



# Zusammenspiel Digitaler Zwilling und GDI anhand Beispielen

Aktionsnummer 5-24-03



**Abgenommen durch das SGS-Management**  
(<Version Dokument, Datum>)

## SGS-Schlussbericht

Verfasser | Auteur

Verfasser (Name, Vorname) Auteur (nom, prénom)	Firma/Organisation entreprise/organisation	Datum date	Bemerkungen commentaires
Christine Najar Laurent Niggeler Dominik Angst	swisstopo / KOGIS Kanton Genf / KGK ITV Consult AG	8.1.2024	

Stammdaten des Projektes | Données de base du projet

Nr. SGS N° SGS	Massnahme 5-24-03
Titel Titre	Zusammenspiel Digitaler Zwilling und GDI anhand Beispielen
Projektpartner Partenaire de projet	ITV Consult AG
Projektleiter Responsable de projet	Christine Najar

# Inhalt

1. Management Summary .....	4
2. Hintergrund und Ziele der Massnahme.....	5
3. Vorgehen und Grundlagen .....	5
3.1. Grundlagen aus Vorprojekten .....	5
3.2. Interviews .....	7
3.3. Typologien von Digitalen Zwillingen.....	10
4. Ergebnisse .....	11
4.1. Maturität der untersuchten Digitalen Zwillingen.....	11
4.2. Geodateninfrastruktur .....	12
4.3. System der Systeme .....	12
4.4. Digitale Zwilling bauen immer auf Anwendungsfällen auf (im Gegensatz zu GDIs) .....	13
4.5. Vernetzung .....	15
5. Fazit .....	19
6. Ausblick und weiteres Vorgehen .....	20
6.1. NGDI und Digitale Zwillinge.....	20
6.2. Community of Practice .....	21
7. Glossar.....	21

# 1. Management Summary

Der Bericht untersucht die Verbindung zwischen Digitalen Zwillingen und Geodateninfrastrukturen (GDI) in der Schweiz, mit dem Ziel, Anforderungen zu identifizieren und die Interoperabilität zu verbessern. Digitale Zwillinge, die als virtuelle Abbilder physischer Systeme fungieren, nutzen Geodaten als wesentliche Grundlage, um Szenarien, Prognosen und Optimierungen zu ermöglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Geodaten durch ihre Verfügbarkeit, Standardisierung und Qualität eine zentrale Rolle spielen, insbesondere in 3D. Herausforderungen bestehen jedoch bei der Integration und Vernetzung verschiedener Datenquellen, was für die Nutzung auf höheren Maturitätsstufen unabdingbar ist. Es gibt keinen allgemeinen Digitalen Zwilling, jeder Digitale Zwilling hat einen klaren Fokus. Digitale Zwillinge werden für spezifische Anwendungsfälle entwickelt, im Gegensatz zu GDIs, die als universelle, qualitätsgesicherte Datenbasis dienen.

Empfohlen wird eine stärkere Zusammenarbeit zwischen der Geo- und Digitalen Zwilling-Community durch eine "Community of Practice". Zudem soll die Nationale Geodateninfrastruktur (NGDI) weiterentwickelt werden, um als interoperable Plattform mit bidirektionalen Datenverbindungen als Grundlage verschiedenster Digitaler Zwillinge zu dienen. Dies ist essenziell, um den Nutzen von Digitalen Zwillingen in verschiedensten Anwendungsfeldern voll auszu-schöpfen.

## Weitere Informationen

### Literaturhinweis

- [1] Strategie Geoinformation Schweiz – Aktionsplan 2024: <https://backend.geoinformation.ch/fi-leservice/sdweb-docs-prod-geoinformatch-files/files/2024/03/27/6f2c6f43-446a-46a1-9072-4e341f0d7d08.pdf> (zuletzt besucht 2024-11-15)
- [2] Urban Digital Twins & City Data Platforms - A simple glossary of key concepts, EPFL, V 1.0 - 22.11.2022
- [3] Maturity of Swiss public administration in the field of Urban Digital Twin from a GIS perspective, Report, EPFL, Régis Longchamp, Rosa Haffter, EPFL, 27.10.2023
- [4] DUET (Digital Urban European Twins) – Digitaler Zwilling Flandern: <https://www.digitalurbantwins.com/post/the-taxonomy-of-local-digital-twins-lessons-from-smart-cities> (zuletzt besucht 2024-11-11)
- [5] Connected Urban Twins - Urbane Digitale Zwillinge für die Stadtentwicklung der Zukunft: <https://www.connectedurbantwins.de/> (zuletzt besucht 2024-11-11)
- [6] DIN Spec 91607:2024-11 – Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen: <https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/din-spec-91607/384414386> (zuletzt besucht 2024-11-15)
- [7] Schubbe et al., Urbane Digitale Zwillinge als Baukastensystem, Fachbeitrag in zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Ausgabe 1/2023, <https://geodae-sie.info/zfv/zfv-archiv/zfv-148-jahrgang> (zuletzt besucht 2024-11-15)
- [8] OGC-Initiative «OGC Urban Digital Twins Interoperabilitätspilot», <https://www.ogc.org/de/initiatives/ogc-urban-digital-twin-interoperability/> (zuletzt besucht 2024-11-15)

## 2. Hintergrund und Ziele der Massnahme

Im Rahmen der Umsetzung der Strategie Geoinformation Schweiz [1] hat man sich zum Ziel gesetzt, das Konzept des Digitalen Zwillings für die Weiterentwicklung der Nationalen Geodateninfrastruktur einzuordnen und zu untersuchen.

Dazu wurde im Rahmen des SGS-Projektes «Konkretisierung des Digitalen Zwillings» im Jahr 2023 der Ist-Zustand bezüglich der Nutzung und Implementierung von Digitaler-Zwilling-Technologien innerhalb der öffentlichen Verwaltung in der Schweiz, insbesondere aus der Sicht Geodaten/Geodateninfrastrukturen, ermittelt. Die daraus gesammelten Erkenntnisse sollen in einem nächsten Schritt genutzt werden, um in ausgewählten Bereichen Fallbeispiele von Digitalen Zwillingen zu finden, die für die GIS-Welt einen Mehrwert bringen könnten. Dies kann beispielsweise beim Umgang mit Echtzeitdaten, 3D-Daten oder Nutzung von nicht-räumlichen Daten sein.

Konkret stellen sich folgende Fragen:

- Was sind die Anforderungen von bestehenden Digitalen Zwillingen an Geodaten?
- Welche Bedeutung haben Geodaten für Digitale Zwillinge?
- Wie kann man die Interoperabilität zwischen Geodateninfrastrukturen und Digitalen Zwillingen verbessern?

Das Ziel des Projektes ist das Zusammenspiel zwischen bestehenden Digitalen Zwillingen und Geodaten/Geodateninfrastrukturen zu analysieren und die Anforderungen zu klären für eine zukünftige, potenzielle Vernetzung zwischen Geodaten (bzw. Komponenten der nationalen Geodateninfrastruktur) und digitalen Zwillingen.

## 3. Vorgehen und Grundlagen

### 3.1. Grundlagen aus Vorprojekten

Ergebnisse der bisherigen Grundlagen aus Vorprojekten mit der EPFL [3]

Definition Digital Twin gemäss Report EPFL:

Ein **virtuelles Abbild** eines physischen Systems (und der zugehörigen Umgebung und Prozesse), die in Echtzeit durch den bidirektionalen Austausch von Informationen zwischen dem physischen und dem virtuellen System aktualisiert wird.

