

CHENS LANE-MODEL

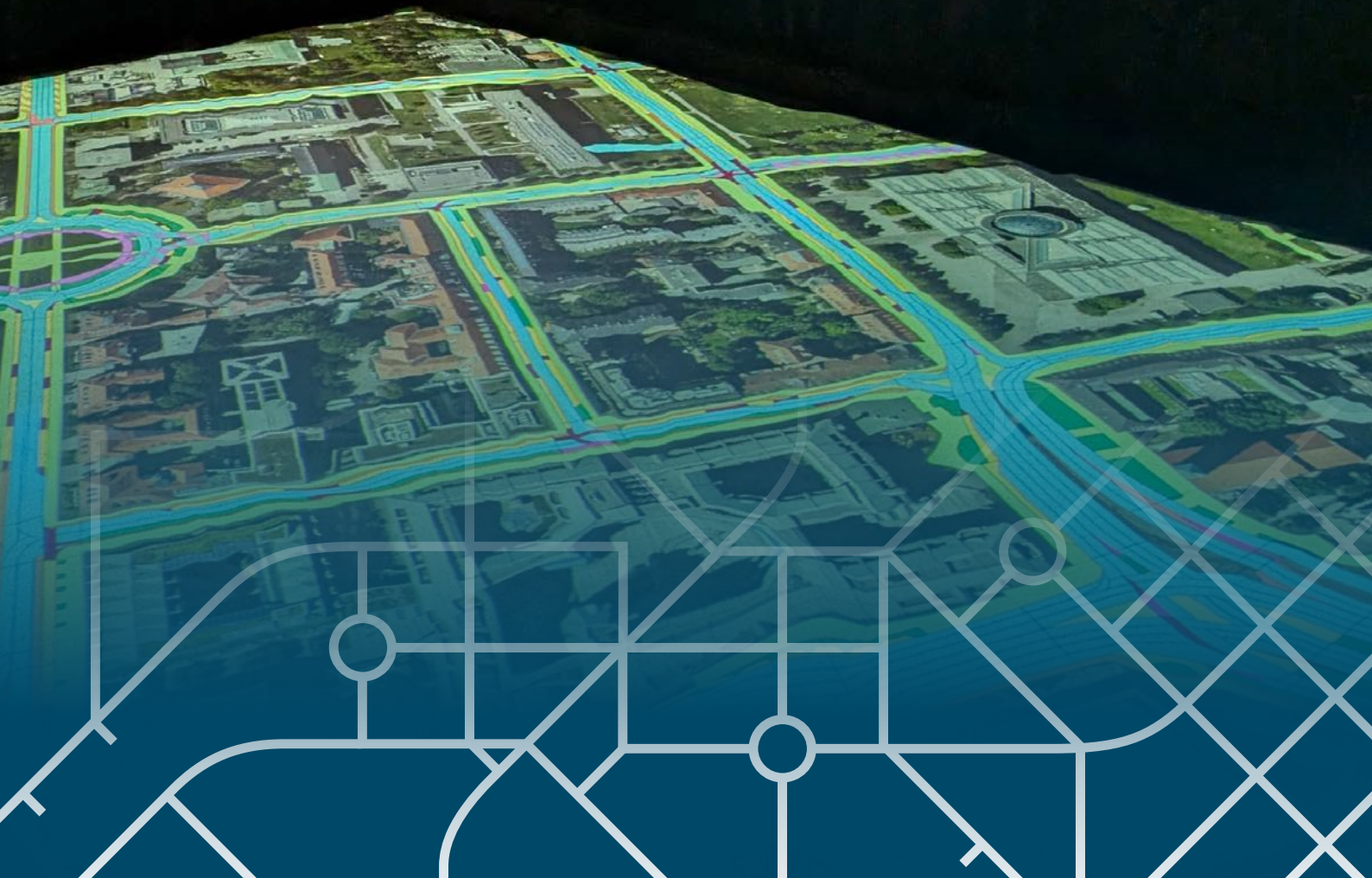
Das Münchner Lane-Model (Fahrspurmodell) ist ein
Datenschutz und als multifunktionaler Datensatz nutzbar. Es stellt den
Straßenraum für alle Verkehrsteilnehmenden (Kraftfahrzeuge, Radfahrende,
Fußgänger und öffentliche Verkehrsmittel) exakt dar. Es bietet so eine
detaillierte Datenbasis für zahlreiche verkehrsbezogene Fragestellungen und



Urbane digitale Zwillinge erfolgreich umsetzen

Erfahrungswissen aus der kommunalen Praxis

Sarah Brandt, Matthias Berg, Rosa Thoneick



IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat RS 5 „Digitale Stadt, Risikoversorgung und Verkehr“
Dr. Bettina Distel
bettina.distel@bbsr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Koordinierungs- und Transferstelle Modellprojekte Smart Cities (KTS):
Dr. Sarah Brandt, Dr. Matthias Berg
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
sarah.brandt@iese.fraunhofer.de

Dr. Rosa Thoneick
Creative Climate Cities GmbH (CCC)
rosa@creativeclimatecities.org

Redaktion

Koordinierungs- und Transferstelle Modellprojekte Smart Cities (KTS):
Silvia Oster, DLR Projektträger

Stand

April 2026

Satz und Layout

Koordinierungs- und Transferstelle Modellprojekte Smart Cities (KTS):
Sebastian Blunk, DLR Projektträger

Druck

MKL Druck GmbH & Co. KG, Ostbevern
Gedruckt auf Recyclingpapier

Bestellungen

publikationen.bbsr@bbr.bund.de; Stichwort: Urbane digitale Zwillinge erfolgreich umsetzen

Bildnachweis

Titelbild: Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – GeodatenService in Zusammenarbeit mit Architekturmuseum TUM und 3e8.studio
S. 7: jocke wulcan – unsplash; S. 11: Marc-Olivier Jodoin – unsplash; S. 13: Marcel Soppa – DLR; S. 14: Tobias Hartmann – DLR; S. 17: Geoportal der Stadt Mönchengladbach – Stadt Mönchengladbach; S. 18: Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – GeodatenService in Zusammenarbeit mit dem Architekturmuseum der TUM und 3e8.studio; S. 21: Creative Climate Cities; S. 26: Lars Grimmer – DLR; S. 29: Gemeinde Kirchheim b. München;



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung-Share Alike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers und der Weitergabe unter gleichen Bedingungen die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. Nähere Informationen zu dieser Lizenz finden sich unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>. Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitervorschlag

Brandt, S.; Berg, M.; Thoneick, R., 2026: Urbane digitale Zwillinge erfolgreich umsetzen: Erfahrungswissen aus der kommunalen Praxis. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn. <https://doi.org/10.58007/cnhp-1833>

DOI 10.58007/cnhp-1833
ISBN 978-3-98655-172-8

Bonn 2026

Urbane digitale Zwillinge erfolgreich umsetzen

Erfahrungswissen aus der kommunalen Praxis

Das Projekt des Förderprogramms „Modellprojekte Smart Cities“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

Inhalt

Zusammenfassung	5
Summary	6
1 Einleitung	7
2 Methodisches Vorgehen	9
3 Urbane digitale Zwillinge: Definition, Grundlagen und Status quo	10
4 Urbane digitale Zwillinge in der Praxis: Vorstellung der Fallbeispiele	12
4.1 Halle (Saale)	12
4.2 Kirchheim bei München	14
4.3 Mönchengladbach	15
4.4 München	17
5 Erfolgsfaktoren urbaner digitaler Zwillinge	19
5.1 Entwicklungsprozess	19
5.2 Organisation und Zusammenarbeit	22
5.3 Technische Umsetzung	25
5.4 Daten	27
5.5 Nutzung	31
5.6 Wissen und Kompetenzen	33
5.7 Verstetigung und Nachhaltigkeit	34
6 Fazit und Ausblick	37
Literatur	38

Zusammenfassung

Urbane digitale Zwillinge (UDZ) stellen integrierte, datenbasierte Abbildungen städtischer Realitäten dar, die es ermöglichen, urbane Strukturen, Prozesse und Entwicklungen digital zu modellieren, zu analysieren und zu simulieren. Durch die Verknüpfung von Geodaten, Fachverfahren, Sensordaten und analytischen Modellen schaffen sie eine Grundlage für evidenzbasierte Entscheidungsprozesse in zentralen Handlungsfeldern kommunaler Entwicklung, darunter Stadtplanung, Mobilität, Klimaanpassung und Bürgerbeteiligung. Trotz technischer, organisatorischer und Governance-bezogener Herausforderungen eröffnen UDZ damit neue Potenziale für eine nachhaltige und effiziente Stadtentwicklung.

Die vorliegende Studie untersucht zentrale Herausforderungen und Erfolgsfaktoren bei der Konzeption, Entwicklung, Nutzung und Verstetigung von UDZ. Methodisch basiert sie auf einer systematischen Analyse fortgeschrittener Projekte im Rahmen der Modellprojekte Smart Cities (MPSC) sowie auf vertiefenden Fallstudien der Kommunen Halle (Saale), Kirchheim bei München, Mönchengladbach und München.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Erfolg von UDZ maßgeblich von mehreren miteinander verknüpften Faktoren abhängt: Zentral sind eine klare strategische Zielsetzung mit Fokus auf konkrete Anwendungsfälle und eine iterative, bedarfsorientierte Weiterentwicklung. Auf technischer Ebene sind modulare Architekturen, offene Standards und eine leistungsfähige Systemintegration ent-

scheidend, um Interoperabilität und Skalierbarkeit zu gewährleisten. Ein strukturiertes Datenmanagement mit verbindlichen Qualitätsanforderungen bildet die Grundlage für belastbare Analysen und Simulationen. Organisatorisch erweisen sich interdisziplinäre Zusammenarbeit, klare Verantwortlichkeiten und politischer Rückhalt als wesentliche Voraussetzungen. Darüber hinaus ist der tatsächliche Mehrwert – etwa in Form effizienter Prozesse, transparenter Entscheidungsgrundlagen und verbesserter Beteiligungsmöglichkeiten – ausschlaggebend für ihre Akzeptanz und Nutzung. Fachliche Kompetenzen in den Bereichen Geoinformationssysteme (GIS), Datenmanagement und Projektsteuerung ergänzen diese Erfolgsbedingungen. Ein besonderer Stellenwert kommt der Verstetigung zu. Da der Nutzen von UDZ erst durch die kontinuierliche Nutzung, Datenpflege und institutionelle Verankerung entsteht, sind langfristige Finanzierungsmodelle und die organisatorische Einbettung elementar für ihre nachhaltige Wirksamkeit.

Insgesamt verdeutlicht die Untersuchung, dass UDZ nicht als rein technologische Instrumente, sondern auch als strategischer Transformationsansatz für die datenbasierte Stadtentwicklung zu verstehen sind. Ihre erfolgreiche Implementierung erfordert ein abgestimmtes Zusammenspiel von strategischer Planung, technischer Standardisierung, organisatorischer Integration und langfristiger Sicherung. Unter diesen Bedingungen können UDZ einen substanziellen Beitrag zur Bewältigung komplexer urbaner Herausforderungen und zur nachhaltigen Steigerung der Lebensqualität leisten.

Summary

Urban digital twins (UDT) are integrated, data-driven representations of urban realities that enable the digital modelling, analysis, and simulation of urban structures, processes, and developments. By linking geodata, specialised procedures, sensor data, and analytical models, they provide a foundation for evidence-based decision-making processes in key areas of urban development, including urban planning, mobility, climate adaptation, and citizen participation. Despite technical, organisational, and governance-related challenges, UDT thus unlock new potential for sustainable and efficient urban development.

This study examines key challenges and success factors in the design, development, use, and institutionalisation of UDT. Methodologically, it is based on a systematic analysis of advanced projects within the Model Projects Smart Cities (MPSC), as well as in-depth case studies of the cities of Halle (Saale), Kirchheim, Mönchengladbach, and Munich.

The results show that the success of UDT depends significantly on several interrelated factors. Central to this is a clear strategic objective with a focus on concrete use cases and an iterative, needs-oriented development. At the technical level, modular architectures, open standards, and robust system integration are crucial for ensuring interoperability and scalability. Structured data

management with mandatory quality standards forms the foundation for reliable analyses and simulations. From an organisational perspective, interdisciplinary collaboration, clear responsibilities, and political support are essential prerequisites. Furthermore, the actual added value – such as more efficient processes, transparent decision-making, and improved opportunities for public participation – is crucial for acceptance and use. Technical expertise in the areas of geographic information systems (GIS), data management, and project management complements these success factors. Institutionalisation is of particular importance. Since the benefits of UDT only materialise through continuous use, data maintenance and institutional embedding, long-term financing models, and organisational integration are key prerequisites for their sustained effectiveness.

