

DIGITALER ZWILLING BUNDESFERNSTRASSEN

Definition und Konzeption

Rahmendokument

Version 1.0

BIM
BUNDES
FERN
STRASSEN

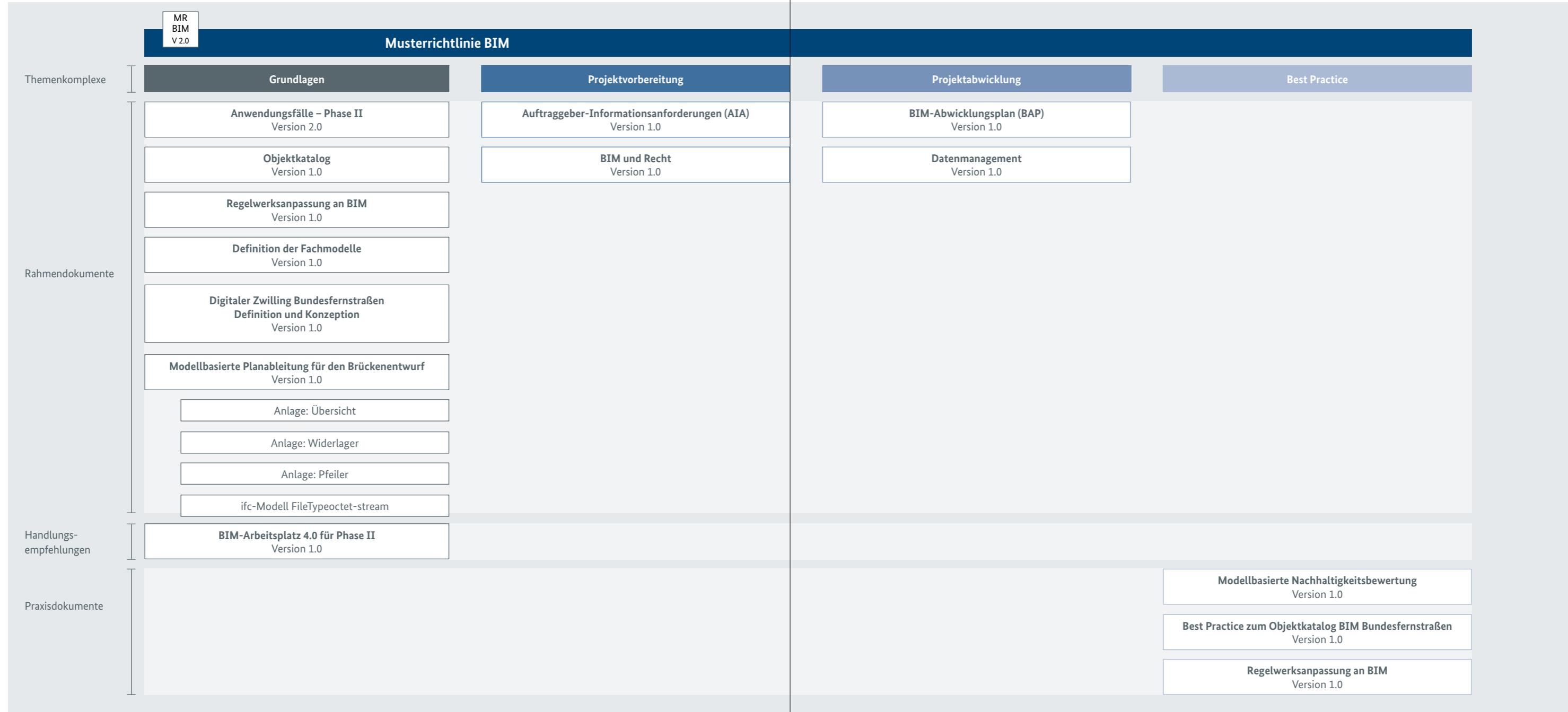
Inhaltsverzeichnis

Überblick über die Rahmendokumente	2
1 Einleitung und Motivation	4
2 Definition	5
3 Diskussionsstand zur Abgrenzung und Einordnung des Digitalen Zwillings	6
3.1 BIM und Digitaler Zwilling	6
3.2 Einordnung	8
3.3 Stakeholder und Nutzen	9
4 Diskussion und Ausblick zu Entwicklungsbedarf und Testfeldern	10
5 Abbildungsverzeichnis	11