Im zweiten Bericht der EPFL wurde mit Fokus auf Geodateninfrastrukturen/Geodaten von Digitalen Zwillingen verschiedener Maturitätsstufen gesprochen. Die Maturität Digitaler Zwillinge werde nach unterschiedlichen, thematischen Kriterien (Datenvisualisierung, Zugang zu Daten, Datenmanagement, Dateninteroperabilität, Datenverarbeitung) analysiert. Dabei hat die EPFL untenstehendes Maturitäts-(Reife-)Framework verwendet, um bestehende GDIs der öffentlichen Hand zu kategorisieren:

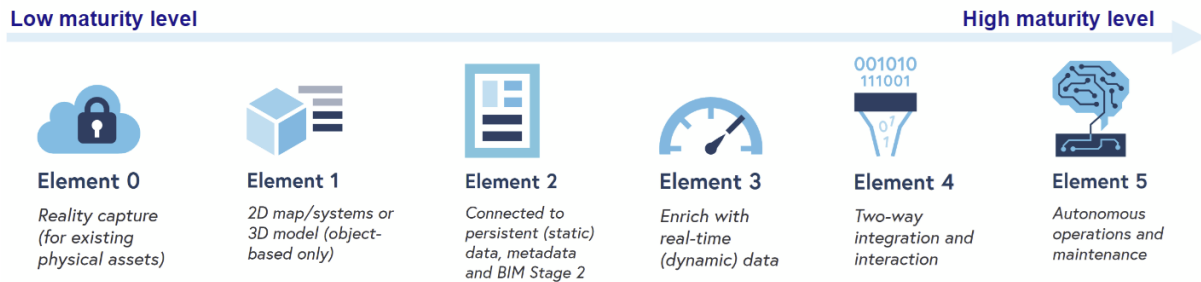


Abbildung 1: Maturitäts-Framework von Digitalen Zwillingen gemäss EPFL [3]

**Element 0** (Reality Capture für bestehende physische Assets) steht für die **Erstellung eines präzisen Bestandsdatensatzes** des Systemdesigns oder der Asset-Geometrie und ist somit die Grundlage für die Datenverbindung und -überlagerung.

In **Element 1** (2D-Karte/Systeme oder 3D-Modell, nur objektbasiert) wird das Bestandsmodell **durch die Eingabe neuer Anlagen und die Erfassung der Realität** erstellt.

In **Element 2** (verbunden mit persistenten (statischen) Daten, Metadaten und BIM Stufe 2) werden **persistente Datensätze** (z. B. Materialspezifikationen oder Planungsinformationen) **und Metadaten** (z. B. BIM) **mit dem Modell verbunden**. Die Daten werden nicht direkt im Modell gespeichert oder eingebettet, sondern mit Tags versehen oder **aus bestehenden Systemen** gezogen.

Das Modell wird in **Element 3** (Anreicherung mit (dynamischen) Echtzeitdaten) durch einen **eindirektionalen Fluss von Sensoren (Echtzeitdaten)**, dem Internet der Dinge oder angeschlossenen Geräten zum Modell erweitert.

Der eindirektionale Datenfluss wird in **Element 4** (Zwei-Wege-Integration und -Interaktion) zu **einem bidirektionalen Datenfluss** erweitert. Das bedeutet, dass der digitale Zwilling den Zustand und die Bedingungen des physischen Objekts verändern kann. **Die Ergebnisse werden zurückgespielt**, um den digitalen Zwilling zu aktualisieren.

Für die Zukunft ist ein digitaler Zwilling in **Element 5 (Autonomer Betrieb und Wartung)** **vorstellbar, der selbständig lernt und sich weiterentwickelt**, indem er Erfahrungen über das Verhalten des physischen Objekts sammelt. Er ist in der Lage, mit wenig oder gar keinem menschlichen Eingriff zu reagieren und Korrekturmaßnahmen zu ergreifen.

Die EPFL-Studie [3] ist zur Einschätzung gelangt, dass der Reifegrad der öffentlichen Verwaltung in der Schweiz auf dem Gebiet urbaner digitaler Zwillinge aus einer GIS-Perspektive im Schnitt etwa auf Maturitätsstufe 2 ist.

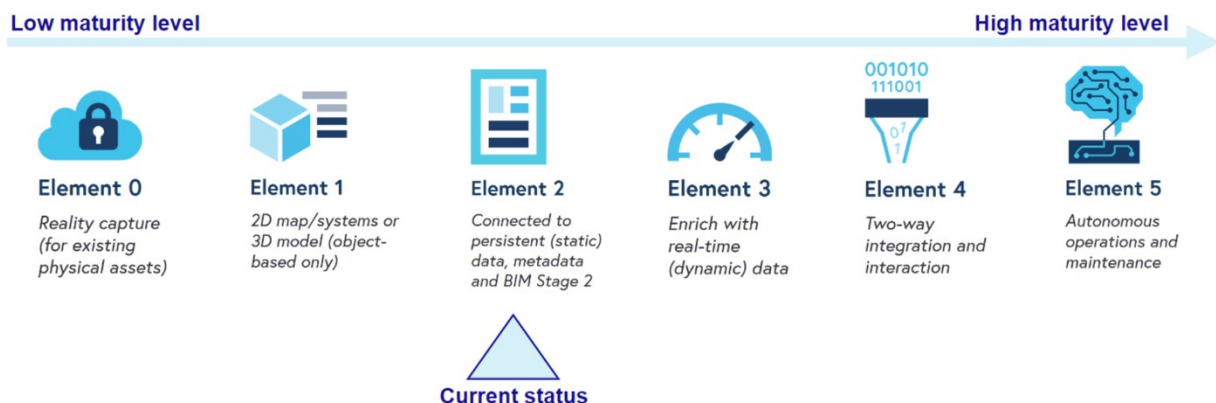


Abbildung 2: Einschätzung Maturitätsstufe gemäss EPFL [3]

### 3.2. Interviews

Kontaktaufnahme mit den Verantwortlichen ausgewählter Digitaler Zwillinge, um in Interviews mehr Informationen zu erhalten und herauszufinden, inwiefern diese die Projektziele unterstützen.

Interviewthemen:

- Vorstellung Digitaler Zwilling
- Einschätzung Maturitätsstufe
- Datengrundlagen
- Interoperabilität
- Nutzen und Nutzer
- Bedürfnisse/Anforderungen/Wünsche der Digitalen Zwillinge an Geodaten

Interviews wurden mit folgenden Partnern geführt (die Details aus den Interviews stehen nicht allgemein zur Verfügung):

Anbieter	Bereiche
BIM Facility AG	BIM, Architektur, Werke
CERN	Forschung, Infrastruktur
Flughafen Zürich	Infrastruktur, Logistik
MINND France	Forschung
OGC	Standardisierung
Region Flanders	Klima, Verkehr, Luftqualität, Policy Making
Stadt München	Infrastruktur, Klima, Mobilität
Stadt Stuttgart	Mobilität und Umwelt
Stadt Zürich	3D-Basis, Verkehr, Simulation
Universität Genf	Forschung

- Matthias Wasem, BIM Facility AG, als «Interview-Testpartner»:
  - o verschiedene Digitale Zwillinge, welche die Firma aufbaut und betreibt.
  - o Fokus ist Betrieb digitaler Zwillinge, wie
    - Spitäler
    - Pumpwerke
    - ARA
- Peter Bitter, Flughafen Zürich: Digitaler Zwilling Dock A
  - o Digitales 3D-Abbild des bestehenden und des geplanten Dock A (Ersatzneubau)
  - o «Innenausbau» der Gebäude relativ rudimentär
  - o Aufgebaut mit eigenen Daten aus verschiedenen Bereichen des Flughafens
  - o Mögliche Vision: vollständiges, detailliertes Abbild des Flughafens, z.B. um Fluggastströme, Gepäckabfertigung, etc zu modellieren, prognostizieren.
- Giovanna Di Marzo Serugendo, Universität Genf, Institute of Information Service Science: Forschung im Bereich Digitale Zwillinge,