Overall, the study makes clear that UDT should not be understood as purely technological tools, but rather as a strategic transformation approach for data-driven urban development. Their successful implementation requires a coordinated interplay of strategic planning, technical standardisation, organisational integration, and long-term safeguarding. Under these conditions, UDT can make a substantial contribution to addressing complex urban challenges and to sustainably improving quality of life.

1 Einleitung

Urbane digitale Zwillinge (UDZ) entwickeln sich zunehmend zu einem zentralen Element der digitalen Infrastruktur von Kommunen. Sie ermöglichen es, Maßnahmen in Bereichen wie Stadtplanung, Mobilität, Klimaanpassung oder Bürgerbeteiligung datenbasiert zu entwickeln und mithilfe von UDZ zu simulieren. Auf Basis der Simulationsergebnisse kann dann steuernd eingegriffen werden (vgl. Eichhorn et al. 2023; Shahat et al. 2021). Räumliche Strukturen und physische Prozesse der Stadt werden durch die Integration heterogener Datenquellen – von Geo- und Verwaltungsdaten bis hin zu Echtzeitdaten aus Sensorik – in dynamischen virtuellen Modellen abgebildet. Dadurch tragen UDZ wesentlich zu einer vorausschauenden und nachhaltigen Stadtentwicklung bei (vgl. Lehtola et al. 2022; Weil et al. 2023; Brandt et al. 2023). Sie können Transparenz schaffen, evidenzbasierte Entscheidungen fördern, sektorübergreifende Zusammenarbeit unterstützen und die strategische Steuerung komplexer urbaner Systeme stärken (vgl. Dembski et al. 2020; Shahat et al. 2021).

Insbesondere angesichts wachsender Herausforderungen wie Klimawandel, demografischem Wandel und Ressourcenknappheit eröffnen UDZ neue Handlungsoptionen. Durch die Simulation von Szenarien – etwa zu Starkregen, Verkehrsflüssen oder Bebauungsvarianten – lassen sich Risiken frühzeitig erkennen, Zielkonflikte identifizieren und Planungsprozesse optimieren (vgl. Dembski et al. 2020; Lei et al. 2023). Gleichzeitig ermöglichen sie neue Formen der Bürgerbeteiligung und Kommunikation: Visualisierte Datenmodelle, Virtual-Reality-Ansichten oder interaktive Stadtmodelle können Planungen für Bürgerinnen und Bürger nachvollziehbar machen und Akzeptanz und Partizipation erhöhen (vgl. Dembski et al. 2020). Somit fungieren UDZ nicht nur als technisches Werkzeug, sondern auch als soziotechnisches Bindeglied zwischen Verwaltung, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft (vgl. Brandt et al. 2023).

Gleichzeitig bleibt die Einführung eines UDZ herausfordernd. Sie erfordert technisches Know-

UDZ unterstützen Entscheidungen in der Stadtentwicklung und -planung durch schnelle Visualisierungen und Simulationen von Auswirkungen geplanter Maßnahmen | Quelle: jocke vulcan – unsplash



how, geeignete Dateninfrastrukturen und eine enge Koordination zwischen Verwaltungsstellen, politischen Entscheidungsträgerinnen und -trägern und externen Partnern. Leitfäden wie die Studie „Digitale Zwillinge: Potenziale in der Stadtentwicklung“ (Brandt et al. 2023) des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung bieten eine erste Orientierung: Sie zeigen Anwendungsbeispiele und listen zentrale Herausforderungen auf, wie die technische Integration in bestehende Strukturen, die Anpassung von Organisationsprozessen, den notwendigen fachübergreifenden Datenaustausch, die Sicherstellung von Datenqualität, Datenschutz und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die Bereitstellung von Ressourcen und den Aufbau von Wissen bei Mitarbeitenden (vgl. ebd.).

Trotz dieser Herausforderungen werden immer mehr UDZ in die Nutzung überführt und leisten einen Beitrag zur Stadtentwicklung. Dies geschieht vor allem durch das Visualisieren der Daten, während Analysen (zum Teil gestützt durch künstliche Intelligenz) ein tieferes Verständnis bringen. Sie decken unterschiedliche Anwendungsfelder ab und zeigen, dass die Technologie im kommunalen Alltag praktikabel eingesetzt werden kann. Diese fortschreitende Verbreitung nimmt die vorliegende Kurzepertise zum An-

lass, ausgewählte Maßnahmen des Förderprogramms „Modellprojekte Smart Cities“ des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) zu analysieren, um zentrale Erfolgsfaktoren für die Umsetzung von UDZ in Kommunen zu identifizieren. Im Fokus stehen die beiden folgenden Fragen:

- Welche Faktoren lassen sich hinsichtlich der erfolgreichen und nachhaltigen Konzeption, Entwicklung, Nutzung sowie Verstetigung von UDZ ausmachen?
- Welche zentralen Learnings lassen sich aus den Erfahrungen kommunaler Fallbeispiele ableiten?

Die Ergebnisse liefern konkrete Handlungsempfehlungen für Kommunen in unterschiedlichen Entwicklungsphasen eines UDZ und unterstützen fundierte Entscheidungen sowie die Entwicklung geeigneter Umsetzungsstrategien. Darüber hinaus tragen sie dazu bei, die Potenziale von UDZ optimal zu nutzen. Berücksichtigt werden dabei sowohl die technische Umsetzung als auch organisatorische Aspekte. Ziel ist die bedarfsorientierte Verwendung von UDZ durch verschiedene Akteure im kommunalen Arbeitsalltag.



Dreier, L.; Riechel, R.; Prabhakar Adiga, P.; Siebert, S.; Berg, M.; Hunger, N.; von Woedtke, S.; Jansen, L., 2026: Urbane digitale Zwillinge in der Wärmeplanung: Potenziale und Rahmenbedingungen für den Einsatz in Kommunen. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn. <https://doi.org/10.58007/mv0v-2j59>

Brandt, S.; Henningsen, J.; Hess, S.; Jedlitschka, A.; Hellmuth, R., 2023: Digitale Zwillinge: Potenziale in der Stadtentwicklung. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn. Zugriff: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2023/digitale-zwillinge-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [abgerufen am 01.05.2026].

2 Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen dieser Kurzepertise gliedert sich in zwei Arbeitsschritte: Im ersten Schritt wurden abgeschlossene oder weit fortgeschrittene UDZ-Projekte der MPSC identifiziert. Hierfür wurde mithilfe der MPSC-Maßnahmen-datenbank¹ eine systematische Recherche durchgeführt. Diese wurde um Dokumente und um informelles Wissen der MPSC-Arbeitsgruppe „Urbane digitale Zwillinge“² erweitert.

In einem zweiten Schritt erfolgte eine vertiefende Analyse von vier Fallbeispielen. Für deren Auswahl wurden an die Ergebnisse des ersten Arbeitsschritts folgende Kriterien angelegt:

- **Umsetzungsstand:** idealerweise abgeschlossene Projekte
- **Verstetigungskonzept:** Bestand des UDZ über den MPSC-Förderzeitraum hinaus
- **Reifegrad:** möglichst hoher Reifegrad (Wechselwirkung mit der physischen Realität)

Auf Basis von Projektberichten und öffentlich zugänglichen Informationen wurden der aktuelle Umsetzungsstand bewertet und Verstetigungskonzepte gesichtet (soweit vorhanden). Schließlich wurde eine Einteilung in Reifegradstufen vorgenommen, wofür das Reifegradmodell der DIN SPEC 91607 (2024) angesetzt wurde.

Für die vertiefende Fallstudie wurden jene Projekte ausgewählt, die am weitesten in ihrer Entwicklung fortgeschritten waren (s. Kapitel 4), und zu einem Interview eingeladen. Bei den vier Fallbeispielen handelt es sich um Halle (Saale), Kirchheim bei München, Mönchengladbach und München. Drei der vier Interviews wurden als Gruppendiskussionen durchgeführt, bei denen Projektleitende, Fachanwendende oder Verantwortliche für die

technische Umsetzung anwesend waren. Diese Konstellation sollte einen Überblick über technische sowie nicht technische Aspekte des Projektes UDZ sicherstellen und eine Ableitung von Erfolgsfaktoren auf unterschiedlichen Ebenen ermöglichen. Die Interviews wurden online durchgeführt und dauerten circa 60 Minuten. Sie folgten einem thematischen Leitfaden, um zentrale Erfolgsfaktoren und Herausforderungen bei der Umsetzung von UDZ identifizieren und systematisch vergleichen zu können. Der Interviewleitfaden umfasste Fragen zu verschiedenen Themenbereichen, darunter zum aktuellen Stand der Projekte, zu organisatorischen Aspekten wie Steuerung und Zusammenarbeit sowie zum Datenmanagement und zur Sicherstellung der Datenqualität. Weitere Schwerpunkte waren die technische Umsetzung, die Nutzung und der Mehrwert der UDZ sowie die erforderlichen Kompetenzen und Lernprozesse. Zudem wurden in den Gesprächen Aspekte der Verstetigung und Nachhaltigkeit beleuchtet. Die Kriterien des Leitfadens wurden aus der Fachliteratur (vgl. Brandt et al. 2023), der Sammlung von Smart-City-Lösungen³, der Smart-City-Roadmap zur Skalierung von Lösungen⁴ sowie dem dazugehörigen Dossier „Smart-City-Lösungen skalieren“ (Rabe et al. 2024) abgeleitet. Letzteres strukturiert mit einem idealtypischen Modell die Entwicklungsphasen von Smart-City-Lösungen beginnend bei der Ideenfindung und Konzeption über die Prototypentwicklung, die Pilotierung und Verstetigung bis hin zur Transferphase (vgl. ebd.: 18).

Die Interviews wurden systematisch ausgewertet und mit den Ergebnissen der Recherche kombiniert. Dabei wurden projektübergreifende gültige Erfolgsfaktoren identifiziert, die im weiteren Verlauf der Kurzepertise strukturiert dargestellt werden. Zudem werden jeweils konkrete Handlungsempfehlungen für Kommunen formuliert, die auf den identifizierten Erfolgsfaktoren basieren.

¹ <https://www.smart-city-dialog.de/wissen/massnahmen>

² <https://www.smart-city-dialog.de/netzwerk/arbeitsgruppen/urbane-digitale-zwillinge>

³ <https://www.smart-city-dialog.de/wissen/smart-city-loesungen>

⁴ https://www.smart-city-dialog.de/system/files/media/3648/1741858893/Smart-City-L%C3%B6sungen-skalieren_bf.pdf

3 Urbane digitale Zwillinge: Definition, Grundlagen und Status quo

Die Studie stützt sich auf bisher erarbeitete Definitionen von UDZ. Demnach ist ein UDZ die digitale Abbildung einer städtischen Realität (physisch und prozessual). Er integriert kommunale Daten, Modelle, Dienste und Prozesse über standardisierte Schnittstellen. Dadurch können urbane Strukturen und Abläufe nicht nur abgebildet und analysiert, sondern auch realitätsnah simuliert und gesteuert werden (vgl. DIN SPEC 91607 2024; Brandt et al. 2023). Zudem werden in einem UDZ anwendungsspezifische Funktionen intelligent und dynamisch integriert (z. B. künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen und Datenanalyse), wobei ein kontinuierlicher und systematischer Abgleich zwischen der Realität und dem digitalen Abbild erfolgt. Dadurch wird es möglich, Simulationen durchzuführen, den digitalen Zwilling aus verschiedenen Quellen lernen zu lassen und den aktuellen und zukünftigen Zustand seiner physischen Gegenstücke darzustellen (Brandt et al. 2023: 10).

Die DIN SPEC 91607 (2024) beschreibt drei zentrale Funktionskategorien des UDZ: Wissen generieren, Entscheiden und Einwirken. Diese Funktionskategorien dienen in angepasster Form auch der Bestimmung der vier Reifegrade, die einem UDZ zugeordnet werden können (s. Tabelle 1).

Aufgrund der oft sehr heterogenen Ausprägungen von UDZ, sowohl hinsichtlich ihrer Bestandteile als auch ihrer Anwendungsbereiche, ist eine eindeutige Zuordnung zu einzelnen Reifegradstufen in der Praxis jedoch häufig schwierig. UDZ bestehen in der Regel nicht aus einem geschlossenen System, das sich auf einer einheitlichen Entwicklungsstufe befindet. Vielmehr weisen sie auf verschiedenen Ebenen unterschiedliche Reifegrade auf. So können einzelne Anwendungsfälle eines UDZ – etwa Mobilität, Klimaanpassung oder Stadtplanung – unterschiedlich weit entwickelt sein. Zudem spiegelt sich der technische Reifegrad nicht zwangsweise in der Nutzung oder Akzeptanz innerhalb der kommunalen Organisation wider (vgl. Guckenbiehl et al. 2021). Aus diesen Gründen wurde die eingangs beschriebene literatur- und datenbasierte Bewertung der Reifegrade durch die Autorinnen und Autoren um eine Selbsteinschätzung der ausgewählten Kommunen in den Interviews ergänzt.

