allen Projektbeteiligten wird ein gemeinsames Verständnis in Bezug auf den möglichen Einsatz eines Digitalen Zwillings erarbeitet. Dabei werden die potenziellen Vorteile und Herausforderungen besprochen und die damit verbundenen Ziele definiert. Im Anschluss erfolgt eine Evaluation alternativer Ansätze, beispielsweise die Umsetzung zunächst mit einer einfachen 3D-Visualisierung zu realisieren. So können die Verantwortlichen beurteilen, welches Werkzeug die festgelegten Ziele am besten erfüllt. Basierend auf dieser Analyse entscheiden sie schließlich, den Digitalen Zwilling als geeignetes technisches Werkzeug umzusetzen.

Weiterführende Quellen

- [Expertenpapier Urbane Digitale Zwillinge](#) | Deutscher Städtetag
- [Digitale Zwillinge. Potenziale in der Stadtentwicklung](#) | Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (BBSR)
- [Der Digitale Zwilling für smarte Städte – zwischen Erwartungen und Herausforderungen](#) | Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE)
- [DIN SPEC 91607 Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen](#) | DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

2.1.2 Anforderungen spezifizieren

Sobald feststeht, dass der Digitale Zwilling das bestmögliche Werkzeug zur Lösung der konkreten Problemstellung ist (siehe Kapitel 2.1.1), werden seine spezifischen Funktionen im geplanten Anwendungskontext und im Rahmen der verfügbaren personellen, finanziellen und technischen Ressourcen definiert. Digitale Zwillinge unterscheiden sich in ihren funktionalen Merkmalen wie auch in den zugrunde liegenden Technologien und Datenverarbeitungsmethoden.⁶ Deshalb ist eine detaillierte Anforderungsanalyse zu erstellen, die spezifiziert, welche Funktionen der Digitale Zwilling erfüllen soll. Die Projektverantwortlichen müssen zudem die Nutzergruppen des Digitalen Zwillings und deren Bedürfnisse identifizieren, um den Anwendungsfall zu spezifizieren.

Konkretisierung

Mögliche Anwendungsbereiche Digitaler Zwillinge reichen von der Überwachung des Soll-Ist-Zustands und der Anomalie- und Schadenserkenkung über Prozessoptimierungen und prädiktive Instandhaltung (Predictive Maintenance) bis hin zur Simulation von Ereignissen und Prozessen wie möglicher Zustands- und Auslastungsszenarien. Dementsprechend variiert auch ihr Funktionsumfang. Um einen Überblick über mögliche Funktionsstufen zu erhalten und Anforderungen gemäß der Zielsetzung für das jeweilige Vorhaben zu bestimmen, können sich Projektbeteiligte an bestehenden Modellen von Komplexitätsstufen (häufig auch als „Reifegradmodelle“⁷ bezeichnet) orientieren. Solche stufenweise aufgebauten oder modularen Modelle⁸ erlauben es den Beteiligten, den Funktionsumfang für das Zwillingsvorhaben systematisch darzustellen.

Die genannten Modelle beschreiben die Funktionalität und Mehrwerte von Zwillingen entlang zunehmender Komplexitätsstufen, von einfachen Überwachungsfunktionen bis hin zu hochkomplexen Simulations- und

Prognosefunktionen (siehe Abbildung 3). Die Nutzung eines Komplexitätsstufenmodells dient im Sinne eines „Selbsttests“ als Orientierungshilfe, um den Digitalen Zwilling und seine Funktionen je nach Anwendungsfall und Entwicklungsstand systematisch einzuordnen.

Mithilfe des Komplexitätsstufen- bzw. Reifegradmodells können die Projektverantwortlichen eine Anforderungsanalyse für die Umsetzung eines Digitalen Zwillings erstellen: Die Zielsetzung des eigenen Vorhabens kann zu möglichen (zukünftigen) Funktionsstufen in Bezug gesetzt werden. Die erforderlichen wie auch die potenziellen Funktionen des Digitalen Zwillings können systematisch entlang von Komplexitätsstufen erfasst und strukturiert werden, um so Klarheit über den Entwicklungsstand und zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten zu gewinnen (siehe Kapitel 2.2.2). Dies unterstützt dabei, die Umsetzungsschritte und Ressourcen sinnvoll zu definieren und zu priorisieren sowie zukünftige Weiterentwicklungsmöglichkeiten strukturiert zu planen.

⁶ Siehe hierzu vertiefend Kapitel 2.2 der ergänzenden Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“.

⁷ Siehe hierzu beispielsweise das Reifegradmodell Urbaner Digitaler Zwillinge der DIN SPEC 91607:2024-11, S. 31 ff. und DIN-Kategorisierung der Anwendungsfälle (siehe „Weiterführende Quellen“). Zur Entwicklung des vorliegenden Komplexitätsstufenmodells siehe Kapitel 3.2 der ergänzenden Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“.

⁸ Siehe hierzu auch unter „Weiterführende Quellen“ das Konzept eines modularen „Baukastensystems“ des CUT-Projekts (Connected Urban Twins).

Komplexitätsstufenmodell Digitaler Zwillinge

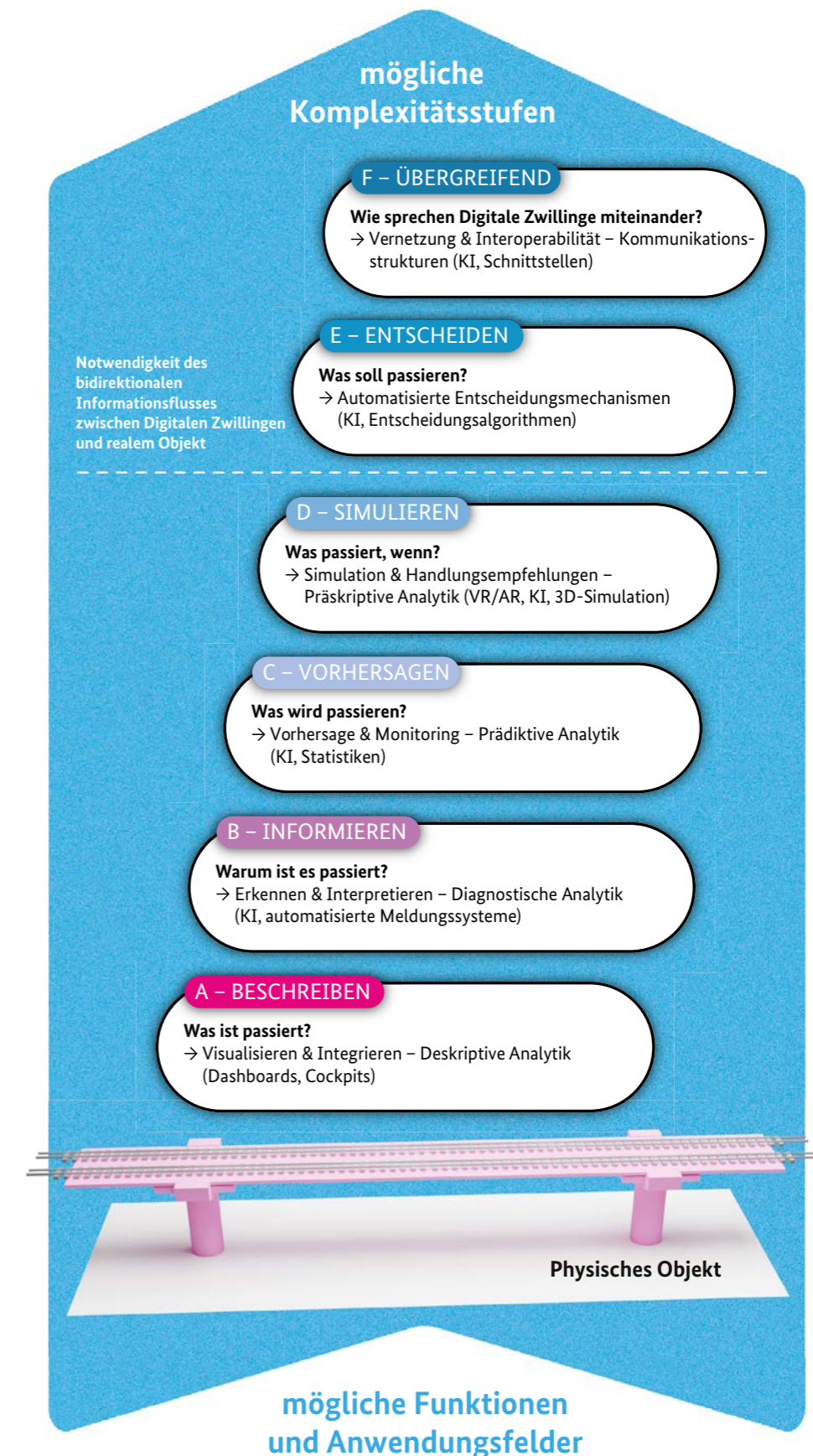


Abb. 3; eigene Darstellung iRights.Lab

Eine grundlegende Kalkulation der benötigten Ressourcen durch die Projektverantwortlichen ist entscheidend, um das Gesamtvorhaben realistisch zu planen. Dabei geht es um die Identifikation der zentralen Anforderungen an das Zwillingsvorhaben und eine erste Abschätzung der zeitlichen, technischen und finanziellen Ressourcen, die für die Zielerreichung notwendig sind. Die detaillierte Ressourcenplanung wird in den späteren Planungsschritten vertieft: etwa diejenige der erforderlichen Personalressourcen und Weiterbildungsmöglichkeiten ([siehe Kapitel 2.1.3](#)) oder die finanzielle Abwägung zur technischen Umsetzung ([siehe Kapitel 2.2.2](#)).

Um die Anforderungen und das Funktionsspektrum eines Vorhabens zu spezifizieren, ist eine frühzeitige Analyse der primären und sekundären Nutzergruppen des Digitalen Zwillings entscheidend. Ihre Bedürfnisse und die spezifischen Anforderungen, die ihre Arbeitskontexte und Aufgabengebiete mit sich bringen, sind zentral für die Entwicklung eines passgenauen Anwendungsfalls. Im Kontext der Stadtentwicklung und -planung werden Digitale Zwillinge beispielsweise zunehmend auch als Kommunikationsplattform zwischen Verwaltung und Bürgerinnen und Bürgern genutzt. So bieten etwa 3D-Modelle Unterstützung, um die Öffentlichkeit zu informieren und sie an den damit verbundenen Vorhaben teilhaben zu lassen.

Weiterführende Quellen

[DIN SPEC 91607 Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen](#) | DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
[Digitale Zwillinge – Potenziale in der Stadtentwicklung](#) | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
[Der Digitale Zwilling für smarte Städte – zwischen Erwartungen und Herausforderungen](#) | Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE)
[Über DIPAS](#) | DIPAS – Digitales Partizipationssystem
[Das Baukastensystem](#) | Connected Urban Twins (CUT)

Mit der Anzahl der definierten zu integrierenden Funktionen eines Digitalen Zwillings steigt auch der potenzielle Aufwand für die Organisation. Um in die Umsetzung zu kommen, erweist es sich als hilfreich, zunächst mit einem überschaubaren Funktionsspektrum beziehungsweise Einsatzszenario des Digitalen Zwillings zu starten und dieses mittel- bis langfristig durch zusätzliche Funktionen und Anwendungsszenarien zu erweitern. Darüber hinaus müssen Projektverantwortliche eine mögliche Einbindung in übergeordnete digitale Ökosysteme (beispielsweise „City-Dashboards“) berücksichtigen, um den Funktionsumfang des Digitalen Zwillings zu spezifizieren und auf eine langfristige Nutzung auszulegen ([siehe Kapitel 2.2.2](#)).

Grundsätzlich ist es sowohl für die Erarbeitung der konkreten Bedarfs- oder Problemdefinition ([siehe Kapitel 2.1.1](#)) als auch für die Anforderungsspezifizierung zentral, dass die Projektverantwortlichen die Nachnutzbarkeit der Erkenntnisse von Anfang an als Ziel mitdenken. Denn einen großen Mehrwert erzeugen derzeitige Umsetzungsvorhaben im Bereich Digitaler Zwillinge vor allem dann, wenn die Projektbeteiligten ihre gewonnenen positiven, aber auch negativen Erfahrungen systematisch dokumentieren und teilen. Das fördert die Entwicklung replizierbarer Ansätze. Gerade in Kommunen können Projektverantwortliche so zur Übertragbarkeit der Erkenntnisse zwischen unterschiedlich großen Städten mit divergierender Ressourcenausstattung beitragen.