- verschiedene umgesetzte Digitale Zwillinge
  - Kein konkretes Beispiel näher analysiert
- Hervé Halbout, MINND (<https://minnd.fr/>), tour d'horizon über die Digitalen Zwillinge in Frankreich
  - verschiedene umgesetzte Digitale Zwillinge
  - Kein konkretes Beispiel näher analysiert
- Lieven Raes, Digitaal Vlaanderen: DUET, Digitaler Zwilling Flandern
  - Kombination von diversen regionalen und lokalen Daten, Simulationsmodellen, um verschiedene Fragestellungen zu simulieren in den Bereichen Planung, Mobilität, Umwelt-> Lärm, Luftqualität
  - Interaktion/Interoperabilität zwischen verschiedenen Simulationsmodellen unterschiedlicher Hersteller
  - Zum Aufbau des Digitalen Zwillings werden Daten aus öffentlicher Hand genutzt
  - Fehlende Daten werden mit Citizen Science Projekten (analog OSM) erhoben. Diese Daten müssen vorab geprüft werden.
- Jurgens de Jonghe, CERN: Digitaler Zwilling Teilchenbeschleuniger
  - Digitales 3D-Abbild des Teilchenbeschleunigers am CERN
  - Ziel: Vollständige Dokumentation, Unterstützung bei Vorbereitung für Unterhaltsarbeiten, Prognosen für Anwendungsfälle (z.B. wie viel Radioaktivität trifft auf eine Person an einem gewissen Ort im Beschleuniger)
  - Viele Details zu den einzelnen Komponenten können abgerufen werden, teilweise direkte Links in die entsprechenden Systeme der Komponenten
  - Digitaler Zwilling-Aufbau mit eigenen Daten, geschlossenes System innerhalb CERN, jedoch mit Schnittstellen zu Untersystemen (Komponenten) und Sensoren
- Sina Taghavikish, OGC, Urban Digital Twins Interoperability Pilot, Initiative von OGC im Zusammenhang mit Interoperabilität
  - Ziel der Initiative: Interoperabilität von Geodaten und Analysen innerhalb digitaler Zwillinge zu verbessern und die Grundlagen für eine bessere Interoperabilität zwischen digitalen Zwillingen zu schaffen, die für unterschiedliche Anwendungen entwickelt wurden.
  - Kein konkretes Beispiel näher analysiert
- Sina Röhner, Stadt Stuttgart, Digitaler Zwilling für Mobilität und Umwelt
  - Digitales Abbild der Landeshauptstadt Baden-Württembergs aus statischen und dynamischen Daten mit Fokus auf Themen Mobilität und Umwelt
  - Förderung der ämterübergreifenden Zusammenarbeit
  - Aufbau eines Systems der Systeme. Es ist nicht das Ziel, alles in den Digitalen Zwilling zu importieren, sondern dass die verschiedenen (Fach-)Anwendungen zusammen interagieren.



- Integration von IoT-Daten (Live-Daten) ist in Planung.
- Korbinian Kringer, Stadt München, Digitaler Zwilling Stadt München, CUT Projekt
  - Digitales Abbild der realen Stadt, basierend auf 3D-Daten, Echtzeitdaten und Fachdaten, welches mit Hilfe von Was-Wäre-Wenn Szenarien (Analysen, Simulationen, Modelle) die Veränderungen in der Stadt monitoren und umsetzen.
  - Konkrete Beispiele für Anwendungen:
    - Datenaufnahmen für Oktoberfest mit Hilfe von Drohen und Mapping Bike (Grundlage für Branddirektion)
    - Stadtweites Lane-Model: Multimodale Simulation im Strassenraum
    - Kommunaler Wärmeplan
    - Servicekarte Baustellen.
  - Vertrauenswürdige und qualitätsgesicherte Geodateninfrastruktur (GDI) als Basis, bereitgestellt vom Geodatenservice München mit einem zentralen Katalog als Single-Point of Truth. Die Stadt München ist Datensouverän.
  - Bestehende Systeme sollen nicht abgelöst werden, sondern es soll ein Ökosystem (System der Systeme) generiert werden.
  - Möglichst basierend auf OpenSource-Software
  - Das Projekt Connected Urban Twins (CUT [5]) der Städte München, Hamburg und Leipzig beschäftigt sich mit der Entwicklung von urbanen Datenplattformen und digitalen Zwillingen für integrierte Stadtentwicklung.
    - Entwicklung standardisierter, replizierbarer Bausteine und Empfehlungen für urbane Datenplattformen und digitale Zwillinge
    - Erarbeitung von Lösungen für die integrierte Stadtentwicklung, die auf die Bedürfnisse der Städte und ihre Besonderheiten abgestimmt sind
    - Förderung des städteübergreifenden Wissenstransfers und der Zusammenarbeit zwischen den Partnerstädten
    - Erstellung von Open-Source-Software für digitale Zwillinge, um die Übertragbarkeit auf andere Städte zu ermöglichen
  - Im CUT-Projekt wurde ein neuer DIN-Standard als Leitfaden für Städte und Kommunen veröffentlicht [6].
- Jürg Lüthy, Adriana Kissling, GeoZ Stadt Zürich, Digitale Zwillinge Stadt Zürich
  - Vertrauenswürdiger und qualitätsgesicherter Geodateninfrastruktur als Basis, bereitgestellt von GeoZ.
  - Darauf werden zusammen mit den Fachabteilungen weitere (Fach-)Daten mit den Geodaten verknüpft, um z.B. basierend auf Modellrechnungen Szenarien und Prognosen zu rechnen.
  - Integration von Sensordaten weit fortgeschritten, z.B. im Verkehr.
  - Geodaten werden primär selber erfasst, d.h. die Stadt Zürich ist Datenherrin aller verwendeten Daten (Geo- und Fachdaten).
  - Beispiele für konkrete Anwendungen:

- Strassenlärm in 4D
- Zürich 4D: Stadt gestern – heute – morgen – übermorgen: Integration von Bauprojekten
- Hitzemodell: Kaltluftströme in Stadt.
- Anwendung für Architekturwettbewerb (Visualisierung der verschiedenen Projekte) und direkt in VR draussen.
- Verkehrssimulation: Training für reale Szenarien, z.B. Totwinkel-Analyse bei Lastwagen
- Verkehr: Ein zentraler Verkehrsrechner in der Stadt – jedes städtische Fahrzeug ist registriert. Für Blaulichtorganisationen oder ÖV kann damit der Rechner die Signale steuern.

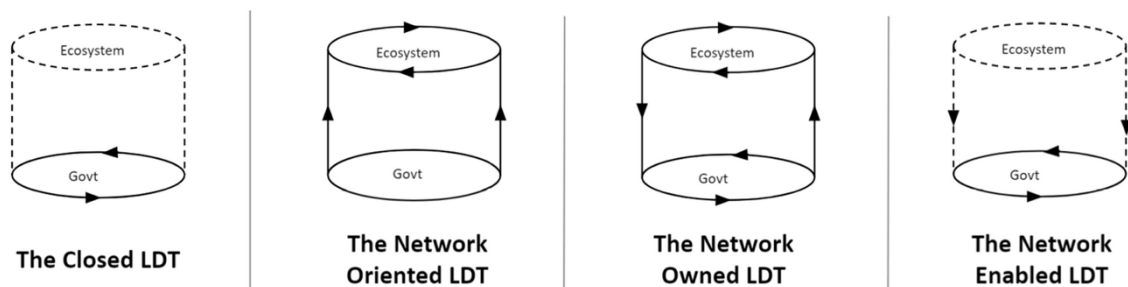
### 3.3. Typologien von Digitalen Zwillingen

Im Rahmen des DUET-Projekts (siehe Beispiel Digitaler Zwilling Flandern, bzw. [2]) wurde erkannt, dass Digitalen Zwillinge die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle vorantreiben können, die bessere und effizientere Dienstleistungsangebote versprechen. Es sollte untersucht werden, ob der Ansatz XaaS (anything-as-a-Service) bei Digitalen Zwillingen Vorteile bringen können. In einem ersten Schritt wurde dazu eine Typologie von Digitalen Zwillingen entwickelt, die hier kurz vorgestellt wird. Zudem eignet sich diese Typologie auch den Grad der Vernetzung eines Digitalen Zwillings (siehe dazu Kap.4.5 Vernetzung) zu erkennen.