Trotz ihrer bislang meist niedrigeren Komplexitätsstufen gewinnen UDZ zunehmend an Relevanz. In Deutschland haben sich UDZ innerhalb weniger Jahre von einer experimentellen Innovation zu einem strukturierten Entwicklungsfeld gewandelt, das durch eine Vielzahl föderaler,

Reifegrad	Beschreibung
1 – Wissensgenerierung	Der UDZ dient der Darstellung, Verwaltung und Analyse urbaner Daten und ermöglicht es, einfache bis komplexe Simulationen darzustellen.
2 – Entscheidungen	Faktengestützte Entscheidungsprozesse werden durch den UDZ initiiert und können z. B. auf Beteiligungsplattformen erörtert oder als Planungsinstrumente verwendet werden.
3 – Umsetzung	Ergebnisse und Entscheidungen, die auf Basis des UDZ getroffen wurden, werden in der realen Welt umgesetzt. Der Datenfluss zwischen digitalem und realem System erfolgt teilweise manuell, um Maßnahmen zu steuern.
4 – Automatisierung	Der UDZ wird zu einem integrierten, selbstständig arbeitenden System, das Daten kontinuierlich austauscht und in der Lage ist, autonom auf Veränderungen in der realen Welt zu reagieren. Dies markiert den höchsten Reifegrad.

Tabelle 1: UDZ-Reifegrade | Quelle: Fraunhofer IESE nach DIN SPEC 91607 (2024)

kommunaler und wissenschaftlicher Initiativen geprägt ist. Eine aktuelle Erhebung identifiziert 135 Projekte in den Bereichen Infrastruktur sowie Bau und Wohnen, die sich mit verschiedenen Aspekten von UDZ befassen oder entsprechend anwendungsbezogene Zwillingsvorhaben entwickeln (vgl. Blüml et al. 2025). Von diesen Projekten sind 69 in der Kategorie der Kommunalverwaltung verortet. Die weiteren Projekte entfallen auf die Bereiche Straße, Schiene und Wasser, sektorenübergreifendes Bauwesen sowie Energie- und Wärmeversorgung (vgl. ebd.: 24 f.).

Ergänzt wird dieses Bild durch ein breites Spektrum an Forschungsprojekten und sektoralen Studien, die den Einsatz lokaler UDZ in konkreten Anwendungsfeldern weiter schärfen. Hier seien exemplarisch das Projekt Risk.twin⁵, das sich mit dem Schutz kritischer Infrastrukturen durch

digitale Zwillinge auseinandersetzt, und die Studie „Urbane digitale Zwillinge in der Wärmeplanung“ (Dreier et al. 2026) genannt, die aufzeigt, wie Kommunen zunehmend digitale Tools für das Gelingen der Wärmewende einsetzen und über welche Potenziale UDZ in diesem Zusammenhang verfügen.

Während bis vor einigen Jahren erste Kommunen vor allem prototypisch an UDZ arbeiteten, entstanden mit den bundesweiten MPSC koordinierte Räume für die UDZ-Entwicklung und den Erfahrungsaustausch – darunter die Arbeits- und Entwicklungsgemeinschaft „Urbane digitale Zwillinge“ (AEG UDZ). Von den insgesamt 73 MPSC befassen sich 61 Kommunen aktiv oder passiv mit der Entwicklung eines UDZ. Aus dem Kreis dieser Modellprojekte stammen die vier Kommunen, die für diese Erhebung interviewt wurden.

⁵ <https://dtecbw.de/home/forschung/unibw-m/projekt-risk-twin>

Ein UDZ ist die digitale Abbildung einer städtischen Realität und integriert kommunale Daten, Modelle, Dienste und Prozesse. Er unterstützt dabei, Wissen zu generieren, zu entscheiden und einzuwirken | Quelle: Marc-Olivier Jodoin – unsplash



4 Urbane digitale Zwillinge in der Praxis: Vorstellung der Fallbeispiele

Im Rahmen dieser Kurzepertise wurden Interviews mit den vier MPSC-Kommunen Halle (Saale), Kirchheim bei München, Mönchengladbach und München geführt, um zentrale Erfolgsfaktoren bei der Umsetzung von UDZ zu ermitteln. Die vier Kommunen unterscheiden sich in Größe, Struktur und hinsichtlich des Entwicklungsstands ihres UDZ (s. Tabelle 2). Auch im Hinblick auf ihren Reifegrad zeigen sich Unterschiede: In den Selbsteinschätzungen verorten die Kommunen ihre UDZ auf einer Stufe von 1 bis 3. Auf Grundlage der durchgeführten Recherchen und der aktuellen Projektstände lässt sich jedoch feststellen, dass alle betrachteten Kommunen einen Reifegrad zwischen 2 und 3 aufweisen. Gemeinsamkeiten bestehen hinsichtlich der Anforderungen an UDZ: Sie sollen Planung, Verwaltung und Bürgerbeteiligung unterstützen, Entscheidungsprozesse verbessern und die Stadtentwicklung datenbasiert vorantreiben.

4.1 Halle (Saale)

Stadtentwicklungspolitische Ausgangslage und Zielsetzung

Die Stadt Halle (Saale) ist eine Transformationsstadt, die sich zu einem Mobilitäts- und Logistikhub für Mitteldeutschland entwickelt. Gleichzeitig gewinnen wissensbasierte Branchen wie Informations- und Biotechnologie an Bedeutung, mit denen die Stadt auf veränderte globale Rahmenbedingungen reagiert. Zudem steht Halle (Saale) heute vor komplexen Herausforderungen: Die Nachfrage nach Wohn-, Gewerbe- und Infrastrukturflächen steigt, während verfügbare Flächen begrenzt und zahlreiche Konversionsareale nur eingeschränkt nutzbar sind (vgl. Land Sachsen-Anhalt o. J.). Nachhaltige Flächennutzung zusammen mit ökologischer Stadtentwicklung und wirtschaftlicher Transformation

Kommune	Halle (Saale)	Mönchengladbach	Kirchheim bei München	München
Bundesland	Sachsen-Anhalt	Nordrhein-Westfalen	Bayern	Bayern
Einwohnerzahl	238.762	270.771	12.811	1.603.776
Fläche	135,03 km ²	170,47 km ²	15,50 km ²	310,71 km ²
Stadttyp	Großstadt	Großstadt	Kleinstadt	Großstadt/ Landeshauptstadt
UDZ-Umsetzungsstand	in der Umsetzung	in der Umsetzung	teilweise abgeschlossen	teilweise abgeschlossen und im Regelbetrieb
UDZ-Verstetigung	geplant und gewünscht; politisch teilweise bereits unterstützt	geplant und gewünscht; Projektstellen bereits verstetigt	geplant und gewünscht; im Alltag bereits fest in der Verwaltung etabliert und in Haushaltsplanung aufgenommen	Verstetigung durch tiefe Integration des UDZ in digitale Infrastruktur und etablierte Fachanwendungen erfolgt
UDZ-Reifegrad (Selbsteinschätzung der Kommune)	2	1	2-3	3

Tabelle 2: Überblick über die Fallbeispiele | Quelle: Fraunhofer IESE basierend auf BMW SB o. J.a, Landeshauptstadt München o. J.a, o. J.b

erfordern innovative Lösungen, wozu der UDZ „HAL-Plan“ entsteht.

Ziel des HAL-Plan ist der Aufbau eines UDZ, der als integrierte ganzheitliche Planungsgrundlage für die Stadt Halle (Saale) dient. Durch einen modularen und erweiterbaren Aufbau soll er die Entwicklung, Bewertung und Visualisierung unterschiedlicher Stadtentwicklungs- und Nutzungsszenarien unterstützen. Mit dem UDZ verfolgt die Stadt das Ziel, den Arbeitsalltag durch datengestützte Analysen und Simulationen zu erleichtern. Zusätzlich sollen Fachgutachten teilweise ersetzt und unterstützt und interdisziplinäres Arbeiten gefördert werden. Zielsetzung der in der Wirtschaftsförderung angesiedelten Projektleitung ist die Lösung von Flächenknappheit und Unterstützung des Ansiedlungsmanagements durch den UDZ (vgl. BMWSB o. J.b).

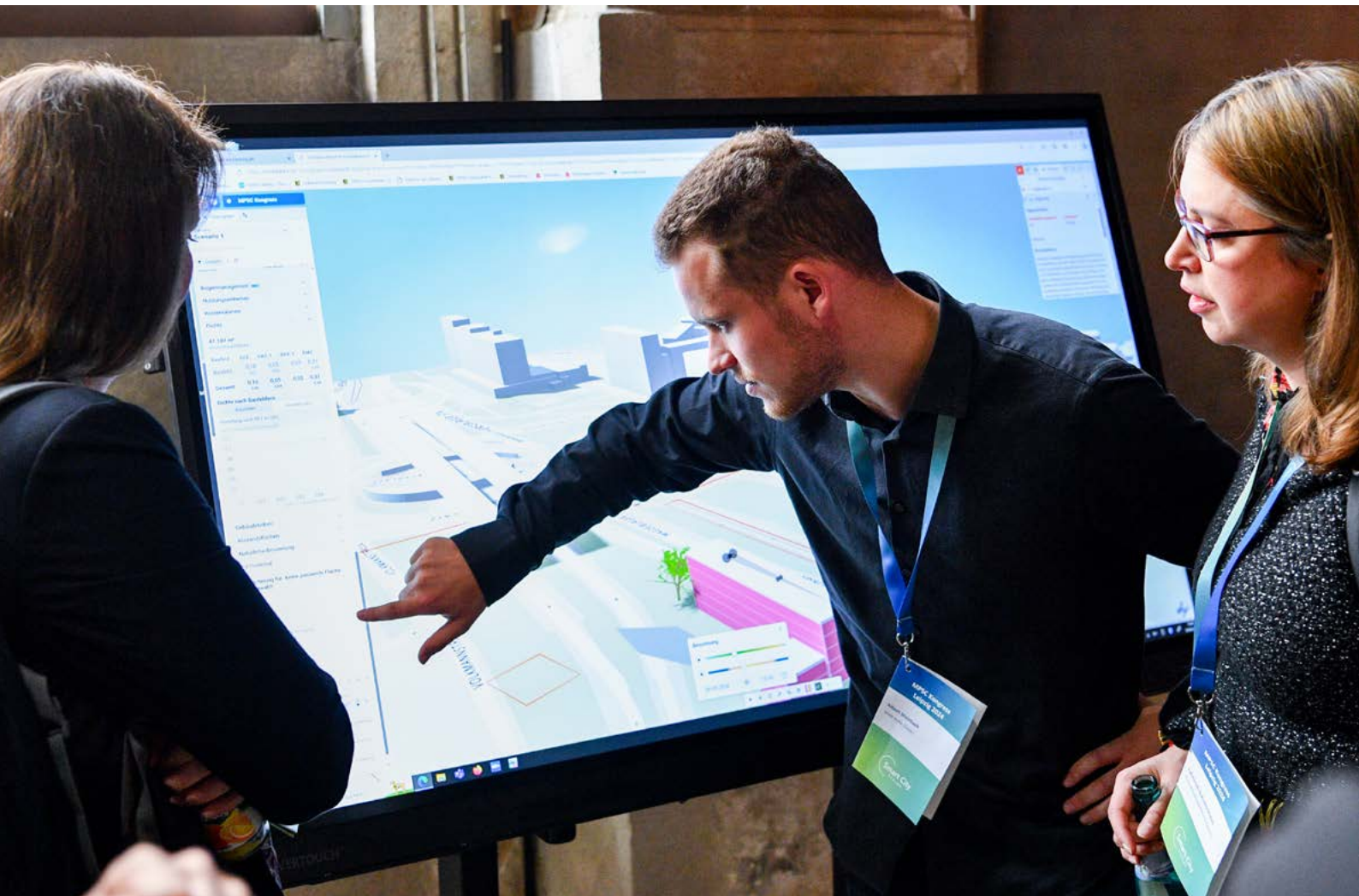
Anwendungsfälle und aktueller Stand

HAL-Plan ist eine Software, die sich mit den Bereichen Planung, Ökologie und Flächenmanagement

befasst. Grundlage für die Entwicklung aller drei Teilbereiche ist das 3D-Modell von Halle (Saale). HAL-Plan umfasst drei Anwendungsfälle:

1. Das Gewerbeflächentool dient der strukturierten Erfassung, Pflege und Visualisierung von Standort- und Umgebungsdaten gewerblich nutzbarer Flächen mit dem Ziel, Verwaltungsprozesse für die Gewerbeflächenentwicklung und für Ansiedlungsprojekte zu vereinfachen.
2. Das Planungstool ermöglicht die Entwicklung und den Vergleich realistischer Planungsszenarien, um solche zu erarbeiten und um die Abstimmung in Planungsprozessen zu optimieren.
3. Das Ökologietool untersucht ökologische Wechselwirkungen im Stadtraum, insbesondere die Auswirkungen von Temperatur, Niederschlag, Sonneneinstrahlung und Wind auf Gebäude. Auf Basis des UDZ soll das Tool bereits im Planungsprozess die Darstellung ökologischer Wechselwirkungen ermöglichen.

