

Urbane Digitale Zwillinge

Eine Stadt sehen, verstehen und lebenswert gestalten



STAEDTETAG.DE

Urbane Digitale Zwillinge

Eine Stadt sehen, verstehen und lebenswert gestalten

**Expertenpapier der Fachkommission Geoinformation, Vermessung und
Bodenordnung des Deutschen Städtetages**

ISBN 978-3-88082-376-1

© Deutscher Städtetag Berlin und Köln, Mai 2023

Titelbild: © Landesamt Geoinformation Bremen

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
1. Zielsetzung des Papiers	5
2. Geodateninfrastrukturen als Teil von Urbanen Datenplattformen	5
2.1 Geodateninfrastruktur	5
2.2 Urbane Datenplattformen	6
2.3 Standards	7
3. Urbaner Digitaler Zwilling	9
3.1 Vorbemerkung	9
3.2 Produktvision	9
3.3 Definition Urbaner Digitaler Zwilling	11
3.4 Urbane Digitale Zwillinge	12
3.5 Geobasiszwillling	12
3.6 Zusammenspiel Urbane Datenplattformen, Geobasiszwillling und Fachzwillling	14
3.7 Zielgruppen digitaler Zwillinge	15
4. Modellbildung und Modellierung	18
4.1 Analysen und Simulationen	18
4.2 Abbildung und Analyse von Prozessen und Wirkungszusammenhängen	19
5. Anwendungsbeispiele	20
Anhang	27
A.1 Auswahl an Definitionen für Digitale Zwillinge	27
A.2 Zwillingstypen	29
A.3 Sammlung allgemeiner Mehrwerte	30
A.4 Generische Anwendungsszenarien beziehungsweise Fähigkeiten	32
A.5 Reifegradmodell / Reifegradkompass	33

Vorwort

Wann haben Sie das letzte Mal den Faltplan im Auto ausgebreitet, um einen Weg zu finden? Ein Szenario aus einer anderen Zeit. Heute nutzen wir selbstverständlich Apps zur Routenplanung, aber auch zur Standortsuche von Sharing-Angeboten oder zur Buchung von Terminen und Tickets. Aber was hat der Urbane Digitale Zwilling damit zu tun? Einfach gesagt: Er bildet die reale Stadt mittels Daten ab. Er macht Zusammenhänge klar und erleichtert Planung, Steuerung und Entscheidungsfindung. Die Stadt der Zukunft ist auf Daten gebaut – der Urbane Digitale Zwilling wird daher zukünftig immer wichtiger und kann als Grundlage für Entscheidungen zur Stadtentwicklung dienen. Daten sind deshalb Sache der Chefinnen und Chefs in den Rathäusern.

Um den Mehrwert von Urbanen Digitalen Zwillingen zu heben, bedarf es aber einiger Vorarbeiten. Das umfassende Wissen von Expertinnen und Experten ist notwendig. Das vorliegende Papier dient dazu, die Begriffe Geodateninfrastrukturen, Urbane Datenplattform und Urbaner Digitaler Zwilling zu definieren und miteinander in Beziehung zu setzen. Es zeigt den aktuellen Stand bei der Umsetzung auf, gibt gute Beispiele und soll zur Diskussion anregen.

Eine Blaupause für einen Urbanen Digitalen Zwilling gibt es nicht. Wichtig ist es, dass Städte tun, was sie immer getan haben: Sich austauschen, gute Ideen teilen und gemeinsam Lösungen finden. Das vorliegende Papier ist in der Zusammenarbeit mit vielen Expertinnen und Experten aus den Mitgliedsstädten entstanden. Die Vielzahl an Anwendungsbeispielen im Papier macht den Mehrwert und die unterschiedlichen Einsatzbereiche deutlich. Wir möchten mit dem Papier die Städte bei der Umsetzung unterstützen und den Erfahrungsaustausch unter den Expertinnen und Experten befördern.

Wir bedanken uns für das Engagement aller Beteiligten und wünschen gute Anregungen und viel Freude beim Lesen.



Helmut Dedy
Hauptgeschäftsführer des Deutschen Städtetages

1. Zielsetzung des Papiers

Geodateninfrastrukturen (GDI) wurden bereits oder werden in Zukunft zu Urbanen Datenplattformen (UDP) ausgebaut, die wiederum die infrastrukturelle Basis von Urbanen Digitalen Zwillingen (UDZ) bilden – soweit die knappe Zusammenfassung der Verknüpfungskette dieser Überbegriffe, welche in diesem Expertenpapier behandelt werden.

Ziel dieses Papiers ist es, die Begriffe UDP und UDZ abzugrenzen, einen Definitionsversuch der Urbanen Digitalen Zwillinge zu wagen und die Grundlage für weitere Diskussionen in der Fachwelt im Hinblick auf eine gemeinsame Sicht auf die UDZ zu dokumentieren. Damit soll auch ein Beitrag geleistet werden, im Zukunftsfeld der Urbanen Digitalen Zwillinge die Belange der Geoinformation geschlossen zu vertreten und zudem sicherzustellen, dass die Hoheit über die Daten, Algorithmen und Anwendungen in der öffentlichen Verwaltung bleibt.

Ein Whitepaper zur Begriffsdefinition UDZ wurde bereits im Projekt Connected Urban Twins (CUT) in Abstimmung zwischen München, Leipzig und Hamburg mit wissenschaftlicher Begleitung erstellt und kann als Grundlage für dieses Papier dienen. Beide Papiere fließen in die vom CUT initiierte DIN SPEC 91607 „Digitaler Zwilling für Städte und Kommunen“ ein und werden hier von Städten, Kommunen, Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam weiterentwickelt. Das vorliegende Papier hilft, die städtische Sicht eines Urbanen Digitalen Zwillings im Konsortium der DIN SPEC zu stärken und gemeinsam mit Industrie und Wissenschaft eine starke Basis für datengetriebene Innovationen im Sinne des Gemeinwohls zu fördern.

2. Geodateninfrastrukturen als Teil von Urbanen Datenplattformen

Dieser Abschnitt beschreibt den konkreten Weg von GDI hin zu ganzheitlichen UDP. Neben der Einordnung von GDI und UDP in den Kontext eines Digitalen Zwillings werden die gängigen Zugänge zu GDI und UDP sowie die verwendeten Standards beschrieben.

2.1 Geodateninfrastruktur

Eine grundlegende Definition des Begriffs „Geodateninfrastruktur“ findet sich in dem 2009 erlassenen und 2012 geänderten Geodatenzugangsgesetz des Bundes (GeoZG, 2009):

„Geodateninfrastruktur ist eine Infrastruktur bestehend aus Geodaten, Metadaten und Geodatendiensten, Netzdiensten und -technologien, Vereinbarungen über gemeinsame Nutzung, über Zugang und Verwendung sowie Koordinierungs- und Überwachungsmechanismen, -prozesse und -verfahren mit dem Ziel, Geodaten verschiedener Herkunft interoperabel verfügbar zu machen.“

Aufbauend auf der INSPIRE Richtlinie der Europäischen Union und den in den Ländern und im Bund geltenden Geodateninfrastrukturgesetzen arbeiten Kommunen, Länder und der Bund auf dieser Basis seit vielen Jahren am Auf- und Ausbau von Geodateninfrastrukturen.

Dabei legen Rechtsnormen die notwendigen Grundlagen zur Bereitstellung von Geodaten und Geodatendiensten fest. Der Zugang und die Nutzung der Geodaten und Geodatendienste werden durch Vereinbarungen zwischen Bereitstellenden und Nutzenden geregelt. Koordinierungs- und Überwachungsmechanismen gewährleisten dabei die Funktionsfähigkeit der Geodateninfrastruktur. Normen, Standards und Spezifikationen definieren die Voraussetzungen für Interoperabilität von Geodaten, Metadaten und Geodatendiensten.

Auf kommunaler Ebene existieren auf dieser Grundlage seit vielen Jahren UDP. Diese funktionieren nach diesen Normen und Standards interoperabel und integrieren sich in nationale (GDI-DE) und internationale (INSPIRE) Geodateninfrastrukturen.

2.2 Urbane Datenplattformen

Mit der Digitalisierung in Städten und dem Vorantreiben sogenannter Smart City Projekte sind in den letzten Jahren verschiedene datengetriebene Aktivitäten auf unterschiedlichen politischen und administrativen Ebenen entstanden. Im Mittelpunkt steht oft die Vernetzung von Daten zur Generierung neuer intelligenter Lösungen für die digitale Stadt.

Der Auf- und Ausbau einer UDP ist dabei für die Städte eine der Kernaufgaben der Digitalisierung. Eine UDP kann dabei als „konzeptionelles System von Systemen“ gesehen werden. In diesem System werden die Daten der Stadt aus den unterschiedlichsten Fachsystemen zusammengeführt und über standardisierte Schnittstellen interoperabel für die verschiedensten Anwendungen bereitgestellt. Die Umsetzung dieses Konzepts in einer technischen Infrastruktur erfolgt derzeit in vielen Städten auf nationaler und internationaler Ebene.

Die UDP der Freien und Hansestadt Hamburg fußt zum Beispiel auf folgendem gedanklichen Ansatz: Vorhandene und künftige IT-Systeme beziehungsweise IT-Services werden so miteinander verbunden, dass sie nicht nur voneinander wissen und Daten austauschen, sondern deren logische und analytische Fähigkeiten in interaktiven Prozessen mitnutzen. Sie informieren, bereiten Entscheidungen vor, assistieren bei der Entscheidungsfindung oder treffen sogar Entscheidungen.

Mit einer UDP soll Bürgerinnen und Bürgern sowie öffentlichen und privaten Institutionen in der Stadt eine zielgerichtete, nutzbringende, datenschutzkonforme und rechtssichere Nutzung urbaner Daten und Anwendungen ermöglicht werden.

Durch verbesserten Austausch sowie neuartige Nutzung urbaner Daten und urbaner Anwendungen können private und öffentliche Dienstleistungen verbessert oder neue entwickelt, Infrastrukturen effizienter genutzt und datenbasierte Innovationen in Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft gefördert werden.

Der Begriff „Urbane Daten“ ist dabei weit zu fassen. Damit sind alle Daten gemeint, die von städtischen Akteuren (öffentliche Verwaltung, öffentliche Einrichtungen, städtische Unternehmen), privaten Akteuren (zum Beispiel Unternehmen, Vereine, Bürgerinnen und Bürger) oder sonstigen Akteuren unabhängig vom jeweiligen Entstehungskontext und Erhebungsart gehalten, genutzt oder zur Verfügung gestellt werden. Zudem können sie für die Zielsetzungen einer UDP relevante Informationen zum städtischen Raum bereithalten.

Urbane Daten umfassen damit statische sowie dynamische Daten (zum Beispiel Echtzeit-Daten), bürger- beziehungsweise nutzergenerierte (sogenannte Crowdsourcing) Daten und ebenso Daten, die privatwirtschaftlich oder in der Forschung erzeugt werden. Für alle diese Daten gilt, dass sie sowohl aktuelle als auch historische Informationen enthalten können – und das mit oder ohne einen Raumbezug.

Folgt man dem Gedanken der UDP, so ist das Neue an diesem Ansatz die Generierung von Wissen aus vorhandenen urbanen Daten aller Art, welche aus diversen Quellen kommen. Erst die Kombination, die Analyse und die Bereitstellung von Funktionen auf der Grundlage standardisierter Dienste sind als „smarter“ Ansatz zu bezeichnen. Der UDP liegt eine neue Denkweise oder Philosophie zugrunde: Für die Entwicklung einer UDP ist nicht in erster Linie die Frage nach einer komplett neuen „technischen Plattformlösung“, über die urbane Daten gehalten und gemanagt sowie urbane Anwendungen entwickelt werden können, handlungsleitend. Es soll vielmehr der Ansatz verfolgt werden, die inhaltliche Zielsetzung und formalen Leitprinzipien zu formulieren, an denen bestehende und neu zu entwickelnde, IT- und Governance-Strukturen in den Städten schrittweise auszurichten sind. Damit soll das Nutzungspotenzial urbaner Daten und Anwendungen für alle interessierten Akteure in der Stadt gehoben werden (zum Beispiel Unternehmen inkl. Start-Ups, öffentliche Verwaltung, Bürgerinnen und Bürger, Forschungseinrichtungen, Schulen, Hochschulen, Touristinnen und Touristen etc.).

Eine UDP entsteht demnach aus bereits existierenden Strukturen sowie Prozessen heraus. Sie entwickelt diese entlang neuer Zielsetzungen und Leitlinien zur Vernetzung von Daten in einer Stadt fort. Soweit GDI in den Städten bereits existieren, sind diese idealerweise als Kern einer UDP anzusehen. Auf Grundlage der beschriebenen Philosophie werden sie funktional und bedarfsgerecht für Geodaten und Nicht-Geodaten zu einer ganzheitlichen UDP ausgebaut gut nutzbar bereitzustellen.