Handlungsschritte

- **Funktionsspektrum spezifizieren und den Einsatz von Reifegrad- bzw. Komplexitätsstufenmodellen erwägen:** Nachdem das Konzept des Digitalen Zwillings für den Einsatzbereich erarbeitet wurde, definieren die Projektverantwortlichen das notwendige Funktionsspektrum für den Anwendungsfall. Die Analyse umfasst sowohl grundlegende technische Anforderungen als auch die gewünschten Funktionen. Hierfür können die Projektbeteiligten etablierte Komplexitätsstufenmodelle nutzen, um die erforderlichen wie auch die potenziellen Funktionen des Digitalen Zwillings systematisch zu erfassen und zu strukturieren.
- **Schrittweise Erweiterung planen:** Es hat sich bewährt, Pilotprojekte bzw. Anwendungsfälle zunächst in Umfang und Funktionsspektrum zu begrenzen. Ein überschaubares Anwendungsspektrum für den Digitalen Zwilling, das mittel- bis langfristig durch zusätzliche Module und Funktionen erweitert werden kann, minimiert den Koordinationsaufwand und ermöglicht eine effektive Einbindung von Stakeholdern ([siehe Kapitel 2.2.2](#)).
- **Zielgruppe bestimmen:** Mit einer frühzeitigen Bestimmung der Zielgruppe stellen Projektverantwortliche sicher, dass der Digitale Zwilling auf die Bedürfnisse und das Fachwissen der Nutzergruppe abgestimmt ist. Je nach Anwendungsfall können das unterschiedliche Teams, Fachbereiche oder auch externe Partner sein.
- **Anforderungen konkretisieren:** Die Projektbeteiligten erstellen aus den oben genannten Punkten eine detaillierte Anforderungsanalyse mit gewünschten Funktionen, die als Basis für die Auswahl der konkreten Software- und Hardwarekomponenten ([siehe Kapitel 2.2](#)) dient und damit Grundlage für die weitere Umsetzung bildet. Das verhindert spätere Anpassungsbedarfe.
- **Ressourcenplanung und Priorisierung:** Die Verantwortlichen priorisieren die Anforderungen entsprechend ihrer Bedeutung für den Anwendungsfall und planen die benötigten Ressourcen passgenau, um eine Überlastung des Projekts zu vermeiden und wesentliche Funktionen frühzeitig umzusetzen.

Mögliches Anwendungsszenario

In einer Kommune wird der Bedarf für den Einsatz eines Digitalen Zwillings zur Hochwasserprävention festgestellt. Ziel ist es, eine frühzeitige und präzise Warnung vor Hochwasserereignissen sowie die Simulation verschiedener Szenarien bei anhaltendem Regen zu ermöglichen, um die Infrastruktur zu schützen und die Sicherheit der Bürgerinnen und Bürger zu gewährleisten. Die Zielgruppen umfassen vor allem Einsatzkräfte sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Katastrophenschutzbehörden, kommunaler Planungsbehörden und technischer Dienstleister. Diese Akteure benötigen zuverlässige, leicht verständliche Echtzeitinformationen, um schnelle Entscheidungen treffen zu können. Anhand dieser Bedarfe wird eine Anforderungsanalyse erstellt, die alle grundlegenden technischen und funktionalen Anforderungen zusammenfasst und eine Ressourcenschätzung (vorhandenes Budget und Personal) vornimmt. Basierend darauf wird schließlich, zum Beispiel in einem Lastenheft, spezifiziert, dass der Digitale Zwilling zunächst mindestens eine Echtzeitüberwachung sowie die Simulation von Wasserständen und Abflussmengen ermöglichen und erst langfristig um Vorhersagefunktionen erweitert werden soll (etwa durch die Einbindung von Echtzeit-Wetterdaten und komplexen Prognosemodellen). Dies erlaubt eine schnelle Einsetzbarkeit des Systems und eine vorausschauende Auswahl geeigneter Hardware- und Softwaremodule.

2.1.3 Organisationsstrukturen prüfen und Prozesse aufsetzen

Die Einführung Digitaler Zwillinge erfordert klare und teilweise neue Zuständigkeiten sowie kompatible Arbeits- und Organisationsprozesse, die den spezifischen Anforderungen der Planung und Umsetzung der Technologie gerecht werden. Die Komplexität des Vorhabens erfordert ein effektives Projektmanagement, das auch Anpassungen der Organisationsprozesse und gegebenenfalls der Organisationsstrukturen umfassen kann. Neben der frühzeitigen Kalkulation (zusätzlicher) personeller und finanzieller Ressourcen sollten Projektverantwortliche eine offene Fehlerkultur fördern, um Flexibilität im Projektmanagement und Raum für Innovation und Lernprozesse zu schaffen. Schließlich ist es den Projektverantwortlichen dadurch möglich, eine konkrete Roadmap für das Vorhaben aufzusetzen.

Konkretisierung

Die Umsetzung von Digitalen Zwillingen ist ein anspruchsvolles Digitalisierungsprojekt, für das etablierte Strukturen, Rollenzuteilungen und Entscheidungsbefugnisse umfassend geprüft und gegebenenfalls neu justiert werden müssen. Dabei spielen insbesondere Anpassungen im Datenmanagement und in der zum Teil interdisziplinären sowie abteilungs- und organisationsübergreifenden Zusammenarbeit eine zentrale Rolle (siehe Kapitel 2.2.1). Denn die Einführung Digitaler Zwillinge bringt häufig nicht nur technische Veränderungen mit sich, sondern ist in hohem Maße arbeits- teilig und beeinflusst damit auch grundlegend die Zusammenarbeit zwischen Abteilungen und Fachbereichen. So können beispielsweise erweiterte Datenzugriffsregelungen eine Neuausrichtung bestehender Entscheidungswege notwendig machen. Hierbei ist es für Projektverantwortliche entscheidend, organisatorische Silos zu öffnen und effektive Schnittstellen für einen nahtlosen Datenfluss zu schaffen. Gleichzeitig sind sie dafür verantwortlich, eine tragfähige Data-Governance-Struktur zu etablieren, um den langfristigen Erfolg des Zwillingsvorhabens zu gewährleisten (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.3.1).

Um den Anforderungen des jeweiligen Vorhabens zu entsprechen, müssen Projektleiterinnen und -leiter daher Aufgaben und Verantwortlichkeiten klar definieren, mitunter neue Rollen schaffen oder Kompetenzen

erweitern. So können etwa Expertinnen und Experten beispielsweise aus der Datenwissenschaft oder dem Dateningenieurwesen erforderlich sein, die für die Integration und Aufbereitung von Daten wie auch für die Entwicklung und Pflege von Analyse- oder Simulationsmodellen verantwortlich sind. Ebenso ist es häufig notwendig, eine Stelle zur (fachlichen) Koordination ins Leben zu rufen, um die Vision und Strategie des Zwillingsvorhabens übergreifend zu steuern und die Zusammenarbeit zwischen Fachabteilungen und technischen Einheiten abzustimmen.

Dieser Handlungsschritt umfasst auch die Definition der Gesamtverantwortung, die Zuweisung konkreter Zuständigkeiten in den einzelnen Umsetzungsphasen, die Ermittlung der notwendigen Kompetenzen und die Definition der Einbindung relevanter interner und externer Stakeholder. Dazu zählen beispielsweise Entwicklerinnen und Entwickler, Planerinnen und Planer, Datenbereiterinnen und -bereiter, Datennutzerinnen und -nutzer sowie potenzielle Nutzerinnen und Nutzer der Zwillingsanwendungen, die bereits zuvor identifiziert wurden (siehe Kapitel 2.1.2).

Die Umsetzung Digitaler Zwillinge erfordert zudem häufig erhebliche Investitionen in technische und personelle Ressourcen. Diesen Bedarf sollten die Verantwortlichen frühzeitig kalkulieren und absichern.

Dazu prüfen sie unter anderem verfügbare Fördermöglichkeiten und andere externe Unterstützungsangebote, um finanzielle Entlastung und zusätzliche Expertise einzubringen. In diesem Zusammenhang müssen die Verantwortlichen auch Investitionen in gezielte Weiterbildungen und Schulungen für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter planen, um die bestehenden Kompetenzen durch solche zu erweitern, die für das Vorhaben definiert wurden und die nicht in Form von externer Expertise eingebracht werden können (siehe Kapitel 2.3.1).

Schließlich erfordert die Umsetzung Digitaler Zwillinge mitunter Veränderungen in der Organisationskultur, da Innovationsprozesse mit neuen Lösungsansätzen, den dafür notwendigen Erprobungsphasen und in diesem Zusammenhang auch etwaigen Fehlentscheidungen einhergehen können. Wenn es der Leitungsebene gelingt, eine

Fehlerkultur zu etablieren, in der Fehler transparent kommuniziert und daraus gewonnene Erkenntnisse systematisch in die Prozesse integriert werden, können ähnliche Probleme künftig vermieden, das Engagement von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gefördert und Abläufe entsprechend optimiert werden. Dies reduziert Doppelarbeit und schafft Strukturen für Innovation.

Ein schrittweiser Ansatz mit klar definierten Anwendungsfällen und realistischen Projektplänen ist ebenfalls entscheidend, um die Motivation der Beteiligten zu fördern (siehe Kapitel 2.1.2). Die Leitungsebene ist dafür verantwortlich, den Wandel durch eine kontinuierliche Einbindung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu unterstützen. Dies bildet die Grundlage für langfristige Akzeptanz und stärkt das gesamte Netzwerk der Stakeholder von Beginn an (siehe Kapitel 2.3.2).

Schematische Darstellung eines Wirkungskreislaufs

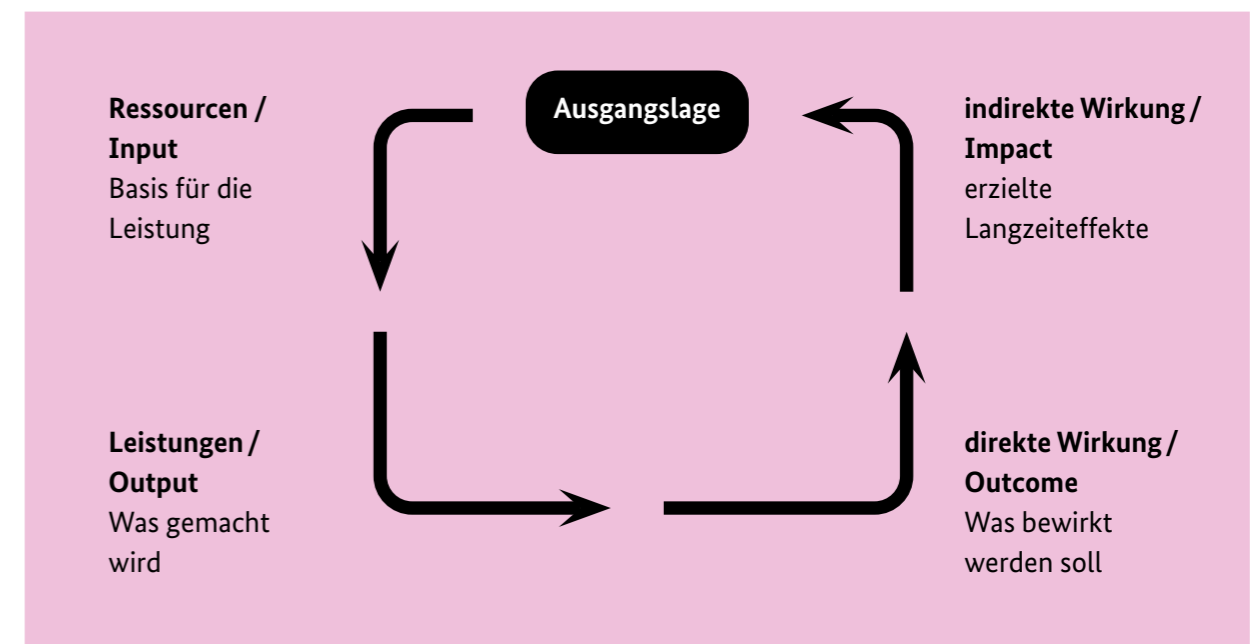


Abb. 4: Wenn Projektverantwortliche Maßnahmen zur Zielerreichung festlegen, können Wirkungsketten helfen. Sie berücksichtigen die vier übergeordneten Komponenten Input, Output, Outcome und Impact des Wirkungskreislaufs. Darauf aufbauend können Indikatoren zur Wirkungsmessung identifiziert werden; Quelle: Emmett Wirkungsleitfaden und Matrix (siehe „Weiterführende Quellen“).

Das Ergebnis dieser Überlegungen, der zuvor formulierten Ziele ([siehe Kapitel 2.1.1](#)) und der bereits durchgeführten Anforderungsanalyse ([siehe Kapitel 2.1.2](#)) ist eine detaillierte Roadmap mit klar definierten Meilensteinen und Zuständigkeiten. Dazu gehört, dass die verantwortliche Stelle die spezifischen Veränderungen, die sie mit dem Vorhaben erreichen möchte, formuliert. Diese Überlegungen tragen zur Entwicklung einer Wirkungslogik bei, die als zentrales Werkzeug die Verbindung zwischen den eingesetzten Mitteln, den konkreten Maßnahmen und den erzielten Wirkungen herstellt. Sie skizziert, wie Ressourcen und Maßnahmen in messbare Ergebnisse umgewandelt werden und welche kurz-, mittel- und langfristigen Veränderungen angestrebt werden. Um sie zu überprüfen, müssen die Beteiligten geeignete Indikatoren bestimmen. Dabei können sie sich an der **SMART**-Regel orientieren. Das heißt, die Indikatoren müssen spezifisch (klar und eindeutig definiert), messbar (qualitativ/quantitativ bewertbar), akzeptiert (von den relevanten Akteuren unterstützt), realistisch (mit den verfügbaren Ressourcen umsetzbar) und termingerecht (an klare Zeitrahmen gebunden) sein.