Folgende Typen von Digitalen Zwillingen werden unterscheiden:

Vorbemerkung zur Abbildung:

- «Govt» (Government) wird hier mit einer beliebigen Organisation gleichgesetzt
- «Ecoystem» wird hier mit Öffentlichkeit/Publikum gleichgesetzt



Quelle: DUET Digital Urban Twins

Abbildung 3: Typen Digitaler Zwillinge

- Geschlossen (Closed): Digitaler Zwilling ist in sich geschlossen und nur für ein bestimmtes Publikum nutzbar. Kein Austausch mit dem Umfeld ausserhalb des Systems. Die Datenquellen sind zentral.
- Netzwerk orientiert (Network Oriented): Digitaler Zwilling «gehört» einer Organisation, wird jedoch dem Publikum zur Verfügung gestellt, kann auch von der Allgemeinheit genutzt werden. Die Datenquellen sind zentral.

- **Netzwerkfähig (Network Enabled):** Digitaler Zwilling «gehört» einer Organisation, bezieht Information/Daten/Grundlagen aus dem Umfeld mit ein. Nur die Organisation nutzt den Digitalen Zwilling für ihre Zwecke. Die Datenquellen sind dezentral.
- **Vollständig im Netzwerk (Network Owned):** Digitaler Zwilling ist vollständig offen, alle können daran partizipieren, nutzen, anpassen. Es werden alle verfügbaren Datenquellen genutzt. Die Datenquellen sind dezentral. «Publikums-Digitaler Zwilling».

Einordnung der Beispiele Digitaler Zwillinge nach diesen Typen:

Nutzung	<b>Netzwerk orientiert</b>	<b>Vollständig im Netzwerk</b>  Region Flandern
	<b>Geschlossen</b>  Flughafen Zürich CERN	<b>Netzwerkfähig</b>  Stadt Zürich Stadt München Stadt Stuttgart
Kontrolle		

Abbildung 4: Kategorisierung Digitaler Zwillinge nach Typen

Je nach Anwendungsfall und Geschäftsmodell kann man verschiedene Arten von Digitalen Zwillinge unterscheiden. Aus Sicht öffentliche Hand und Geodateninfrastruktur sind vor allem die offenen, netzwerkorientierten Digitalen Zwillinge interessant.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Maturität der untersuchten Digitalen Zwillingen

Keiner der untersuchten Digitalen Zwillinge ist auf Maturitätsstufe 5, einige erreichen fast die Stufe 4 (d.h. Zwei-Weg-Integration und -Interaktion), viele andere sind auf Stufe 3 (d.h. sie werden mit real time Daten ergänzt). Digitale Zwillinge auf Maturitätsstufe 1 (d.h. 2D/3D-Modell) und 2 (d.h. statische Daten in den Digitalen Zwillingen aus verschiedenen Quellen integriert) wurden im Rahmen des jetzigen Auftrags nicht vertieft untersucht, da diese in der Geowelt bereits existieren (Städtemodelle), «nur» ein 3D-Abbild der Realwelt sind und in den Vorarbeiten zu diesem Projekt bereits befragt wurden (Umfrage EPFL [1]). Von diesen Digitalen Zwillingen auf Maturitätsstufe 1 und 2 wird kein bis wenig Mehrwert erwartet.

Die untersuchten Digitalen Zwillinge auf Maturitätsstufe 3 sind je nach Anbieter und Anwendungsfall oft in sich geschlossene, sehr spezifische Systeme, was die Daten betrifft, eine Art Silo. D.h. die genutzten Daten, egal ob Geodaten oder andere Daten, wurden explizit für den Digitalen Zwilling erhoben und auch vorwiegend nur da genutzt. Oder, wenn die Daten aus anderen Quellen kommen, werden sie jeweils in «ihr» Digitales Zwilling-Format transformiert, damit diese genutzt werden können.

## **Rolle von Geodaten**

(Frei verfügbare) Geodaten spielen dann eine Rolle, wenn diese Digitalen Zwillinge ein grösseres «Umfeld anschauen», also der Digitale Zwilling auch in eine lokalisierte Umgebung eingebunden wird. Oder für die Referenzierung, Orientierung und/oder zur Verlinkung im Digitalen Zwilling. Da Geodaten heute sehr gut und in grosser Anzahl verfügbar, gut beschrieben und standardisiert (Inhalt und Format) sind, ist es für die Betreiber von Digitalen Zwillingen ein Leichtes, Geodaten zu integrieren. Leichter als andere Daten. Bei Geodaten lebt man heute im Luxus, da so viele vorhanden sind. Verbesserungspotential wird einzig in vermehrter Verfügbarkeit der Geodaten in 3D erkannt.

### **4.2. Geodateninfrastruktur**

Die Digitalen Zwillinge auf oder nahe an der Maturitätsstufe 4 sind anders gelagert. Sie bauen auf einer Geodatenbasis auf, also der Geodateninfrastruktur im engeren Sinn. Ein Element der GDI besteht aus den Geo(basis)daten von Bund, Kantonen und Gemeinden und definiert somit den verbindlichen Rahmen für den Raumbezug für alle darauf aufbauenden Digitalen Zwillinge, indem sie vernetzte, geometrisch und semantisch synchronisierte Geobasisdaten/-informationen bereitstellt. Die GDI ist sinnvollerweise in 3D und beinhaltet neben den hochwertigen Daten auch den jeweiligen Kontext der Daten, kennt Methoden zur Analyse der Daten und ist vervollständigt mit Metadaten. Zudem muss sie minimale Anforderungen für amtliche Raumbezüge erfüllen, wobei eine Versionierung sicherstellt, dass Änderungen nachvollziehbar und zeitlich geordnet sind. Dadurch wird die GDI die Basis für Visualisierungen, Simulationen und Analysen. Die GDI ermöglicht durch die Öffnung von Datensilos und die Verwendung interoperabler Datenmodelle eine ganzheitliche Betrachtung und Echtzeit-Integration von geobezogenen Informationen. Änderungen in der GDI wirken sich direkt auf die Digitalen Zwillinge aus, was etwa bei Simulationen relevant ist; dafür werden Abhängigkeiten modelliert und automatisiert weitergegeben. Eine bidirektionale Verbindung zwischen der GDI und anderen Digitalen Zwillingen kann sinnvoll sein, z. B. bei der Integration von BIM-Modellen. Die GDI übernimmt dabei eine zentrale Vermittlerrolle.

Auf einer solchen GDI werden je nach Fragestellung weitere Daten/Informationen aufgesetzt, um z.B. Wenn-Dann-Szenarien für ein bestimmtes Thema aufzubauen. Diese Digitalen Zwillinge werden jeweils konkret zur Erfüllung einer speziellen Aufgabe erstellt. Sie sind auf eine vertrauenswürdige und qualitätsgesicherte Geodatenbasis angewiesen, da es sonst nicht möglich ist, geolokalisierte Szenarien und Prognosen zu entwerfen. In den untersuchten Beispielen von Städte-Digitalen Zwillingen sind die jeweiligen Städte immer auch Datensouverän, d.h. sowohl Geo- wie auch Fachdaten sind unter voller Kontrolle der Geo- und Fachabteilungen der jeweiligen Städte.

### **4.3. System der Systeme**

Ziel aller Digitalen Zwillinge auf Maturitätsstufe 4 oder höher ist i.d.R. die verschiedenen bestehenden (Geo- oder Fach-)Anwendungen weiter zu betreiben und ein Ökosystem zu generieren, in dem diese Anwendungen interagieren. Er organisiert und nutzt diese digitalen Ressourcen, einschließlich (Geo-)Daten, Analysen, Simulationen und Visualisierungen, unter Berücksichtigung technischer, organisatorischer und rechtlicher Aspekte. Es entsteht damit ein System der Systeme im Sinne eines Baukastensystems [6]. Jedoch sind alle Anwendungen immer in der Verantwortung derselben Gesamtorganisation (Ebene Stadt). Digitale Zwillinge können flexibel für verschiedene Anwendungsfälle genutzt werden.