Überblick über die Rahmendokumente

Das vorliegende Papier zielt auf die Formulierung wichtiger Grundlagen der Arbeitsmethode Digitaler Zwilling im Kontext von Bundesfernstraßen (FStr) ab. Als Ergebnis einer engen Zusammenarbeit zwischen Politik, Wissenschaft und Anwender soll es eine Antwort auf die Frage liefern, wie man die Methode Digitaler Zwilling definiert. Darüber hinaus sollen wichtige Begrifflichkeiten in Bezug auf diese Methode beschrieben und die Zusammenhänge mit der digitalen Methode Building Information Modeling (BIM) erläutert werden. Wie in anderen ingenieurwissenschaftlichen Bereichen ist das Konzept Digitaler Zwilling für die Bundesfernstraßen

in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Somit soll der Fokus in diesem Papier nicht auf allen Details der Wissenschaft und Technik oder auf der Ausarbeitung konkreter Anwendungsfälle liegen, sondern stattdessen soll ein erster Definitionsrahmen für die im Masterplan BIM Bundesfernstraßen vorgesehenen „BIM-Testfelder Digitaler Zwilling“ sowie deren Ergebnisse geschaffen werden. Aufbauend auf diesem Schritt können die inhaltlichen Erkenntnisse aus den Pilotierungen der Anwendungsfelder zusammengetragen und so ein wichtiger Baustein für den Einsatz der Methode im Bereich der Bundesfernstraßen geschaffen werden.



1 Einleitung und Motivation

Auf Grund der aktuell vorherrschenden Herausforderungen – wie der Ressourcenverknappung, des Fachkräftemangels, des Klimawandels oder der voranschreitenden Digitalisierung – stoßen im Verkehrswesen bereits heute viele Prozesse an ihre Grenzen. Neue Ansätze in den Bereichen Planen, Bauen, Betreiben und Erhalten zeichnen sich heute durch eine erhebliche Komplexität aus und müssen an die Vielfalt unterschiedlicher Infrastrukturanlagen der FStr (freie Strecke, Brücke, Tunnel etc.) sowie kontinuierlich wechselnde Randbedingungen angepasst werden. Daraus entstehen neue Anforderungen an die angegliederten Auswertemethoden und die Verfügbarkeit der erforderlichen Daten. Die Digitalisierung und Standardisierung bilden die Grundlage für eine effiziente und nachhaltige Entwicklung, Realisierung und Nutzung der Infrastruktur über deren gesamten Lebenszyklus hinweg. Insbesondere seit der Einführung von BIM ist eine nahtlose Zusammenarbeit und ein kontinuierlicher Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten möglich. Aufbauend auf der verstärkten Nutzung der BIM-Methode gewinnt das Konzept des Digitalen Zwillinges zunehmend an Bedeutung für das Infrastrukturmanagement. Durch die Vernetzung verschiedenster Datenquellen und Nutzung von fortschrittlichen Modellen und Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) sollen hochpräzise, digitale Nachbildungen der Infrastruktur entstehen, die über die Zeit mit dem realen System gekoppelt sind. Durch einen modularen Aufbau soll die kontinuierliche Integration bestehender und neuer Datenquellen ermöglicht, eine hohe Skalierbarkeit sowie breite Anwendbarkeit sichergestellt werden. Durch die Vernetzung unterschiedlicher Digitaler Zwillinge soll zudem weiteres Potential von bestehenden Datenquellen gehoben werden. Die Zwillinge sollen dabei unterstützen, die Vergangenheit besser zu verstehen, den Zustand der Infrastruktur über längere Zeiträume zu prüfen (bzw. zu überwachen) und zu bewerten sowie die zukünftigen Veränderungen zu prognostizieren. So soll die Effizienz gesteigert und nachhaltige Ziele besser erreicht werden können. Zusätzlich sollen Digitale Zwillinge die Möglichkeit der Erprobung von Auswirkungen komplexer Einflüsse auf die Infrastruktur im virtuellen Raum (Living Lab) eröffnen.