Albert Steinbach vom MPSC Halle (Saale) präsentiert auf dem MPSC-Kongress in Leipzig den HAL-Plan. Als digitales Abbild der Stadt verknüpft der UDZ Geodaten, Echtzeitdaten und 3D-Simulationen für die Fachbereiche Stadtplanung, Flächenmanagement und Wirtschaftsförderung | Quelle: Marcel Soppa – DLR



Die Grundinfrastruktur des UDZ HAL-Plan ist etabliert. Dazu zählen insbesondere eine 3D-basierte Stadtkarte sowie ein Rechte- und Rollenmanagement für die differenzierte Nutzung durch Verwaltung und weitere Akteure. Darüber hinaus lassen sich parametrische Analysen und mathematische Rechenmodelle zur Simulation durchführen. Darüber hinaus sollen teilautomatisierte Prozesse produktiv eingesetzt werden; darunter das automatische Einlesen von XPlan-Daten sowie erste thermische Simulationen. Diese Grundstruktur wird derzeit um das 3D-basierte Planungstool mit Fokus auf Baurecht und Klimawirksamkeit, das Gewerbeflächen- und Ökologietool erweitert. Alle drei Tools sind in der Entwicklung.

Komponenten des HAL-Plan sind bereits erfolgreich auf Magdeburg sowie Paderborn übertragen worden. Zudem wurde die Lösung auf Initiative der Stadt Halle (Saale) in elf weiteren Kommunen getestet (vgl. Land Sachsen-Anhalt o. J.). Als weitere Entwicklungen sind ein Beteiligungstool, die Integration von XPlanungs-Standards sowie ein Tool für die kommunale Wärmeplanung vorgesehen. Auf Basis des aktuellen Entwicklungsstands wurde der Reifegrad der Stufe 2 zugeordnet (Selbsteinschätzung der Interviewten).

4.2 Kirchheim bei München

Stadtentwicklungspolitische Ausgangslage und Zielsetzung

In der Gemeinde Kirchheim bei München sollen in den kommenden Jahren große Teile der gemeindlichen Flächen neu geplant und verdichtet werden, während die Bevölkerung weiter wachsen wird (vgl. BMWWSB o. J.c). Daraus ergeben sich diverse Herausforderungen, wie ein steigender Pendelverkehr, die Belastung der Infrastruktur oder der Bedarf an sozialen Einrichtungen. Um diesen Wandel effizient und datenbasiert zu gestalten, setzt Kirchheim auf Smart-City-Technologien, allen voran einen UDZ, der als Planungs- und Simulationsinstrument dient. Vorausschauende Entwicklung und das Sichtbarmachen von Zusammenhängen in der Stadt sind dabei nur zwei von vielen Möglichkeiten (vgl. BMWWSB o. J.d). Ein zentrales Ziel ist es in Kirchheim, Informationen niedrigschwellig zugänglich zu machen und so Transparenz zu schaffen. Gleichzeitig ermöglicht der UDZ eine aktivere Bürgerbeteiligung (vgl. BMWWSB o. J.c). Mit diesem Ansatz positioniert sich Kirchheim als Innovationsstandort, der durch digitale Instrumente die

„Smartheim“-Projektleiterin Sibylle Wartlick und Marc-Christian Hodapp, Mitgründer von Urbanistic, vor dem UDZ der Stadt Kirchheim, der Informationen niedrigschwellig zugänglich macht und so eine aktivere Bürgerbeteiligung ermöglicht | Quelle: Tobias Hartmann – DLR



Stadtentwicklung zukunfts-fähig gestalten möchte (vgl. Planungsverband Äußerer Wirtschaftsraum München o. J.).

Anwendungsfälle und aktueller Stand

Kirchheims UDZ dient primär als Informations- und Visualisierungsplattform und bindet zahlreiche Fachabteilungen ein. Ein zentraler verwaltungsinterner Anwendungsbereich liegt in der Unterstützung und perspektivischen Beschleunigung von Baugenehmigungsprozessen. Digitale Bauanträge lassen sich einlesen und mit geltenden Bauvorschriften abgleichen, sodass Entscheidungen auf konsistenter und nachvollziehbarer Datenbasis getroffen werden können. Weitere Prüfungen erfolgen im Rahmen von Bauleitplanverfahren.

Ergänzend gibt es einen öffentlich zugänglichen Bereich, der Transparenz und Bürgerinformation fördert. Hier werden Bestandsdaten zu Infrastruktur, Demografie und Versorgung mit Sensordaten zu Mobilität, Luftqualität und Umwelt kombiniert. Daraus entstehen thematische Layer, wie etwa ein Kita-Layer mit Informationen zu Betreuungseinrichtungen oder Layer zu Bäumen und Luftqualität, die Zustand und Pflegebedarf sichtbar machen. Zusätzlich gibt es klassische Informationsschichten, zum Beispiel Points of Interest wie Wertstoffhöfe, Wertstoffinseln oder Briefkästen.

Der UDZ in Kirchheim ist einsatzbereit und wird aktiv in der Verwaltung genutzt. Die Softwarebasis ist abgeschlossen und die Verwaltung kann eigenständig neue Layer anlegen sowie Inhalte pflegen. Damit ist der UDZ nicht nur ein fertiges Werkzeug, sondern flexibel anpassbar und erweiterbar. Zwar ist das Förderprojekt abgeschlossen, der UDZ soll allerdings kontinuierlich weiterentwickelt und um neue Anwendungsfälle ergänzt werden. Abhängig von Zweck und fachlichem Bedarf lassen sich unterschiedliche Reifegrade abbilden: Informationsplattformen liegen überwiegend auf Reifegrad 1, spezialisierte Anwen-

dungen wie die virtuelle Bebauung von Grundstücken im Baurecht erreichen Reifegrad 2 bis 3 (Selbsteinschätzung der Interviewten).

4.3 Mönchengladbach

Stadtentwicklungspolitische Ausgangslage und Zielsetzung

Die Stadt Mönchengladbach steht vor einer weitreichenden städtebaulichen Herausforderung: In den kommenden Jahren sollen große Teile des Stadtgebiets neugestaltet und verdichtet werden, während die Einwohnerzahl voraussichtlich weiter zunimmt. Gleichzeitig gilt es, die soziale Teilhabe in allen Stadtteilen zu stärken, ausreichend Wohnraum für alle bereitzustellen, Bildungserfolge zu fördern, Nachhaltigkeit und Klimaschutz stärker in städtisches Handeln zu integrieren, Mobilität zukunftsorientiert zu entwickeln und den Wirtschaftsstandort auf innovative Wertschöpfung sowie digitale Wirtschaft auszurichten (vgl. BMWSB o. J.e). Um diese komplexen Ziele effizient und transparent zu erreichen, verfolgt Mönchengladbach einen Smart-City-Ansatz, der die städtische Gesamtstrategie unterstützt. Dabei sollen digitale Technologien wie ein UDZ gezielt eingesetzt werden (vgl. Stadt Mönchengladbach 2022).

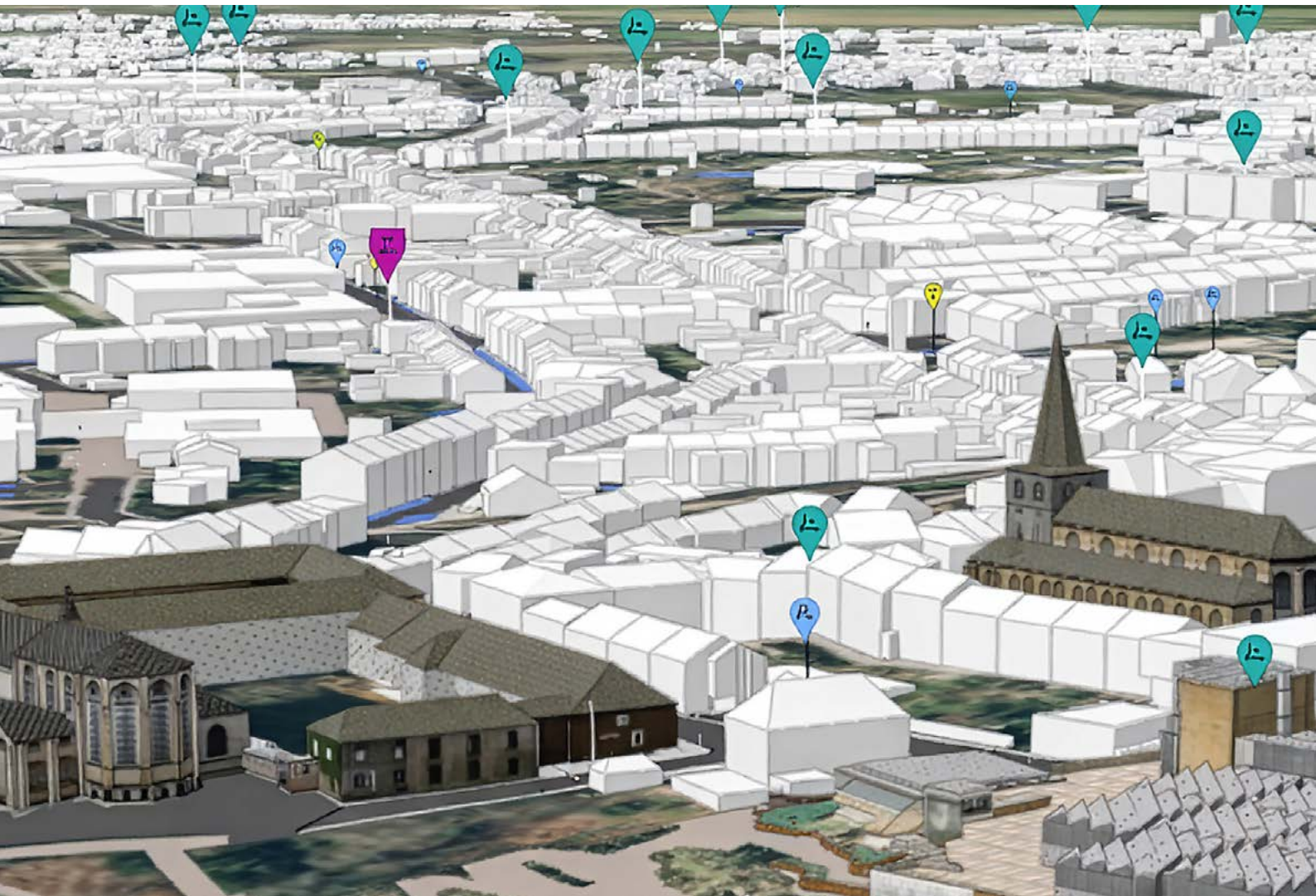
Der UDZ in Mönchengladbach bündelt Daten aus Verwaltung, Sensorik, Umwelt, Mobilität und Bevölkerung auf einer digitalen Plattform. Er ermöglicht die Simulation von Szenarien, Analysen von Planungsprozessen und faktenbasierte Entscheidungen. So ist das Ziel, dass Projekte strategisch verzahnt und Planungen optimiert werden. Dadurch soll eine datengetriebene, kollaborative Stadtentwicklung gefördert werden. Durch kontinuierliche Weiterentwicklung und Smart-Public-Data-Ansätze wird der UDZ zu einem Werkzeug, das die Stadtverwaltung bei der Steuerung einer nachhaltigen, zukunfts-fähigen Stadt unterstützt (vgl. Stadt Mönchengladbach o. J.).

Anwendungsfälle und aktueller Stand

Der UDZ in Mönchengladbach ist modular aufgebaut und soll verschiedene Fachbereiche abbilden, darunter Stadtplanung, Mobilität, Energie, digitale Infrastruktur, Umwelt, Bildung und Soziales. Der Geobasiszwilling liefert die Grundlage für die Bereitstellung städtischer Daten und erste Anwendungen wie den Bürgerwärmeplan. Visualisierungen unterstützen die Nachvollziehbarkeit von Planungen, während weiterführende Funktionen wie Simulationen oder autonome Steuerung künftig ausgebaut werden können. Perspektivisch sollen weitere Module für Nachhaltigkeit sowie Ordnung und Sicherheit hinzukommen. Erste KI-Anwendungen wurden getestet und Dashboards zur Analyse von Umwelt- und Verkehrsdaten sind eingerichtet. Im Fokus stehen aktuell Visualisierungen im Geobasiszwilling sowie ein Fachzwilling für die Stadtplanung, der noch in Arbeit ist. Der Bürgerwärmeplan ist bereits veröffentlicht und für die Öffentlichkeit zugänglich.