Weiterführende Quellen

[Wissenschaftliche Begleituntersuchung zu digitalen Zwillingen von Kommunen im Bundesgebiet](#) | Stadt Regensburg
[Digitale Zwillinge. Potenziale in der Stadtentwicklung](#) | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
[Handlungsfeld Rollen](#) | Connected Urban Twins (CUT)
[Der Digitale Zwilling für smarte Städte – zwischen Erwartungen und Herausforderungen](#) | Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE)
[DIN SPEC 91607 Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen](#) | DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
[Emmett Wirkungsleitfaden und Matrix](#) | iRights.Lab
[Wirkungsanalysen von Smart-City-Projekten](#) | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

Die entstandene Roadmap wird den Projektbeteiligten und relevanten Stakeholdern gegenüber transparent gemacht, durch die weiteren Planungsschritte präzisiert und anhand der definierten Indikatoren regelmäßig überprüft. So kann sie bei Bedarf angepasst werden. Die Roadmap bildet zudem die verantwortlichen und fachlich zuständigen Personen und Organisationen für die einzelnen Meilensteine und Maßnahmen ab. Damit gibt sie allen Beteiligten gleichermaßen einen Überblick. Insbesondere in diesem Planungsschritt sind ein enger Austausch und eine Vernetzung mit anderen Praxisakteuren erfolgswördernd. Denn so kann der Wissenstransfer zwischen laufenden Projekten und Anwendungsfällen systematisiert und verstärkt und Synergien aus den Projekterkenntnissen genutzt werden, um wechselseitige Lerneffekte zu fördern. Dies ist die Grundlage, um die Umsetzung Digitaler Zwillinge perspektivisch und schrittweise aus der Pilotierungsphase in eine flächendeckende Anwendung zu bringen.

Handlungsschritte

- **Organisationsstrukturen und -prozesse prüfen:** Die Verantwortlichen überprüfen bestehende Zuständigkeiten und Kommunikationswege und passen sie bei Bedarf in engem Austausch mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie anderen Beteiligten an.
- **Alle Beteiligten frühzeitig einbeziehen:** Relevante Akteure wie Belegschaft, Fachbereiche, Nutzergruppen und Dienstleister werden frühzeitig in den Konzeptions- und Entwicklungsprozess des Zwillings eingebunden, beispielsweise durch regelmäßige Workshops, über Kommunikationsplattformen oder weitere Maßnahmen, die das Vorhaben verständlich vermitteln ([siehe 2.3.2](#)).
- **Kompetenzen aufbauen:** Die Einführung regelmäßiger Schulungs- und Weiterbildungsprogramme ermöglicht es der Belegschaft, die nötigen Fähigkeiten für die Arbeit mit dem Digitalen Zwilling aufzubauen und langfristig zu sichern.
- **Ausreichend Ressourcen sicherstellen:** Die Projektbeteiligten stellen sicher, dass ausreichend personelle und finanzielle Ressourcen bereitgestellt werden, um eine nachhaltige und effektive Umsetzung des Projekts zu gewährleisten ([siehe Kapitel 2.1.2](#)). Dazu prüfen sie umfassend verfügbare Fördermöglichkeiten und externe Unterstützungsangebote.
- **Offene Fehlerkultur fördern:** Die Führungsebene fördert eine dialogbereite Kultur, in der Fehler transparent kommuniziert werden, um daraus Erkenntnisse zu ziehen, die die betreffenden Arbeitsprozesse verbessern. Ein Konzept zur frühzeitigen Einbindung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und anderer Beteiligter stärkt die Akzeptanz und das Netzwerk.
- **Roadmap für die schrittweise Implementierung erstellen:** Die Verantwortlichen entwickeln eine detaillierte Roadmap mit klar definierten Meilensteinen und Zuständigkeiten. Die Roadmap wird transparent dokumentiert, regelmäßig überprüft und bei Bedarf angepasst, um den Umsetzungsprozess kontinuierlich zu optimieren.

Mögliches Anwendungsszenario

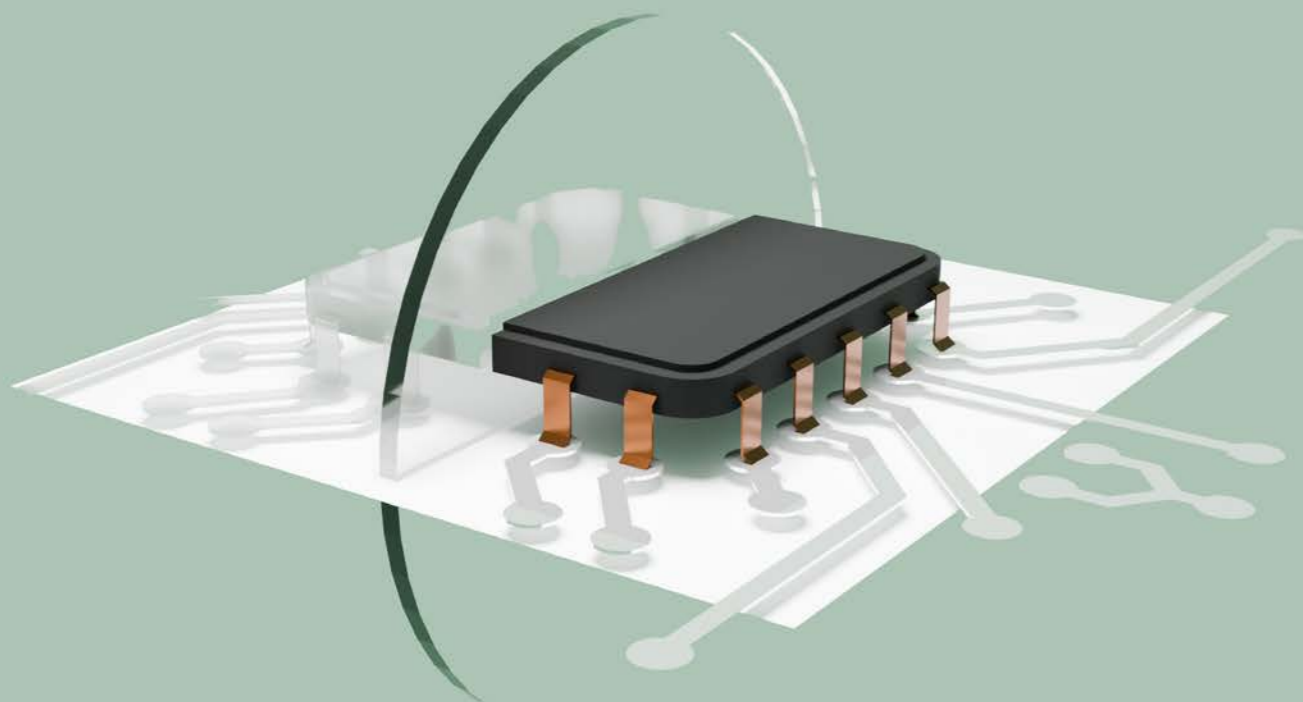
In einer Kleinstadt soll ein Digitaler Zwilling zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen entwickelt werden. Er unterstützt bei der Identifikation und Überwachung von Hitzeinseln sowie bei der Pflege von Grünflächen und Baumbeständen. Ziel ist es, klimatische Herausforderungen zu bewältigen und die Lebensqualität zu verbessern.

Da es sich hierbei um einen fachbereichsübergreifenden Anwendungsfall handelt, bedarf es neuer Formen der internen Zusammenarbeit und der externen Vernetzung. Hierfür prüfen die Verantwortlichen zunächst die bestehenden Organisationsstrukturen und passen Entscheidungs- und Arbeitsprozesse an, um eine effektive Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Abteilungen und Stakeholdern (u.a. Stadtplanung, städtisches Umweltamt, IT-Abteilung sowie Bau- und Liegenschaftsverwaltung) zu ermöglichen. Neue Rollen wie eine zentrale Koordinierungsstelle werden definiert, um die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu erleichtern, interne und externe Expertise gezielt einzubinden und Erwartungsmanagement zu betreiben. Schulungsmaßnahmen bauen die nötigen Kompetenzen bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auf, während Fördermöglichkeiten geprüft werden, um finanzielle und technische Ressourcen zu sichern. Eine Roadmap mit klaren Meilensteinen und Zuständigkeiten legt fest, wie der Digitale Zwilling zunächst Echtzeitdaten zur Überwachung von Hitzeinseln und zur Simulation von Bewässerungsbedarfen liefert. Perspektivisch sollen automatisierte Pflegepläne integriert werden. Die Fortschritte werden anhand von Indikatoren überwacht, die der SMART-Regel folgen. Die Roadmap wird regelmäßig überprüft und angepasst.

2.2

Daten und Technik:

Infrastrukturen auf- und ausbauen



Beim Planen und Umsetzen Digitaler Zwillinge ist es für die Verantwortlichen und Beteiligten eines Vorhabens zentral, sich frühzeitig und umfassend mit der technischen Infrastruktur und dem Datenmanagement zu befassen. Darunter fallen die Schaffung und Verwaltung einer Vielzahl von Datenquellen, die Verarbeitung und Speicherung der Daten und die Vielfalt technischer, am Markt verfügbarer Lösungen. Im Planungsprozess definieren die Beteiligten die technischen Grundlagen, prüfen die Umsetzbarkeit im Rahmen des Projekts und beziehen dabei potenzielle Weiterentwicklungen des Zwillingsvorhabens ein.

2.2.1 Datenmanagement organisieren

Die Grundlage, um Erkenntnisse mithilfe eines Digitalen Zwillings zu gewinnen, ist eine qualitativ hochwertige und auf den Einsatzzweck abgestimmte Datenbasis. Ausgehend vom konkreten Anwendungsfall besteht das Ziel des Datenmanagements darin, Datenquellen systematisch daraufhin zu prüfen, ob sie den Anforderungen und Funktionen des geplanten Zwillings entsprechen. Hierfür bedarf es einer Dateninventur, das heißt einer Qualitätsprüfung existierender und neuer Datenquellen, und der Etablierung oder auch Aktualisierung von Data-Governance-Strukturen, die festschreiben, wo und für wen Daten bereitgestellt werden und wer für die Qualitätsprüfung und Bereitstellung zuständig ist (siehe Kapitel 2.3.1). Parallel dazu muss die technische Infrastruktur den zentralisierten Zugriff auf die Datenquellen wie auch eine Ausfall- und Zugriffssicherheit unterstützen.

Konkretisierung

Am Beginn der Umsetzung eines Digitalen Zwillings und dessen möglicher Weiterentwicklung steht eine Dateninventur, um zu ermitteln, mit welchen Datengrundlagen das Projekt arbeiten kann und ob die gewünschten Zielsetzungen (siehe Kapitel 2.1.1) mit den existierenden finanziellen und personellen Projektressourcen (siehe Kapitel 2.1.3) erreichbar sind. Hierbei evaluieren die zuständigen Projektmitarbeiterinnen und -mitarbeiter zunächst, welche Daten bereits in welchem qualitativen Zustand in der Organisation beziehungsweise in der umsetzenden Abteilung existieren. Dabei beziehen sie sowohl analoge (z.B. Verwaltungsakten, Zeichnungen, Baupläne etc.) als auch digitale Datenquellen (z.B. BIM-Modelle, Live-Sensor-Daten etc.) ein. Sie prüfen ebenfalls die Möglichkeit, Nutzungsrechte für Daten anderer Stellen geltend zu machen (siehe Kapitel 2.3.1). Hieraus ergeben sich Erkenntnisse über den vorhandenen Datenbestand.

Im Anschluss an die Dateninventur prüfen die Projektverantwortlichen die Qualität der Daten hinsichtlich der Nutzbarkeit in den definierten Anwendungsfällen (auch "Fitness for Use" genannt). Die notwendigen Qualitätskriterien ergeben sich aus den Anwendungsfällen und sind dabei relativ zur Zielstellung zu sehen: Für manche Anwendungsfälle wird die bestehende Datengrundlage ausreichen, während andere Anpassungen oder Erweiterungen des

Datenbestandes erforderlich machen. Beim Kriterium der Aktualität muss etwa klar sein, ob es minutengenaue Informationen bedarf (etwa für die Auslastung einer Straße) oder ob eine monatliche (z.B. Daten zum durchschnittlichen Verkehrsaufkommen) oder gar jährliche Aktualisierung (z.B. Daten zu statistischen Bevölkerungskarten oder Grünflächenkatastern einer Kommune) ausreicht. Anhand der Ergebnisse der Qualitätsprüfung erkennen die Beteiligten, welche Datenquellen genutzt werden können, welche angepasst und welche potenziell neu geschaffen oder extern beschafft werden müssen. Tabelle 1 stellt zentrale Merkmale zur Datenqualität dar.