Der Aufbau eines Digitalen Zwillinges soll bereits in frühen Phasen des Planens und Bauens berücksichtigt werden und beispielsweise durch Bauprozessoptimierungen einen Mehrwert schaffen. In der Betriebsphase kann der Digitale Zwilling ein hohes Potential für ein verbessertes Wissensmanagement und eine schnellere Entscheidungsfindung bieten. Er soll eine prädiktive und effizientere Instandhaltung bieten, den nachhaltigen Einsatz von Ressourcen optimieren und durch verbesserte Entscheidungsgrundlagen die Verlängerung von Nutzungsdauern und eine zuverlässige Verfügbarkeit der Infrastruktur ermöglichen. Zudem kann die anwendungsübergreifende Nutzbarkeit eines Digitalen Zwillinges auch neue Möglichkeiten für die Verkehrssteuerung sowie für das autonome und vernetzte Fahren bereitstellen. Bei den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten ist ein wesentlicher Unterschied zu BIM, dass sich der Digitale Zwilling FStr über eine Visualisierung von Daten hinaus durch eine hohe Modularität sowie starke, bidirektionale Vernetzung auszeichnet und die Möglichkeit umfangreicher ggf. automatisierter Auswertungen bieten kann. Aus unterschiedlichen Rohdaten sollen aktuelles Wissen und Prognosen generiert und damit alle Stakeholder der Verkehrsinfrastruktur bei ihren Entscheidungen unterstützt werden. Aufgrund der kontinuierlich eingespeisten Daten handelt es sich beim Digitalen Zwilling um ein dynamisches Modell, das komplexe Analysen ermöglichen kann.

2 Definition

Aufbauend auf der oben beschriebenen Motivation zum Einsatz dieser neuen Arbeitsmethoden kann folgende Definition abgeleitet werden:

„Ein Digitaler Zwilling Bundesfernstraßen ist eine virtuelle dynamische Repräsentation des realen Systems und seiner Wirkzusammenhänge. Er unterstützt über einen (teil)automatisierten bidirektionalen Daten- und Informationsaustausch optimierte Entscheidungsgrundlagen für ein nachhaltiges Management im Lebenszyklus der Infrastruktur.“

Das reale System beinhaltet die physischen Straßenbauwerke – wie die Bereiche freier Strecken, Tunnel oder Brücken –, die dazugehörigen Systemkomponenten und Eigenschaften (z.B. Bestand, Zustand und Verhalten), den darauf befindlichen Verkehr sowie die relevanten Informationen aus dem Umfeld der Infrastruktur. Die virtuelle Repräsentation wird durch die Vernetzung unterschiedlicher datenbasierter Modelle – z.B. geometrische, semantische oder Entscheidungsmodelle – realisiert, die durch Anreicherung mit verfügbaren Daten und Informationen – z.B. Zeitreihen unterschiedlicher Messgrößen – die Realität möglichst genau und vielseitig nutzbar (generisch) beschreiben. Diese Repräsentation ermöglicht Analysen in Form von Auswertungen und Prognosen, die als Steuerungsgrundlagen dienen. Auf deren Basis können Entscheidungsmodelle entwickelt werden, um z.B. fundierte Entscheidungen bezüglich eines effizienten Betriebs und Erhaltung der Infrastruktur zu unterstützen.

3 Diskussionsstand zur Abgrenzung und Einordnung des Digitalen Zwilling

3.1 BIM und Digitaler Zwilling

Die Anwendung der BIM-Methode findet heute in der Planung und dem Bau von Bauwerken statt. Sie beinhaltet als Kooperationsmethode die virtuelle Repräsentation der zukünftig zu errichtenden Infrastruktur sowie des aktuellen Bestands, der für die Bauaufgabe zu berücksichtigen ist. Mit der BIM-Methode wird also ein Informationsträger erstellt, der insbesondere die Fragestellungen zukünftig auszuführender Bauaufgaben adressiert.

Der Digitale Zwilling FStr ist eine Erweiterung der BIM-Methode im Bauwesen, die besonders während des Betriebs von Bauwerken einen Mehrwert bietet. Der Digitale Zwilling nutzt hierfür die für ihn relevanten Daten aus den BIM-Modellen und ergänzt diese durch weitere, zustandsbeschreibende Daten wie z. B. eingebaute Sensoren, Umfelddaten oder weitere externe Datenbanken (siehe Abbildung).