Das Projekt befindet sich aktuell in einem Evaluierungsschritt, um festzulegen, welche Daten und Anwendungen Teil des UDZ sein sollen und wie sie sinnvoll zusammengeführt werden können. Die bisher überwiegend visuellen Darstellungen in fachbezogenen Entscheidungsprozessen sollen überführt und die Nutzung der Daten langfristig gesichert werden. Frühere Fachzwillinge und spezielle Anwendungen entstanden teils als proprietäre Einzellösungen (z. B. Parkraum, Straßenlaternen, Temperatursensoren), was zu Dopplungen und fragmentierter Datenhaltung führte. Im Laufe des Jahres 2026 sollen alle Fachmodule über eine urbane Datenplattform (UDP) zentral verwaltet und mit aktuellen Daten versorgt werden, um Effizienz und Nachhaltigkeit zu sichern. Der UDZ befindet sich derzeit auf Reifegrad 1, basierend auf der Selbsteinschätzung der Kommune.

Der UDZ in Mönchengladbach soll verschiedene Fachbereiche abbilden, darunter Stadtplanung, Mobilität, Energie, digitale Infrastruktur, Umwelt, Bildung und Soziales | Quelle: Geoportal der Stadt Mönchengladbach – Stadt Mönchengladbach



4.4 München

Stadtentwicklungspolitische Ausgangslage und Zielsetzung

Die Stadt München steht vor der Herausforderung, ökologische, soziale, ökonomische und räumliche Entwicklungen im urbanen Raum kohärent zu steuern und gleichzeitig auf dynamische Veränderungen wie Klimawandel, Bevölkerungswachstum, Mobilitätswandel und Digitalisierung zu reagieren. Um die Stadtentwicklung integrierter, datenbasierter und anpassungsfähiger zu gestalten, setzt die Stadt mit dem „Integrierten Smart City Handlungsprogramm“ (ISCH)⁶ stark auf digitale Technologien.

Im bundesgeförderten Modellprojekt Connected Urban Twins (CUT)⁷ arbeitete München gemeinsam mit Hamburg und Leipzig daran, digitale Zwillinge für die Stadtentwicklung zu entwickeln. Die städteübergreifende Partnerschaft ermöglichte es, Wissen auszutauschen und Lösungen zu schaffen, die über die eigene Kommune hinaus übertragbar sind. Zusätzlich wurde die Stadt München vom Freistaat Bayern aus dem Förderprogramm TwinBy⁸ gefördert.

Der Digitale Zwilling München (DZM) soll zur digitalen Basisinfrastruktur der Stadt werden, die eine UDP als Drehscheibe nutzt und separate Insellösungen zu einem funktionierenden Ökosystem zusammenführt. Der Ansatz ist dabei konsequent anwendungsfallzentriert: Digitale Lösungen werden nur dann entwickelt und betrieben, wenn ein klarer fachlicher Bedarf in den Referaten besteht und konkrete Aufgaben

damit unterstützt werden können (vgl. Landeshauptstadt München o. J.c).

Ziel ist es, Verwaltungsprozesse zu digitalisieren und neue Innovationsräume für Fachreferate zu eröffnen. Zentrale Zukunftsthemen – insbesondere Klimaschutz und Mobilität – sollen mithilfe des DZM wirksam umgesetzt werden. Aufgaben werden dabei nicht abstrakt technologisch gedacht, sondern entlang realer fachlicher Fragestellungen bearbeitet, etwa durch datenbasierte Analysen, Simulationen und Visualisierungen für Verkehrsplanung, Klimasimulationen oder stadtplanerische Entscheidungsprozesse. Der DZM dient dabei sowohl als Analyse- und Arbeitsinstrument innerhalb der Verwaltung als auch als Kommunikationswerkzeug gegenüber Entscheidungsträgerinnen und -trägern und der Öffentlichkeit.

Anwendungsfälle und aktueller Stand

Die Stadt München setzt ihren UDZ zunächst in Pilotprojekten um, um neue Anwendungen zu testen und praktische Erfahrungen zu sammeln. Dabei dient er zunehmend als Kommunikations- und Visualisierungswerkzeug: Verkehrsplanungen oder Klimasimulationen lassen sich anschaulich darstellen, was die Verständlichkeit komplexer Sachverhalte verbessert und die Kommunikation zwischen Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit erleichtert. Auch infrastrukturell ist München weit fortgeschritten: Sowohl technisch – etwa durch einen ausgebauten Metadatenkatalog – als auch organisatorisch sind Strukturen geschaffen, die eine nachhaltige und erweiterbare Nutzung des DZM ermöglichen.

⁶ <https://stadt.muenchen.de/infos/muenchen-smart-city.html>

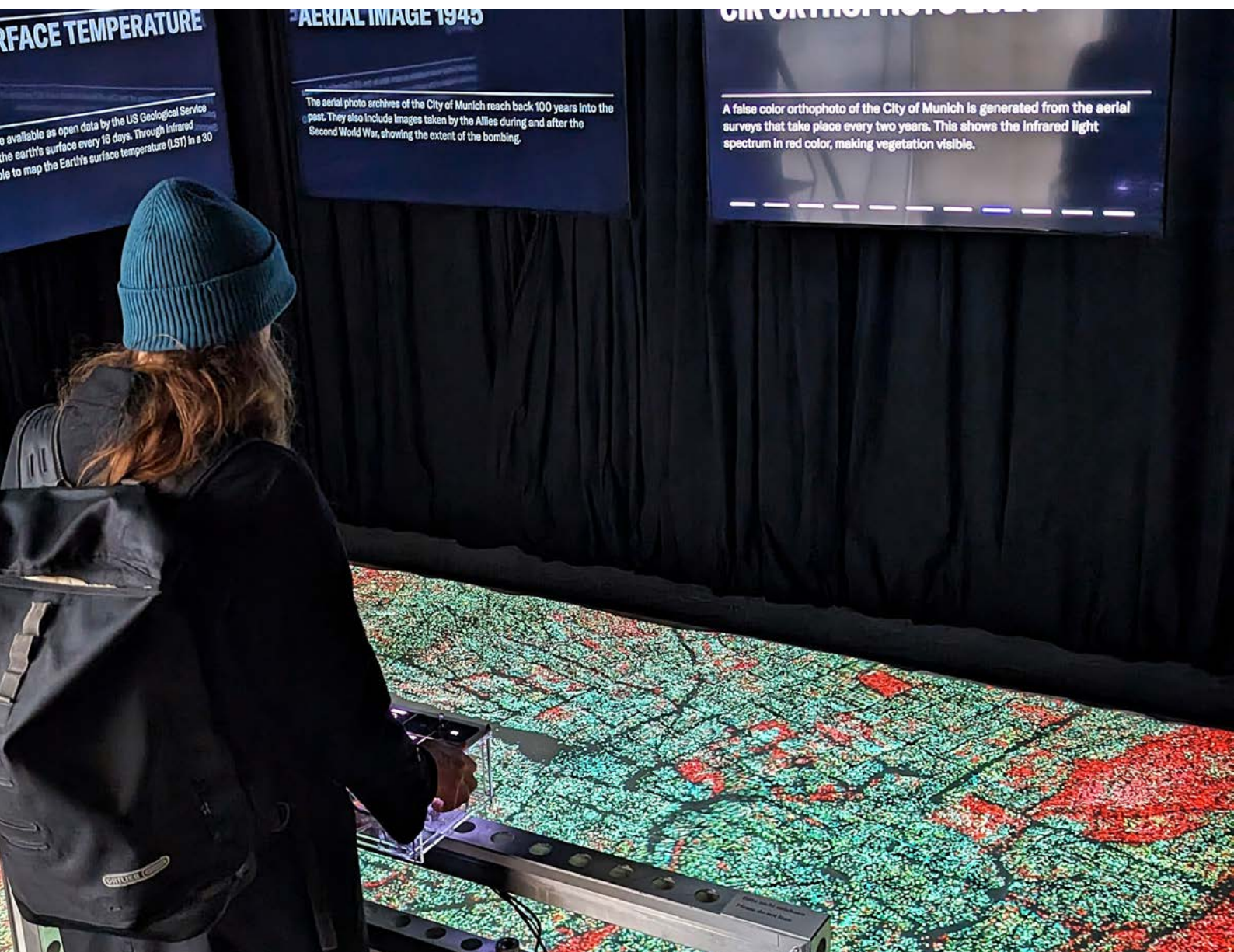
⁷ <https://www.connectedurbantwins.de/das-projekt-2>

⁸ <https://www.stmd.bayern.de/themen/twinby>

Seine Anwendungsfelder sind vielfältig und decken zentrale Handlungsbereiche der Stadt ab: Dazu gehören die Verkehrs- und Mobilitätsplanung, Klimaschutz und Umweltmonitoring sowie Stadtplanung und Bauordnung. Anwendungsfälle werden referatsübergreifend abgestimmt, sodass vorhandene Daten mehrfach genutzt und wertvolle Synergieeffekte zwischen den Fachbereichen erzielt werden. Ein Schwerpunkt liegt aktuell auf der Analyse und Datenpflege im Bereich Verkehr. Dieser Sektor ist in München besonders weit entwickelt und bildet den Ausgangspunkt für weiterführende Anwendungen. Erste Verkehrssimulationen sind bereits erfolgreich implementiert. Im Rahmen der städtischen Klimaneutralitätsziele wird der UDZ zunehmend verstetigt und als langfristiges strategisches Werkzeug etabliert.

Im Rahmen des Abschlussberichts des CUT-Projekts wurde der Reifegrad des Münchner UDZ in Kombination mit einer Capabilities Map visualisiert, welche die bestehenden Fähigkeiten und Entwicklungsstufen veranschaulicht. Aus Münchener Sicht sind die meisten relevanten Funktionen bis zum Reifegrad 3 abgedeckt. Stufe 4 ist bislang nur in Ansätzen erreicht, unter anderem aufgrund offener (datenschutz-)rechtlicher Fragen. Dies zeigt, dass der UDZ zwar bereits viele operative Aufgaben zuverlässig unterstützt, eine vollständige Automatisierung aber bewusst noch nicht umgesetzt worden ist – nicht nur aus technischen, sondern auch aus strategischen und regulatorischen Gründen.

Durch die Visualisierung realer Daten zeigt der UDZ München, wie Geoinformationen als Grundlage für innovative Planungsansätze dienen und welche Anwendungsfälle bereits existieren | Quelle: Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – GeodatenService in Zusammenarbeit mit dem Architekturmuseum der TUM und 3e8.studio



5 Erfolgsfaktoren urbaner digitaler Zwillinge

Erfolg in Projekten oder bei organisatorischen Veränderungen lässt sich auf unterschiedliche Weise definieren. Zentral ist, Strukturen zu schaffen, die langfristig Bestand haben und eine kontinuierliche Weiterentwicklung ermöglichen. Aus den Erfahrungen der vier MPSC wurden Erfolgsfaktoren abgeleitet, die sich auf die Einführung, Nutzung und Verstetigung von UDZ anderer Kommunen übertragen lassen. Mithilfe der Fallstudien konnten insgesamt sieben Themenfelder ausgemacht werden, denen sich verschiedene Erfolgsfaktoren zuordnen lassen (s. Tabelle 3). Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die zentralen Erfolgsfaktoren für UDZ beleuchtet, die den langfristigen Nutzen und die Akzeptanz in Organisationen maßgeblich beeinflussen.

5.1 Entwicklungsprozess

UDZ haben in den letzten Jahren ein hohes Maß an Aufmerksamkeit erhalten und erlangen immer mehr den Status einer Schlüsselanwendung im Rahmen von Smart Cities. Man verbindet sie mit umfassendem Monitoring, Analysen, datenbasierter Entscheidungsfindung und Zielsetzungen wie Effizienzsteigerung oder Qualitätsverbesserung in der Stadtentwicklung, was sich letztlich in eine Steigerung der Lebensqualität übersetzen soll. Dennoch stellen sich Fragen nach dem Eignungszweck eines UDZ als auch nach seiner sinnvollen Umsetzung. Beides ist im Rahmen der UDZ-Entwicklung zu beantworten, um seinen Erfolg zu gewährleisten. Dabei wird die Entwicklung an dieser Stelle als übergeordneter Prozess verstanden, der die Zielsetzung und das Vorgehen beinhaltet. Er erstreckt sich somit über die ersten drei Phasen der Roadmap zur Entwicklung von Smart-City-Lösungen; die Ideenfindung, die Prototypentwicklung und die Pilotphase (vgl. Rabe et al. 2024: 15). Weitere entwicklungsbezogene Aspekte wie Organisation und Zusammenarbeit sowie die technische Entwicklung werden als Themenfelder mit separaten Erfolgsfaktoren aufgeführt.