Übersicht über Merkmale der Datenqualität

Inhaltliche Qualitätsmerkmale	
Glaubwürdigkeit der Quellen	Die Daten stammen aus vertrauenswürdigen Quellen mit klar identifizierbaren, verantwortlichen Betreibern und werden kontinuierlich aktualisiert, um eine hohe Qualität zu gewährleisten.
Glaubwürdigkeit der Daten	Ursprung, Originalität und Erhebungsverfahren und ggf. Berechnungsmodelle der Daten sind nachvollziehbar und überprüfbar.
Objektivität	Die Datengenerierung erlaubt belastbare, wertungsfreie, unverzerrte und möglichst diskriminierungsarme Aussagen über Sachverhalte.
Korrektheit	Die Daten stimmen mit der Realität überein und gewährleisten verlässliche Ergebnisse. Potenzielle Fehlerquellen werden kontinuierlich identifiziert und mögliche Fehleranfälligkeiten frühzeitig antizipiert.
Merkmale der Nutzbarkeit für den Verwendungszweck	
Relevanz	Der Informationsgehalt von Datensätzen erfüllt den jeweiligen Informationsbedarf und besitzt einen belastbaren Aussagegehalt.
Aktualität	Die Datensätze sind so aktuell, wie es der Verwendungszweck erfordert.
Umfang	Der Umfang der Daten gewährleistet die angestrebte Genauigkeit für den gegebenen Verwendungszweck und ermöglicht aussagekräftige Ergebnisse.
Granularität	Die Daten sind so detailliert und differenziert, wie es der Verwendungszweck erfordert.
Vollständigkeit	Alle notwendigen Datenfelder sind in den Datensätzen vollständig vorhanden.
Konsistenz	Die Daten sind untereinander und im Zeitablauf konsistent, vergleichbar und widerspruchsfrei. Es ist möglich, Datensätze aus unterschiedlichen Quellen miteinander zu kombinieren und gemeinsam zu verwenden.
Zugänglichkeit	Ein offener, dauerhaft gewährleisteter Zugang zu Datensätzen und deren Metainformationen ermöglicht es, Daten jederzeit einfach abzurufen und zu bearbeiten.
Merkmale des Datenqualitätsmanagements	
Datenformate	Daten stehen in einem einheitlichen, strukturierten und maschinenlesbaren Format zur Verfügung.
Bearbeitbarkeit	Die Dokumentation und eine klare Syntax der Daten gewährleisten jederzeit deren einfache Auffindbarkeit, problemlose Änderung, effiziente Bereinigung und zuverlässige Wiederherstellung.
Bereinigung	Es existiert ein Prozess zur Aufrechterhaltung der Richtigkeit der Daten (Aktualisierung, Löschung von Dubletten, Plausibilitätsprüfung).
Überwachung der Qualität	Die regelmäßige Prüfung und Messung des Status quo der Datenqualität gewährleistet eine systematische Sicherung der Datenqualität in einem Datenverarbeitungssystem.

Tabelle 1; eigene Darstellung iRights.Lab in Anlehnung an „Self-Data-Governance-Frameworks“, Themenbereich Datenqualität, der mFUND-Begleitforschung (siehe „Weiterführende Quellen“)

Sobald eine ausreichende Datengrundlage hergestellt ist, gilt es, diese sicher und effizient zu verwalten und zu verarbeiten. Auf organisatorischer Ebene bedeutet dies, dass die Verantwortlichen eine Data-Governance-Struktur aufbauen, die für jede Datenquelle Zugriffs- und Änderungsberechtigungen wie auch Verantwortlichkeiten regelt (siehe Kapitel 2.3.1). Auf technischer Ebene umfasst das die Etablierung eines Datenmanagementsystems, das konsistente Datenstrukturen schafft und ein Datenzugriffsmanagement, eine Qualitätskontrolle und Dateninteroperabilität ermöglicht. Hierfür ist die ausführliche, vollständige Beschreibung der Daten durch Metadaten in einem sogenannten Metadatenkatalog erforderlich.

Die so aufgebaute Data-Governance-Struktur erlaubt es den Verantwortlichen, nicht nur die notwendigen Datenquellen für das Zwillingsvorhaben entsprechend zu verwalten und zu verarbeiten, sondern diese Struktur auch für alle Datenquellen der Organisation umzusetzen.⁹ Die technische Infrastruktur für das Datenmanagement muss dabei so aufgesetzt werden, dass sie eine angemessene Ausfallsicherheit und Schutz vor unbefugten Zugriffen bietet. Diese Ausgestaltung ist abhängig von den Anforderungen, der Kritikalität und der Sensibilität der genutzten Daten im Zwillingsprojekt. Auch das gilt es im Rahmen des Aufbaus der Data-Governance-Struktur zu berücksichtigen.

Handlungsschritte

- **Dateninventur – Datenquellen identifizieren und kategorisieren:** Die Verantwortlichen listen die Datenquellen in der Organisation auf und kategorisieren sie nach relevanten Kriterien wie analog/digital, Zeitraum, Verfügbarkeit etc.
- **Datenqualitätsmanagement implementieren:** Die zuständigen Projektmitarbeiterinnen und -mitarbeiter implementieren ein effektives Datenqualitätsmanagement und überwachen es kontinuierlich, indem sie Qualitätskriterien basierend auf den Anforderungen der Zwillingsanwendungen definieren, bestehende Datenquellen auf ihre Eignung prüfen und Abweichungen durch Anpassung der Zielstellung des Zwillings oder Neubeschaffung beheben. Der Prozess wird iterativ fortgeführt.
- **Data-Governance-Struktur aufbauen:** Für alle Datenquellen wird eine Data-Governance-Struktur aufgebaut, die beschreibt, wer für die Verwaltung und Pflege verantwortlich ist, wer auf die Datenquellen zugreifen kann und wie mit den Daten umzugehen ist, um die Qualität und den Schutz der Daten aufrechtzuerhalten (siehe Kapitel 2.3).
- **Technische Umsetzung der Datenverwaltung:** Datenquellen werden über einen zentralen Zugriffspunkt (Datenmanagementsystem) organisiert: entweder über eine zentrale Speicherung oder über ein zentrales Register mit allen notwendigen Informationen zum Zugriff (Metadatenkatalog).
- **Technische Absicherung der Daten:** Die Verantwortlichen stellen die Ausfallsicherheit und den Schutz vor unbefugtem Zugriff sicher, indem sie die notwendigen Maßnahmen basierend auf der Kritikalität und Sensibilität der genutzten Daten und der Zwillingsanwendung ableiten (siehe Kapitel 2.3.1).

⁹ Für eine umfassendere Darstellung der Anforderung an und Etablierung von einer tragfähigen Dateninfrastruktur siehe Kapitel 5.4 der ergänzenden Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb: Chancen, Anwendungsbereiche, Umsetzungsoptionen“.

Mögliches Anwendungsszenario

Ein Projektteam plant den Aufbau eines Digitalen Zwillings zur Überwachung und Wartung städtischer Versorgungsnetze (z. B. Wasser, Strom, Gas). Ziel dieses Digitalen Zwillings ist es, den Zustand und die Auslastung der Versorgungsinfrastruktur in Echtzeit abzubilden, Wartungsbedarf frühzeitig zu erkennen und Ausfälle zu verhindern.

Zu Beginn wird eine umfassende Dateninventur in allen beteiligten Organisationen durchgeführt. Das Team prüft, welche Datenquellen bereits bestehen (z. B. digitale Baupläne, die Daten, die durch Sensoren in den Leitungen erhoben werden, Inspektionsberichte in analoger Form) und welche für den Digitalen Zwilling geeignet sind. Dabei erfasst das Projektteam auch, in welchem Zustand diese Daten vorliegen und in welcher Form sie in den Digitalen Zwilling integriert werden können.

Basierend auf den Anforderungen des Anwendungsfalls legen die Beteiligten Qualitätskriterien für die Daten fest. Beispielsweise wird für den Wasserverbrauch oder die Auslastung der Leitungen minutengenaue Aktualität benötigt, während für Geodaten (z. B. Lagepläne der Leitungen) eine monatliche Aktualisierung ausreicht. Anhand dieser Kriterien werden vorhandene Datenquellen auf ihre „Fitness for Use“ wie beispielsweise die Einheitlichkeit des Datenformats geprüft und potenzielle Lücken in der Datenqualität markiert. In ausgewählten Fällen plant das Projektteam Maßnahmen zur Verbesserung der Datenqualität, etwa die Aktualisierung veralteter Pläne oder die Implementierung neuer Sensoren, um die Korrektheit der Daten zu verbessern. Für jede Datenquelle wird festgelegt, wer die Verantwortung für Pflege, Verwaltung und Zugriff trägt. Die Beteiligten erstellen einen zentralen Metadatenkatalog, der den Inhalt einer Datenquelle und die Zugriffsmöglichkeiten dokumentiert. Die Verantwortlichen definieren basierend auf dem Katalog die Schnittstellen des Digitalen Zwillings zu den Datenquellen.

Weiterführende Quellen

[Handout zur Dateninventur für Kommunen](#) | Open Data Informationsstelle Berlin

[Wegweiser zur Data Governance](#) | Connected Urban Twins (CUT)

[Qualitätshandbuch der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder](#) | Statistisches Bundesamt

[Leitfaden für qualitativ hochwertige Daten und Metadaten](#) | Fraunhofer-Institut für offene Kommunikationssysteme (FOKUS)

[Leitfaden – Urbaner Digitaler Zwilling nach der Methodik der SDDI](#) | Bayerisches Staatsministerium für Digitales

[Baseline Assessment Urban Data Platform](#) | Freie und Hansestadt Hamburg

[Sammlung von Dokumenten zu Open Data und Datenmanagement](#) | Open Knowledge Foundation

[Self-Data-Governance-Framework](#) | mFUND-Begleitforschung: Data Governance im Innovationsprozess



2.2.2 Technischen Infrastrukturaufbau langfristig denken

Ein Digitaler Zwilling ist ein modulares System, bei dem jede Komponente zur Gesamtlösung beiträgt. Daher existieren Digitale Zwillinge in der Regel nicht als technische Komplettlösung aus einer Hand, sondern als integrierte Lösung aus verknüpfbaren Komponenten oder Teillösungen verschiedener Hersteller und Anbieter. Bei der Auswahl dieser Komponenten müssen einige Faktoren berücksichtigt werden, um einen nachhaltigen Betrieb der Digitalen Zwillinge zu gewährleisten. Hierzu zählen die Datenkompatibilität, die Ausgereiftheit der technischen Bestandteile, die Möglichkeit einer zukünftigen Erweiterung des Systems durch die Auswahl bestimmter technischer Lösungen (Pfadabhängigkeiten) und die langfristigen Betriebskosten.

Konkretisierung

Um mit einem Digitalen Zwilling eine Echtzeitabbildung zu verwirklichen, ist keine spezifische technische Lösung vorgegeben. Vielmehr wählen Anwenderinnen und Anwender technische Komponenten so aus, dass sie die Zielstellung ihres Anwendungsfalls ([siehe Kapitel 2.1.1](#)) und das definierte Funktionsspektrum effizient umsetzen ([siehe Kapitel 2.1.2](#)). Die Komponenten umfassen dabei verschiedene Hardware- und Softwarelösungen wie Kommunikationsschnittstellen und BIM-, Geodaten- oder andere Simulationsmodelle. Hierauf aufbauend sind verschiedene Dienste wie Simulationen, Visualisierungen und Empfehlungen möglich. Trägt beispielsweise eine einfache Abbildung eines Objekts zur Erreichung der formulierten Ziele des Vorhabens bei, kann die entsprechende Zwillingsanwendung lokal auf einem Computer laufen. Streben die Verantwortlichen im Rahmen eines Vorhabens eine hochkomplexe Simulation eines größeren Objekts (etwa ein Überschwemmungsszenario in einer Stadt) an, müssen sie auf eine Cloud-Infrastruktur zurückgreifen. Dementsprechend haben die Projektverantwortlichen eines Umsetzungsvorhabens die Aufgabe, verschiedene Komponenten und Teillösungen gegeneinander abzuwägen, und auch die Möglichkeit, gänzlich neue Ansätze auszuprobieren.

Wenn das Projektteam bei der Planung einen langfristigen, nachhaltigen Betrieb des Digitalen Zwillings berücksichtigen will, steht es verschiedenen Herausforderungen gegenüber. So gibt es viele Komponenten, über deren Langzeitbetrieb noch wenig Informationen vorliegen: Teillösungen, die zum Beispiel umfassend auf Modellen Künstlicher Intelligenz (KI) aufbauen, zeigen in einigen Anwendungskontexten noch Ausfallerscheinungen, die beispielsweise bei der Verkehrssteuerung oder der Erkennung von Anomalien ungewollte Konsequenzen haben können¹⁰. Auch bereits in anderen Zwillingsanwendungen ausreichend getestete Lösungen könnten im eigenen Vorhaben zu Reibungspunkten im Betrieb führen, wenn sie nicht ausreichend kompatibel mit anderen Komponenten oder nicht für die Art von Belastung und Umgebung (z. B. im Fall von Sensoren) ausgelegt sind. Bei einer langfristigen Planung wägen Verantwortliche diese Risiken ab und planen gegebenenfalls notwendige Ressourcen zur Intervention bei Fehlern oder Ausfällen von Komponenten ein (siehe hierzu auch die Betriebskosten weiter unten im Kapitel).

¹⁰ Ein Beispiel ist hier etwa eine KI-Ampel, die im April 2024 laut Medienberichterstattung zu ungewolltem Stau geführt hat. Vgl. hierzu: <https://www.derstandard.de/story/3000000217583/ki-ampel-loest-staus-aus-und-sorgt-fuer-polizeieinsaetze>.

Bei jeder Anschaffung müssen Projektverantwortliche und umsetzende Stellen ebenfalls berücksichtigen, inwiefern ein Digitaler Zwilling unabhängig von der Einzelkomponente erweitert werden und somit sogenannte *Pfadabhängigkeiten* verhindert werden können. Ziel der technischen Auswahl sollte es sein, eine größtmögliche Kompatibilität zwischen den Komponenten sicherzustellen und gleichzeitig die Erweiterbarkeit des Systems zu gewährleisten (siehe Kapitel 2.1.2). Dies hängt maßgeblich von den gewählten Standards ab. Geschlossene, proprietäre Standards sind entweder nur für einen Hersteller zugänglich oder müssen von anderen Herstellern gegen Gebühr und Überprüfung durch den Entwickler lizenziert werden, um sie auf ihre eigenen Komponenten anzuwenden.¹¹ Offene, herstellerneutrale Standards können hingegen von allen Herstellern genutzt werden und bieten dadurch mehr Möglichkeiten der Erweiterung. Allerdings wird bei offenen Standards nicht immer garantiert, dass sie von allen Herstellern korrekt umgesetzt und aktuell gehalten werden, was wiederum zu Kompatibilitätsproblemen führen kann. Dies kann die Flexibilität bei der Auswahl einschränken und unerwünschte Abhängigkeiten schaffen.