Eine wesentliche Abgrenzung des Digitalen Zwilling FStr gegenüber der BIM-Methode ist der Daten-austausch zum Abgleich zwischen der realen und virtuellen Welt, wodurch eine dynamische virtuelle Repräsentation geschaffen wird. Dabei sind die Anforderungen an Aktualität, Häufigkeit sowie den Grad der Automatisierung des Datenabgleichs abhängig von der konkreten Anwendung und können zwischen verschiedenen Digitalen Zwillingen unterschiedlich ausgeprägt sein. Ein weiterer wichtiger Unterschied ist die starke Vernetzung, die für den Datenabgleich ggf. auch kontinuierlich notwendig ist, wobei hier der Einbezug bestehender Systeme eine wichtige Rolle spielt. Darüber hinaus kann der Digitale Zwilling anwendungsabhängig auch zusätzlich neue Datenquellen und -systeme – z. B. auch aus anderen Digitalen Zwillingen – integrieren und so als eine Art „Datensammler“ fungieren.

Der Einsatz des Digitalen Zwilling FStr und die damit verbundene Möglichkeit des lebenszyklus-übergreifenden Abgleichs sollte schon bei der Entstehung der ersten Informationsmodelle, z. B. in der Planungsphase, konzeptionell berücksichtigt werden. Beispielsweise ist es für die Realisierung eines Digitalen Zwilling aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll, bereits frühzeitig unterschiedliche Datenquellen vorzusehen, die später am virtuellen Abbild Analysen ermöglichen sollen.

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen den Methoden BIM und Digitaler Zwilling. Der Digitale Zwilling baut auf der BIM-Methode auf und ergänzt diese um weitere relevante Datenquellen (Quelle: gemeinsames Arbeitsergebnis des Workshops vom 13/14.12.2023)

3.2 Einordnung

Es ist absehbar, dass in der späteren Umsetzung Digitale Zwillinge entstehen, die sich in ihren Eigenschaften aufgrund unterschiedlicher Aufgabenziele teilweise stark unterscheiden.

Räumlicher Umfang: Abhängig von der konkreten Fragestellung kann die räumliche Ausdehnung der Abbildung durch den Digitalen Zwilling FStr sehr unterschiedlich ausfallen, von einzelnen Bauteilkomponenten über die Objektebene (individuelle Bauwerke) bis hin zu Netzsystemen. Mit steigendem räumlichem Umfang können auch das Datenvolumen sowie die damit verbundenen Anforderungen an die Kommunikations- und Auswertetechnik steigen.

Reifegrad: Je nach Anwendungsfall sind unterschiedliche Detailtiefen der Informationsverarbeitung sinnvoll. Darüber hinaus existieren im Verkehrssektor viele Anwendungen, bei denen bedingt durch juristische, politische oder soziale Rahmenbedingungen eine vollständig automatisierte Informationsverarbeitung nicht gewünscht ist. Als Anwendungsbeispiel kann die Tunnelüberwachung bzw. das Ereignismanagement genannt werden, bei dem eine automatisierte Datensammlung und Auswertung erhebliche Vorteile bringen kann, der Mensch aber – allein aus juristischer Sicht – weiterhin die finale Entscheidungs- hoheit behalten soll bzw. muss. Insofern muss der Digitale Zwilling auch mit unterschiedlichen anwendungsspezifischen Abstufungen der Informationsverarbeitung eingesetzt werden können. Aktuell werden national und international verschiedene Stufenmodelle diskutiert. Die Fähigkeiten von Digitalen Zwillingen können anhand einer Reifegrad-Skala eingeordnet werden. Nach aktuellem Stand werden fünf Reifegrade unterschieden:

- **Reifegrad 1 (deskriktiv):** Hier handelt es sich um eine virtuelle Nachbildung eines realen Objekts, die mit objektbezogenen (Zustands-)Daten verknüpft ist.
- **Reifegrad 2 (informativ):** Im Digitalen Zwilling werden auf Basis der Daten Informationen in Form einer Situationsbewertung (z.B. Zustand des Objekts) abgeleitet und eingebunden.
- **Reifegrad 3 (prädiktiv):** Der Digitale Zwilling erstellt Prognosen anhand relevanter Informationen.
- **Reifegrad 4 (präskriptiv):** Der Digitale Zwilling kann eigenständig Handlungsempfehlungen mithilfe von z. B. maschinellem Lernen entwickeln.
- **Reifegrad 5 (autonom):** Auf dieser höchsten Stufe handelt es sich um einen autonomen Digitalen Zwilling, der eigenständig lernt und Handlungen ausführt.