2.3 Standards

Eine Grundlage für die Standardisierung des Begriffs der UDP wurde im Jahr 2017 gelegt. Mit der DIN SPEC 91357 „Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP)“¹ existiert eine standardisierte Rahmenarchitektur mit funktionalen Ebenen für UDP. Sie richtet sich an kommunale Verwaltungen und politische Entscheidungstragende, Planende und Herstellende – und ausdrücklich auch an kleinere Städte, Landkreise und Regionen. Entworfen wurde die Referenzarchitektur unter der Beteiligung deutscher und niederländischer Beteiligter aus dem privatwirtschaftlichen Sektor (Microsoft, Telekom, BMW, SAP u.a.) und dem öffentlichen Bereich (zum Beispiel Städte München, Berlin, Köln, Bad Hersfeld, Hamburg).

Die DIN SPEC 91357 beschreibt, wie Daten aus „sektoralen Silos“ zu befreien sind. Sie gibt zur Sicherung der Datensouveränität offene Schnittstellen vor, wodurch ein Austausch von Daten in unterschiedlichen Nutzungsszenarien ermöglicht werden soll. Offene Schnittstellen

¹ S. Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN), www.din.de/de/wdc-beuth:din21:281077528

verhindern einen „Vendor Lock-in“, also die Abhängigkeit einer Kommune von einem einzelnen Lösungsanbietenden. Auch wird auf diese Weise die Anschlussfähigkeit technischer Komponenten unterschiedlicher Hersteller sicher gestellt.

An dieser Stelle setzen GDI mit den gleichen Designprinzipien von Schnittstellen an. Die in der GDI seit Jahren propagierten und im Einsatz befindlichen offenen Schnittstellen und Datenformate des Open Geospatial Consortium (OGC) sind daher voll kompatibel zu DIN SPEC 91357 und erfüllen die Kernfunktionalitäten einer UDP. Die aktuelle Öffnung der OGC im Sinne der neuen OGC API Familie zielt auf die Nutzung von Geodaten durch noch allgemeinere Webtechnologien, um somit auch die Nutzung außerhalb der Geo-Expertenwelt zu vereinfachen. Damit sind diese Standards ebenso gut geeignet, auch Nicht-Geodaten über diese Schnittstellen allgemein gut nutzbar bereitzustellen.

Standard	Einsatzbereich
OGC Web Map Service	Bereitstellung von georeferenzierten Kartenbildern und punktuellen Informationen einzelner Objekte in verschiedenen zeitlichen Dimensionen
OGC Web Feature Service und OGC API Features	Bereitstellung von strukturierten Daten in verschiedenen Downloadformaten mit Filterkriterien in verschiedenen zeitlichen Dimensionen
OGC Web Coverage Service	Bereitstellung von Rasterdaten in verschiedenen Downloadformaten in verschiedenen zeitlichen Dimensionen
OGC Sensor Things API	Eventbasierte Bereitstellung von Echtzeitdaten und Abbildung und Bereitstellung dieser in einer Historie
OGC 3D Tiles	Bereitstellung von großen 3-dimensionalen Inhalten über Streamingfunktionalitäten (zum Beispiel 3D-Stadtmodelle, Punktwolken)
OGC Catalogue Service for Web	Bereitstellung von Metadaten
OGC Styled Layer Descriptor	Bereitstellung von Styling-Informationen für die kartographische Abbildung von Objekten
OGC Web Processing Service	Bereitstellung von beliebigen selbst definierten Analysefunktionalitäten

Tabelle 1: Überblick über die wichtigsten „Application Programming Interfaces“ (APIs) für GDI und UDP

3. Urbaner Digitaler Zwilling

3.1 Vorbemerkung

Hinweis: Arbeitsergebnis aus dem Förderprojekt „Connected Urban Twins“

Im Projekt CUT wird der Begriff Urbane Digitale Zwillinge auf drei Ebenen behandelt:

Produktvision	• Einfache Kommunikation der wesentlichen Eigenschaften eines urbanen Digitalen Zwillings mit Fachfremden • Erste Idee ausformulieren
Definition	• Übersetzung der Eigenschaften in das notwendige Fachvokabular • Genauere Spezifikation von Zusammenhängen für Fachleute
Technisches Konzept	• Ableitung von Fähigkeiten (Capabilities) • Vorschlag einer generischen technischen Architektur basierend auf der Definition und der bestehenden Infrastruktur in den 3 Städten

Tabelle 2: UDZ im Projekt CUT

3.2 Produktvision

Hinweis: Text in Kapitälchen geschrieben stellt den Arbeitsstand aus dem Förderprojekt „Connected Urban Twins“ von August 2022 dar. Ergebnisse werden mit der DIN SPEC 91607 Anfang 2024 veröffentlicht. Im Projekt CUT wird der Begriff Urbane Digitale Zwillinge auf drei Ebenen behandelt:

Die Stadt und ihre Prozesse, mit denen UDZ sehen, verstehen und intelligent unterstützen:

EIN URBANER DIGITALER ZWILLING (UDZ) IST EIN INTELLIGENTES UND REALITÄTSNAHES DIGITALES ABBILD DER STADT. ER IST VERTRAUENSWÜRDIG, ZUVERLÄSSIG UND KANN ZUR VISUALISIERUNG, AUSWERTUNG UND SIMULATION VON STÄDTISCHEN PROZESSEN GENUTZT WERDEN. URBANE DIGITALE ZWILLINGE SIND MODULAR UND FÜR DIE JEWEILIGEN ZIELGRUPPEN EINFACH ZUGÄNGLICH UND VERSTÄNDLICH AUFBEREITET. DIE OFFENEN MODULE SIND GRUNDLAGE FÜR DIE ERSTELLUNG FACHLICHER ZWILLINGE. SIE ERMÖGLICHEN ÜBERTRAGBARE LÖSUNGEN UND KONZEPTE UND FÖRDERN DIE DIGITALE SOUVERÄNITÄT EINER KOMMUNE.

EIN URBANER DIGITALER ZWILLING IST ...

INTELLIGENT:

- BEANTWORTET FRAGEN BASIEREND AUF DATEN UND REAGIERT AUF EREIGNISSE
- LIEFERT ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGEN
- UNTERSTÜTZT ANALYSEN, EXTRAPOLATIONEN, SIMULATIONEN, VORHERSAGEN, VALIDIERUNGEN INDIKATORENSETS
- ERMÖGLICHT DATENBASIERTE PROGNOSEN
- KANN AUF METHODEN DES „MACHINE LEARNING“ ZURÜCKGREIFEN

OFFEN UND MODULAR:

- IST INTEROPERABEL U. A. DURCH STANDARDISIERTE DATENANBINDUNG UND DATENZUGRIFFE
- IST MODULAR, KONFIGURIERBAR UND STEUERBAR AUFGEBAUT
- BASIERT AUF EINEM EINSATZ VON STANDARDS UND BEZUG AUF VORHANDENE REFERENZMODELLE
- SETZT AUF ZUKUNFTSFÄHIGE TECHNOLOGIEN
- GEHT EFFIZIENT MIT VORHANDENEN RESSOURCEN UM
- UNTERSTÜTZT REPLIKATIONSFÄHIGKEIT

REALITÄTSNAH:

- IST EIN MÖGLICHST BEDARFSORIENTIERTES UND REALITÄTSNAHES ABBILD DER KOMMUNE
- HAT BEZUG ZUR REALITÄT DURCH NUTZUNG VERSCHIEDENER DIGITALER RESSOURCEN UND METHODEN (Z. B. QUALIFIZIERTE OBJEKTDATEN, SENSORDATEN, ZEITREIHENDATEN UND BIDIREKTIONALER INFORMATIONSAUSTAUSCH)
- UNTERSTÜTZT DIE INTEGRIERTE STADTENTWICKLUNG UND FACHPROZESSE EINER KOMMUNE

NIEDRIGSCHWELIG:

- IST LEICHT ZUGÄNGLICH, OHNE GROSSE TECHNISCHE HÜRDEN UND BARRIEREARM
- IST EINFACH UND VERSTÄNDLICH DURCH ZIELGRUPPENGERECHTE WERKZEUGE UND BENUTZEROBERFLÄCHEN
- IST BEDARFSGERECHT DURCH ANWENDUNGSFALLBEZOGENE ENTWICKLUNG UND WEITERENTWICKLUNG (Z. B. UMSETZUNG NÖTIGER VISUALISIERUNG, WERKZEUGE, USER INTERFACE, MODULE)
- UNTERSTÜTZT USERZENTRIERTES DESIGN
- VISUALISIERT ERGEBNISSE, DIE GETEILT WERDEN KÖNNEN

ZUVERLÄSSIG & VERTRAUENSWÜRDIG:

- VERMITTELT WAHRHAFT UND AKTUELLE INFORMATIONEN UND WISSENSINHALTE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON INFORMATIONSSICHERHEIT UND DATENSCHUTZ
- HÄLT DAS GELTENDE RECHT EIN UND BERÜCKSICHTIGT LOCALE DATEN-GOVERNANCE-STRUKTUREN
- HAT EINE HOHE VERFÜGBARKEIT, D. H. EINE AUSFALLSICHERE UND KONTINUIERLICHE AUSFÜHRUNG DER AUFGABEN
- HAT EINE HOHE PERFORMANZ IM UMGANG MIT GROSSEN DATENMENGEN UND ECHTZEITDATEN, SOWIE MÖGLICHST GERINGE LATENZZEITEN UND REAKTIONSZEITEN
- WIRD BETRIEBEN NACH EINEM STANDARDISIERTEN QUALITÄTSSICHERUNGSPROZESS

Ergänzung: In Großbritannien wurden 2018 einheitliche Prinzipien, die sogenannten Gemini Principles², für ein gemeinsamen Verständnis für Digitale Zwillinge erarbeitet.

² Gemini Principles | Centre for Digital Built Britain (cam.ac.uk)

3.3 Definition Urbaner Digitaler Zwilling

Hinweis: Text in Kapitälchen geschrieben stellt den Arbeitsstand aus dem Förderprojekt „Connected Urban Twins“ von August 2022 dar. Ergebnisse werden mit der DIN SPEC 91607 voraussichtlich Anfang 2024 veröffentlicht.

DAS KONZEPT DER **UDZ** BEZEICHNET DIE ORGANISATION UND NUTZBARMACHUNG DER VIELFÄLTIGEN DATEN ÜBER DIE STADT, IHRER PHYSISCHEN BESTANDTEILE UND LOGISCHEN STRUKTUREN SOWIE DER BETEILIGTEN AKTEURE UND IHRE PROZESSE; ALSO ALLE **DIGITALEN RESSOURCEN** EINER KOMMUNE. DABEI SPIELEN TECHNISCHE, ORGANISATORISCHE UND RECHTLICHE ASPEKTE EINE ROLLE.

DIGITALE RESSOURCEN UMFASSEN VERSCHIEDENSTE ARTEN VON DATEN, ABER AUCH FUNKTIONALITÄTEN WIE ANALYSEN, SIMULATIONEN UND VISUALISIERUNGEN. DAMIT IST DIE GESAMTMENGE ALLER POTENTIALEN DIGITALEN RESSOURCEN (ABBILDUNG 1, LINKS) MIT DEM BEGRIFF „URBANER DATENRAUM“³ VERGLEICHBAR.

Eine Auswahl alternativer Definitionen für Digitale Zwillinge sind im Anhang A1 zu finden.

In diesem Kontext sind eine UDP beziehungsweise eine GDI eine technische, organisatorische und rechtliche Infrastruktur und stellt die digitalen Ressourcen der Stadt standardisiert bereit. Eine Instanz eines Udz verbindet eine Auswahl digitaler Ressourcen und beantwortet eine Fragestellung. Das Zusammenspiel der UDP und der Udz-Instanzen einer Stadt ergibt das Konzept Udz.