Klare Zielsetzung

Um der Gefahr zu entgehen, einen UDZ allein aufgrund der aktuellen Popularität des Themas zu implementieren, muss der erste Erfolgsfaktor darin bestehen, eine klare Zielsetzung zu definieren. Alle vier interviewten Kommunen betonen ihren Fokus auf konkrete Anwendungsfälle und die damit jeweils verbundenen Anforderungen. Für jeden genannten Anwendungsfall ist dann kritisch zu prüfen, ob ein UDZ die passende Lösung für das definierte Problem darstellt. Solch ein funktionaler oder – wie einer der Gesprächspartner aus München formulierte – „anwendungsfallorientierte[r] Ansatz“ bildet den Auftakt in den erfolgreichen Entwicklungsprozess eines UDZ. Hierbei sollte auch sichergestellt werden, dass bei allen Beteiligten ein gemeinsames Verständnis darüber herrscht, was einen UDZ auszeichnet. In den vier interviewten Kommunen hat sich eine Sichtweise etabliert, die einen UDZ nicht als eine in sich geschlossene Softwareanwendung betrachtet. Vielmehr handelt es sich um eine Sammlung miteinander interagierender Fachzwillinge, die an eine geteilte Basis (häufig in Form eines Geobasiszwillings) angebunden ist. Dies verdeutlicht auch die hohe Komplexität eines UDZ im Vergleich zu anderen Smart-City-Anwendungen.

Das Leistungsvermögen des UDZ wird durch die bereits aufgeführte, klare Identifikation und Definition der Anwendungsfälle bestimmt. Diese sollten sich jeweils durch Zielsetzungen auszeichnen, die einerseits realistisch erreichbar und andererseits messbar sind (vgl. Brandt et al. 2023). Dabei betonen sowohl die Verantwortlichen in Kirchheim als auch in Mönchengladbach, dass sich Anwendungsfälle mit einem überschaubaren Grad an Komplexität, beispielsweise in rechtlicher Hinsicht oder bezogen auf die Anzahl einzubindernder Akteure, besser für die frühe Umsetzungsphase eignen als solche mit hoher Komplexität.

Themenfelder	Erfolgsfaktoren	Relevante Phasen der Entwicklungsroadmap
Entwicklungsprozess	klare Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> Ideenfindung und Konzeption Prototypentwicklung Pilotphase
	iterativer Entwicklungsprozess	
Organisation und Zusammenarbeit	langfristige interdisziplinäre Zusammenarbeit	<ul style="list-style-type: none"> Ideenfindung und Konzeption Prototypentwicklung Pilotphase Verstetigungsphase
	Teamarbeit	
	agiles Projektmanagement	
	Akzeptanz in der Führungsebene	
	Entwicklungspartnerschaften	
technische Umsetzung	technologische Flexibilität und Zukunftsfähigkeit durch offenen Code, offene Standards und Modularität	<ul style="list-style-type: none"> Ideenfindung und Konzeption Prototypentwicklung Pilotphase Verstetigungsphase
	Systemintegration und organisatorische Einbettung	
	Resilienz und Systemsicherheit	
Daten	Datenstrategie	<ul style="list-style-type: none"> Ideenfindung und Konzeption Prototypentwicklung Pilotphase Verstetigungsphase
	zwillingspezifisches Datenmanagement und Datenqualität	
Nutzung	Zugänglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> Prototypentwicklung Pilotphase Verstetigungsphase
	Kommunikation des Mehrwerts	
Wissen und Kompetenzen	fachliche Kompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> Ideenfindung und Konzeption Prototypentwicklung Pilotphase Verstetigungsphase
	Wissensmanagement und Wissenssicherung	
Verstetigung und Nachhaltigkeit	langfristige strategische Planung und institutionelle Einbettung	<ul style="list-style-type: none"> Ideenfindung und Konzeption Prototypentwicklung Pilotphase Verstetigungsphase
	langfristige Finanzierung und nachhaltiger Betrieb	
	Verstetigung von Projekt- und Fachstellen	
	Messbarkeit	

Tabelle 3: Erfolgsfaktoren urbaner digitaler Zwillinge | Quelle: Fraunhofer IESE

Iterative Gestaltung des Entwicklungsprozesses

Der zweite Erfolgsfaktor besteht in der iterativen Gestaltung des Entwicklungsprozesses – also in der schrittweisen Umsetzung und Einführung ei-

nes UDZ. Die Gesprächspartner aus München wie aus Mönchengladbach betonen, dass ein UDZ bestehende Fachsysteme und Anwendungen nicht ersetze, sondern ergänze und Lücken fülle. Hier zeige sich einmal mehr, dass ein UDZ aus der Kombination von bestehenden Prozessen, Strukturen und

Systemen mit neuen Komponenten entsteht. Dementsprechend kann auch der Umsetzungsprozess nur schrittweise und basierend auf den Anforderungen einzelner Anwendungsfälle funktionieren. Dies erlaubt ferner eine iterative Weiterentwicklung und auch die Anpassung an etwaige neue technische und organisatorische Bedürfnisse.

Beim schrittweisen Aufbau und der Integration eines UDZ in bestehende Strukturen finden sich verschiedene Phasen beziehungsweise Meilensteine in den Interviews: Mönchengladbach betont die Bedeutung einer frühen Strategiephase zur Einbindung relevanter Fachbereiche und Bereichsleitungen, um deren Unterstützung sicherzustellen und neue Arbeitsprozesse frühzeitig zu etablieren. Ebenso könne ein Innovationsprojekt wie ein UDZ nur gemeinsam aus der Kernverwaltung heraus und mit Eigeninteresse der Fachbereiche funktionieren. In Halle (Saale) waren die Fachebenen teils schon seit der Antragsphase beteiligt. In der Strategiephase erfolgten dann Workshops zur Einbindung von Fachleuten, zukünftigen Nutzerinnen und Nutzern, aber auch potenziellen Betreibern und Dienstleistern, um von deren Expertise zu profitieren und die Nachnutzung sicherzustellen.

Ebenso diene die Strategiephase als Vorbereitung, um Übersetzungsarbeit zu leisten und ein gemeinsames Verständnis zwischen fachlichem Anwendungsfall, Datenmanagement und Entwicklung sicherzustellen. Seine Fortsetzung fand der Entwicklungsprozess in München dann in der Erstellung eines Proof of Concept je Anwendungsfall, in dem die Machbarkeit und der Mehrwert des UDZ überprüft wurden.

Die eigentliche Umsetzung des UDZ erfolgte in den interviewten Kommunen mehrheitlich zunächst prototypisch. Konkret arbeitete Halle (Saale) mit Click-Dummys, um früh die Potenziale des UDZ darstellen und Nutzerinnen und Nutzer einbinden zu können. Auch Mönchengladbach betont, dass Prototypen die Kommunikation und den Austausch mit den zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer vereinfachten.

Im Anschluss an die prototypische Umsetzung erfolgte in München die Pilotierung. Sowohl die prototypische als auch die pilothafte Umsetzung können von Testphasen begleitet werden, in denen Nutzerinnen und Nutzer Fehler melden beziehungsweise Vorschläge für die Weiterentwicklung des UDZ unterbreiten können.

Mithilfe der Fallstudien konnten sieben Themenfelder ausgemacht werden, denen sich verschiedene Erfolgsfaktoren zuordnen lassen | Quelle: Creative Climate Cities

Erfolgsfaktoren urbaner digitaler Zwillinge



Handlungsempfehlungen

Konkrete Anwendungsfälle fokussieren: Kommunen sollten ihre Projekte an klar definierten Problemstellungen ausrichten und sich auf Anwendungsfälle konzentrieren, die einen signifikanten Mehrwert bieten. Solche Anwendungsfälle sollten in Zusammenarbeit mit Fachabteilungen auf tatsächliche Bedarfe hin entwickelt werden, was dann die spätere Akzeptanz sichert.

Gemeinsames Verständnis des digitalen Zwillings herstellen: Es ist wichtig, innerhalb des UDZ-Projektteams, aber auch im Austausch mit Partnern und Fachabteilungen ein einheitliches Verständnis eines UDZ zu schaffen. Es kann nicht vorausgesetzt werden, dass alle Beteiligten bereits über ausreichendes Wissen verfügen.

Frühe Prototypen entwickeln: Kommunen sollten mit weniger komplexen Teilprojekten beginnen, um erste Ergebnisse zu erzielen und die Akzeptanz zu fördern. Anschauliche Prototypen sind essenziell, um die Mehrwerte des Projekts effektiv zu kommunizieren und die Beteiligung der Stakeholder zu stärken. Komplexere Fachwillinge, die die Integration mehrerer Akteure erfordern, sollten in späteren Projektphasen umgesetzt werden.

Den UDZ pilotieren: In der Pilotphase sollte ein UDZ einem klar definierten Kreis von Nutzenenden bereitgestellt werden. Hierbei gilt es, auf die Praxistauglichkeit der Anwendung zu achten und Feedback von Fachnutzerinnen und -nutzern einzuholen.

5.2 Organisation und Zusammenarbeit

Die Einführung von UDZ erfordert zu Beginn meist einen hohen Arbeitsaufwand, bevor Effizienzgewinne oder Zeitersparnisse sichtbar werden. Durch den Innovationsgrad besteht nicht immer eine Vorstellung vom Umfang oder den Wirkungsdimensionen eines UDZ, weshalb innerhalb der Verwaltung und auf politischer Ebene teils Verständnis- und Akzeptanzprobleme bestehen. Diese werden potenziell durch unterschiedliche Zielstellungen und unklare Verantwortlichkeiten zwischen Fachbereichen verstärkt. Hoher Kommunikationsaufwand, Wissensabwanderung, unterschiedlich ausgeprägte Kompetenzen – insbesondere im Datenmanagement – sowie geringes Interesse in Fachbereichen ohne direkten Nutzen können die Umsetzung zusätzlich erschweren. Die Einführung eines UDZ erfordert einen Wandel in der Organisationskultur und die Bereitschaft zur Veränderung, was sich über alle Phasen der Entwicklungsroadmap (vgl. Rabe et al. 2024) hinweg erstreckt.

Langfristige, interdisziplinäre Zusammenarbeit

Der erfolgreiche Aufbau eines UDZ wird maßgeblich durch eine langfristige, interdisziplinäre Zusammenarbeit gestützt. Diese Zusammenarbeit umfasst sowohl die Koordination verschiedener Fachbereiche innerhalb der Kommune als auch die Einbindung von externen Partnern über einen längeren Zeitraum. Wie ein Interviewpartner aus München betont, existiere hierfür keine universelle Blaupause, da „jede Stadt anders“ strukturiert sei und spezifische Herausforderungen mit sich bringe.

Eine effektive Zusammenarbeit wird durch eine strategische Verortung des Projektteams in den Fachbereichen unterstützt. Räumliche Nähe kann hierbei die Integration von Perspektiven und Fachwissen erleichtern. In allen vier untersuchten Kommunen erfolgt die UDZ-Entwicklung in enger Abstimmung zwischen mehreren Fachbereichen: Das Projektteam in Mönchengladbach ist über Projektstellen in den Fachbereichen verteilt, sodass fachliche Kompetenzen zentral über den

UDZ zusammengeführt werden. Die Projektleitung ist auf das Smart-City-Team und das Geomanagement aufgeteilt. Ähnlich ist auch der Ansatz in Kirchheim. Hier ist der UDZ in der Wirtschaftsförderung angesiedelt, perspektivisch sollen aber Projektbeauftragte in den Fachreferaten verankert werden. Auch Halle (Saale) integriert Expertisen aus den Fachbereichen Wirtschaft, Digitalisierung sowie Stadtentwicklung und arbeitet mit dem Innovations- und dem Smart-City-Team zusammen. Eine solche Kooperation zwischen Fachämtern findet auch in München statt.

Die Erfahrungen der vier Kommunen verdeutlichen, dass fachliche Expertise und interdisziplinäres Wissen zentrale Erfolgsfaktoren für die Umsetzung eines UDZ bilden. Die Verknüpfung technischer, stadtplanerischer und organisatorischer Kompetenzen ermöglicht die Entwicklung praxisnaher, integrierter Lösungen und unterstützt die nachhaltige Nutzung des UDZ. Insgesamt zeigt sich, dass langfristige, interdisziplinäre Kooperationen, gekoppelt mit einer klaren Integration des Projektteams in die relevanten Fachbereiche, eine zentrale Voraussetzung für den erfolgreichen Aufbau eines UDZ darstellen. Die individuelle Struktur jeder Kommune erfordert flexible Modelle der Zusammenarbeit, die auf die spezifischen organisatorischen Gegebenheiten zugeschnitten sind.