Während bei geschlossenen Standards in der Regel die Weiterentwicklung durch die finanzielle Grundlage gesichert ist, hängt sie bei offenen Standards oft von freiwilligen Beiträgen ab oder von eigenen Investitionen in die direkte Programmierarbeit. Beide Formen der Standards können zudem veralten, weshalb die Projektbeteiligten zusätzliche Maßnahmen ergreifen müssen, um die Rückwärtskompatibilität und damit den langfristigen Betrieb zu gewährleisten. Bei der Wahl zwischen offenen und geschlossenen

Standards sollten die für die technische Planung Verantwortlichen zunächst für das Gesamtsystem abwägen, welcher Ansatz strategisch sinnvoll ist. Für kritische Komponenten, die besonders zentral für die Funktion und Erweiterbarkeit des Systems sind, kann jedoch eine separate, detaillierte Bewertung notwendig sein.¹²

Aus diesen Faktoren ergeben sich für die Projektbeteiligten schließlich auch unterschiedliche Abwägungen zu den Betriebskosten: Komponenten, bei denen die Verlässlichkeit bisher nicht ausreichend getestet wurde, können kürzere Wartungszyklen oder auch ihren kompletten Austausch bedingen. Bei der Nutzung proprietärer Standards ist es möglich, dass eine Erweiterung durch eine eingeschränkte Auswahl von Komponenten die Anschaffungskosten erhöht, jedoch die Wartungskosten senkt. Denn in der Regel – aber nicht immer – erlauben geschlossene Standards durch einen kontrollierten und zertifizierten Herstellerkreis eine reibungslose Zusammenarbeit. Schließlich gibt es auch die Möglichkeit, Eigenentwicklungen voranzutreiben, die an die Projektanforderungen angepasst werden und somit langfristig effizienter laufen können, jedoch kurzfristig deutlich höhere Kosten erzeugen. Daher müssen die Verantwortlichen bei ihren Abwägungen auch die eigene Experimentierfreudigkeit beziehungsweise die der beteiligten Stakeholder und Organisationen, die vorhandenen Projektressourcen und das tatsächliche Angebot an Komponenten für den konkreten Anwendungsfall berücksichtigen (siehe Kapitel 2.1.3).

11 Ein Beispiel für einen geschlossenen Standard ist das GRID-Format von Esri, ein spezielles Datenformat zur Analyse geografischer Informationen, das nur in der dazugehörigen Software vollständig genutzt werden kann (siehe „Weiterführende Quellen“).

12 Im Rahmen des BMDV-Online-Fachforums „Standards und Richtlinien von Digitalen Zwillingen“ am 10. Dezember 2024 wurde darauf hingewiesen, dass die „Normungsroadmap BIM“ des DIN e.V. praxisorientierte Handlungsempfehlungen bereitstellt, die die Entwicklung und Anwendung von Standards im Bereich der Digitalen Zwillinge erleichtern können. Vgl. hierzu: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/bim/normungsroadmap-bim>.

Aufbau einer technischen Infrastruktur für ein geplantes Vorhaben

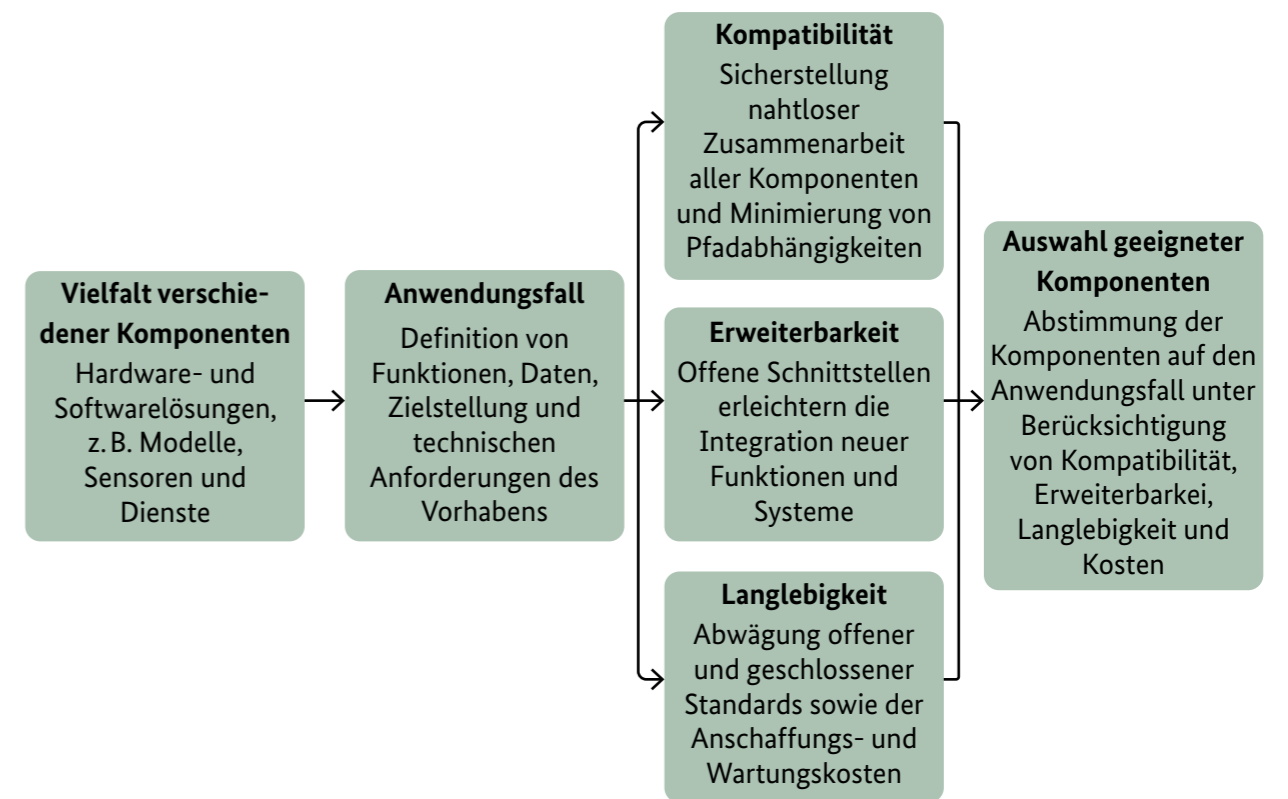


Abb. 5; eigene Darstellung iRights.Lab

Ein praktisch anwendbares Rahmenwerk, das den Projektverantwortlichen als Orientierung für den Aufbau eines skalierbaren, systematischen Datenmanagements (siehe Kapitel 2.2.1) und einer auf offenen Standards basierenden technischen Infrastruktur dienen kann, ist die Smart-District-Data-Infrastructure (SDDI)¹³. Im Kern bietet die SDDI mit ihrem zentralen Katalog eine strukturierte Übersicht über verfügbare Datenquellen, Anwendungen und Dienste sowie deren Nutzungsmöglichkeiten, ohne diese zentral zu speichern. Dadurch bleibt die Datenhoheit bei den Eigentümern und die Interoperabilität zwischen verschiedenen Anwendungen wird gefördert. Zudem integriert die SDDI IoT- und Sensordaten für Echtzeitanalysen sowie urbane Analysewerkzeuge für Simulationen und Prognosen. Ergänzt wird dies durch das

Virtuelle Distriktmodell (VDM), das physische Objekte und deren Merkmale digital abbildet und so eine räumliche Verknüpfung und Analyse ermöglicht. Die Nutzung der SDDI kann den Projektverantwortlichen so eine Hilfestellung bieten, um digitale Ressourcen wie Sensoren und Software anwendungsspezifisch zu verknüpfen und die Datenintegration wie auch die Erweiterbarkeit technischer Lösungen durch standardisierte, offene Schnittstellen zu fördern. Der SDDI-Katalog vereinfacht durch transparente Dokumentation und offene Standards die Nachnutzung von Lösungsansätzen und dient als Blaupause sowohl für den systematischen Wissenstransfer zwischen Anwenderinnen und Anwendern wie Kommunen als auch für eine bedarfsgerechte Ressourcennutzung, besonders für kleine Kommunen.

13 Die SDDI basiert auf dem Leitfaden „Geobasierter Digitaler Zwilling nach der SDDI-Methode Version 1.0 (2020)“ und wird durch Erkenntnisse aus dem Projekt TwinBy – Digitale Zwillinge für Bayern ergänzt, siehe „Weiterführende Quellen“.

Handlungsschritte

- **Technische Komponenten auswählen:** Die Verantwortlichen wählen die technischen Komponenten des Digitalen Zwillinges entsprechend den formulierten Zielen des Anwendungsfalls ([siehe Kapitel 2.1.1](#)) und seinem festgelegten Funktionsspektrum ([siehe Kapitel 2.1.2](#)) aus.
- **Langlebigkeit der Komponenten ermitteln:** Die Beteiligten erarbeiten eine realistische Einschätzung der Haltbarkeit und des Wartungsbedarfs der Komponenten.
- **Kompatibilität sicherstellen:** Die Projektmitarbeiterinnen und -mitarbeiter wählen die Komponenten so aus, dass sie problemlos zusammenarbeiten und, wenn möglich, keine zusätzlichen Anpassungen oder weitere Verbindungssoftware erforderlich sind.
- **Erweiterbarkeit ermöglichen:** Die Beteiligten bevorzugen offene, herstellerneutrale Standards, um langfristig mehr Flexibilität zu gewährleisten und die Integration neuer Komponenten zu erleichtern.
- **Langfristige Kosten einbeziehen:** Die Verantwortlichen berücksichtigen die Kosten für Wartung und Aufwand für Anpassungen und Erweiterungen bereits bei der Anschaffung.
- **Abwägung der Faktoren:** Die Beteiligten wägen die zuvor genannten Faktoren gegeneinander ab, um für ihren Fall die beste Lösung zu finden.

Mögliches Anwendungsszenario

In einer Großstadt wird ein Digitaler Zwilling zur Verkehrsüberwachung aufgebaut. Die Verantwortlichen definieren unter anderem folgende technische Komponenten: Kameras und Sensoren zur Erfassung von Verkehrsdaten, eine zentrale Datenverarbeitungs- und Analysesoftware sowie ein Dashboard für die Visualisierung der Verkehrsflüsse. Die Stadt entscheidet sich, herstellerneutrale Schnittstellen zu priorisieren, die verschiedene Sensormodelle unterschiedlicher Anbieter unterstützen, um Erweiterungen und Anpassungen in Zukunft möglichst flexibel zu gestalten. Sie greifen auf die SDDI zurück. So erhalten sie Zugang zu Einträgen eines vergleichbaren Vorhabens einer anderen Kommune und können ihr eigenes Vorhaben dadurch beschleunigen. Da die Instandhaltung und Wartung der Komponenten zentrale Kostenpunkte sind, achten die Verantwortlichen darauf, dass die eingesetzten Sensoren bereits in anderen Städten über mehrere Jahre erfolgreich und ohne hohe Austauschquote eingesetzt wurden. Sie integrieren die regelmäßige Wartung fest in die Projektplanung, um Ausfälle zu minimieren und eine nachhaltige Betriebsstruktur zu gewährleisten. Der modulare Aufbau, das heißt eine Verbindung einzelner Systemkomponenten, ermöglicht es, die Komponenten weitgehend unabhängig voneinander auszutauschen und zu erweitern. So können etwa weitere Verkehrsdatenquellen wie Wetterinformationen oder Ereignismeldungen leichter eingebunden werden. Die Entscheidung für herstellerneutrale Standards hilft sicherzustellen, dass zukünftige Erweiterungen, etwa mit fest eingebauten Sensoren im Straßenbelag, einfach und kosteneffizient durchgeführt werden können.