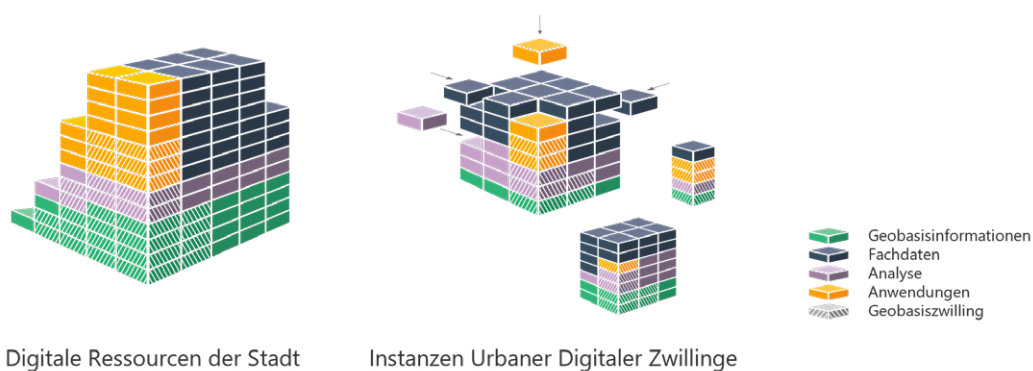


Abbildung 1: Die Gesamtheit aller digitaler Ressourcen (links) als Basis für die Urbanen Digitalen Zwillinge, die eine konkrete Fachaufgabe lösen (rechts). (Eigene Grafik. Ebenfalls verwendet in: Schubbe et al., Urbane Digitale Zwillinge als Baukastensystem: Ein Konzept aus dem Projekt Connected Urban Twins (CUT), Zfv 1/2023 148. Jg.; https://geodaesie.info/images/zfv/148-jahrgang-2023/downloads/zfv_2023_1_Schubbe_et-al.pdf)
© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg

³ S. www.iais.fraunhofer.de/content/dam/iais/pr/pi/2018/PI_20180629/UDR_Studie_062018.pdf

3.4 Urbane Digitale Zwillinge⁴

Hinweis: Text in Kapitälchen geschrieben stellt den Arbeitsstand aus dem Förderprojekt „Connected Urban Twins“ von August 2022 dar. Ergebnisse werden mit der DIN SPEC 91607 voraussichtlich Anfang 2024 veröffentlicht.

Prinzipiell wird davon ausgegangen, dass es nicht den EINEN Digitalen Zwilling einer Stadt oder Kommune geben wird. Vielmehr werden die unterschiedlichen Anwendungsfälle einer Stadt beziehungsweise Kommune und deren spezifischen Anforderungen in eine Vielzahl von Zwillingeninstanzen aufgehen.

Aus dieser Idee heraus ergibt sich folgende Definition:

EINE INSTANZ (ABBILDUNG 1) IST EIN KONKRET ZUR ERFÜLLUNG EINER SPEZIELLEN AUFGABE ERSTELLTER UDZ. EIN UDZ IST DAMIT EINE ZWECKMÄSSIGE ZUSAMMENSTELLUNG VON DIGITALEN RESSOURCEN EINER KOMMUNE. DABEI WERDEN ALLE FÜR SEINEN ZWECK ERFORDERLICHEN ASPEKTE DER REALEN WELT DIGITAL REPRÄSENTIERT UND FÜR ANWENDUNGEN UND NUTZER UNTER EINHALTUNG DER GOVERNANCE-VORGABEN ZUGREIFBAR, ANALYSIERBAR UND VISUALISIERBAR GEMACHT.

Greift man das Bild des „Ressourcenwürfels“ aus Abbildung 1 auf, dann bilden die jeweiligen „Zwillinge“ für jeden Anwendungsfall eine Untermenge aus der Gesamtmenge aller Informationsressourcen. Dabei sind Informationsressourcen nicht auf der Nutzung in nur einer Instanz beschränkt, sondern können in mehreren Urbanen Digitalen Zwillingen verwendet werden. Hier ergibt sich eine n:m Relation zwischen Informationsressourcen und Urbanen Digitalen Zwillingen.

Urbane Digitale Zwillinge können u.a. thematisch (zum Beispiel Umwelt, Mobilität), zeitlich (Echtzeit, festgelegte Zeiträume) und räumlich (zum Beispiel Stadt, Quartier) speziell für den jeweiligen Anwendungsfall zusammengestellt werden. Prinzipiell kann es unzählige Kombinationen an Informationsressourcen für unterschiedliche Anwendungsfälle geben oder man reduziert die Anzahl durch eine geschickte Kombination vorhandener Urbaner Digitaler Zwillinge.

3.5 Geobasiszwillling

Hinweis: Text in Kapitälchen geschrieben stellt den Arbeitsstand aus dem Förderprojekt „Connected Urban Twins“ von August 2022 dar. Ergebnisse werden mit der DIN SPEC 91607 voraussichtlich Anfang 2024 veröffentlicht.

Informationsressourcen, die in vielen UDZ als Grundlage referenziert werden, können als eigene Zwillingeninstanz betrachtet werden. Abgeleitet aus den im Geoinformationsumfeld verbreiteten Begriffen der Geobasisdaten und Geobasisinformationen wird der Begriff Geobasiszwillling eingeführt und wie folgt definiert:

DIE WESENTLICHE GRUNDLAGE DES URBANEN DIGITALEN ZWILLINGS EINER DATENSOUVERÄNEN STADT SIND IHRE STÄDTISCHEN GEOBASISINFORMATIONEN. DIESE GEOBASISINFORMATIONEN DEFINIEREN DEN RAUMBEZUG, ERMÖGLICHEN EINE PERSISTENTE, FACHÜBERGREIFENDE INFORMATIONSVERKNÜPFUNG UND SCHAFFEN DAMIT EINEN EINDEUTIGEN INTERPRETATIONSRAUM. DIE ZUSAMMENSTELLUNG ALLER RESSOURCEN VON STÄDTISCHEN GEOBASISINFORMATIONEN KANN ALS GEOBASISZWILLING ZUSAMMENGEFASST WERDEN.

⁴ Eine Übersicht verschiedener Zwillingstypen ist im Anhang A.2. zu finden.

DER GEOBASISZWILLING (GBZ) UMFASST FOLGENDE EIGENSCHAFTEN:

- DER GBZ BILDET DEN GEODÄTISCHEN RAHMEN, ALSO DIE VERBINDLICHE GRUNDLAGE FÜR DEN RAUMBEZUG (KOORDINATENBEZUGSSYSTEM) FÜR ALLE URBANEN DIGITALEN ZWILLINGE.
- DER GBZ IST DIE INTELLIGENTE VERNETZUNG VON GEBIETSBEZOGENEN GEOBASISINFORMATIONEN, DIE MITEINANDER SOWOHL GEOMETRISCH ALS AUCH SEMANTISCH SYNCHRON SIND INKLUSIVE DER METHODEN ZUR ANALYSE DIESER DATEN. DURCH DIESE KONZEPTIONELLE WEITERENTWICKLUNG DER GEOBASISDATEN WERDEN SILOS AUCH INNERHALB DER KOMMUNEN GEÖFFNET UND GEOBASISDATEN GANZHEITLICH GEDACHT.
- DER GBZ DEFINIERT FOLGLICH EINE SEMANTISCH WIE TECHNISCH EINDEUTIGE INTERPRETATIONSGRUNDLAGE FÜR VISUALISIERUNGEN, SIMULATIONEN UND ANALYSEN VON URBANEN DIGITALEN ZWILLINGEN. DER BEZUG WIRD ÜBER EINEINDEUTIGE OBJEKTE UND KOMPONENTEN (ANWENDUNGEN, FACHDATEN, GEOBASISINFORMATIONEN, ANALYSEN) HERGESTELLT.
- DER BENÖTIGTE DATENBESTAND KANN IN EINEM HOMOGENEN DATENMODELL AKTUELL GEHALTEN WERDEN, ABHÄNGIGKEITEN MODELLIERT UND MÖGLICHT AUTOMATISIERT UND ECHTZEITNAH AN ANDERE URBANE DIGITALE ZWILLINGE WEITERGEGEBEN (BROKER-FUNKTIONALITÄT).
- ÄNDERUNGEN DER DATEN IM GBZ HABEN AUSWIRKUNG AUF ANDERE URBANE DIGITALE ZWILLINGE.
- ÄNDERUNGEN HABEN AUSWIRKUNGEN AUF SIMULATIONEN, AUSWERTUNGEN UND VISUALISIERUNGEN IN ANDEREN URBANE DIGITALE ZWILLINGE. BSP.: EIN NEUES GEBÄUDE WIRD GEBAUT, IN DEN GBZ EINGEFÜGT, DIESES VERÄNDERT DANN BSPW. DIE HITZESIMULATION IN EINER ZWILLINGSINSTANZ „STADTKLIMA“.
- EINE BIDIREKTIONALE VERBINDUNG MIT EINEM URBANEN DIGITALEN ZWILLING (ZUM BEISPIEL EINEM BAUZWILLING) KANN SINNVOLL SEIN, WENN DIESER BEISPIELWEISE DIE FACHAUFGABE „INTEGRATION VON BIM MODELLEN“ IN DEN DATENBESTAND DES GEOBASISZWILLINGS ÜBERNIMMT.
- DER GBZ WEISS WELCHE ANDEREN URBANEN DIGITALEN ZWILLINGE ES GIBT UND WELCHE IHN NUTZEN.
- WIE ANDERE URBANE DIGITALE ZWILLINGE LIEGT DER GEOBASISZWILLING AKTUELL UND VERSIONIERT VOR. JEDE VERSION IST EINE ZUSAMMENSTELLUNGEN DER DIGITALEN RESSOURCEN IM GEOBASISZWILLING ZU EINEM BESTIMMTEN ZEITPUNKT.
- DIE VERSIONIERUNG DER DATENSÄTZE OBLIEGT DER DATENHALTENDEN STELLE.
- DAS INHALTLICHE DESIGN EINES GEOBASISZWILLINGS IST ANPASSBAR, ABER MUSS IM RAHMEN DES KONZEPTE VON JEDER STADT ODER KOMMUNE FESTGELEGT WERDEN.
- MINIMALANFORDERUNG ZUR SICHERSTELLUNG DES AMTLICHEN RAUMBEZUGES SIND DIE VERNETZTEN GEOBASISINFORMATIONEN, DIE EINE STADT ODER REGION DEFINIERT.

Überblick beispielhafter Inhalte aller 5 Komponenten in Hamburg

1 Auswahl an Datenbeispielen einer UDP

- Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS)
- Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS)
- Digitale Orthophotos Hamburg
- Digitale Orthophotos hochauflösend (TrueDOP) - FHHNET
- Digitales Höhenmodell Hamburg DGM 1
- ...
- Lichtsignalanlagendaten
- Straßenbaumkataster
- Krankenhäuser
- Starkregenhinweiskarte
- 3D-Stadtmodell (LoD1, LoD2, LoD3)
- XPlanung
- ...

2 Elemente des Geobasiszwillings

- Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS)
- Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS)
- Digitale Orthophotos Hamburg
- Digitale Orthophotos hochauflösend (TrueDOP) - FHHNET
- Digitales Höhenmodell Hamburg DGM 1
- GeoBasisKarten Hamburg
- ...
- 3D-Stadtmodell
- ...
- Geo-Online - Portal Hamburg³
- ...

3 Fachzwillings Beispiel Mobilitätszwillings

Elemente der Geobasiszwillingskomponenten

- Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS)
- Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS)
- Digitale Orthophotos Hamburg
- Digitale Orthophotos hochauflösend (TrueDOP) - FHHNET
- Digitales Höhenmodell Hamburg DGM 1
- GeoBasisKarten Hamburg
- ...
- 3D-Stadtmodell
- Lichtsignalanlagendaten
- Straßenbaumkataster
- Flächenmodell der Straßen
- Routingfähiges Verkehrswegenetz
- ...
- Verkehrsportal³ (mit speziellen Adlons)
- Verkehrsmodell
- Agenten basierte Modellierung von Verkehrsteilnehmern
- ...

4 Beispiele für IT-Fachverfahren

Straßeninformationsdatenbank

- Digitale Orthophotos hochauflösend (TrueDOP)
- ...
- Straßen- und Wegenetz
- Verkehrsschilder (genauer Standort und weitere Informationen)
- Höchstgeschwindigkeiten
- ...
- InfoSys (WebGIS und Datenpflege)
- Großraum- und Schwerlastrouting
- ...

5 Beispiele für externe Informationsquelle

Cyclomedia Befahrungsdaten (360° Fotos und Laserscann)

Die hier gelisteten Daten und Funktionen sind in der Cyclomedia Cloud-Umgebung nutzbar.

- Klassifizierte Laserpunktwolke verbunden mit 360° Fotos. Aus diesen Daten abgeleitete Standorte ausgewählter Elemente des Straßenraums (z.B. Ampeln, Verkehrsschilder, ...)
- Messen in 3D
- Simulation des Wasserstands (ohne Ablauf)
- Nutzung der UDP Dienste in dem Viewer möglich.
- ...