Teamarbeit

Ein weiterer Erfolgsfaktor ist funktionierende Teamarbeit: In einem erfolgreichen UDZ-Team verfolgen alle Mitglieder ein gemeinsames Interesse und Verständnis des UDZ und verteilen Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten klar – speziell beim Datenmanagement (s. Kapitel 5.4). Dies setzt aber auch eine hohe Eigenmotivation der Beteiligten voraus, die vor allem dann fehlt, wenn keine direkte Nutzung oder keine Vorteile des UDZ ersichtlich sind. In Halle (Saale) ergab sich die hohe Eigenmotivation daraus, dass Teammitglieder bereits in der Antragsstellung ihre Anwendungsfälle einbringen konnten und dadurch früh den Mehrwert erkannt haben. In Mönchengladbach erwies es sich als vorteilhaft, ein kleines Team mit hoher fachlicher Kompetenz zu haben.

Ein effektives Projektmanagement etabliert eine klare Projektmanagementstruktur zur Überwachung und Steuerung der Umsetzung. Dabei ist gute Kommunikation zentral, die innerhalb des Teams durch regelmäßige Objectives and Key Results (OKR)- oder Meilensteintreffen sichergestellt werden kann (s. Erfolgsfaktor „agiles Projektmanagement“). Doch auch die Kommunikation mit Stakeholdern ist relevant und kann durch Sprints und Check-ins gewährleistet werden, wie von Halle (Saale) und Kirchheim explizit erwähnt wurde.

Agiles Projektmanagement

Der große Umfang eines UDZ-Projekts innerhalb einer rasant voranschreitenden Technikwelt erfordert ein agiles Projektmanagement. Da sich technische Möglichkeiten schnell weiterentwickeln, können sich auch innerhalb einer Kommune die Anforderungen an die Lösung erweitern. In München wurde dafür eine Projektstruktur mit kurzen Sprintzyklen aufgesetzt, sodass innerhalb kürzester Zeit schnell und dynamisch auf Veränderungen reagiert werden kann. Dies gewährleistet eine agile Projektstruktur mit kurzen Entwicklungs- und Feedbackzyklen, unterstützt durch regelmäßige Sprints, OKR-Meetings, Check-ins und Meilensteintreffen. In Halle (Saale) erfolgte die Moderation des agilen Prozesses durch den technischen Dienstleister und erzeugte zusätzlich eine höhere Akzeptanz innerhalb der Verwaltung für „neue“ Arbeitsweisen. Alle drei Monate hat das Team in OKR-Meetings die Roadmap evaluiert und an den Prozess angepasst. Interdisziplinäre Teams fördern folglich die Anpassungsfähigkeit an technische Entwicklungen und die Integration vielfältiger Anwendungsfälle.

Akzeptanz in der Führungsebene

Größere digitale Vorhaben in Kommunen wie ein UDZ setzen zumeist die Zustimmung politischer Gremien voraus und sind mit einem umfassenden Kulturwandel in der Verwaltung verbunden. Beides benötigt Zeit und kann zu Verzögerungen im Projektablauf führen. Die Akzeptanz durch die Führungsebene muss daher sichergestellt werden und auch die Unterstützung und Fachexpertise durch Fachbereichsleiterinnen und -leiter erleichtern die Arbeit am Projekt.

Handlungsempfehlungen

Agiles Vorgehen wählen: Aufgrund der langwierigen UDZ-Umsetzung und sich rasch verändernder Technologien und Anforderungen sollte die Implementierung durch ein agiles Projektmanagement gestaltet werden. Iterative Prozesse stellen die enge Zusammenarbeit mit relevanten Stakeholdern und regelmäßige Feedbackzyklen sicher. OKR und Meilensteine bieten Möglichkeiten, den Entwicklungsprozess sich verändernden Bedingungen anzupassen. Dies fördert Ideen sowie die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Projekts.

Vision und Innovationsbereitschaft absichern: Projektleitung und Fachbereiche sollten eine klare Vision und Innovationsbereitschaft mitbringen und Personen einbinden, die diese Eigenschaften besitzen.

Kommunikation sicherstellen: Effiziente Abstimmungsprozesse zwischen Stakeholdern sind entscheidend, um Missverständnisse zu vermeiden und die Projektziele klar zu definieren. Das bedeutet auch, dass gerade zu Projektbeginn viel Zeit für die Kommunikation investiert werden muss, sowohl nach innen als auch nach außen.

Es empfiehlt sich zur Überzeugung von Personen mit Entscheidungskompetenz eine klare Kommunikationsstrategie, die sich auf die Vermittlung der Wirkungsgrade, Ziele und Fortschritte fokussiert. Dabei lohnt sich die Priorisierung von Anwendungsfällen nach Umsetzbarkeit und Komplexität, wie Kirchheim erwähnt. Auch mit Blick auf die Verstetigung von UDZ-Projekten sind politischer Rückhalt und die Sichtbarkeit von Erfolgen entscheidend.

Entwicklungspartnerschaften

Entwicklungspartnerschaften mit anderen Kommunen oder projektbezogenen Akteuren, die an vergleichbaren Fragestellungen arbeiten, stellen einen zentralen Erfolgsfaktor für UDZ dar. Darunter sind strukturierte und meist projektbezogene Kooperationen zu verstehen, in denen mehrere Kommunen gemeinsam Anforderungen formulieren, technische Lösungen weiterentwickeln, Erfahrungen austauschen und Ergebnisse gegenseitig nutzbar machen. Ziel ist es, Ressourcen zu bündeln, Doppelentwicklungen zu vermeiden und Innovationen schneller in die Anwendung zu bringen. Gerade UDZ-Projekte profitieren in besonderem Maße von solchen Konstellationen. Die Entwicklung eines UDZ ist technisch komplex und

er benötigt eine Vielzahl von Daten. Zudem ist der organisatorisch anspruchsvoll und erfordert spezifische fachliche Kompetenzen. Einzelne Kommunen verfügen häufig nicht über alle notwendigen Ressourcen – weder finanziell noch personell. Entwicklungspartnerschaften ermöglichen in diesem Spannungsfeld eine arbeitsteilige Weiterentwicklung: Bedarfe werden gemeinsam spezifiziert, technische Module kooperativ entwickelt und Innovationen im Verbund erprobt.

In Halle (Saale) bestand die Entwicklungspartnerschaft aus Kommunen, die denselben Dienstleister beauftragt hatten. Der gemeinsame Austausch zu Bedarfen führte zu konkreten Weiterentwicklungen, von denen alle Partner etwa im Bereich XPlanung profitierten, was nicht in Halle (Saale) selbst initiiert wurde, aber über die Partnerschaft nutzbar war. Auch aus Perspektive von Mönchengladbach wurde diese Kooperation als strategischer Ausgleich unterschiedlich verteilter Ressourcen beschrieben. Entwicklungspartnerschaften ermöglichen also nicht nur technischen Fortschritt, sondern auch die Bündelung komplementärer Stärken.

In München bezieht sich die Bedeutung von Kooperationen insbesondere auf Wissenschaft und

Forschung. Im Verkehrsbereich profitiert die Stadt von einem starken universitären Partner, der auf Basis städtischer Daten unter anderem Verkehrssimulationen durchführt. Die geschaffene technische und organisatorische Infrastruktur – etwa Metadatenkataloge – wird als „Booster“ wahrgenommen, da sie den sicheren Datenaustausch ermöglicht und Vertrauen bei weiteren Partnern herstellt, vergleichbare Strukturen auch in weiteren Fachbereichen aufzubauen.

5.3 Technische Umsetzung

Die technische Umsetzung entscheidet maßgeblich darüber, ob ein UDZ langfristig nutzbar, erweiterbar und in bestehende kommunale IT-Landschaften integrierbar ist. Unsere Analyse zeigt, dass weniger die Implementierung einzelner Technologien ein Problem darstellt als vielmehr deren Zusammenspiel mit historisch gewachsenen Systemen (mit proprietären Lösungen) und fragmentierten Datenbeständen. Deshalb sollte bereits in der Ideenfindung die technische Umsetzung berücksichtigt werden. Auch in den nachfolgenden Phasen, wie der Prototypentwicklung, der Pilotphase, aber auch der Verstetigung (vgl. Rabe et al. 2024) muss die technische Umsetzung weiterhin Thema sein, da sich die Technologie weiterentwickelt und somit auch der UDZ selbst.

Für die umsetzenden Akteure sind vorwiegend die technische Ausgestaltung und Standards relevant, da diese die nahtlose Integration ermöglichen. Ebenfalls von Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Übertragung und Nutzbarmachung von Daten. Aufgrund dieser gegenseitigen Abhängigkeit lassen sich die technische Umsetzung und das Datenmanagement nicht klar voneinander trennen.

Flexibilität und Zukunftsfähigkeit durch offene Standards und Modularität

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist eine flexible, modulare Systemarchitektur, die auf offenen Standards basiert. Proprietäre Systeme ohne offene Schnittstellen erschweren die Nachnutzung von Daten und erzeugen Abhängigkeiten von einzel-

nen Anbietern. Letztendlich schränken sie die Weiterentwicklung des UDZ erheblich ein. Damit Daten aus einzelnen Fachämtern problemlos übertragen werden können, müssen Systeme offen und zugänglich sein, was durch die Nutzung von Standards gewährleistet werden kann.

Die Fallstudie München zeigt, dass der bewusste Einsatz von Open-Source-Lösungen (wie der freien Geoinformationssystemsoftware QGIS) sowie die konsequente Nutzung offener, international anerkannter Standards ein zentrales Leitprinzip darstellt (standardisierte Protokolle und Formate wie Web Maps Service (WMS), Web Feature Service (WFS), GeoJSON (offenes Standardaustauschformat für räumliche Daten)). Mit dem Open Geospatial Consortium (OGC) konforme Schnittstellen, standardisierte Formate und klar definierte Application Programming Interfaces (API) stellen sicher, dass Daten systemübergreifend nutzbar bleiben und nicht in neuen Datensilos enden. Ziel ist es, Daten unabhängig von der jeweils eingesetzten Software verfügbar zu halten und jederzeit auch wieder aus dem System herauslösen zu können. Dieses Vorgehen sahen alle befragten Kommunen als wesentlich an. Halle (Saale) bestimmt an dieser Stelle ganz klar, dass Daten von extern – sei es von anderen Kommunen oder der Landesebene – in Standardformaten bereitgestellt werden müssen, damit zukünftig Datenflüsse gewährleistet sind. Auch Mönchengladbach sieht den Bedarf auf Open Source umzustellen – sich also zum Beispiel von proprietären GIS zu lösen, um Datenflüsse problemlos sicherzustellen.

Zudem erklärt München explizit, dass die technische Nachhaltigkeit eines UDZ eng mit seiner Modularität zusammenhängt, da UDZ an sich sehr komplex sind. Ein modularer Aufbau, der Standards und offene Schnittstellen voraussetzt, ermöglicht es, einzelne Komponenten schrittweise zu erweitern oder bei Bedarf auch durch alternative Lösungen zu ersetzen. Modularität schafft die Voraussetzung dafür, dass ein UDZ nicht als statisches System operiert, sondern als dynamische Infrastruktur, die mit den Anforderungen der integrierten Stadtentwicklung mitwächst.