Weiterführende Quellen

[Themen-Seite zu offenen Standards](#) | Free Software Foundation Europe

[Esri-Grid-Format](#) | Esri

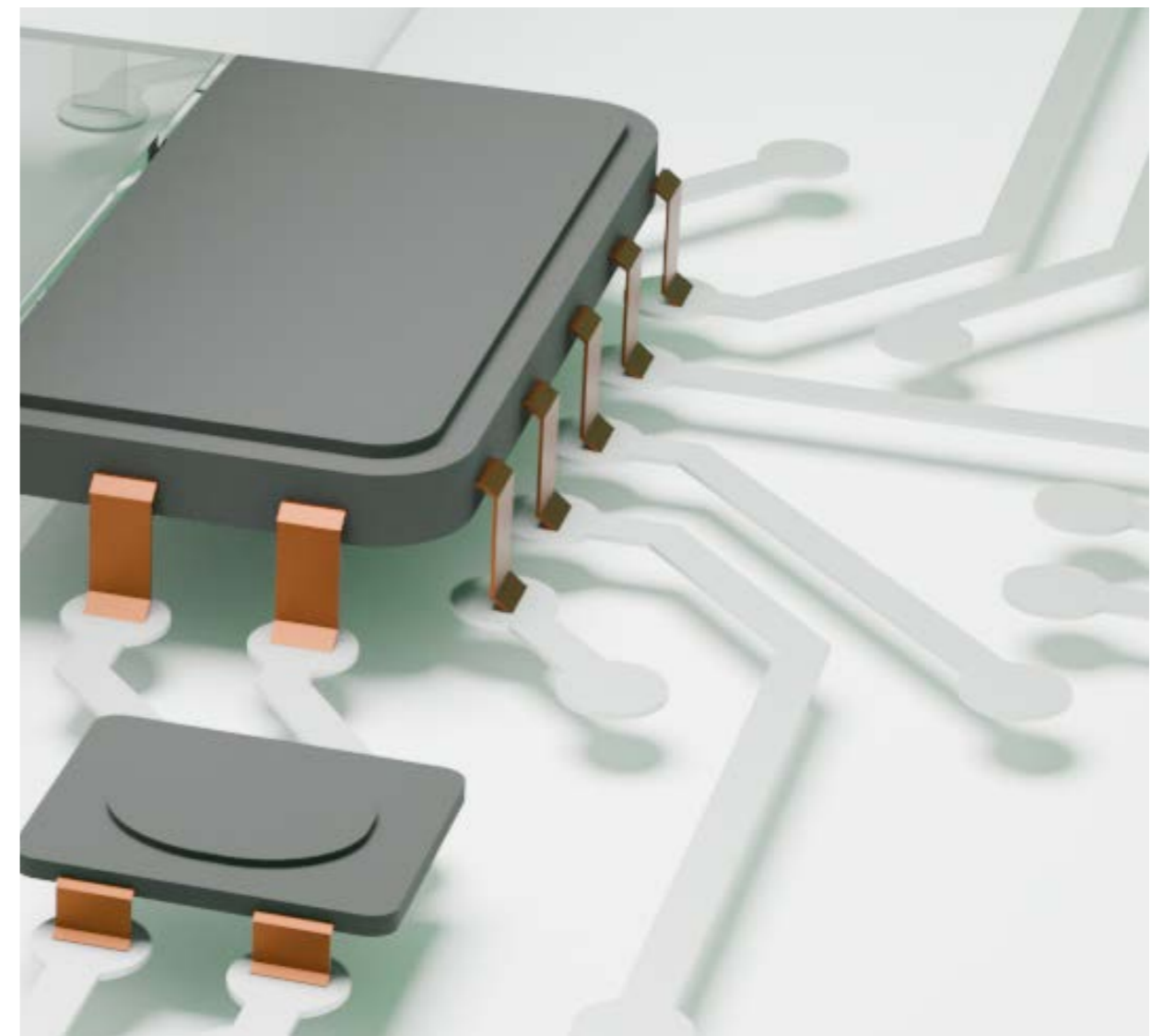
[Überblick zum ISO/IEC 25010 zur Abwägung der Qualitätskriterien von Komponenten](#) | ISO 25000

[Handlungsempfehlungen zur IT-Sicherheit im Bereich Smart City/Smart Regions](#) | Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

[Handreichung zu sicheren Smart-City-Plattformen](#) | Expertengruppe Sichere IKT-Plattformen für intelligente Netze

[Themenseite zur Sicherheit von Kritischen Infrastrukturen](#) | Smart City Dialog

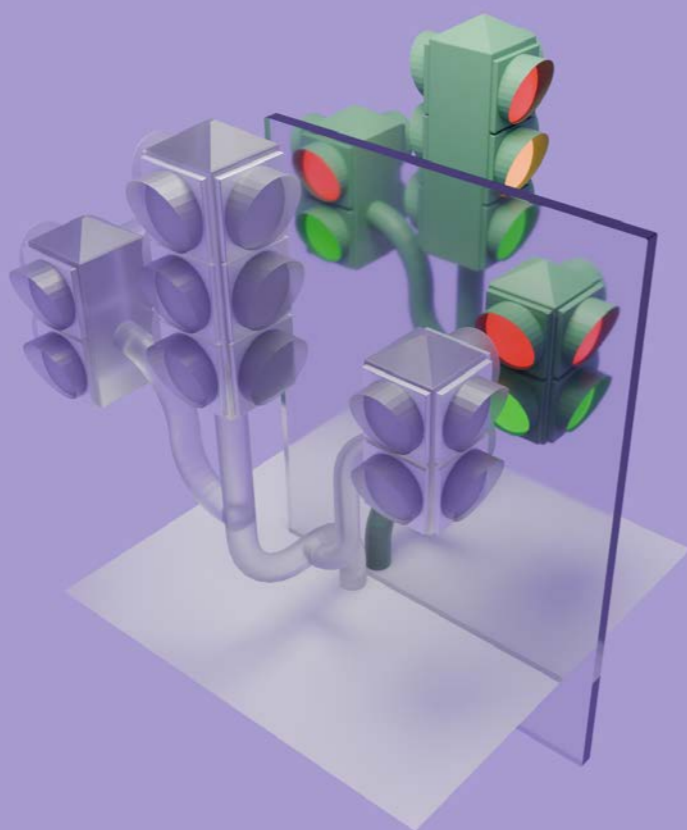
[Leitfaden – Urbaner Digitaler Zwilling nach der Methodik der SDDI](#) | Bayerisches Staatsministerium für Digitales



2.3

Rechtlicher und digitaletischer Rahmen:

Compliance umsetzen



Die Planung und Umsetzung Digitaler Zwillinge erfordert eine rechtssichere Datennutzung. Die Projektverantwortlichen und -beteiligten sowie die Nutzerinnen und Nutzer der letzten Anwendung müssen daher hinsichtlich der für sie in Bezug auf den Anwendungsfall relevanten Rechtsnormen informiert sein – ebenso wie hinsichtlich der Möglichkeiten, legitime Nutzungsansprüche durchzusetzen. Darüber hinaus ist es notwendig, digitaletische Herausforderungen frühzeitig durch eine strukturierte Vorgehensweise zu berücksichtigen, etwa durch Rückgriff auf bestehende digitaletische Leitfäden und die Durchführung multiperspektivischer Beteiligungsprozesse.

2.3.1 Rechtliche Klarheit schaffen

Im Zusammenhang mit der Verwirklichung eines Digitalen Zwillings müssen die Verantwortlichen und die anderen Beteiligten ein umfassendes Verständnis für gesetzliche Vorgaben und deren konsequente Umsetzung entwickeln. Darunter fallen vor allem zahlreiche Rechtsakte auf EU-, Bundes- und Landesebene, die den Datenzugang, den Datenschutz wie auch die Regelungen zu Vergabe- und Genehmigungsverfahren betreffen.¹⁴ Besonders herausfordernd für Projektteams sind die Identifizierung einschlägiger Regelungen für den Zugang zu und die Bereitstellung von Daten sowie die Auslegung von Datenschutzerfordernungen. In Verbindung mit Anforderungen des Datenschutzes bestehen häufig Unsicherheiten in Bezug auf die Frage nach der Personenbeziehbarkeit der für den Anwendungsfall zu verarbeitenden Daten. Denn davon ist die konkrete Anwendung des Datenschutzrechts abhängig. Auch darüber hinaus fehlt meist ein umfassender Überblick über die relevanten Rechtsnormen zur Datennutzung.

Konkretisierung

Die Projektbeteiligten stehen aus datenschutzrechtlicher Perspektive vor allem zwei zentralen Herausforderungen gegenüber: der Beurteilung der Personenbeziehbarkeit der (Infrastruktur-) Daten und der Nachvollziehbarkeit von Systemzugriffen. In Bezug auf einige Datentypen bestehen Unklarheiten bezüglich der Personenbeziehbarkeit und Unsicherheiten bei der Bereitstellung, dem Austausch und der Verarbeitung von Daten. Das gilt etwa für Geodaten (kartografische, geografische oder andere raumbezogene Daten), bestimmte Gebäudeinformationen oder für Daten zum Haushaltsenergieverbrauch. Oftmals ist der Personenbezug der Daten unklar und somit auch die Frage, ob sie umfangreichen Datenschutzbestimmungen unterliegen. Darüber hinaus kann insbesondere die meist erforderliche Nachvollziehbarkeit von Systemzugriffen beim Betrieb von Digitalen Zwillingen deren Umsetzung erschweren. Dies kann bei einer restriktiven Auslegung der Datenschutzvorschriften der Fall sein, etwa durch Betriebsräte, die darin einen Ansatz zur Überwachung von Arbeitszeiten sehen könnten.

Um solche datenschutzrechtlichen Herausforderungen zu bewältigen, können die Projektbeteiligten auf bestehende Leitfäden und Arbeitspapiere der Aufsichtsbehörden und anderer Datenschutzorganisationen zurückgreifen und sie beim Datenmanagement und beim Festlegen von Zugriffsrechten berücksichtigen (siehe Kapitel 2.2.1). Einige Leitlinien bieten Unterstützung bei der Feststellung der Personenbeziehbarkeit, der Ausgestaltung von Zugriffsrechten und Berechtigungskonzepten sowie der Anwendung von Anonymisierungs- oder Pseudonymisierungstechniken (siehe „Weiterführende Quellen“). Eine umfassende, systematische Hilfe zur Umsetzung von Datenschutzerfordernungen nach der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) finden Stellen, die Zwillingsvorhaben umsetzen, im Standard-Datenschutzmodell (SDM), das von der Datenschutzkonferenz (DSK) entwickelt wurde. Zudem unterstützt eine proaktive Kommunikation mit Datenschutzbeauftragten der beteiligten Organisationen dabei, offene Fragen frühzeitig zu klären und kostspielige nachträgliche Systemanpassungen zu vermeiden. Bei Unsicherheiten, die nicht durch die Datenschutzbeauftragten beantwortet

¹⁴ Kapitel 5.6 der ergänzenden Publikation „Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb“ behandelt übergreifende Themen, die für die Klärung rechtlicher Regelungen relevant sind – darunter die Verfügbarkeit öffentlicher Daten, die Optimierung von Rechtsverfahren und -prozessen sowie grundlegende Herausforderungen im Bereich Datenschutz und Datenzugangsrechte. In diesem Leitfaden liegt der Fokus hingegen auf konkreten Aspekten des Datenschutzes und der Datenbereitstellungspflichten.

werden können, empfiehlt es sich, die zuständigen Datenschutzaufsichtsbehörden zu konsultieren. Sie bieten neben ihrer Kontrollfunktion auch beratende Unterstützung bei der Umsetzung von Datenschutzvorschriften.

Im Hinblick auf Datenzugangsberechtigungen und -bereitstellungspflichten müssen beteiligte Akteure wissen, welche Normen einen Anspruch auf Datenzugang gegenüber welchen Institutionen begründen. Basierend auf diesem Wissen können sie gegebenenfalls einen Anspruch auf Datenzugang für ihren Anwendungsfall geltend machen. Dabei kann es Unterschiede geben, ob es sich um Gesetze auf Bundes- oder Landesebene handelt.

Wenn die Projektverantwortlichen einschlägige Daten Zugangsregelungen identifizieren möchten, müssen sie sowohl EU-Vorschriften als auch solche auf Bundes- oder Landesebene in Betracht ziehen. Auf EU-Ebene sind hier insbesondere der Data Act, der Data Governance Act, die Aarhus-Konvention und die INSPIRE-Richtlinie relevant. In Deutschland spielen auf Bundesebene das Geodatenzugangsgesetz, das Umweltinformationsgesetz, das E-Government-Gesetz, das Informationsfreiheitsgesetz und das Datennutzungsgesetz eine zentrale

Rolle. Darüber hinaus gelten auf Länderebene spezifische Geodatenzugangs- und Informationsfreiheitsgesetze.

Die Relevanz der rechtlichen Vorgaben für ein Zwillingsvorhaben richtet sich maßgeblich nach dem konkreten Anwendungsfall, den benötigten Datenarten und dem Standort des Projekts. Die Verantwortung, die jeweils geltenden Rechtsvorschriften zu prüfen, liegt bei den Beteiligten, die das Zwillingsprojekt planen. Als Orientierungshilfe dient nachfolgende Tabelle 2, die einen inhaltlichen Überblick über die relevanten Rechtsakte bietet und die daraus resultierenden Ansprüche und Pflichten für die Stellen aufzeigt, die das Zwillingsvorhaben umsetzen.

Die Beteiligten entwickeln zudem verständliche Anleitungen und Schulungsangebote für die zuständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, um ihnen ein fundiertes Verständnis für die rechtlichen Anforderungen zu vermitteln und sie zu befähigen, die rechtlichen Vorgaben korrekt anzuwenden und im Arbeitsprozess umzusetzen (siehe Kapitel 2.1.3).