Gruppierung:

Geobasisdaten

Fachdaten (statisch & dynamisch)

Anwendungen/Funktionen

³ Webportal basierend auf der Open-Source Software Masterportal. Die Software ist modular erweiterbar und verfügt bspw. über Tools für Visualisierung, Verarbeitung und Analyse von Daten (u. A. Schattenwurfsimulation).

Abbildung 3: Beispielinhalte zu den Elementen UDP, GBZ, UDZ, IT-Fachsystem und Externe Informationsquelle

© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg

3.7 Zielgruppen digitaler Zwillinge

Zielgruppencluster: Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft, Stadtgesellschaft

Spezielle Zielgruppen: Die aufgelisteten Zielgruppen sind abgeleitet aus den Aktivitäten im kommunalen Kontext „Steuern, Planen, Bauen, Betreiben, Nutzen, Beteiligen und Experimentieren“.

Entscheiderinnen und Entscheider

Diese Zielgruppe trifft basierend auf einem Mandat im Sinne der Stadt und Stadtgesellschaft Entscheidungen und handelt nach strategischen Zielen (zum Beispiel Verwaltungsvorstände, CDOs). Es werden hierfür verlässliche Grundlagen für ihre Entscheidungen und Erfolgsmessungen benötigt.

Mehrwerte sind hierbei die:

- die Unterstützung von Entscheidungen basierend auf einer homogenen und validen Informationsbasis und der Bewertung verschiedener Szenarien sowie
- Erfolgsmessungen über sogenannte Key Performance Indikatoren.

Fachexpertinnen und Fachexperten sowie Fachplanerinnen und Fachplaner

Hierunter werden Vertreterinnen und Vertreter einzelner Fachdomänen (zum Beispiel Gesundheit, Bildung, Mobilität, Umwelt) in Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft verstanden, die eine gekapselte Betrachtung einer Fachdomäne mitbringen, inkl. der Beobachtung und Erkundung der jeweiligen Domäne innerhalb des Systems Stadt (zum Beispiel System Klima, System Mobilität) und der Planung von Maßnahmen zum Erhalt und zur

Verbesserung des betrachteten Systems. Im Unterschied zu den Infrastrukturbetreiberinnen und -betreibern werden über menschengemachte Infrastrukturen/Objekte hinaus natürliche Sachverhalte (zum Beispiel Luftqualität) beobachtet. Fachexpertinnen und -experten benötigen verlässliche Grundlagen für die Erkundung eines Systems und dessen Sachverhalte (als Planungsgrundlage).

Mehrwerte sind hierbei die:

- Unterstützung beim Verstehen, Erkunden und Bewerten eines betrachteten Systems und seiner Phänomene und
- Unterstützungen von Planungen durch homogene Informations- und Wissensbasis.

Stadtentwicklerinnen und Stadtentwickler

Vertreterinnen und Vertreter aus Stadtverwaltung und Wirtschaft (Planungsbüros), beobachten und bewerten das System Stadt und den Prozess der Stadtentwicklung. Die verschiedenen Handlungsfelder (zum Beispiel Gesundheit, Bildung, Mobilität, Umwelt) einer Stadt werden mit dem Ziel einer integrierten Stadtentwicklung miteinander betrachtet. Es werden strategische Ziele und Maßnahmen für eine integrierte Stadtentwicklung erarbeitet und Handlungsräume sowie Handlungsfelder priorisiert. Betrachtet wird die gesamte Stadt oder eine Teilmenge der Stadt (zum Beispiel ein Quartier mit dessen Quartiersentwicklung).

Mehrwerte der Stadtentwicklerinnen und Stadtentwickler wären im Kontext dieses , Papiers die:

- Unterstützung beim Monitoring verschiedener Stadtentwicklungsindikatoren,
- Bereitstellung und Analyse von Zeitreihendaten,
- Identifizierung von Handlungsräumen unterstützen,
- Transparenz gegenüber den Bürgerinnen und Bürgern herstellen und
- Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen.

Infrastrukturbetreiberinnen und Infrastrukturbetreiber

Vertreterinnen und Vertreter aus Stadtverwaltung (zum Beispiel Schulnetzplanung) und Wirtschaft (zum Beispiel Stadtwerke) planen, bauen, betreiben und warten Infrastrukturen (zum Beispiel Schulnetz, Gleisnetz ÖPNV, Straßennetz, Energienetz, Wasserleitungen). Infrastrukturen werden überwacht und im Idealfall prädiktiv instandgehalten. Der Bau und Umbau von Infrastrukturbestandteilen wird überwacht und begleitet. Eine Beteiligung der Stadtgesellschaft bei Planungs- und Bauvorhaben gewährleistet (inklusive der „Was-Wäre-Wenn Szenarien“).

Als Mehrwerte können folgende Punkte angesehen werden:

- die Unterstützung beim Monitoring der Infrastrukturen,
- die Unterstützung bei der Infrastrukturplanung,
- die Bereitstellung und Analyse von Zeitreihendaten,
- die Realisierung prädiktiver Instandhaltung,
- die Bewertung/Validierung von Planungen und
- die präskriptiven Planungsempfehlungen.

Service Provider

Vertreterinnen und Vertreter und Institutionen aus unterschiedlichen Sektoren (zum Beispiel ÖPNV, Car Sharing, Autonomes Fahren) nutzen vorhandene Infrastrukturen (zum Beispiel 5G, Energienetze, Kita-Netz, Straßennetz), um Services anbieten zu können. Die Services sind abhängig von den jeweils verfügbaren Infrastrukturen und müssen auf Änderungen (zum Beispiel Baustellen) reagieren.

Die Zielgruppe der Service Provider hätte die nachfolgenden Mehrwerte:

- Unterstützung bei der Überprüfung und Anpassung von Serviceangeboten,
- eventbasierte Anpassung von Angeboten,
- Unterstützung der Kommunikation mit Kundinnen und Kunden und
- Unterstützung vollautomatisierter Services (zum Beispiel autonomes Fahren).

Bürgerinnen und Bürger und Stadtgesellschaft

Bürgerinnen und Bürger und Institutionen der Stadtgesellschaft bieten basierend auf vorhandenen Infrastrukturen und eigenen Informationsressourcen selbst Services an (zum Beispiel Baumgieß-App) und möchten sich über Abstimmungen, mit konkreten Vorschlägen aber auch mit „Datenspenden“ an Planungs- und Entwicklungsprozessen der Stadt beteiligen.

Gleichzeitig hätten sie den Vorteil:

- des transparenten Zugangs zu Informationen,
- der Unterstützung bei der digitalen Partizipation und
- der Bereitstellung und Bewertung von Planungsvarianten.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

Personen und Institutionen aus der Wissenschaft stellen selbst Informationsressourcen – zum Beispiel Daten, Algorithmen der Künstlichen Intelligenz (KI) – bereit und benötigen Datengrundlagen um beispielsweise KI-Algorithmen entwickeln und testen zu können. Gleichzeitig benötigen sie eine Lösung, um mit dem System Stadt experimentieren zu können (zum Beispiel Was-Wäre-Wenn) und auch mit „Trainingsdaten“ zu testen.

Mit Verfügbarkeit des Digitalen Zwillings hätte die Wissenschaft die anschließenden Mehrwerte:

- Verfügbarkeit von Informationsressourcen (Trainingsdaten für KI),
- Unterstützung digitaler Experimentieranordnungen,
- Unterstützung des Informationsaustauschs zwischen Wissenschaft und Stadt.

Eine Sammlung weiterer Mehrwerte ist im Anhang A3 zu finden.

4. Modellbildung und Modellierung

Digitale Zwillinge sind digitale Repräsentationen eines bestehenden oder geplanten Objektes der realen Welt in der digitalen Welt. Grundlage für diese Repräsentationen ist die Modellierung des realen Objektes, d.h. die vereinfachte und anforderungsgerechte Abbildung der Realität.

Der Begriff Modellierung umfasst die Aspekte bzw. Arbeitsschritte Modellbildung, Modellimplementierung und die Arbeit mit dem Modell, d.h. die Durchführung von Analysen und Simulationen. Im Rahmen der Modellbildung ist es wesentlich, dass Modelle immer eine Abstraktion der Wirklichkeit darstellen und demnach niemals alle Einzelheiten und Beziehungen des Originals abbilden, sondern nur die wesentlichen Faktoren. Das Modell repräsentiert also immer nur eine reduzierte Realität (Reduktionsprinzip).

Bei der Modellerstellung erfolgt die technische Implementierung, d.h. die Abbildung der Realwelt in einem Datenmodell und in einem Funktionsmodell bis hin zu grafischen oder kartografischen Modellbildung als Grundlage für die Visualisierung. Für die Abbildung von Abläufen oder Aktivitäten werden insbesondere Prozessmodelle eingesetzt und für die Abbildung natürlicher Wirkungszusammenhänge sind zum Beispiel physikalische Modelle zu implementieren.

4.1 Analysen und Simulationen

Für die Arbeit mit dem Modell sind insbesondere Analysen und Simulationen zu unterscheiden. Bei der Analyse wird auf Grundlage vorhandener Daten ein Sachverhalt untersucht, um neue Informationen und Erkenntnisse zu Zusammenhängen oder Abhängigkeiten zu gewinnen. Bei Simulationen werden auf Grundlage des Modells neue, nicht direkt messbare Daten und Informationen erzeugt. Über eine Simulation können zum Beispiel zukünftige Ereignisse oder geplante Maßnahmen modelliert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen untersucht werden.

Für Analysen bestehen sehr viele und zum Teil sehr spezifische Methoden. Neben statistischen Ansätzen sind häufig auch Methoden aus dem sogenannten Geoprocessing im Einsatz. Durch die sehr unterschiedlichen Zielsetzungen kann der Raumbezug oder der Zeitbezug im Vordergrund stehen, es können deskriptive, prädiktive oder präskriptive Ansätze gewählt werden oder es können quantitative oder qualitative Ansätze gewählt werden.

Analysen:

- räumlich und zeitlich
- deskriptiv, prädiktiv, präskriptiv
- Indikatoren für Monitoring (Live-Daten)
- Verschneiden – Analysieren – Prognostizieren – Visualisieren
- nicht komplexe Inputs/Outputs, modular/wiederverwendbar (zum Beispiel Datenabgaben/Bereitstellung nach definierten Kriterien, Erreichbarkeitssimulationen)
- komplexe Inputs/Outputs, nicht modular/wiederverwendbar (zum Beispiel Solarpotenzialanalyse, Stadtklimasimulation)

4.2 Abbildung und Analyse von Prozessen und Wirkungszusammenhängen

Die Nutzung von Modellen ist grundlegend für die Analyse der komplexen und zum Teil auch nicht vollständig bekannten kausalen und stofflichen Zusammenhänge und Abhängigkeiten in Stadt- und Ökosystemen. Für die Entwicklung eines sektoralen Digitalen Zwillings müssen im ersten Schritt die relevanten Prozesse und Wirkungszusammenhänge bekannt sein und in den Grundzügen verstanden sein. Im zweiten Schritt folgt die Modellierung der diversen Prozesse und die Implementierung in digitaler Form. Aufgrund der schier Vielfalt und der komplexen Zusammenhänge der kommunalen Prozesse spielt im nächsten Schritt die Integration und das Zusammenspiel der Prozesse eine wesentliche Rolle für die Entwicklung eines Digitalen Zwillings.

Prozesse sind gleichbedeutend mit Abläufen beziehungsweise Abfolgen von Aktivitäten und Tätigkeiten. Jeder Prozess hat einen oder mehrere Auslöser und Verantwortliche, und jeder Prozess braucht Vorgaben sowie Bewertungsmaßstäbe für das Ergebnis. Im Kontext einer UDP beziehungsweise Datenplattform greift ein Prozess auf Eingangsdaten zurück, bearbeitet oder analysiert diese und gibt das Ergebnis aus. Eingangsdaten können in Form des digitalen Zwillings oder separat angebundener Daten vorliegen. Digitale Prozesse ermöglichen die (Teil-) Automatisierung von bisher (analogen) Abläufen und können die Komplexität verringern und Interdisziplinarität erhöhen. Voraussetzung ist eine exakte und standardisierte Beschreibung von Prozessen, insbesondere der Eingangs- und Ausgangsdaten. Unter dieser Voraussetzung kann eine höhere Wiederverwendbarkeit und Modularität von Abläufen erreicht werden.

Ein Beispiel für einen Mechanismus, um über das Internet eine räumliche Analyse von Daten durchzuführen, ist der Web Processing Service (WPS) Standard des Open Geospatial Consortium (OGC). Er legt fest, in welcher Weise ein Client mit einem Dienst bei der Ausführung einer (geographischen) Analyse interagiert und erhält dadurch Zugriff auf vordefinierte Rechenvorschriften oder -modelle. Alternative Protokolle sind zu prüfen.