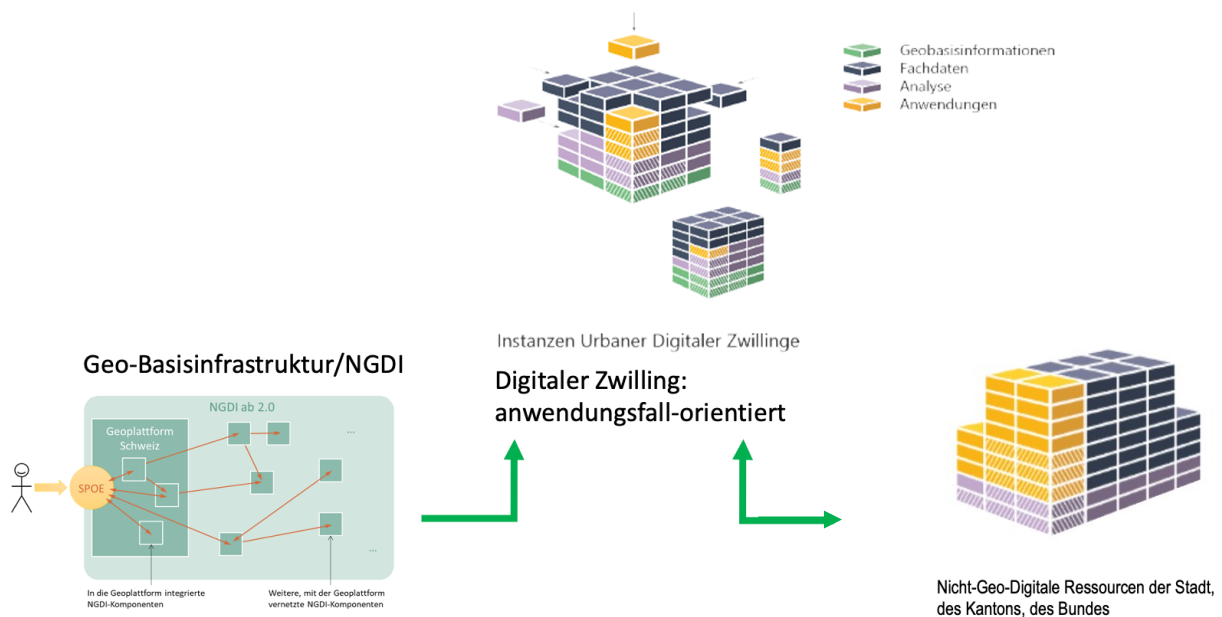


Abbildung 5: Aufbau eines Digitalen Zwillinges als Baukasten gemäss [7]

Digitale Zwillinge gehen über die reine Datenintegration hinaus, indem sie verfügbare Informationen nutzen, um neue Erkenntnisse zu gewinnen und diese für Entscheidungs- und Steuerungsprozesse bereitzustellen. Sie ermöglichen dabei unterschiedliche Steuerungsgrade, von Bürgerbeteiligung bis zur direkten Kontrolle von Infrastrukturen. Das erzeugte Wissen wird innerhalb der Organisation geteilt und kann über die Organisation hinaus mit anderen Zwillingen ausgetauscht werden.

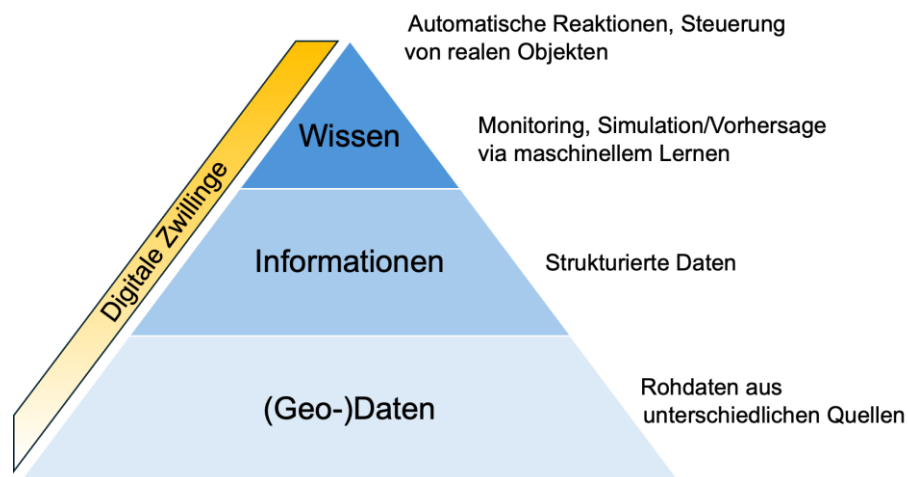


Abbildung 6: Wissenspyramide im Kontext digitaler Zwillinge gemäss [7]

#### 4.4. Digitale Zwilling bauen immer auf Anwendungsfällen auf (im Gegensatz zu GDIs)

Ein Digitaler Zwilling wird i.d.R. mit einem klaren Fokus aufgebaut, bzw. er hat eine klare Fragestellung und wird jeweils konkret zur Erfüllung einer speziellen Aufgabe erstellt. Dabei geht es in den wenigsten Fällen primär um Geodaten. Das Ziel besteht oft darin, eine gewisse Situation (z.B. Anlage, Baute, etc.) zu beschreiben und dokumentieren, spezifische Gegebenheiten abzubilden, Simulationen und Prognosen/Szenarien zu erstellen. Vielfach mit dem Ziel,

Optimierung für die Realität zu ermöglichen oder vorauszusehen, was in Zukunft wie agieren/reagieren könnten. Darin werden auch Informationen über den Life Cycle eines Objekts erhoben, und wie diese in der Realität auf Veränderungen reagieren. Aus den Forschungsarbeiten der Uni Genf wurde zudem erkannt, dass Ontologien eine wichtige Rolle spielen, und auch die Beschreibung, wie diese Ontologien genutzt werden können. Jeder Digitale Zwilling ist einzigartig, jedoch ist die Geodatenbasis stets dieselbe (im gleichen Gebiet).

Die tour d'horizon in Frankreich (Interview Hervé Halbout) hat auf einen interessanten Punkt hingewiesen. Die Geodaten kennen bereits seit Langem eine «common language» (Geolokalisation), die Basis ist immer dieselbe. Das machen sich Betreiber von Digitalen Zwillingen auf Stufe 3 zu Nutzen, in dem sie mit Geodaten das Digitale Zwilling-Gerüst aufbauen (was dann entsprechend stabil ist) und integrieren darauf weitere Informationen/Daten, etc., die im Fokus des Digitalen Zwillings stehen. Die Geodaten selber sind anschliessend bei einigen Digitalen Zwillingen nicht mehr relevant, da sie eben nur als Gerüst dienen, aber nie im Fokus gestanden sind.

In den Digitalen Zwillingen kommen verschiedenste Datenwelten zusammen, die Fragestellungen bleiben dabei dieselben wie bei den Geodaten:

- Standards (s.u.)
- Schnittstellen
- Modelle
- Datenqualität

Die Geo-Community hat hier den Vorteil, dass sie diese Themen bereits angegangen ist und so die Betreiber von Digitalen Zwillingen unterstützen können.

### **Standards**

In verschiedenen Projekten prüft das OGC, wie OGC-Standards (u.a. OGC-APIs) im Rahmen von Digitalen Zwillingen genutzt werden können, welche Vorteile diese Standards bieten und in welchen Bereichen bestehende Standards angepasst, bzw. neue Standards definiert werden müssten [8]. Dazu hat das OGC eine entsprechende Experten-Gruppe aufgebaut, die sich mit diesem Thema beschäftigt.