Detaillierungsgrad: Die Verkehrsinfrastrukturen weisen deutliche Unterschiede auf. Dies betrifft die Gestaltung der Bauwerke, deren Eigenschaften, Betriebs- und Erhaltungskonzepte und führt in der Konsequenz zu unterschiedlichen Informationsanforderungen und Detaillierungsgraden in Digitalen Zwillingen. Gemäß dem Konzept des Level of Information Need (LOIN) sind je nach Zweck bzw. Anwendungsfall die Detaillierungsgrade der auszutauschenden Informationen hinsichtlich der Geometrie (Level of Geometry – LOG), der Semantik (Level of Information – LOI) und der Dokumentation (DOC) festzulegen. Weitere Beispiele sind, neben der grundlegenden Erfordernis von Sensorik, die räumliche und zeitliche Auflösung verschiedener Sensordaten, die Bandbreite der aufgezeichneten Messgrößen sowie die Anforderung an die Datengenauigkeit. Der Detaillierungsgrad hat einen wesentlichen Einfluss auf die Datenmenge und ggf. Komplexität des Digitalen Zwillinges sowie den Aufwand der Umsetzung.

3.3 Stakeholder und Nutzen

Der Digitale Zwilling stellt eine Arbeitsmethode dar, welche über den gesamten Lebenszyklus der Infrastruktur einen hohen Mehrwert bietet. Zu Beginn der Umsetzung respektive Anwendung ist von einem hohen technischen und organisatorischen Aufwand auszugehen, da eine kontinuierliche Planung der Datenakquise sowie der Datenintegration notwendig ist.

Betreiber: Das Management der Infrastruktur hängt stark von der Verfügbarkeit von Informationen sowie der Wissens- und Datenvernetzung über den gesamten Lebenszyklus hinweg ab. Eine Vielzahl der erforderlichen Informationen liegt bereits heute umfassend und weitestgehend strukturiert in verschiedenen Systemen vor. Darüber hinaus stehen immer mehr Datenquellen zur Verfügung, deren händische Auswertung und Verwertung durch die Betreiber nicht leistbar ist. Durch den Einsatz Digitaler Zwillinge soll diese Vielzahl von Daten und Systemen weitestgehend automatisiert zu Informationen zusammengeführt werden. So werden Betreiber dabei unterstützt, über Fusion und Analysen weitergehende Erkenntnisse zu erlangen, Prognosen abzuleiten und damit verstärkt prädiktiv zu agieren. Dies dient maßgeblich dem Ziel einer ressourcenschonenden und effizienten Verlängerung der Lebensdauer und Verfügbarkeit von Infrastrukturbauwerken.

Politik: Eine funktionierende Infrastruktur ist eine wesentliche Voraussetzung für Wirtschaft und Mobilität und daher von hoher gesellschaftlicher Relevanz. Daher ist die Steigerung der Effizienz bei gleichzeitiger Optimierung eines nachhaltigen Einsatzes von Ressourcen anzustreben. Durch die Automatisierungen von Prozessen und die Implementierung dieser in Digitale Zwillinge sollen bessere und schnellere Entscheidungsgrundlagen geschaffen werden, um sowohl im Regelbetrieb als auch im Falle besonderer Ereignisse für eine umfassendere Informationslage zu sorgen.

Wirtschaft: Bei der Erschließung der Potentiale, die durch Digitale Zwillinge ermöglicht werden, nimmt die Wirtschaft eine wesentliche Rolle ein. Als ausführende Entität der Betreiber stellt sie die Technologien und Verfahren zur Verfügung, die für die Erstellung sowie den Betrieb von Digitalen Zwillingen unabdingbar sind. Mit der konkreten Implementierung des Konzeptes unterstützt sie die Erhaltung der Infrastruktur und setzt die Ziele der Politik um. Die erhöhte Datenverfügbarkeit, die mit den Digitalen Zwillingen einhergeht, führt zudem zur Erhöhung der Innovationskraft, zur Optimierung der Prozesse der wirtschaftlichen Akteure sowie zur Generierung neuer Geschäftsmodelle.