Weiterführende Quellen

[Das Standard-Datenschutzmodell \(SDM\)](#) | Datenschutzkonferenz
[Stellungnahme zum Begriff „personenbezogene Daten“](#) | Artikel-29-Datenschutzgruppe
[Anleitung zur Erstellung eines Berechtigungskonzepts](#) | Online-Zeitschrift „Datenschutz-Praxis“
[Überblick zur Aarhus-Konvention und Zugang zu Umweltinformationen in Deutschland](#) | Unabhängiges Institut für Umweltfragen e. V.
[Erklärung des Datengesetzes](#) | Gestaltung der digitalen Zukunft Europas, Europäische Kommission
[Übersicht Geodatenzugangsgesetze der Bundesländer](#) | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
[Rechtliche Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie](#) | GDI-DE – Geodateninfrastruktur Deutschland
[Übersicht Antragsberechtigung IFG und UIG](#) | BfDI – Die Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit

Handlungsschritte

- **Rechtslage systematisch analysieren:** Die umsetzenden Stellen informieren sich umfassend über die geltenden Rechtsnormen auf EU-, Bundes- und Landesebene. Sie stellen sicher, dass alle Anforderungen und Einschränkungen bei der Nutzung und Bereitstellung von Daten eingehalten werden.
- **Bestehende Leitlinien und Handreichungen nutzen:** Die Beteiligten orientieren sich an Leitlinien, um die Personenbeziehbarkeit zu klären, Zugriffsrechte und Berechtigungskonzepte zu definieren sowie Anonymisierungs- und Pseudonymisierungstechniken einzusetzen (siehe Kapitel 2.2.1). Das Standard-Datenschutzmodell (SDM) bietet eine systematische Unterstützung bei der Umsetzung der DSGVO.
- **Datenschutzbeauftragte und Aufsichtsbehörden konsultieren:** Die umsetzenden Akteure binden die Datenschutzbeauftragten ein und konsultieren die Aufsichtsbehörden, um die Rechtskonformität sicherzustellen. Die Datenschutzbeauftragten, beispielsweise einer Kommune oder eines Unternehmens, werden außerdem idealerweise von Beginn an in die Projektplanung involviert.
- **Niederschwellige Anleitungen erstellen:** Die Beteiligten entwickeln leicht verständliche Anleitungen und Schulungsprogramme für alle relevanten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, um das Verständnis für rechtliche Anforderungen und deren praktische Umsetzung sicherzustellen.

Mögliches Anwendungsszenario

Zur rechtssicheren Umsetzung eines Digitalen Zwillings für eine städtische Verkehrsbehörde führen die Projektverantwortlichen zunächst eine umfassende Analyse der relevanten EU-, Bundes- und Landesvorschriften durch, die Ansprüche auf Datenzugang definieren und/oder Datenbereitstellungspflichten festlegen. Hierunter fallen der Data Act, die Aarhus-Konvention, das UIG sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene und das IFG, ebenfalls auf Bundes- und auf Landesebene. Dabei greifen sie auf bestehende Handreichungen und Leitfäden zurück und konsultieren darüber hinaus die Datenschutzbeauftragten der beteiligten Organisationen. Da bei den Projektbeteiligten trotzdem noch Unsicherheiten in Bezug auf die Personenbeziehbarkeit von Daten (etwa bei Geodaten von Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern) bestehen, konsultieren sie die zuständige Datenschutzaufsichtsbehörde. Durch dieses Vorgehen gewährleisten sie, dass alle Anforderungen und Einschränkungen bei der Nutzung und Bereitstellung von Daten im Zusammenhang mit dem Anwendungsfall berücksichtigt werden. Ergänzend dazu entwickelt die Behörde spezifische Handreichungen und FAQ für alle Projektbeteiligten sowie Nutzerinnen und Nutzer, die auf die relevanten Regelungen zugeschnitten sind und bestehende Leitlinien integrieren. Die Projektbeteiligten, insbesondere die für die Planung der Datenverarbeitung und für die Einbindung der Datenquellen zuständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, gewinnen hierdurch ein Verständnis für den rechtlichen Rahmen und einen Überblick über die rechtlich zulässigen Handlungsmöglichkeiten (z. B. bei der Kontaktaufnahme mit Datenhaltern). Mithilfe des SDM wird schließlich ein Rollenkonzept nach dem Erforderlichkeitsprinzip festgelegt, das die Zugriffsberechtigungen der Personalkräfte auf solche reduziert, die nachprüfbar zuständig (örtlich, fachlich) sind.

Überblick über relevante Rechtsakte auf EU-, Bundes- und Landesebene sowie resultierende Ansprüche und Pflichten

Rechtsakte	Anspruchsberechtigung	Anspruchsgegner/Ablehnung	Bereitstellungspflichten
Data Act (DA)	Der DA regelt die Nutzung und den Austausch nicht personenbezogener Daten zwischen Unternehmen und öffentlichen Stellen. Er gewährt Nutzern vernetzter Geräte Ansprüche auf Datenzugang und -weitergabe, sowohl für sich selbst als auch für Dritte.	Der DA verpflichtet Hersteller/Anbieter, Nutzern Zugang zu den von ihren Produkten/Diensten generierten Daten zu gewähren und sie über die erhobenen Daten zu informieren, und regelt die Weitergabe an Dritte durch Verträge. Als Ablehnungsgründe können etwa Sicherheit oder Geschäftsgeheimnisse gelten.	Vernetzte Produkte bzw. verbundene Dienste müssen so konzipiert sein, dass sie standardmäßig für den Nutzer einfach, sicher, kostenlos und in einem maschinenlesbaren Format zugänglich sind. Der DA regelt Rechte und Pflichten von Dateninhabern in Bezug auf Zugang, Nutzung und Bereitstellung dieser Daten.
Data Governance Act (DGA)	Der DGA begründet keinen Anspruch auf Daten, sondern regelt Handlungspflichten und einen behördlichen Aufsichtsrahmen.		Der DGA verpflichtet nicht zur Weitergabe von Daten öffentlicher Stellen, sondern regelt lediglich die Rahmenbedingungen für eine solche (erlaubte) Weitergabe.
Aarhus-Konvention (AK)	Die AK gewährt jedem das Recht auf Zugang zu Umweltinformationen, unabhängig von einem besonderen Interesse.	Anträge auf Umweltinformationen können nach der AK abgelehnt werden, wenn die Offenlegung negative Auswirkungen auf verschiedene Belange wie z. B. Vertraulichkeit oder öffentliche Sicherheit hätte.	Nach der AK müssen öffentliche Stellen auf Antrag Umweltinformationen zur Verfügung stellen.
INSPIRE-Richtlinie (INSPIRE-RL)	Die INSPIRE-RL legt selbst keinen Anspruch auf den Datenzugang fest.		Die Richtlinie verpflichtet geodatenhaltende Stellen zur Bereitstellung INSPIRE-relevanter Geodatenätze.
Geodatenzugangsgesetz (GeoZG)	Das GeoZG verpflichtet Bund/Länder zur Einrichtung von Geoportalen im Internet, legt aber keinen Anspruch auf die dort bereitgestellten Daten fest.		Nach dem GeoZG müssen zuständige Stellen des Bundes und der Länder verschiedene Geodaten, Geodatendienste, Netzdienste und Metadaten bereitstellen und öffentlich zugänglich machen.
Umweltinformationsgesetz (UIG)	Das UIG gewährt jeder Person Anspruch auf freien Zugang zu Umweltinformationen. Anspruchsberechtigt sind natürliche Personen, Unternehmen und juristische Personen des öffentlichen Rechts (Kommunen). Jedes Bundesland hat seine eigenen Regelungen zum UIG.	Informationspflichtige Stellen nach dem UIG sind Behörden und die Regierung. Auch private Stellen, die öffentliche Aufgaben im Umweltbereich unter der Kontrolle von Bundesbehörden wahrnehmen, unterliegen dem UIG. Ablehnungsgründe sind etwa der Schutz öffentlicher Belange oder personenbezogene Daten.	Besteht ein Anspruch auf freien Zugang zu Umweltinformationen, müssen diese der antragstellenden Person zugänglich gemacht werden.
E-Government-Gesetz (EGovG)	Das EGovG normiert ausdrücklich keinen Anspruch auf den Zugang zu Daten.		Das EGovG verpflichtet Behörden der unmittelbaren Bundesverwaltung, unbearbeitete Daten („Rohdaten“), die zur Erfüllung ihrer Aufgaben erhoben wurden, zu veröffentlichen.
Informationsfreiheitsgesetz (IFG)	Das IFG gibt es auf Bundes- und Landesebene. Die Anspruchsberechtigung variiert nach Bundesland: Nach IFG-Bund ist „jedermann“ anspruchsberechtigt, während andere IFG nur natürliche/juristische Personen des Privatrechts berücksichtigen.	Der Anspruch nach dem IFG-Bund besteht gegenüber Behörden des Bundes. Auch Bundesorgane und -einrichtungen, die öffentlich-rechtliche Verwaltungsaufgaben wahrnehmen, fallen unter das IFG-Bund. Ablehnungsgründe sind etwa Sicherheit oder Vertraulichkeit.	Das IFG-Bund begründet keine Bereitstellungspflicht, sondern normiert den Anspruch auf Zugang zu amtlichen Informationen. Die Behörde kann Auskunft erteilen, Akteneinsicht gewähren oder Informationen in anderer Weise zur Verfügung stellen.
Datennutzungsgesetz (DNG)	Das DNG begründet weder Anspruch auf den Zugang zu Daten noch eine entsprechende Bereitstellungspflicht.		Das DNG schließt eine Bereitstellungspflicht ausdrücklich aus.

2.3.2 Digitaletische Reflexion durchführen

Das Team, das einen Digitalen Zwilling umsetzt, muss neben organisationalen, technischen und rechtlichen Aspekten auch eine digitaletische Perspektive auf das geplante Vorhaben berücksichtigen. Besonders wichtig ist dabei, dass es die für das Projekt relevanten ethischen Anforderungen bei der Konzeption, der Planung, der Umsetzung und dem Einsatz von Digitalen Zwillingen definiert, formuliert und berücksichtigt. Eine wirkungsvolle digitaletische Herangehensweise besteht darin, soziotechnische Risiken anhand eines klaren Leitfadens zu bewerten und unterschiedliche Perspektiven und Kenntnisse durch Beteiligungsformate einzubinden. Diese Form der Auseinandersetzung trägt dazu bei, das Vertrauen der beteiligten Stakeholder, der Nutzerinnen und Nutzer sowie der Bürgerinnen und Bürger in das Vorhaben zu stärken.

Konkretisierung

Das Ziel einer ethischen Reflexion liegt darin, ausgewogen und lösungsorientiert Chancen, mögliche Risiken und Zielkonflikte des geplanten Technologieeinsatzes zu identifizieren und Risikominimierungsstrategien herauszuarbeiten. Dabei stellen sich oft Fragen wie die folgenden:

- Wie verändert die Technologie unsere Arbeit, unsere Kommunikation, unsere Prozesssteuerung und unseren Lebensalltag?
- Wie gestaltet man IT-Systeme inklusiv und diskriminierungsarm?
- Welche Prozesse und Entscheidungen können problemlos automatisiert werden und an welchen Stellen und in welchen Kontexten ist eine menschliche Beurteilung unersetzlich?
- Welchen ökologischen Fußabdruck hat der Einsatz bestimmter IT-Systeme?
- Welche impliziten, folgenreichen Werturteile fließen (bewusst oder unbewusst) in die Konzeption eines digitalen Modells mit ein?

Zur systematischen Klärung dieser und weiterer ethischer Fragen gibt es bereits national und international zahlreiche Checklisten und Leitlinien (siehe „Weiterführende Quellen“). Darin werden bestimmte Wertvorstellungen und Handlungsgrundsätze als Orientierung für die Konzeption und den Betrieb von IT-Systemen herausgearbeitet, durch spezifische Anforderungen präzisiert und es werden mögliche Umsetzungsmaßnahmen

vorgestellt. Dabei handelt es sich vorwiegend um ethische Grundsätze wie Menschenzentrierung, Selbstbestimmung, Schadensvermeidung, Demokratieförderung, Antidiskriminierung, Privatheit, Transparenz, Kontrolle, Schadensverhütung und Sicherheit, Rechenschaft sowie (immer noch nur vereinzelt) Einhaltung sozialer und ökologischer Nachhaltigkeitsgrundsätze.

Damit sich Projektverantwortliche und -beteiligte systematisch mit den für ihr Vorhaben relevanten ethischen Aspekten auseinandersetzen können, ist der Rückgriff auf bestehende digitaletische Leitlinien und Checklisten hilfreich. Daraus lassen sich bestimmte Handlungsgrundsätze und Maßnahmen für die Umsetzung ableiten. Darauf aufbauend ist es wichtig, dass das Projektteam spezifische ethische Fragestellungen erarbeitet, die für seinen Anwendungsfall besonders bedeutsam sind. Hierfür wird zunächst eine Umfeldanalyse durchgeführt, in der die Projektbeteiligten die auf ihren spezifischen Fall bezogenen Ziele der ethischen Reflexion dokumentieren, ebenso wie potenziell betroffene Personengruppen und ungewollte Ergebnisse. Dabei können insbesondere praktische Leitfäden helfen, die solche Technologien beziehungsweise Anwendungen einbeziehen, die im eigenen Vorhaben eine wesentliche Rolle spielen, etwa Simulationen oder Modelle in Stadtwillingen.

Diese behandelt beispielsweise der Leitfaden „Guide to Model Land“ des City Science Lab der HafenCity Universität Hamburg (siehe „Weiterführende Quellen“).

Damit ein Projektteam digitaletische Bewertungen für seinen konkreten Anwendungsfall erarbeiten kann, ist es darüber hinaus notwendig, Beteiligungsformate zu entwickeln, um die Perspektiven und Kenntnisse der identifizierten Stakeholder, Nutzerinnen und Nutzer und Betroffenen einzubeziehen (siehe Kapitel 2.1.2).