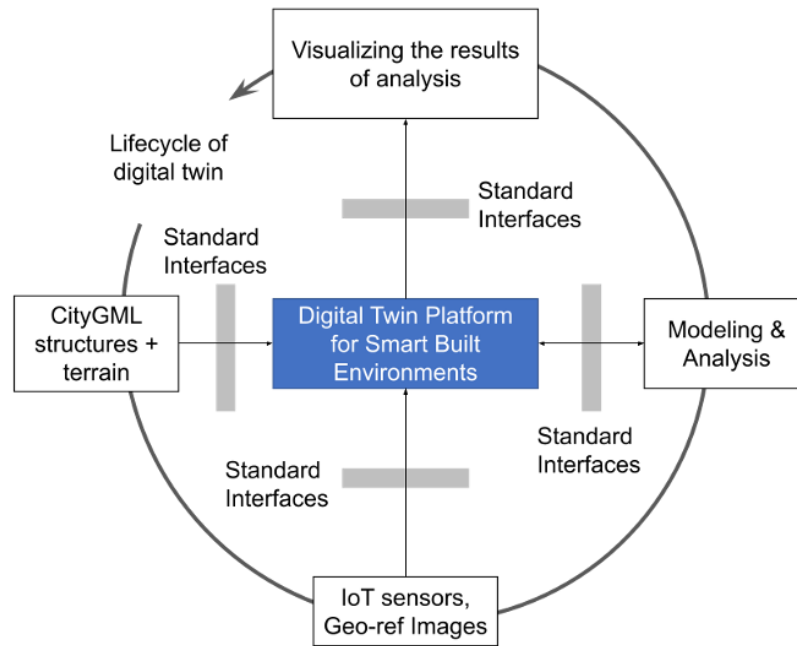


Abbildung 7: Konzeptdiagramm des Netzwerks von Schnittstellen und Prozessen, die mit digitalen Zwillingplattformen für intelligent gebaute Umgebungen verbunden sind [8]

Im Rahmen der Initiativen zur Bereitstellung Digitaler Zwillinge im CUT-Projekt, in dem die Städte München, Hamburg und Leipzig vor allem aktiv sind, wurde eine DIN-Spezifikation zum Aufbau vernetzter digitaler Zwillinge für Städte und Kommunen definiert [6]. Die DIN-Spezifikation bietet einen Leitfaden für die Einführung und Nutzung von Digitalen Zwillingen (v.a. Urbanen Digitalen Zwillingen), einschliesslich Architektur, Anwendungsfällen und Managementstrukturen. Sie dient ausserdem der Vergleichbarkeit und Skalierbarkeit von Technologien und schafft Grundlagen für Normen auf nationaler und internationaler Ebene. Gemäss den Initiatoren und Verfassern soll die Spezifikation unterstützen, um Synergien beim Aufbau von Digitalen Zwillingen zu nutzen, insbesondere auch für untereinander verbundene Digitale Zwillinge.

Die Spezifikation erwähnt verschiedene, in der Geowelt wohlbekannte Standards, die eingesetzt werden können, u.a.:

- OGC-Standards wie WMS, WFS, KML, 3DTiles, GML, CityGML
- GeoJSON
- IFC (Industry Foundation Classes), BIM
- SPARQL
- OpenAPI

Zudem wurden Anforderungen an Daten und Datenqualität aufgestellt. Deren korrekte Spezifikation ist zentral für die Qualität und Verwendbarkeit der Daten.

#### 4.5. Vernetzung

Das Zusammenspiel verschiedenster Daten und Datenquellen ist einer der Kernpunkte eines Digitalen Zwillinges. Heute werden in den Digitalen Zwillingen der Maturitätsstufe 3 oder tiefer oft Daten selbst erhoben oder einmalig von Datenquellen heruntergeladen, transformiert und im Digitalen Zwilling genutzt und auch verändert. Diese Digitalen Zwillinge werden auf einer

Geodatenbasis aufgebaut, die danach jedoch keine Interaktion zur Datenquelle mehr hat. Eine Rückmeldung zur Datenquelle/zum Datenherrn findet nicht statt. Daten von externen Quellen werden im Digitalen Zwilling eigenständig nachgeführt, es wird nicht auf Nachführungen der Datenherren zurückgegriffen.

Bei Digitalen Zwillingen auf Maturitätsstufe 4 oder höher wird diese Architektur angepasst. Auch diese Digitalen Zwillinge basieren auf einer einheitlichen, offenen, qualitätsgesicherten Geodatenbasis, einer Geodateninfrastruktur. Diese GDI wird laufend nachgeführt und interagiert mit anderen Systemen, Daraus entstehen verschiedenste, auf eine bestimmte Fragestellung fokussierte Digitale Zwillinge, die auf demselben Geodatenzwillig/Geodateninfrastruktur aufbauen. Die Interaktion geschieht über wohldefinierte Schnittstellen.

Je mehr Daten in einem Digitalen Zwilling jedoch eine Rolle spielen, umso aufwändiger wird deren Nachführung, v.a. wenn es sich nicht um die «Hauptdaten» handelt, auf denen der Fokus liegt. Es kann so auch nicht auf Veränderungen in der Realwelt eingegangen werden, was eigentlich den Nutzen des Digitalen Zwillings über die Zeit schmälert. Erst mit einer sinnvollen, vollständig interoperablen und evtl. bidirektionalen Datenanbindung an die Quelldaten kann der eigentliche Nutzen des Digitalen Zwillings voll ausgeschöpft werden, nämlich die Live-Interaktion zwischen Realwelt und Digitalem Zwilling. Dies zumindest wird oft als Vision eines Digitalen Zwillings gesehen. Daher ist die Art der Vernetzung ausschlaggebend.

In der Datenökosystem-Welt werden verschiedene Arten der Daten-Vernetzung genutzt:

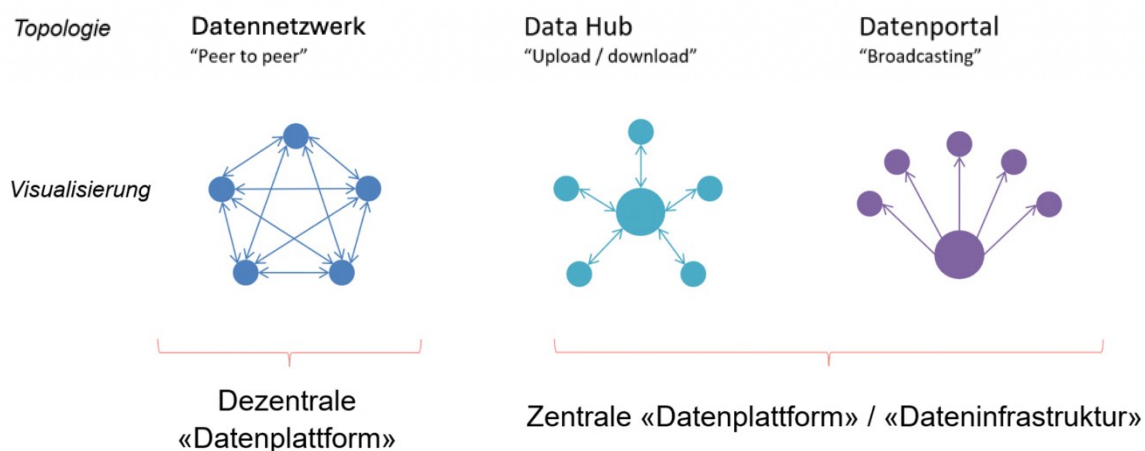


Abbildung 8: Arten der Datenvernetzung [Quelle: Swiss Data Alliance]

### Datennetzwerk

«Jeder mit jedem». Die Daten werden an einer Stelle erarbeitet und veröffentlicht (Datenherr). Ein Nutzer benutzt die Daten, verarbeitet sie weiter, und veröffentlicht die Resultate wieder. Der nächste Nutzer basiert seine Arbeit auf den bereits weiterverarbeiteten Daten, ohne Rückmeldung an den Datenherrn. Eine Interaktion zw. den verschiedenen Nutzern kann stattfinden, eine Rückmeldung zum Datenherrn geschieht jedoch i.d.R. nicht, da es über verschieden(st)e Knoten geht.