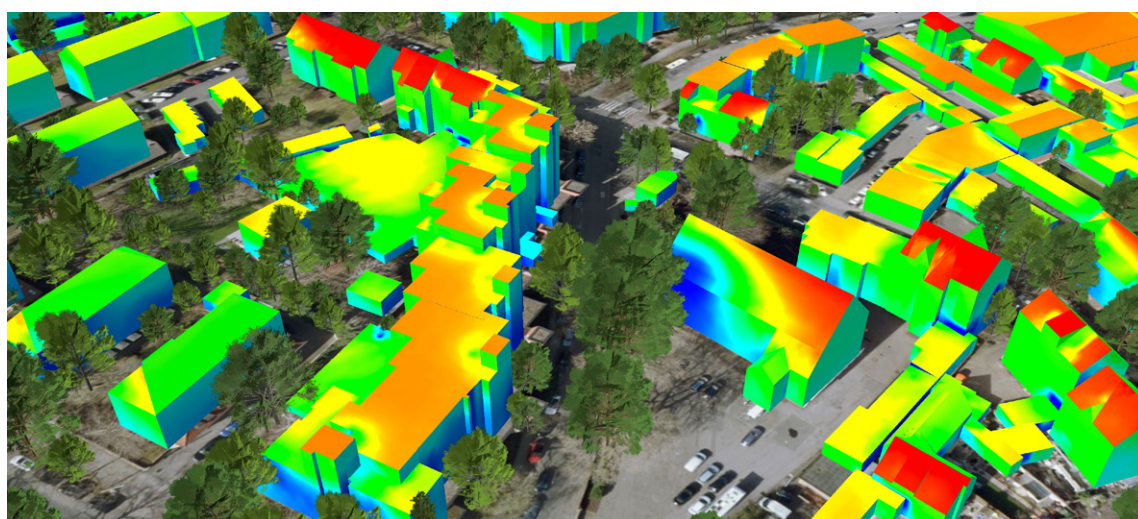
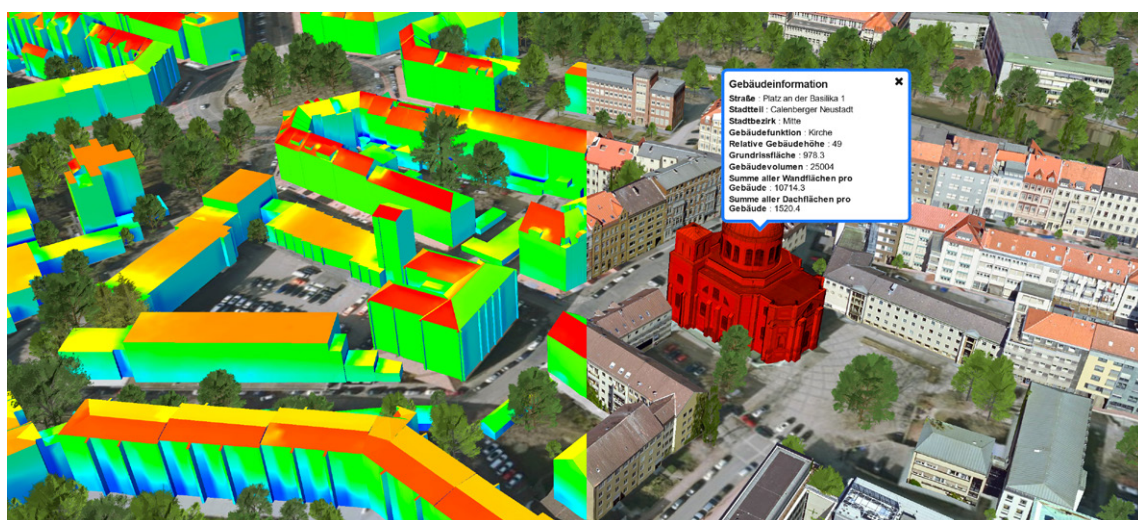
5. Anwendungsbeispiele

Urbane Digitale Zwillinge können für sehr unterschiedliche fachliche Themen oder unterschiedliche Maßstabsebenen eingesetzt werden. Die in der Folge dargestellten Beispiele können daher nur einen Eindruck vermitteln und sind beliebig erweiterbar.

- Vulnerabilitätsanalyse (Überflutung, Detonation, Ausfall kritischer Infrastrukturen)
- Stadtklimasimulationen (Luftqualität, Hitzeinseln usw.)
- Simulation von energieeffizienter Modernisierung (Solarpotential, Wärmebedarf, Geothermische Energieerzeugung)
- Simulation von Naturgefahren
- Hochwasser, Starkregen
- Management der Grün- und Freiräume (Kulturlandschaft)
- Auslastungssimulationen
- Erreichbarkeitssimulationen
- Veranstaltungsmanagement im öffentlichen Raum
- Sicherheitsbewertung im urbanen Raum
- Vergabeplattform für städtische Grundstücke
- Planungssimulation
- Anliegenmanagement
- Kanalinformationssystem als Digitaler Zwilling
- Prozessleitsystem des Klärwerks als Digitaler Zwilling
- Modellierung von Kreuzungen mit LSA-Schaltung, Schleppkurven, Verkehrsflüssen

Simulation der Solaren Einstrahlung (Dächer + vertikale Wände) im Digitalen Zwilling unter Berücksichtigung des flächenhaften modellierten Baumbestandes in Hannover

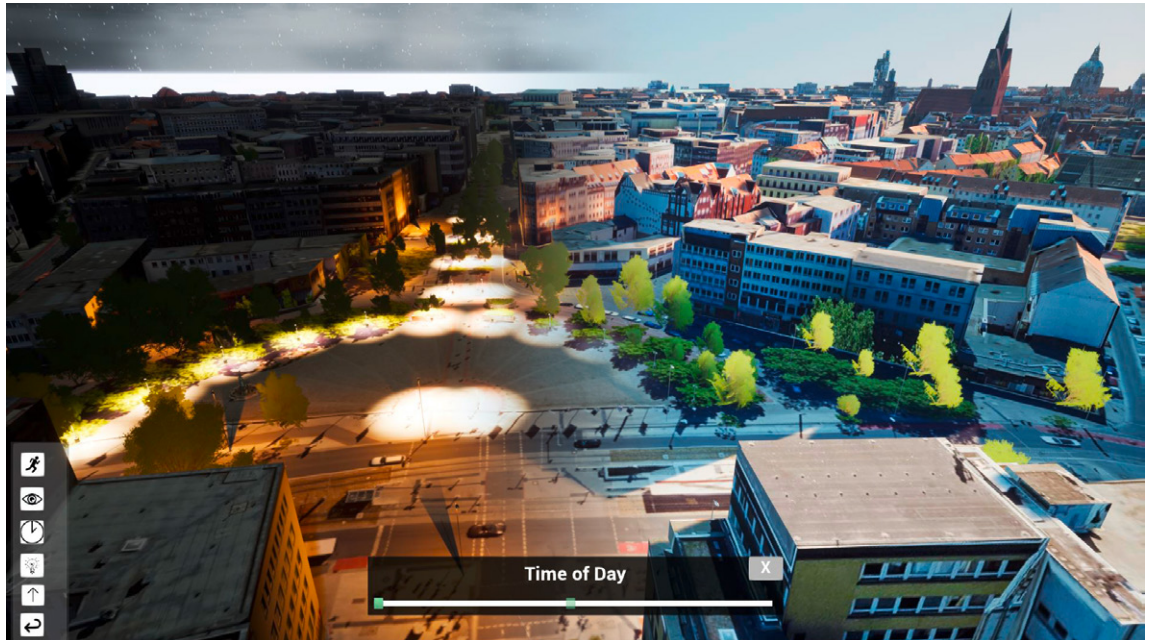
Der komplette Baumbestand (nicht nur das städtische Baumkataster) wurde durch Dienstleistende u.a. mit KI erzeugt und hier nachqualifiziert. Er ist wichtiger Bestandteil des Moduls für die Berechnung der solaren Einstrahlung, welches auch Vertikalflächensimulation inkl. der Auswirkung der Verschattung erlaubt.



© Geoinformation Landeshauptstadt Hannover

Beleuchtungssimulation im Digitalen Zwilling mit Game-Engines in Hannover

Mittels Game-Engines wurde in einer Masterarbeit bei der VCS mit Daten der LHH (3D, Beleuchtung) die Umsetzung der Simulation von Beleuchtungsszenarien erstellt.



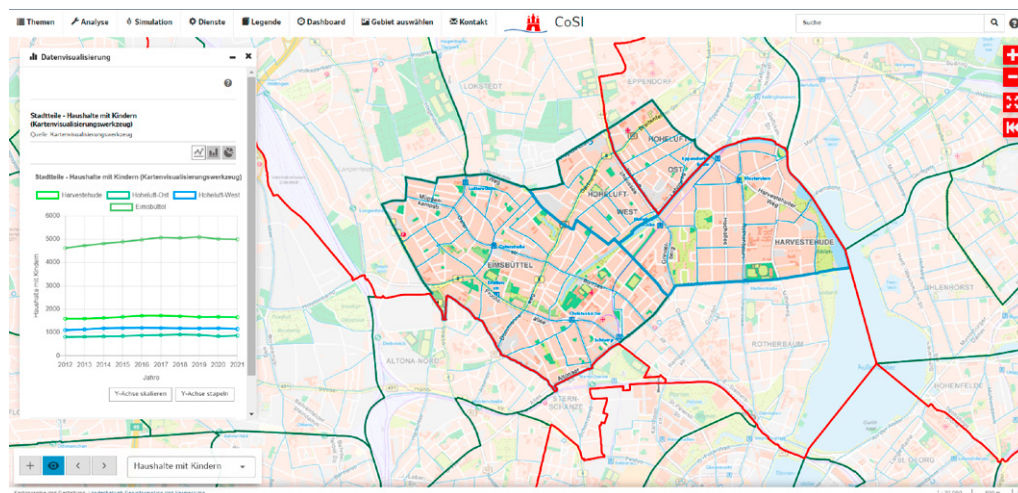
© Geoinformation Landeshauptstadt Hannover

Beispiel: Modellierung von Luftschadstoffbelastungen in Stuttgart

- Auf Grundlage von Messdaten zur Hintergrundbelastung sowie Verkehrsbelastungen und Fahrzeugdaten werden Emissionen berechnet. Die Datengrundlage kommt u.a. aus einem Verkehrsmodell beziehungsweise Prognosemodell.
- Parallel wird auf Grundlage von Messdaten das Windfeld berechnet.
- Aus diesen Informationen werden über eine Ausbreitungsrechnung und unter Zuhilfenahme des 3D-Stadtmodells, die Luftschadstoffimmissionen berechnet. Dazu wird das System OLAS (Online-Luftschadstoffberechnung) verwendet.
- Fazit: es sind mehrere Modelle (Zwillinge) im Einsatz. Zudem wird je nach Anforderungen mit einfachen mesoskaligen Modellen oder mit komplexen mikroskaligen Modellen gerechnet.
- Die Ergebnisse werden zukünftig nicht eng mit dem Verkehrsmodell gekoppelt und zudem für die Verkehrslenkung genutzt. Geplant ist darüber hinaus die Simulation geplanter (Bau-) Maßnahmen und zukünftiger Ereignisse.

Cockpit für Städtische Infrastrukturen (CoSI) der Freien und Hansestadt Hamburg⁵

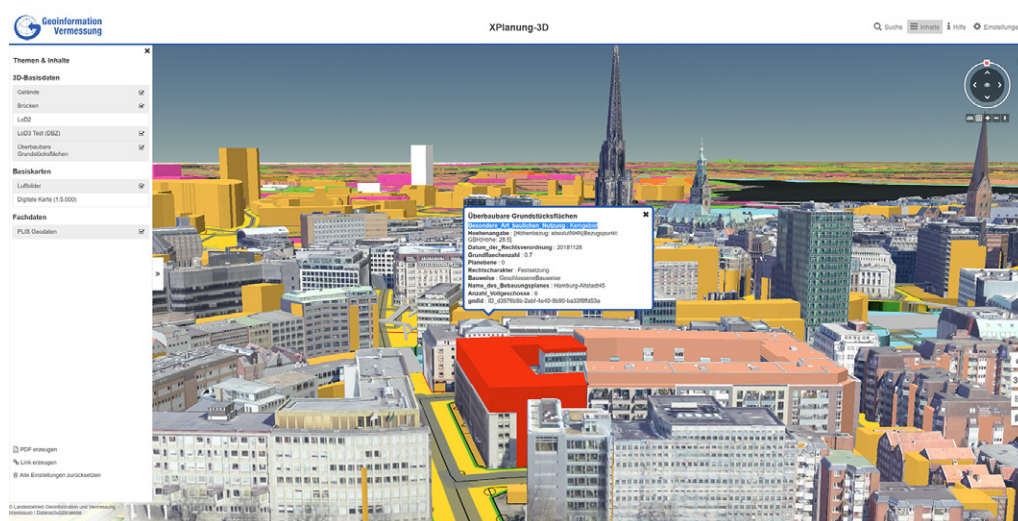
- Für die einfache interdisziplinäre Planung städtischer Infrastrukturen.
- Bereitgestellte Daten sind sozialstatistische Informationen sowie relevante Fachdaten verschiedener Disziplinen, wie beispielsweise ÖPNV-Stationen oder Standorte von Krankenhäusern und Bildungseinrichtungen. Mithilfe dieser Daten können über die CoSI-Oberfläche vielfältige Analysen und Auswertungen durchgeführt werden.



© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg

Zwilling der gebauten und geplanten Stadt der Freien und Hansestadt Hamburg⁵

- Verknüpfung der Geobasisinformationen mit der verbindlichen Bauleitplanung
- Visualisierung von planungsrechtlichen Bestimmungen

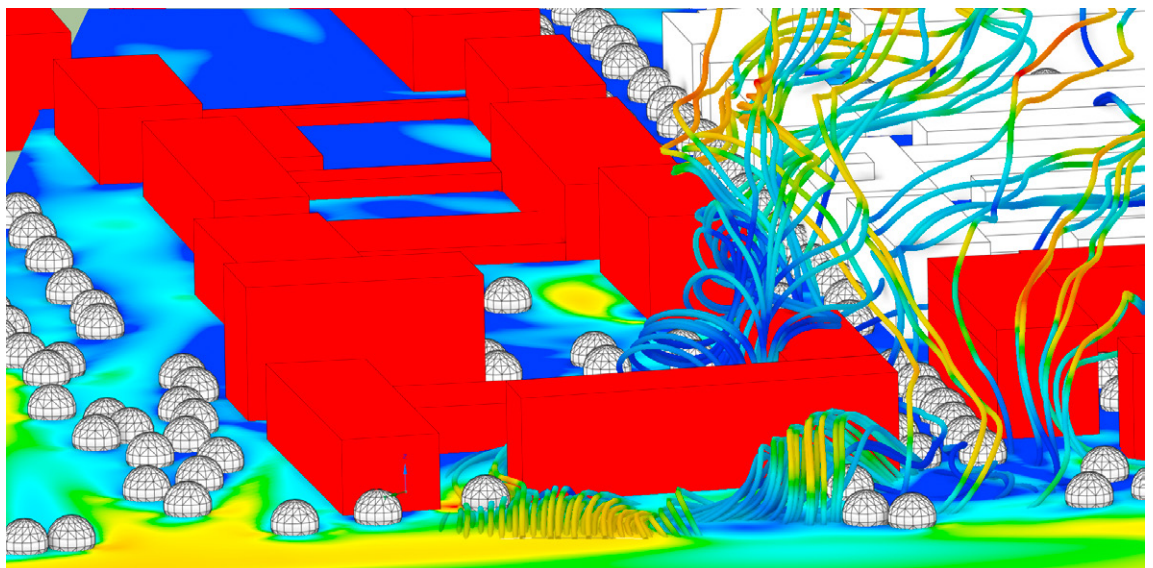
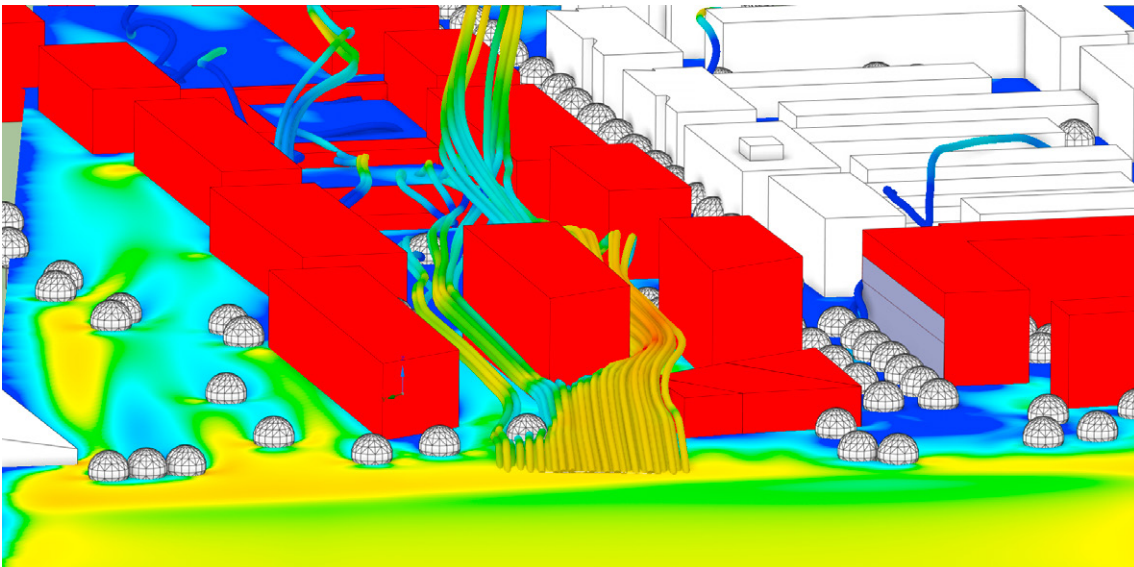


© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg

⁵ S. auch, www.vhw.de/fileadmin/user_upload/08_publicationen/verbandszeitschrift/FWS/2023/FWS_1_2023/FWS_1_2023_Gesamtausgabe.pdf Seite 14

Sturm und Windkomfort in exponierten Quartieren in Bremen

- Auf Grundlage von Messdaten zur Hintergrundbelastung sowie Verkehrsbelastungen und Fahrzeugdaten werden Emissionen berechnet. Die Datengrundlage kommt u.a. aus einem Verkehrsmodell beziehungsweise Prognosemodell.
- Die Lage der Baukörper und Straßenzüge kann eine Windrichtungskanalisation bedingen. Durch Eckeneffekte kommt es zu erhöhter Böigkeit und damit zu abrupten Richtungs- und Geschwindigkeitswechseln.
- Die Veränderungen des bodennahen Windfeldes reichen von einer Verminderung des Komforts bis zu einer massiven Gefährdung.
- Bedingt durch den Klimawandel kann es sowohl zu Veränderungen der heutigen Windrichtungsverteilung kommen als auch zu einer Zunahme der Anzahl von Sturmtagen.
- Die Auswirkungen von Stürmen in Planungsgebieten können mit Hilfe digitaler Zwillinge in Planungsgebieten simuliert werden.

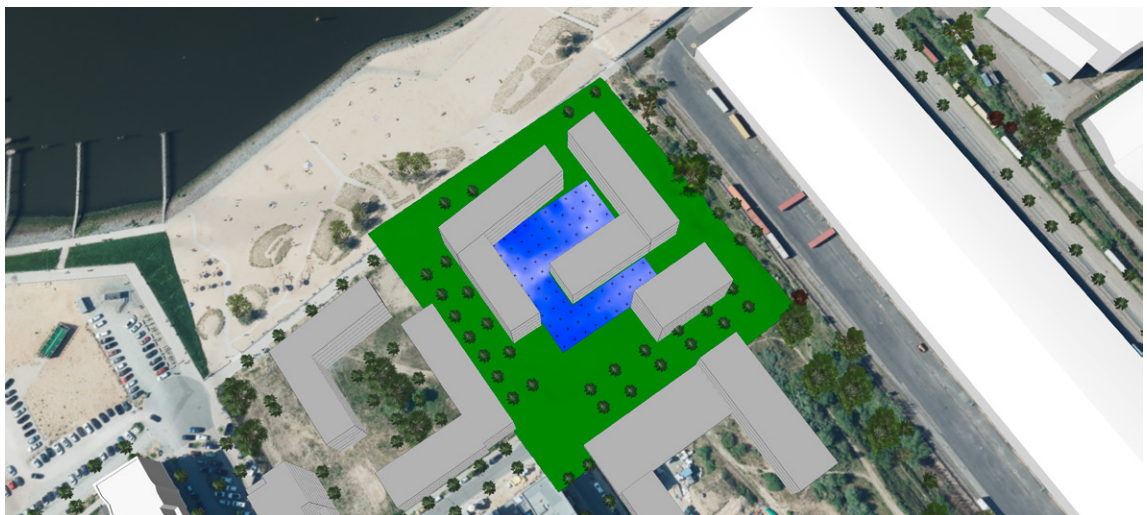


© Landesamt GeoInformation
Bremen in Zusammenarbeit
mit virtualcitysystems GmbH

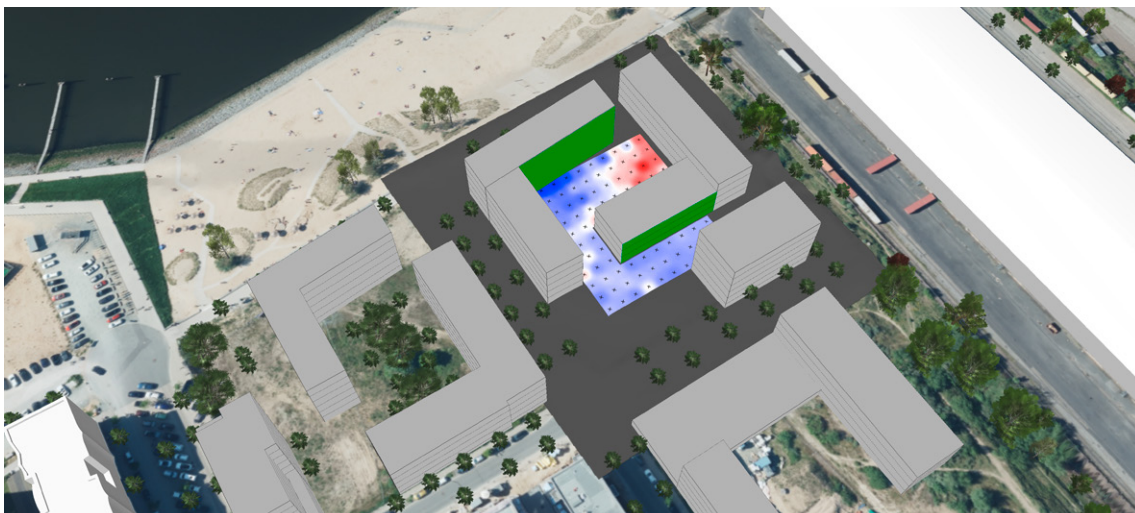
Simulation des Mikroklimas bei großflächigen Stadtentwicklungsprozessen in Bremen

- Auf Grundlage von Messdaten zur Hintergrundbelastung sowie Verkehrsbelastungen und Fahrzeugdaten werden Emissionen berechnet. Die Datengrundlage kommt u.a. aus einem Verkehrsmodell beziehungsweise Prognosemodell.
- Die Lage der Baukörper und Straßenzüge kann eine Windrichtungskanalisation bedingen. Durch Eckeneffekte kommt es zu erhöhter Böigkeit und damit zu abrupten Richtungs- und Geschwindigkeitswechseln.
- Die Veränderungen des bodennahen Windfeldes reichen von einer Verminderung des Komforts bis zu einer massiven Gefährdung.
- Bedingt durch den Klimawandel kann es sowohl zu Veränderungen der heutigen Windrichtungsverteilung kommen als auch zu einer Zunahme der Anzahl von Sturmtagen.
- Die Auswirkungen von Stürmen in Planungsgebieten können mit Hilfe digitaler Zwillinge in Planungsgebieten simuliert werden.

Versiegelt – Unversiegelt



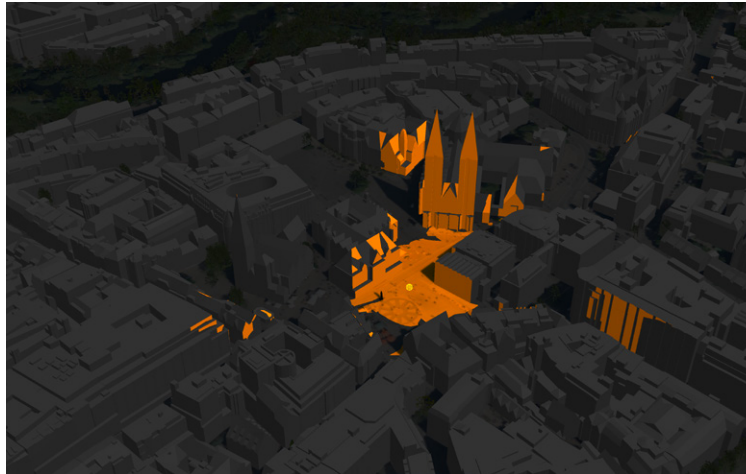
Einfluss Fassadenbegrünung



© Landesamt GeoInformation
Bremen in Zusammenarbeit
mit virtualcitysystems GmbH

Analyse von Schattenwurf und Sichtachsen in der historischen Innenstadt von Bremen

- Für neu geplante Objekte werden Schatten- und Sichtbarkeitsanalysen durchgeführt und Sichtachsen visualisiert.
- Sichtachsenanalyse sind insbesondere von Interesse bei der Denkmalpflege, um zu simulieren, ob zukünftige Planungen das Bild der Innenstadt negativ beeinflussen könnten.