Die soziotechnischen Risiken lassen sich so im konkreten Einsatzumfeld aus verschiedenen Perspektiven analysieren und spezifische Lösungsansätze entwickeln. Partizipative Prozesse können dabei beispielsweise als Workshops mit potenziell betroffenen Personengruppen oder als offener Dialog zwischen Bevölkerung, Verwaltung, weiteren beteiligten Organisationen, politischen Entscheidungsträgerinnen und -trägern sowie Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Praxis gestaltet werden. Basierend auf einem solchen mehrstufigen Vorgehen

Ethische Risiken für den Anwendungsfall definieren und Maßnahmen ableiten

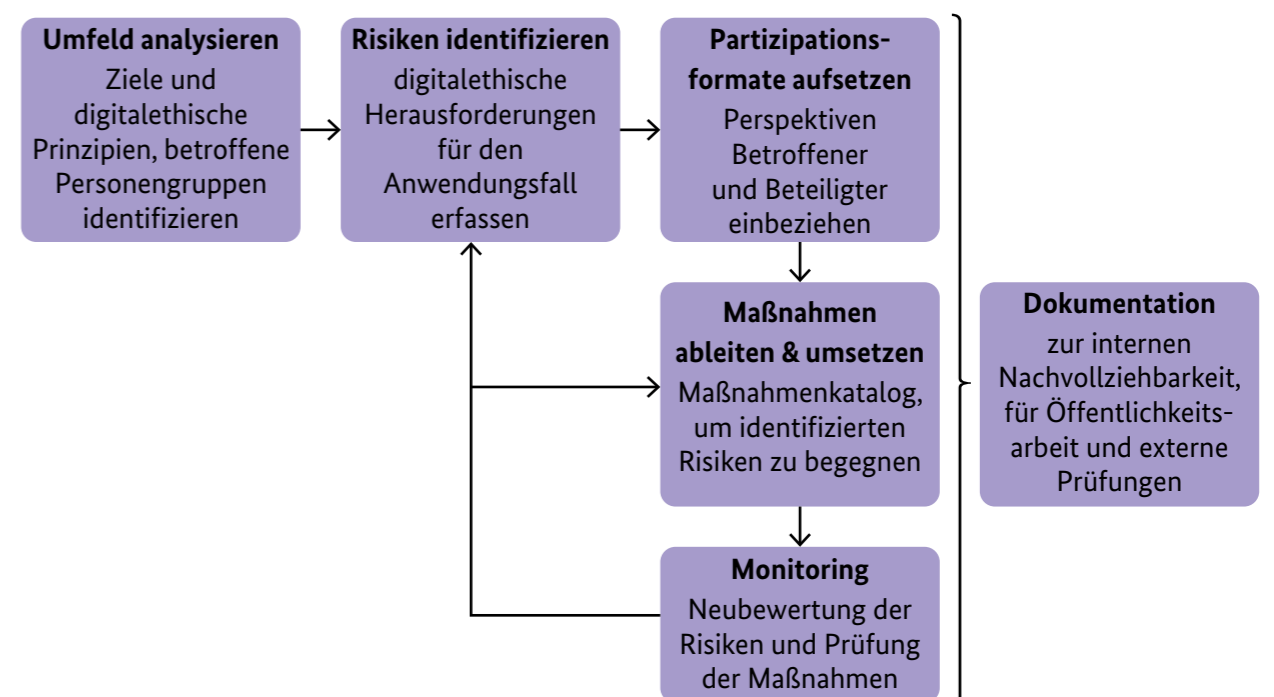


Abb. 6; eigene Darstellung iRights.Lab

ist es dem Projektteam möglich, zunächst übergeordnete ethische Prinzipien für das Vorhaben zu definieren, konkrete Risiken im Zusammenhang mit den definierten Prinzipien zu identifizieren und sie mithilfe von Beteiligungsformaten zu validieren, anzupassen und zu ergänzen. Schließlich können die für das Projekt Verantwortlichen und die Projektbeteiligten dadurch gezielte Begegnungsstrategien und Maßnahmen ergreifen, um die erkannten Risiken zu verringern. Dazu gehört es auch, die Wirksamkeit

der Maßnahmen im weiteren Projektverlauf und im Betrieb des Digitalen Zwillinges zu überprüfen und sie bei Bedarf anzupassen (siehe Kapitel 2.1.3).

Die Maßnahmen und Prüfmechanismen gilt es zu dokumentieren. Ein solches Vorgehen stärkt das Vertrauen der beteiligten Stakeholder und der darüber hinaus eingebundenen Personen und – bei einer transparenten und zielgruppenorientierten Kommunikation – auch das der Bevölkerung.

Handlungsschritte

- **Umfeld analysieren:** In einer vorgelagerten Umfeldanalyse sollen Ziele, unerwünschte Ergebnisse und potenziell betroffene Personengruppen identifiziert und dokumentiert werden.
- **Herausforderungen und Risiken identifizieren:** Leitfadengestützte Bewertungen bieten eine hilfreiche Grundlage, um digitaletische Herausforderungen systematisch zu erfassen und für den Anwendungsfall zu bewerten. Dabei können sich Projektteams an bestehenden Leitfäden und Checklisten orientieren – auch wenn sie nicht speziell auf Digitale Zwillinge ausgerichtet sind.
- **Partizipationsformate aufsetzen:** Durch Beteiligungsformate erhält das Projektteam wichtige und bislang unbekannte Perspektiven und Kenntnisse in Bezug auf den Anwendungskontext. Zu diesem Zweck muss das Team Vertreterinnen und Vertreter der identifizierten Betroffenenengruppen sowie relevante Fachleute hinzuziehen.
- **Maßnahmen ableiten und umsetzen:** Aufbauend auf den zuvor durchgeführten Schritten leiten die Beteiligten einen Maßnahmenkatalog ab, um die identifizierten Risiken zu minimieren.
- **Dokumentation:** Das Projektteam dokumentiert die identifizierten Risiken und die definierten Maßnahmen zur internen Nachvollziehbarkeit, für die Öffentlichkeitsarbeit sowie für externe Prüfungen durch Aufsichtsbehörden.
- **Monitoring:** Die Risiken werden regelmäßig neu bewertet und die Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen überprüft.

Mögliches Anwendungsszenario

Eine Kommune plant ein Projekt, das zur Verkehrsoptimierung beitragen soll. Zu Beginn der Konzeption erfolgt eine Umfeldanalyse, bei der die Verantwortlichen die Ziele des Vorhabens genauer definieren und dabei mögliche unerwünschte Ergebnisse wie diskriminierende Effekte im Bereich der Barrierefreiheit berücksichtigen. Anschließend werten sie digitaletische Leitlinien und Checklisten hinsichtlich zentraler Prinzipien aus, die für ihr Vorhaben relevant sind, etwa die Prinzipien der Transparenz und der Antidiskriminierung. Sie beziehen diese Prinzipien auf ihr Vorhaben, um in diesem Zusammenhang spezifische Anforderungen an die geplante Simulation der Verkehrs- und Bewegungsströme zu definieren. Dabei werden Risiken wie etwa die unzureichende Repräsentanz der spezifischen Bedarfe von Menschen mit Geh- oder Sehbeeinträchtigung in der Auswertung freiwillig gespendeter Bewegungsdaten und damit auch in der Simulation von Fortbewegungsmustern identifiziert. Um diese Bedarfe zu berücksichtigen, werden Partizipationsformate wie Betroffenenworkshops und Expertenrunden eingerichtet. Auf diese und ähnliche Weise erfassen die Projektbeteiligten die Interessen, Bedenken und Erwartungen verschiedener Stakeholder. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird ein Maßnahmenkatalog erstellt, um den erkannten Risiken in Bezug auf die Anwendung gezielt zu begegnen.

Weiterführende Quellen

[Guide to Model Land: Ethik-Leitfaden zu Simulationen in Digitalen Zwillingen](#) | City Science Lab, HafenCity Universität Hamburg
[Community Pulse Check: Trustworthy and Ethical Development of Digital Twins](#) | Online-Vortrag von Sophie Arana, The Alan Turing Institute
[Der Ethische Daten Assistent \(DEDA\)](#) | Universität Utrecht
[SCET: Smart City Ethical Toolbox](#) | Universität Bamberg
[Ethical Impact Assessment](#) | UNESCO
[Leitfaden zur Gestaltung vertrauenswürdiger Künstlicher Intelligenz](#) | Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS)

3. Ausblick

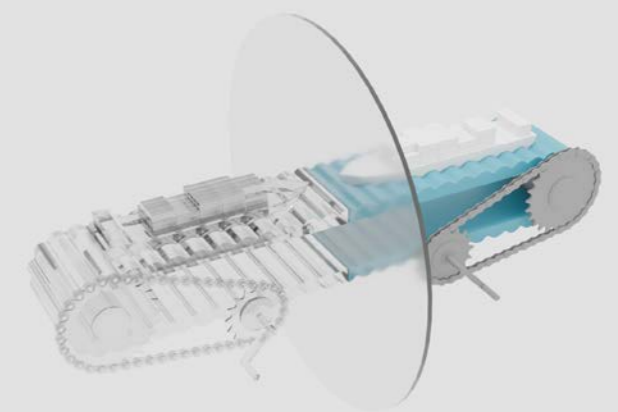
Die beschriebenen Ansätze in den relevanten Handlungsfeldern – von der Schaffung klarer Zielsetzungen über den Aufbau robuster Daten- und Technikgrundlagen bis hin zur Berücksichtigung relevanter rechtlicher und digitaletischer Anforderungen – verdeutlichen, wie vielseitig und gleichermaßen anspruchsvoll die Planung und Umsetzung von Digitalen Zwillingenprojekten ist.

Viele Umsetzungsvorhaben stehen noch am Anfang und fokussieren sich bisher vor allem darauf, grundlegende Anwendungen, methodische Herangehensweisen und erste praktische Tests zu erproben. Ob ein Übergang in die umfassende Praxisanwendung gelingen kann, hängt von den in den Handlungsfeldern thematisierten Kriterien wie der exakten Problem- und Zieldefinition, der Auswahl geeigneter technischer Lösungen, der erforderlichen Fachkompetenz und den organisationalen Rahmenbedingungen ab. Entscheidend ist darüber hinaus allerdings auch, wie Wissen und Erfahrungen aus Pilotprojekten und Modellvorhaben systematisch gesichert, dokumentiert und auf andere Anwendungsfelder übertragen werden können.

Die Analyse von Pilot- und Forschungsprojekten, die Interviews mit Anwenderinnen und Anwendern und weiteren Expertinnen und Experten im Feld sowie der Dialog mit Beteiligten im Rahmen von Workshops und Veranstaltungen belegen, dass interkommunale Vernetzungen, der Austausch von Good Practices und die Institutionalisierung von Wissenstransfer – auch ressort- beziehungsweise bereichs- und organisationsübergreifend – wesentliche Bausteine für nachhaltige Lösungsansätze sind. Dabei dienen positive wie

auch negative Erfahrungen aus Pilotprojekten als Lernfelder für die Weiterentwicklung des eigenen Vorhabens. Viel mehr noch sind diese Erfahrungen eine Grundlage für replizierbare Erfolgsmodelle.

Neben Ansätzen zur Planung und Umsetzung Digitaler Zwillinge müssen auch Ansätze des Austauschs von Erfahrungen und Wissen sowie dessen systematische Dokumentation kontinuierlich weiterentwickelt und übergreifend angewandt werden. Dieser Leitfaden bietet hierfür einen wichtigen Ausgangspunkt, indem er praxisnahe Handlungsempfehlungen mit einem systemischen Blick auf die Herausforderungen und Potenziale verbindet. Das trägt dazu bei, Digitale Zwillinge als strategisches Instrument der digitalen Transformation zu etablieren. Die enge Verzahnung von Praxis, Forschung, Politik und Verwaltung wird künftig entscheidend sein, um Digitale Zwillinge in eine zentrale Rolle bei der Gestaltung resilienter, nachhaltiger und smarter Kommunen und bundesweiter Infrastrukturen zu führen.



Impressum

Herausgeber und inhaltlich Verantwortlicher i. S. d. § 18 Abs. 2 MStV:
Philipp Otto

iRights.Lab GmbH
Oranienstraße 185
D-10999 Berlin
Telefon: +49 (0)30 40 36 77 230
Fax: +49 (0)30 40 36 77 260
E-Mail: digitale-zwillinge@irights-lab.de

Weitere Informationen über das iRights.Lab finden Sie unter www.irights-lab.de

Geschäftsführer: Philipp Otto, Dr. Wiebke Glässer

Registergericht: Amtsgericht Berlin-Charlottenburg
Registernummer: HRB 185640 B
Finanzamt für Körperschaften II
USt-IdNr.: DE311181302

Projektleitung: Johanna Washington
Autorinnen und Autoren: Marie Blüml, Dr. Nikolai Horn, Marcel Schneuer
Redigat: Jaana Müller-Brehm
Inhaltliche Mitarbeit: Jaana Müller-Brehm, Solvejg Gunkel, Owain Neumann, Raphael Hadadi
Gestaltung und Illustration: Gustav Berneburg, Christoph Löffler
Lektorat: Jutta Cram, Text+Design
Februar 2025

Dieses Werk steht unter Creative Commons Lizenz CC BY-SA 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>.

Gefördert durch: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

Das Projekt „Digitale Zwillinge in Infrastruktur, Bau und Wohnen – von Theorie und Konzeption in die Praxis“ wird vom unabhängigen Think Tank iRights.Lab verantwortet und durchgeführt.