- + Sehr hohe Flexibilität und Interaktion
- + Reaktiv auf verschiedenste Inputs unterschiedlichster Quellen
- + Bestmögliche Interaktion Digitaler Zwilling mit Realwelt realisierbar



- Datenquelle teilweise nicht mehr identifizierbar
- Qualität der Daten nicht in jedem Fall gesichert, da evtl. über zweite oder dritte Quelle erhalten
- Durch verschiedenste, evtl. auch unkontrollierte, Schnittstellen/Verbindungen/Interaktionen, kann die Sicherheit der Daten betr. Verlust, ungewollten Veränderungen, etc. nicht vollständig gewährleistet werden.
- Es braucht Abmachungen und Regeln was die Datenqualität und Vertrauenswürdigkeit der Daten bedeutet

### **Data Hub**

Die Daten werden an einer Stelle erarbeitet und veröffentlicht (Datenherr). Ein Nutzer benutzt die Daten, verarbeitet sie weiter, und veröffentlicht die Resultate wieder. Falls es zu Anpassungen an den Quelldaten kommt, werden diese dem Datenherrn zurückgemeldet, es findet eine Interaktion zw. Datenherr und Nutzer statt.

- + Datenquelle jederzeit identifizierbar
- + Daten jederzeit verifiziert
- + Datenqualität der Quelldaten wird erhöht durch «externe Verifizierung»
- + Einigermassen flexibel
- + Kontrollierte Interaktion, d.h. die Datensicherheit ist recht gut gewährleistet.
- Inputs von weiterverarbeiteten Quelldaten nicht nutzbar.

### **Datenportal**

Die Daten werden an einer Stelle erarbeitet und veröffentlicht (Datenherr). Ein Nutzer benutzt die Daten, verarbeitet sie weiter, und veröffentlicht die Resultate wieder. Der Nutzer benutzt immer die Ursprungsdaten des Datenherrn, es findet keine Interaktion statt.

- + Datenquelle jederzeit identifizierbar
- + Daten jederzeit verifiziert
- + Datennutzer oft identifiziert
- + Datensicherheit gut gewährleistet durch kontrollierte Publikationskanäle
- Starr und unflexibel
- Keine Verbesserung der Datenqualität der Quelldaten
- Inputs von weiterverarbeiteten Quelldaten nicht nutzbar.

Je nach Umfeld ist das eine oder andere Vernetzungsmodell richtig und sinnvoll. Dabei sind in jedem Fall folgende Punkte zu diskutieren:

- geprüfte Daten
- Qualitätsstempel
- Glaubwürdigkeit

In der Geocommunity ist die Glaubwürdigkeit meist sehr zentral, z.B. bei der AV. Man will dem Nutzer geprüfte und qualitätsgesicherte Daten abgeben. Und die Datenhoheit beim Datenerhänger behalten. Bei Crowd-source-Daten (z.B. OSM) gibt es nicht eine «Prüfstelle», sondern eine «Schwarmintelligenz», welche die Daten verifiziert. Ob AV oder OSM, die grundsätzliche Logik ist dieselbe, dass es immer eine geprüfte Datenquelle gibt.

Es ist im Moment noch unklar, in welche Richtung sich die Digitalen Zwillinge entwickeln. Spätestens auf Maturitätsstufe 5, vermutlich bereits bei Stufe 4, werden sich Datenräume bilden. Maturitätsstufe 4 bis 5 ist dem Vernehmen nach aus den Interviews oft auch die Vision der Betreiber von Digitalen Zwillingen. Mit welchen Konsequenzen, ist heute unklar.

Mit der zunehmenden Vernetzung in einem System der Systeme wird der bidirektionale Austausch zwischen Geodateninfrastruktur und Digitalen Zwillingen immer wichtiger. Die Geocommunity sollte sich daher der Herausforderung, welche sich aus dem bidirektionalen Austausch ergibt, aktiv stellen.

Die Vernetzungstypen «Data Hub» und «Datenportal» sind im Grundsatz ziemlich ähnlich, da man immer von einer (verifizierten) Quelle die Daten beziehen kann. Dies ist beim Vernetzungstyp «Datenraum» nicht mehr der Fall. Es muss daher eine sehr bewusste Entscheidung gefällt – vermutlich innerhalb einer grösseren (Geo-)Daten-Community – wenn die Daten in einem Datenraum genutzt werden sollen.

## 5. Fazit

Mit der verbreiteten, grossen und freien Verfügbarkeit von amtlichen Geodaten mit hoher Qualität in der Schweiz sind bereits viele Bedürfnisse bezüglich Geodaten in Digitalen Zwillingen gedeckt. Dass viele Geodaten in Geodateninfrastrukturen (GDIs) vorhanden sind und leicht genutzt werden können, spricht für die Nutzung von Geodaten aus Sicht Digitaler Zwilling. Auch wurden bereits viele Fragestellungen im Bereich Standards, Schnittstellen, Modelle, Datenqualität angegangen oder sind sogar gelöst. Dies gibt der Geocommunity einen Vorteil gegenüber den Digitalen Zwillingen, was von den Betreibern gerne genutzt wird beim Aufbau der Zwillinge. Insofern ist die Geocommunity ein Vorbild für die «Welt der Digitalen Zwillinge», da sich diese «Welt» mit den verschiedensten Daten auseinandersetzen muss.

Es stellte sich zudem heraus, dass jeder Digitale Zwilling anwendungsfall-basiert und einzigartig ist, jedoch ist die Geodatenbasis stets dieselbe (im gleichen Gebiet). Für die Geocommunity bedeutet dies, dass entsprechende offene, interoperable Basis-Geodateninfrastrukturen bereitgestellt werden sollten, auf denen die einzelnen Digitalen Zwillinge dann aufsetzen können (siehe Digitaler Zwilling der Stadt München, Stuttgart und Zürich).

Für die Geodateninfrastrukturen können folgende Anforderungen identifiziert werden:

- dienen als Grundstruktur
- vertrauenswürdig und qualitätsgesichert
- standard-basierte Formate und Schnittstellen
- vollständig 3D
- offen und frei zugänglich (OGD)
- interoperabel (ISO, OGC)
- machen standard-basierte Vorgaben
- Datenstrukturen und Inhalte sind dokumentiert
- Beschreibungen (Metadaten, Kataloge, etc.)
- Geodaten müssen auffindbar sein, u.a. auch mit modernsten Technologien (KI, LLM, etc.)
- Rechtliche Aspekte (Datenschutz, Urheberrechte, etc.) sind dokumentiert

Können wir seitens Geocommunity diese Anforderungen erfüllen, kann die GDI einfach(er) mit einem Digitalen Zwilling verknüpft werden.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass jene Betreiber von digitalen Zwillingen, die bereits eine Geodaten-Affinität haben, die amtlichen Geodaten kennen und nutzen. Geschlossene Digitale Zwillinge (z.B. Digitaler Zwilling von CERN) nutzen amtliche Geodaten oft nicht, da sie mit lokalen Referenzen arbeiten, auch wenn ihnen diese amtlichen Geodaten nützen könnten.

Es zeigt sich einmal mehr, dass die Kommunikation über amtliche Geodaten ausserhalb der Geocommunity (noch) nicht optimal funktioniert und verbessert werden muss.

## 6. Ausblick und weiteres Vorgehen

Für das weitere Vorgehen wurden folgende Fokuspunkte identifiziert:

### 6.1. NGDI und Digitale Zwillinge

Die Interaktion eines Digitalen Zwillings mit einer Geodateninfrastruktur, bzw. einer GDI einer einzigen Organisation (z.B. Stadt, Region), bei der diese Organisation die Datensouveränität behält, wurde in verschiedenen untersuchten Beispielen aufgezeigt. Heute sind die meisten GDIs als Datenportal (einseitiger Informationsfluss) aufgebaut. Für die bidirektionale Interaktion einer GDI mit den verschiedenen Digitalen Zwillingen muss der Informationsaustausch gemäss [9] im Sinne eines Data Hubs ausgestaltet werden. Dies ist bereits bei ausgewählten Anwendungsfällen im städtischen Umfeld (Zürich, München, Stuttgart) erfolgt.