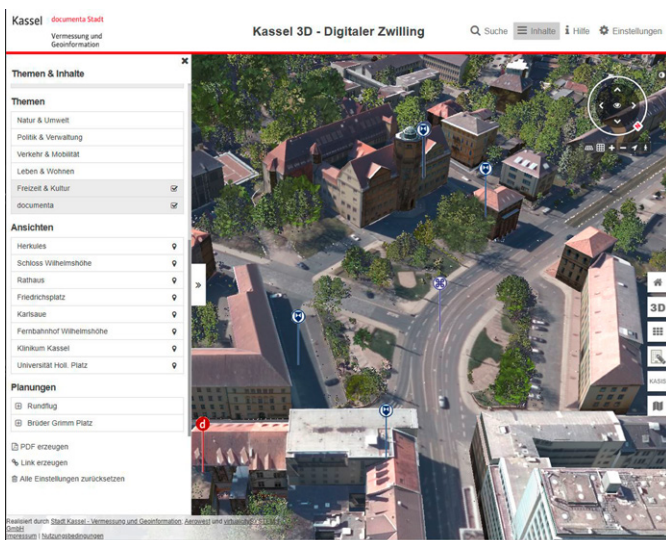


© Landesamt GeoInformation Bremen

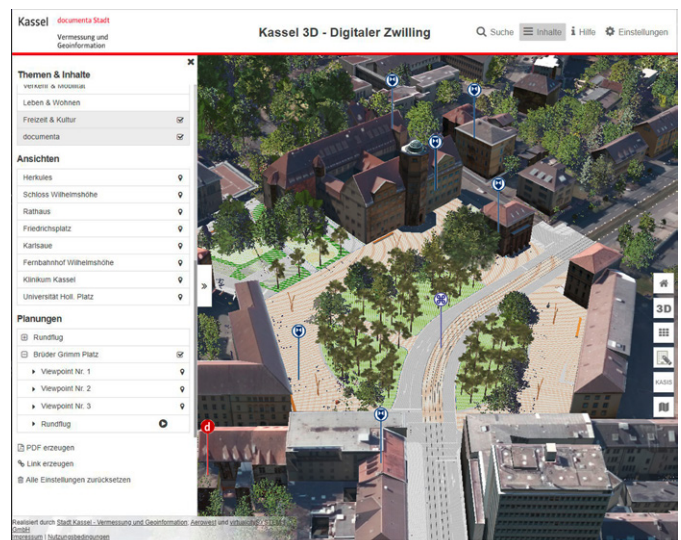
Der „Planungszwilling“ für die Neuplanung des Brüder-Grimm-Platzes in Kassel

- Der Digitale Zwilling wurde genutzt um Sichtbarkeitsanalysen, Verschattungen und die Integration von Planung in das gesamtstädtische Bild zu prüfen. Die Ergebnisse sind in ein späteres Wettbewerbsverfahren und der Bürgerbeteiligung eingeflossen.
- Hierfür wurden verschiedene Blickachsen analysiert, die Höhe und Dichte der Baumstandorte festgelegt und die Platzierung des Stadtmobiliars und der bestehenden Kleindenkmäler (Statue Brüder Grimm) geprüft beziehungsweise neu geordnet.

Bestand



Planung



© Stadt Kassel – Vermessung und GeoInformation

Anhang

A.1. Auswahl an Definitionen für Digitale Zwillinge

Hinweis: Sammlung aus CUT Umfeld

A.1.1. Allgemein & Industrie

Michael Grieves & John Vickers (Industry 4.0)

„**Digital Twin (DT)**—the Digital Twin is a **set of virtual information constructs** that fully **describes a potential or actual physical manufactured product** from the micro atomic level to the macro geometrical level. At its optimum, any information that could be obtained from inspecting a physical manufactured product can be obtained from its Digital Twin. Digital Twins are of two types: **Digital Twin Prototype (DTP)** and **Digital Twin Instance (DTI)**. DT's are operated on in a **Digital Twin Environment (DTE)**.“

Gesellschaft für Informatik e.V.

„Digitale Zwillinge sind **digitale Repräsentanzen von Dingen aus der realen Welt**. Sie beschreiben sowohl **physische Objekte** als auch **nicht-physische Dinge** wie zum Beispiel Dienste, indem sie alle relevanten Informationen und Dienste mittels einer einheitlichen Schnittstelle zur Verfügung stellen.“

Wikipedia

“A digital twin is a **virtual representation** that serves as the **real-time digital counterpart of a physical object or process**.“

IBM

„A digital twin is a **virtual representation** of an object or system that spans its **lifecycle**, is updated from **real-time data**, and **uses simulation, machine learning** and **reasoning** to **help decision-making**“

Fraunhofer IESE

„Ein Digitaler Zwilling ist ein **virtuelles Abbild eines physischen Guts**. Er bildet den **aktuellen Zustand eines Systems** ab und kann dadurch das **Verhalten eines Systems vorhersagen**. Dies ermöglicht **virtuelle Tests zur Entwicklungszeit**, oder aber das **Bewerten von Entscheidungen zur Laufzeit**. Die Umsetzung sich selbst optimierender Systeme wird mit Digitalen Zwillingen deutlich vereinfacht. Neben einem **reinen Abbild** eines Systems können Digitale Zwillinge auch **bidirektionale Schnittstellen realisieren**, die es ermöglichen, auf ein System einzuwirken. Damit wird der Digitale Zwilling ein Werkzeug zur **sektorübergreifenden Kopplung von Systemen**.“

Man unterscheidet zwischen dem **Digitalen Schatten** und dem **Digitalen Zwilling**. Der **Digitale Schatten bildet den Zustand eines realen Systems**, aller relevanten Komponenten und auch der Umgebung digital **ab**. Dies umfasst zum Beispiel auch Nutzer, Zertifikate und Prozesse. Einheitliche Schnittstellen gewährleisten dabei die Kopplung über Systemgrenzen hinaus und ermöglichen eine systemübergreifende Interaktion. Durch die Integration von Simulationsmodellen kann das Verhalten eines Systems vorhergesagt und es können zum Beispiel virtuelle Testumgebungen realisiert werden. **Ein Digitaler Zwilling hat zusätzlich die Fähigkeit, auch steuernd auf ein System einzuwirken**. Integrierte

Sicherheitskonzepte stellen dann sicher, dass der Digitale Zwilling und das reale System zu jeder Zeit ein vorhersehbares Verhalten zeigen.“

A.1.2. Nationale Digitale Zwillinge

Centre for Digital Built Britain: The Gemini Principles

„In the context of Digital Built Britain* a digital twin is **“a realistic digital representation of assets, processes or systems in the built or natural environment”**.

What distinguishes a digital twin from any other digital model is its **connection to the physical twin**. Based on data from the physical asset or system, a digital twin **unlocks value principally by supporting improved decision making**, which creates the opportunity for positive **feedback into the physical twin**.“

Digital twins are **realistic digital representations of physical things**. They unlock value by enabling improved insights that **support better decisions**, leading to **better outcomes in the physical world**. **Connecting digital twins** to create a **national digital twin (NDT)** will unlock extra value. The NDT will **not be a huge singular model** of the entire built environment. Rather, it will be an **ecosystem of digital twins** connected via securely shared data.“

A.1.3. Urbane Digitale Zwillinge

Living in EU⁶

„Urban digital twins are a **virtual representation** of a **city’s physical assets**, using **data, data analytics** and **machine learning** to help stimulation models that can be **updated and changed (real-time)** as their physical equivalents change. Some may consider a digital twin only **describing reality (and the history** of it), while it is the **additional applications that bring the real intelligence** and help create the common picture of reality that is the value-added of an urban digital twin.“

EU - DUET - Projekt

„A Digital Twin is a new **concept** consisting of a **continuously learning digital copy of real-world assets, systems and processes** that can be queried for specific outcomes.

DUETs Digital Twins consume open **data and data models from different sources** within the city and integrate them with new technology capabilities including **High Powered Computing (HPC), Artificial Intelligence (AI) and Advanced Analytics** to provide a replica city environment **where policy experimentation** can safely take place. By predicting asset behaviour and capacity to deliver on specific outcomes within given parameters and cost constraints, the Digital Twin provides a **risk-free experimentation environment** to **inform policy makers and operations managers** what they need to do with the **assets in the real-word** in order to both achieve the most effective long-term policy outcomes, and short-term operational decisions.“

⁶ Urban Digital Twin - Living-in.EU - openresearch.amsterdam

FIWARE

„A Digital Twin is an entity which **digitally represents a real-world physical asset** (e.g. a bus in a city, a milling machine in a factory) or a **concept** (e.g., a weather forecast, a product order).

Each Digital Twin:

- is universally identified with a URI (Universal Resource Identifier)
- belongs to a well-known type (e.g., the Bus type, of the Room type) also universally identified by a URI
- is characterized by several attributes which in turn are classified as: properties holding data (e.g., the “current speed” of a Bus, or “max temperature” in a Room) or relationships, each holding a URI identifying another Digital Twin entity the given entity is linked to (e.g., the concrete Building where a concrete Room is located).“

EU – EIP SCC

„In the urban context, a digital twin is a **virtual replica of the main elements of the city and its critical infrastructures connected to databases and sensors**. This model of the city and its processes allows **analysing, modelling, simulating and predicting scenarios or elaborating what-if questions for better decision-making on urban planning and management**, in multiple domains and in an integrated way.“

A.2. Zwillingstypen

Digitaler Zwillinge können unterschiedlich ausgeprägt sein.

Sektorbezogene Zwillinge:

Urbane Digitale Zwillinge werden für einen bestimmten fachlichen Zweck innerhalb einer Fachdomäne eingesetzt.

Sektorübergreifende Zwillinge:

Urbane Digitale Zwillinge werden Sektorübergreifend zum Beispiel für Stadtentwicklungsfragen eingesetzt.

(Geo)-Basiszwilling:

Siehe auch Geobasiszwilling (Abschnitt 3.1)

Digitale Schatten

A.3. Sammlung allgemeiner Mehrwerte

Hinweis: Sammlung aus CUT Umfeld

Centre for Digital Built Britain: The Gemini Principles

„Digital twins of physical assets are helping organisations to **make better-informed decisions**, leading to **improved outcomes**.“

Bentley⁷

„Why Cities Need Digital Twins?“

- **Share trusted information** across city departments and with the design and construction ecosystem to support infrastructure from planning through performance
- Unify and **integrate** multiple **siloed data sources**
- Systematically **track, manage, and visualize change**
- Produce actionable **insights for key decision makers**
- **Enable** high-performing and collaborative teams
- **Engage** all stakeholders and the public“

Fraunhofer IESE⁸

„Stadtplaner und Chief Digital Officers (CDOs) versprechen sich von einem dynamischen und datenbasierten Abbild einzelner Quartiere oder ganzer Städte eine **verbesserte Grundlage für die Analyse, Steuerung und Optimierung zum Beispiel städtischer Prozesse, Verkehrsflüsse, Infrastrukturen und Umweltsysteme** sowie das **Simulieren und Testen von Veränderungen** im städtischen System.“

IEC

„In terms of digital twins at urban scale, the goal is really to **transform how cities are planned, built and managed** in order to **deliver better services**. Concepts, definitions and theories of city information modelling and urban digital twins to **make the urban environment more liveable, inclusive, safe, resilient and sustainable**. The mechanism must be responsive and interactive in order to provide insight that then enables people to **improve how the city works** or even to be connected **directly to control devices**, such as in the operation of a water system.“

Industrial Internet Consortium

„A component still missing from all these efforts is an **adaptable and user-friendly open planning tool** that enables the leadership in a given community to incrementally add renewable resources to the energy system in a technically, operationally and socially feasible manner.“

„We believe that a digital twin platform coupled with machine learning algorithms and device behavior models may be used **to expand the possibilities for anomaly detection, predictive maintenance, infrastructure expansion and clean energy and water planning**. Creating a **digital twin library** of existing and proposed infrastructure elements **enables stakeholders to confidently take plans to action, transform cities and improve the quality of life for real people in real places** for a more resourceful world.“

EU – EIP SCC

„In the urban context, a digital twin is a virtual replica of the main elements of the city and its critical infrastructures connected to databases and sensors. This model of the city and its processes allows **analysing, modelling, simulating and predicting scenarios or**

⁷ www.bentley.com/en/goingdigital/going-digital-in-cities/ensuring-trusted-information-with-digital-twins-for-cities

⁸ Whitepaper Digitale Zwillinge Smart City (fraunhofer.de)

elaborating what-if questions for better decision-making on urban planning and management, in multiple domains and in an integrated way.“

München

Der Digitale Zwilling ist das **digitale Herzstück** der Zukunftsstadt München. Damit kann den Herausforderungen der Smart City München mit innovativen Lösungen begegnet werden. **Die Urban Data Platform stellt dabei die zentrale Datendrehscheibe des Digitalen Zwillings dar.** Mit ihr werden ehemals separierte Insellösungen zu einem gemeinsamen Ökosystem der Stadt vernetzt.