Forschung und Entwicklung: Der Bedarf zur zielgerichteten Nutzung der (neuen) Daten sowie der Aufbau von Testumgebungen ist insbesondere zu Beginn der Einführung neuer Arbeitsmethoden besonders hoch – dies hat bereits die Implementierung von BIM gezeigt. Forschung und Entwicklung leisten einen wesentlichen Beitrag im Zuge des Aufbaus Digitaler Zwillinge, gleichzeitig bedarf es hierfür jedoch auch technisch vereinfachter Zugänge zu Datenökosystemen, damit für die virtuelle und praktische Pilotierung neuer Technologien geforscht sowie deren Einsatzpotential nachgewiesen werden kann. So werden Grundsteine geliefert, um innovative Verfahren und Methoden beschleunigt in die praktische Anwendung zu überführen.

Gesellschaft: Die Verbesserung der Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur wird einen signifikanten Einfluss auf die zukünftige gesellschaftliche Entwicklung haben. Die Gesellschaft profitiert durch den Einsatz des Digitalen Zwillinges von reduzierten Reisezeiten, einem hohen Sicherheitsniveau und einem verbesserten Komfort. Im gesellschaftlichen Kontext spielt aber auch der nachhaltige Einsatz von Ressourcen sowie eine klimaneutrale Mobilität eine wichtige Rolle, wofür eine gute Informationsvernetzung und Digitalisierung unverzichtbar sind.

4 Diskussion und Ausblick zu Entwicklungsbedarf und Testfeldern

Die vielfältigen Potentiale der Anwendung von Digitalen Zwillingen werden derzeit im Rahmen unterschiedlicher Forschungs- und Pilotprojekte untersucht. Einzelne umgesetzte Systeme, bspw. für Brückenbauwerke, bieten schon heute einen Einblick, wie Digitale Zwillinge z. B. zur Unterstützung und Optimierung der Bauwerkserhaltung genutzt werden können. Um das volle Potential auszuschöpfen, besteht ein großer Bedarf an Forschung und Entwicklung, sowohl in Bezug auf die technische Gestaltung als auch auf die konsequente Anwendung dieser Methode.

Wichtige Eigenschaften von Digitalen Zwillingen im Bereich der FStr stellen ihr modularer Aufbau und die Vielfältigkeit der Daten und Modelle dar. Der modulare Ansatz ermöglicht eine individuelle, anwendungsfallorientierte Konzeption des Digitalen Zwillinges hinsichtlich Prozessschritten, Methoden und Werkzeugen. Die Vernetzbarkeit von Daten über offene Datenformate sowie die Maschinenlesbarkeit von Informationen und Wissen spielen dabei eine wichtige Rolle. Abhängig von der Anwendung kann zudem die Echtzeitfähigkeit des Abgleichs zwischen physischer Infrastruktur und ihrem Digitalen Zwilling besondere technische Herausforderungen mit sich bringen, die nur unter realen Rahmenbedingungen sinnvoll untersucht und bewältigt werden können. Daher sind im Masterplan BIM Bundesfernstraßen „BIM-Testfelder Digitaler Zwilling“ Testfelder vorgesehen, die in die bestehende Infrastruktur integriert werden und sich durch die konsequenten Datenstrategien als Innovationstreiber und -vorbereiter etablieren sollen. Neben den bestehenden Anforderungen zu offenen Daten (Open Data) ist die weitreichende Anwendung des Open-Source-Prinzips wichtig. Dadurch wird die technische Vernetzung neuer Lösungen und Tools der Digitalen Zwillinge iterativ und modular unterstützt und die Umsetzbarkeit beschleunigt. Ein weiterer Vorteil ist die Stärkung der digitalen Souveränität des Bundes.