Soll jedoch überregional z.B. für die Drei-Seen-Region Schweiz (Bieler-, Murten- und Neuenburgersee) ein Digitaler Zwilling aufgebaut werden, sind die zugehörigen Geodaten nicht von ein und demselben Datenhub und Datensouverän (Autorität) beziehbar, sondern von verschiedenen Datenhubs und Autoritäten. Der Betreiber eines solchen Digitalen Zwillings möchte die Geodaten aber in einer zentralen GDI nutzen können. Will er diese nicht selber aufbauen, wird er auf die Nationale Geodateninfrastruktur zugreifen wollen. Für diese bidirektionale Vernetzung einer Nationalen Geodateninfrastruktur mit potentiellen oder existierenden Digitalen Zwillingen auf städtischen oder regionalen Ebenen braucht es ein Datennetzwerk («Peer to Peer»), welches im Baukastensystem (System der Systeme) zusammenarbeiten kann. Die Geodaten und weitere Daten (aber auch Schnittstellen und Dienste) in der Geodateninfrastruktur müssen von verschiedenen Autoritäten bereitgestellt werden können und vor einer allfälligen Nutzung harmonisiert werden, bzw. die Datenherren müssen ihre Daten laufend nachführen können. Neben diesen Aktualisierungs- und Harmonisierungsmechanismen sind zusätzlich auch die (bidirektionalen) Austauschmechanismen zwischen der GDI und den Digitalen Zwillingen beim Aufbau eines Systems der Systeme (s.u.) zu klären. Die Geocommunity sollte sich daher diesen Herausforderungen aktiv stellen, um die die NGDI so fit zu machen, dass sie von Digitalen Zwillingen als Geodatenbasis genutzt werden kann.

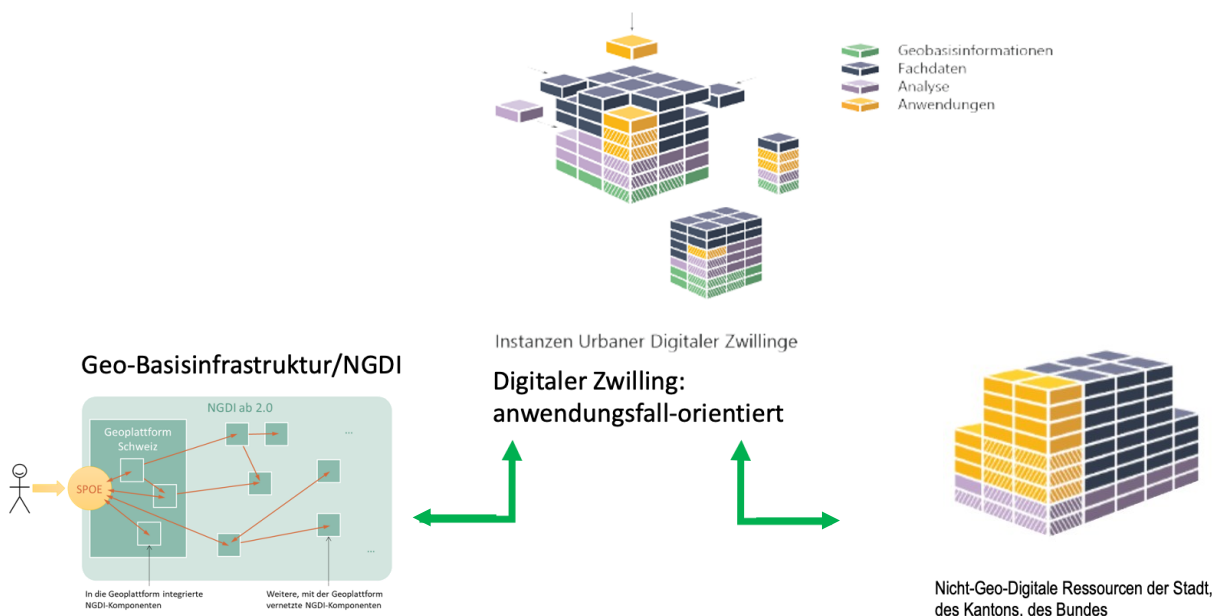


Abbildung 9: Aufbau eines Systems der Systeme gemäss [7]

Es stellen sich somit die folgenden Fragen:

- Welche Art der Vernetzung soll genutzt werden (siehe dazu Kap. 4.5 Vernetzung)?
- Wer verantwortet das zentrale Portal?
- Wie werden Daten (bidirektional) ausgetauscht (operativ, technisch, organisatorisch)?
- Wie werden Daten in der NGDI aktualisiert und harmonisiert, damit die darauf aufgebauten Digitalen Zwillinge weiterhin «funktionieren»?
- Wie werden Ontologien definiert, damit die Geodaten über semantische Suche mit modernen Technologien wie KI, LLM, etc. gefunden werden?

Soll die NGDI für Digitale Zwillinge verfügbar gemacht werden, muss sie nicht nur den Anforderungen gemäss Kap. 5 Fazit genügen, sondern obige Fragen sind breit abgestützt zu diskutieren und zu beantworten.

## 6.2. Community of Practice

Es ist ein Bedürfnis, dass sich die Geocommunity mit der Digitalen Zwilling-Community austauscht, damit die Digitaler Zwilling-Community auch für die Geo-Themen sensibilisiert wird und ein Erfahrungsaustausch zu Geodaten stattfindet, und umgekehrt ist auch die Geo-Community auf die Herausforderungen Digitaler Zwillinge zu sensibilisieren. Dabei sind auch die im vorangehenden Kapitel gestellten Fragen zu diskutieren und zu beantworten. Es scheint zielführend zu sein, eine Community of Practice zu etablieren, die aus Geodaten-Experten und Experten für Digitale Zwillingen besteht. Es geht dabei aber nicht nur um Geodaten im engeren Sinn, sondern ganz allgemein um die räumlichen Aspekte («date urban et territoire»), die auch im Fokus von Digitalen Zwillingen stehen können.

Ziel einer Community of Practice (CoP) ist eine möglichst gute Abdeckung der gegenseitigen Expertisen, Erfahrungen und Bedürfnisse. Zum Aufbau einer solchen CoP wird folgendes Vorgehen empfohlen:

- Bestimmung der Verantwortung für diese CoP  
Da sich in der Schweiz noch keine Community zu Digitalen Zwillingen etabliert hat, scheint es sinnvoll, dass der Lead zu Beginn von der Geo-Community übernommen wird. Mögliche «Kandidaten» wären die Arbeitsgruppe Geodata-Science innerhalb SGS oder als SGS-Projekt.
- Durchführung einer «Unconference» zum Thema Digitaler Zwillinge (mit und ohne Geo-Bezug). Dieses Gefäss hat eine tiefe Eintrittsschwelle und ist damit für eine erste Kontaktaufnahme mit möglichst vielen Interessierten geeignet. In dieser Unconference können die aufgeworfenen Fragestellungen adressiert werden und der Fokus für die CoP gesetzt werden.
- Gründung der CoP basierend auf den Rückmeldungen der Unconference
- Etablierung der CoP

## 7. Glossar

API	Application programming interface
BIM	Building Information Modeling

CERN	Conseil européen pour la recherche nucléaire, Europäische Organisation für Kernforschung
CoP	Community of Practice
CUT	Connected Urban Twins, <a href="https://www.connectedurbantwins.de/">https://www.connectedurbantwins.de/</a>
DUET	Digital Urban European Twins
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
GDI	Geodateninfrastruktur
ISO	International Organization for Standardization
KI	Künstliche Intelligenz
LLM	Large Language Model
MINND	Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Du-rables
NGDI	Nationale Geodateninfrastruktur
OGC	Open Geospatial Consortium, <a href="http://ogc.org">ogc.org</a>
OGD	Open Government Data
OSM	Open Street Map
SGS	Strategie Geoinformation Schweiz