Die Stadtverwaltung kann damit ihre **Prozesse digitalisieren** und erhält **Innovationsräume**, um neue Wege beschreiten zu können. **Veränderungen werden im Vorfeld visualisiert** und **Bürgerinnen und Bürger sind besser in Entscheidungen eingebunden**.

Zentrale Zukunftsthemen wie der Klimaschutz, eine zukunftsorientierte Mobilität oder die integrierte Stadtentwicklung kann die Stadtfamilie mit dem Digitalen Zwilling bestmöglich umsetzen.

Hinweis: Arbeitsergebnis von August 2022 aus dem Förderprojekt „Connected Urban Twins“ + Ergänzungen M. Boedecker (siehe Mehrwerte f. Zielgruppen)

Urbane Digitale Zwillinge erzeugen Wissen für Städte und Kommunen. Sie stellen eine einheitliche Informations- und Wissensbasis bereit. Damit können Entscheidungen in Fachdomänen (zum Beispiel Gesundheit, Bildung, Mobilität, Umwelt) und übergreifenden Domänen (zum Beispiel Stadtentwicklung, Quartiersentwicklung) unterstützt werden. Wie tief Urbane Digitale Zwillinge steuernd in die Prozesse eingreifen, obliegt der Einschätzung der Fachressorts, ist abhängig vom Digitalisierungsgrad und unterliegt einer ethischen Bewertung. Abhängig vom jeweiligen Nutzungsszenario können Urbane Digitale Zwillinge über eine steuernde Wirkung verfügen und bidirektional mit der Realität interagieren. Daten und daraus abgeleitete Informationen bilden die Grundlage für Urbane Digitale Zwillinge, diese werden durch Urbane Datenplattformen oder anderen Dateninfrastrukturen (zum Beispiel Geodateninfrastrukturen) bereitgestellt.

Im Rahmen des Projektes Connected Urban Twins (CUT) wird das Potential von Digitalen Urbanen Zwillingen vor allem im Umfeld der integrierten Stadtentwicklung untersucht. In diesem Kontext sollen Urbane Digitale Zwillinge basierend auf einheitlich verfügbaren Informationsressourcen neues Wissen generieren (zum Beispiel Was-wäre-wenn Szenarien, Vorhersagen) und damit Entscheidungen der Stadtentwicklung unterstützen.

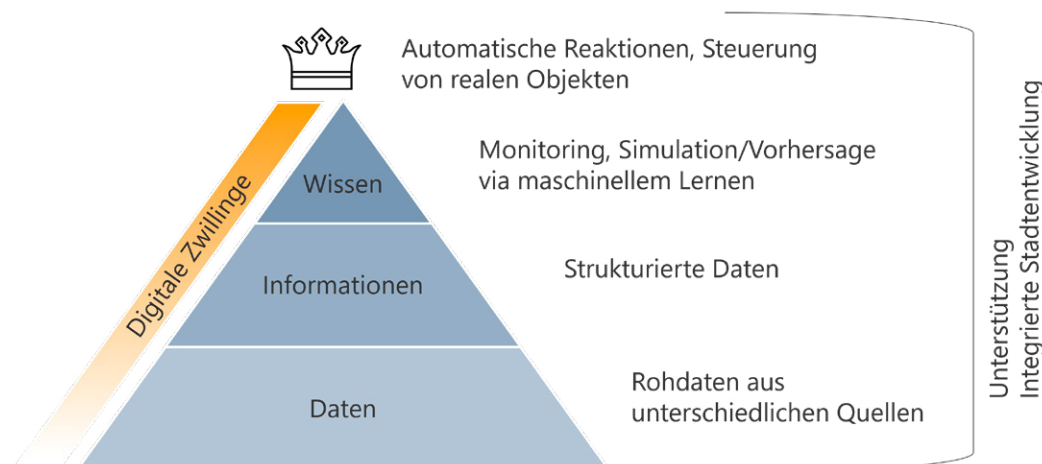


Abbildung 4: Von Daten über Informationen hin zu Wissen bis zur Königsdisziplin der Steuerung,
Quelle: CUT
© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg

A.4. Generische Anwendungsszenarien beziehungsweise Fähigkeiten

Einen guten Überblick über mögliche Anwendungsszenarien Urbaner Digitaler Zwillinge liefert die Studie „A Digital Twin Uses Classification System for Urban Planning & City Infrastructure Management“ von Al-Sehrawy et al. Hier wird zwar konkret auf die Bereiche Planung und Infrastrukturbetrieb eingegangen. Die Methodik kann aber auch allgemein auf Urbane Digitale Zwillinge übertragen werden. Grundsätzlich wird in der Studie zwischen allgemeinen und spezifischen Anwendungsfällen unterscheiden. Hier ein kurzer Überblick über die allgemeinen Anwendungsfälle.

Allgemeine Anwendungsszenarien	Definition
Abbildung der Realität (Mirror)	Übertragung eines physischen Systems der realen Welt in ein virtuelles Modell.
Durchführung von Analysen (Analyse)	Das abgebildete physische System wird untersucht und damit neues Wissen und neue Erkenntnisse über das System generiert. Umfasst zum Beispiel Data Mining, Simulationen, Vorhersagen, Bewertungen, Berechnungen.
Kommunizieren (Communicate)	Austausch der gesammelten und analysierten Informationen zwischen den Beteiligten Akteuren (Sender/Empfänger). Akteure können Menschen oder Maschinen sein. Sender/Empfänger Kombinationen: Mensch <--> Mensch Mensch <--> Maschine Maschine <--> Mensch Maschine <--> Maschine
Steuern (Control)	Nutzung der gesammelten und analysierten Informationen, um in die reale Welt einzugreifen und einen wünschenswerten Zustand zu erreichen. Unterstützung von Entscheidungen. Autarke/Teilautarke bidirektionale Interaktion des Zwillings.

Tabelle 3: Allgemeine Anwendungsfälle nach Al-Sehrawy et al

A.5 Reifegradmodell / Reifegradkompass

Hinweis: Arbeitsstand aus dem Förderprojekt „Connected Urban Twins“ (August 2022). Wurde als CUT-Input in die Erstellung der DIN SPEC 91607 gegeben. Das Ergebnis der DIN SPEC 91607 wird Anfang 2024 erwartet.

Ein Reifegradmodell oder Reifegradkompass soll potentielle Fähigkeiten eines UDZ beschreiben und in eine Ordnung bringen. Ursprung dieser Entwicklung ist die Frage „Wie fange ich einen Zwilling an?“ und was sind aus heutiger Sicht fortgeschrittene Entwicklungsstufen, also „Wo kann die Reise hingehen?“. Sinn und Zweck des Reifegradmodells werden momentan noch im Projekt CUT diskutiert. Prinzipiell könnte es eine Argumentationshilfe für Städte und Kommunen sein, um Zwillinge pragmatisch und schrittweise aufzubauen. Quasi als Roadmap für die Entscheidungsebene. Darüber hinaus kann man die Matrix auch als Systemabgrenzung und Vorstufe für eine Capability Map betrachten.

Reifegrad eines DZ der Stadt

Level	Realitätsbezug		Eigenschaften						Kontext
	Bezug zu anderen Anwendungsfällen	Verbindung mit der Realität	Aktualität	Metadaten	Intelligenz	Betrachtung des Sachverhaltes (Gegenstand der Betrachtung)	Entwicklung des Sachverhaltes (Analysegrad)	Nutzer-Interaktion	Lebenszyklus
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Isolierter Anwendungsfall (ohne Wechselwirkungen mit der Umgebung). Kein Integrationsbedarf	Speist passiv Daten ein und hält diese zur Auswahl	Einzel bis langperiodisch, auch nur aus bestimmtem Anlass mit großer Verzögerung durchgeführte Erfassung	Metadaten sind nicht vorhanden	Von Menschen steuerbar und konfigurierbar	Räumliche Darstellung von Geobasisinformationen	Erklärt, konstruiert, dokumentiert und erforscht statische Sachverhalte	Einfache Navigation und Auswahl aus Listen, Katalog, oder Steuerung mit Dashboard oder aus dem Cockpit	Orientierung/Ideen
2	Mit einseitigen Folgen für andere Entwicklungen im gleichen Umfeld. Kann lokal inkludiert werden	Vermittelt aktiv vorselektierte Daten	Mittelfristig periodisch wiederholt, auch mit einer mittelgroßen Verzögerung der Erfassung	Metadaten werden manuell eingetragen und gepflegt	Automatisiert steuerbar nach vorgegebenen Regeln	Integration von Fachdaten in den räumlichen Zusammenhang	Erklärt, konstruiert, dokumentiert und erforscht dynamische Sachverhalte	Navigation in VR/AR und Steuerung durch Regler, Gesten oder Objektinteraktion	Planung/Entscheidung
3	Wechselwirkung mit anderen Entwicklungen im gleichen Umfeld. Kann lokal verknüpft werden	Analysiert und macht Vorschläge	Zeitnah nach Ereignis durchgeführte Erfassung	Metadaten werden teil-automatisiert eingetragen und gepflegt	Teilautonom, gesteuert von schwacher KI	Geobasisinformationen und Fachdaten ermöglichen den Vergleich einzelner Zustände des Systems	Ermöglicht logische und funktionale Prognosen, sowie Entwicklungsszenarien (Policy Trends)	Modell- oder auf schwachem KI-basierter Kommunikation und Kollaboration – z.B. Chatbot	Umsetzung
4	Globale Wechselwirkungen mit anderen Entwicklungen. Kann global verknüpft werden	Nimmt Einfluss auf die Realität	Permanent wiederholte, auch eventbasierte Echtzeit-Erfassung	Metadaten werden automatisiert eingetragen und gepflegt	Autonom, lernfähig und kognitiv handelnd	Geobasisinformationen und Fachdaten ermöglichen Simulation/Extrapolation des Systemverhaltens	Ermöglicht zeitgenaue Prognosen, sowie Entwicklungsszenarien (Policy Trends)	KI-basierte Kommunikation und Kollaboration – z.B. Kontext-Assistenzsystem, Wizard etc.	Nutzung/Betrieb

Tabelle 4: Arbeitsstand Reifegradmatrix aus CUT
© Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg

Herausgeber

Deutscher Städtetag

Autoren/Autorinnen

- Thomas Eichhorn, Hamburg
- Sascha Tegtmeyer, Hamburg (Mitglied des Arbeitskreises Geoinformation)
- Pierre Gras, Hamburg
- David Arndt, Regionalverband Ruhr
- Markus Müller, Stuttgart (Mitglied des Arbeitskreises Geoinformation)
- Ulrich Gellhaus, Bremen
- Mathias Boedecker, Leipzig
- Gunnar Ströer, Freiburg
- Stefan Sander, Wuppertal
- Volker Zupan, Wuppertal (Mitglied des Arbeitskreises Geoinformation)
- Guido Blome, Bonn (Mitglied des Arbeitskreises Geoinformation)

Kontakt in der Hauptgeschäftsstelle

Beigeordneter Hilmar von Lojewski

Referent Dr.-Ing. Timo Munzinger, E-Mail: timo.munzinger@staedtetag.de

Hauptgeschäftsstelle Berlin

Hausvogteiplatz 1

10117 Berlin

Telefon: 030 37711-0

Hauptgeschäftsstelle Köln

Gereonstraße 18 - 32

50670 Köln

Telefon 0221 3771-0

E-Mail: post@staedtetag.de

Internet: www.staedtetag.de

Twitter: www.twitter.com/staedtetag