Ein zusätzlicher Aspekt zukünftiger Testfelder für Digitale Zwillinge der FStr ist die Demonstration unterschiedlicher praxisbezogener Prozesse. Dabei können die Testfelder anwendungsbezogen aufgebaut und unter Berücksichtigung der hohen Heterogenität des Verkehrsnetzes realisiert werden. Im Detail können die Mehrwerte in der engen Interaktion zwischen Menschen und Technik für alle Infrastrukturlanlagen der FStr (freie Strecke, Brücke, Tunnel etc.) ausgearbeitet werden. Die Testfelder können einen wichtigen Beitrag leisten, um die hohe Vielfalt der physischen Infrastruktur abzudecken und somit die Umsetzbarkeit und Wirksamkeit des Konzepts des Digitalen Zwilling für das gesamte Straßennetz zu zeigen.

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen den Methoden BIM und Digitaler Zwilling.
Der Digitale Zwilling baut auf der BIM-Methode auf und ergänzt diese um weitere relevante Datenquellen (Quelle: gemeinsames Arbeitsergebnis des Workshops vom 13/14.12.2023)

S. 6

Impressum

Stabsstelle

Digitalisierung Straßenwesen

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Stand

Bergisch Gladbach, Juli 2024

Bildnachweis

Markus Braumann,
Visualisierung Hillert Media

Autor

Dr. Adrian Fazekas – BASt

Mitverantwortliche Autorinnen und Autoren sowie weitere Mitwirkende

(alphabetische Reihenfolge)

Zafer Albakkour – BMDV
Meike Artelt – Landesbaudirektion Bayern
Dr. Andreas Bach – Schüßler-Plan Digital GmbH
Silvia Banemann – Die Autobahn GmbH
Jennifer Bednorz – BASt
Prof. Dr. Jakob Beetz – RWTH Aachen
Dr. Sara Bender – BMDV
Prof. Dr. Jörg Blankenbach – RWTH Aachen
Prof. Dr. Thomas Braml – UniBw München
Alexander Bräunlich – DEGES
Werner Breinig – DEGES
Alexander Burmeister – BASt
Andreas Coumanns – BASt
Gernot Deußen – BMDV
Dr. Ferdinand Farwick zum Hagen – BASt
Thomas Förg – StMB
Anne Göbels – RWTH Aachen
Peter Gölzhäuser – RWTH Aachen
Ina Heise – TUM
Dr. Boguslaw Jablkowski – BASt
Dr. Dirk Jansen – BASt
Dr. Dirk Kemper – RWTH Aachen
Prof. Dr. Katharina Klemt-Albert – RWTH Aachen
Dr. Andreas Kochs – FBA
Florian Köllner – FBA
Prof. Dr. Markus König – RUB
Stefan Kübler – BMDV
Susanne Kuffer – ZBIM
Felix Lau – BMDV
Anne Lehan – BASt
Michael Lüker – BMDV
Prof. Dr. Steffen Marx – TUD
Prof. Dr. Gero Marzahn – BMDV
Jonathan Matthei – RWTH Aachen
Andreas Medack – BASt
Andreas Meister – BMDV
Konrad Neubaum – RWTH Aachen
Sonja Nieborowski – BASt
Prof. Dr. Markus Oeser – BASt
Christian Peetz – Landesbaudirektion Bayern
Momme Petersen – HPA
Michael Pfeifer – BMDV
Dr. Carl Richter – BASt
Susanne Schleker – BASt
Felix Scholz – HPA
Prof. Dr.-Ing. Max Spannaus – UniBw München
Prof. Markus Stöckner – HKA
Dr. Simon Vilgertshofer – TUM
Dr. Götz Vollmann – RUB
Dr. Bastian Wacker – Die Autobahn GmbH
Dr. Marc Wenner – MKP GmbH
Sarah Windmann – BASt

Die vorliegende Publikation fasst die Arbeit und wertvollen Beiträge sowie die Vielzahl von konstruktiven Diskussionen einer großen Expertengruppe im Rahmen zweier Workshops zur Erarbeitung einer Definition des Digitalen Zwillings aus dem Jahr 2023 zusammen.

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag und mit Finanzierung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, Referat StB 27, durchgeführt.



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

DOI: [10.60850/dz-bfstr-def-v1](https://doi.org/10.60850/dz-bfstr-def-v1)