Systemintegration und organisatorische Einbettung

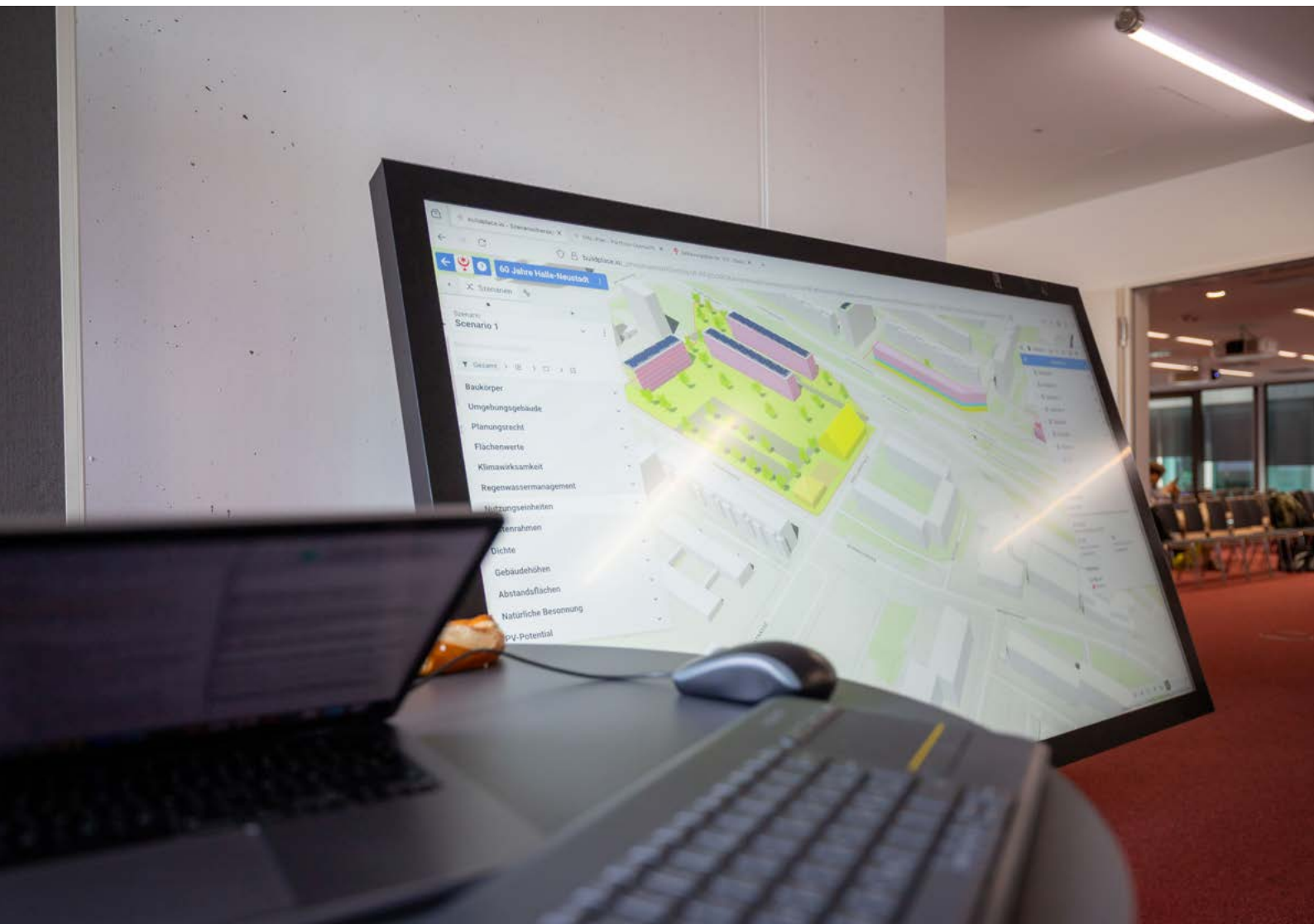
Für einen UDZ ist zudem die Integration in bestehende IT-Systeme und Arbeitsprozesse entscheidend. Veraltete oder redundante Anwendungen können schrittweise abgelöst werden, während ein UDZ als ergänzendes, übergreifendes Werkzeug etabliert wird. Einheitliche Standards und klar definierte Schnittstellen erleichtern auch hier die technische Einbindung und unterstützen den langfristigen Betrieb. Grundlegend ist, dass die Integration bestehende Abläufe nicht beeinträchtigt, sondern neue Funktionalitäten bedarfsgerecht ergänzt und vorhandene Systeme sinnvoll miteinander verknüpft.

In München hat sich insbesondere die tiefe Integration des UDZ in die bestehende IT-Landschaft als Erfolgsfaktor erwiesen. Der UDZ ersetzt dort keine Fachverfahren, sondern schließt gezielt die

Lücken zwischen fragmentierten Datenbeständen und unterschiedlichen Fachsystemen. Er ermöglicht damit eine fachübergreifende Analyse- und Auswertungsebenen.

Auch Mönchengladbach hat seinen UDZ konsequent als integrativen Bestandteil der bestehenden Systemlandschaft umgesetzt. Er wurde vollständig innerhalb der vorhandenen IT-Systeme aufgebaut und aus den bereits bestehenden technischen und organisatorischen Möglichkeiten heraus entwickelt. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass keine parallelen Strukturen geschaffen werden und der UDZ nahtlos in etablierte Arbeitsprozesse eingebettet ist. Die enge Verzahnung mit bestehenden Systemen fördert die Akzeptanz in der Verwaltung und erleichtert den langfristigen Betrieb, da Wartung, Weiterentwicklung und Zuständigkeiten klar innerhalb der bestehenden Organisationsstrukturen verortet bleiben.

Die technische Umsetzung entscheidet maßgeblich darüber, ob ein UDZ langfristig nutzbar, erweiterbar und in bestehende kommunale IT-Landschaften integrierbar ist | Quelle: Lars Grimmer – DLR



Handlungsempfehlungen

Konsequent auf offene Standards und Schnittstellen setzen: Kommunen sollten bei neuen Systemen gezielt OGC-konforme Standards und offene, flexible Schnittstellen implementieren, um Interoperabilität, Erweiterbarkeit und Skalierbarkeit des UDZ sicherzustellen. Bestehende Systeme sind schrittweise anzupassen, um Medienbrüche und Insellösungen zu vermeiden.

Technische und organisatorische Resilienz systematisch absichern: Von Beginn an sollten Backup- und Replikationsmechanismen, klare Fehler- und Ausfallkonzepte sowie kontinuierliche Datenvalidierungsprozesse etabliert werden. Ebenso sind sichere Schnittstellen und Schutzmaßnahmen gegen Cyberangriffe integraler Bestandteil der Architektur, um die dauerhafte Betriebsfähigkeit eines UDZ zu gewährleisten.

Auch Halle (Saale) nutzt das bestehende GIS weiter, das an den UDZ angebunden wurde. Demgegenüber hat die Stadt Systeme wie ein Flächen- und ein Immobilieninformationssystem von HAL-Plan abgelöst. Externe Systeme können nun über Schnittstellen angebunden werden. Die modulare Ausgestaltung des Systems erlaubt es zudem, den UDZ an unterschiedliche kommunale Bedarfe anzupassen und gleichzeitig gemeinsame Standards einzuhalten.

Resilienz und Systemsicherheit

Ein bislang häufig unterschätzter Aspekt ist die Resilienz der technischen Infrastruktur. Dabei ist die technische Stabilität eines UDZ elementar für dessen Funktionsfähigkeit. Gerade in UDZ werden große Mengen an Daten aus verschiedenen Quellen gebündelt und ausgewertet. Analysen und Simulationen bis hin zur Anwendung von KI benötigen eine störungsfreie Infrastruktur, da sie am Ende Basis für Planung und Entscheidungsunterstützung sind. Dementsprechend groß sind Abhängigkeiten, da beim Ausfall einer Datenquelle zum Beispiel Modelle verzerrt werden können oder Echtzeitinformationen fehlen. Dies kann sich systemweit auswirken und letztendlich urbane Prozesse beeinflussen. Mechanismen wie Backups, Replikationen sowie ein konsequentes Rechte- und Rollenmanagement sichern die Datenintegrität und schützen die Infrastruktur vor Ausfällen oder Cyberangriffen. Regelmäßige Audits der IT-Infrastruktur gewährleisten, dass Systeme zuverlässig betrieben werden und langfristig

resilient bleiben. Cloud-Dienste können dabei helfen, den Betrieb effizient zu gestalten. Sie bieten nicht nur hohe Rechenleistungen und flexible Infrastrukturen, sondern bei geeigneten Governance-Strukturen auch den Schutz kommunaler Daten. Zum aktuellen Zeitpunkt ist die technische Resilienz allerdings ein Thema, das nur wenige Kommunen aktiv bearbeiten, da der Fokus häufig noch auf der technischen Umsetzung liegt.

5.4 Daten

Der Umgang mit Daten ist für einen UDZ grundlegend. Im Gegensatz zu anderen technischen Systemen bezieht der UDZ eine Vielzahl von Datenquellen mit ein, die in der Regel einer großen Heterogenität unterliegen, bezogen auf Datenformate und Frequenzen der Erfassung. Die Datenquellen müssen zudem konstant und konsistent Daten liefern können in der nötigen räumlichen und zeitlichen Auflösung. Dieser Aspekt ist bereits in der Ideenfindung essenziell und zieht sich durch alle Phasen der Entwicklungsroadmap (vgl. Rabe et al. 2024). Im Gegensatz zur technischen Umsetzung, die meist einzelne Abteilungen und Dienstleister betrifft, liegen Daten potenziell in allen Fachbereichen vor. Fachdaten werden aus den Fachämtern in den UDZ einbezogen, Datenmanagement und Qualitätssicherung betreffen somit alle Mitarbeitenden einer kommunalen Verwaltung, wie Kirchheim und München bestätigten. Daher ist dieser Themenbereich von besonderer Relevanz und muss in den Kommunen ganzheitlich gedacht werden.

Datenmanagement und -qualität sind zentrale Erfolgsfaktoren von UDZ, da ihr Mehrwert unmittelbar von verlässlichen und aktuellen Daten abhängt. Ohne klare Strukturen für Erfassung, Pflege und Nutzung kann ein UDZ seine Funktion als Entscheidungsinstrument nicht erfüllen. Insbesondere bei der Integration heterogener Daten sowie zukünftiger Analyse- und KI-Anwendungen stellt ein strategisch verankerter Umgang mit Standards und Datenschutz eine zentrale Voraussetzung für den Erfolg dar.

Datenstrategie

Weitere Erfolgsfaktoren für die Entwicklung und den Betrieb eines UDZ sind die Erstellung und konsequente Umsetzung einer ganzheitlichen Datenstrategie. Diese umfasst unter anderem die Kombination automatisierter und manueller Datenerfassung, eine klare Trennung zwischen internen und öffentlichen Daten sowie die Verantwortung der Fachabteilungen für die Pflege und Aktualisierung der Daten. Die Förderung einer gesamtstädtischen, integrativen Datenbearbeitung ermöglicht eine effiziente Nutzung heterogener Datenquellen, während klare Regelungen zu Datenzugang und Datenschutz die rechtliche Sicherheit gewährleisten. Zudem wird die Verlässlichkeit des UDZ durch eine systematische Qualitätssicherung gewährleistet.

Die Interviews zeigen, dass sich alle vier Kommunen mit dem Thema Datenstrategie befassen – teilweise bereits vor dem UDZ, spätestens aber im Zuge von dessen Umsetzung. Dabei wird deutlich, dass eine wirksame Datenstrategie stets an bestehende kommunale Strukturen anknüpfen muss. In München erfolgt die stadtweite Bereitstellung zentraler Geodaten über einen Geodatenpool, der als gemeinsame Datengrundlage dient, jedoch nicht alle relevanten Datensätze umfasst. Ergänzend werden dort Data-Governance-Ansätze genutzt, um auch in den einzelnen Referaten liegende Daten strategisch einzubinden, Eskalationsebenen außerhalb des Geodatenpools zu definieren und Verantwortlichkeiten zu klären. München hat erkannt, dass die strukturierte Erhebung und Ordnung der Bestandsdaten die zentrale Voraussetzung für

Qualität und Weiterentwicklung ihres UDZ sind. Dafür sind klare Konzepte und Strategien erforderlich. Der Anschluss vorhandener Systeme und Datenbestände wird dabei bewusst priorisiert, da die bestehende Systemlandschaft der Kommune genutzt werden soll. Durch den Einsatz von Metadatenkatalogen und zentralen Registern wird eine gemeinsame Datenbasis geschaffen, ohne bestehende Fachanwendungen infrage zu stellen. Diese klare Rollenverteilung erleichtert die Integration in bestehende Prozesse und reduziert Widerstände innerhalb der Verwaltung.

Mönchengladbach plant eine stadtweite Data-Governance-Struktur, um den Umgang mit Daten klar zu regeln. Themen wie Datenablage, -qualität und Zuständigkeiten können nicht nur im UDZ gelöst werden, sondern müssen stadtweit abgestimmt werden. Also liegt auch hier der Fokus klar auf einem strategischen Ansatz im Umgang mit Daten. In der wesentlich kleineren Kommune Kirchheim wurde im Rahmen der UDZ-Projekte erstmals systematisch reflektiert, welche vorhandenen und neu zu erhebenden Daten für konkrete Anwendungsfälle erforderlich sind und welche Daten in welcher Form sichtbar gemacht werden sollen. Ergänzend verdeutlicht das Beispiel Halle (Saale), wie durch differenzierte Rechte- und Rollenmodelle ein kontrollierter Umgang mit Daten ermöglicht wird. Dort sind Zugangsregelungen, Datenschutzvorgaben und administrative Steuerungsmöglichkeiten klar definiert, sodass nicht alle Nutzerinnen und Nutzer Zugriff auf sämtliche Werkzeuge und Datensätze haben.

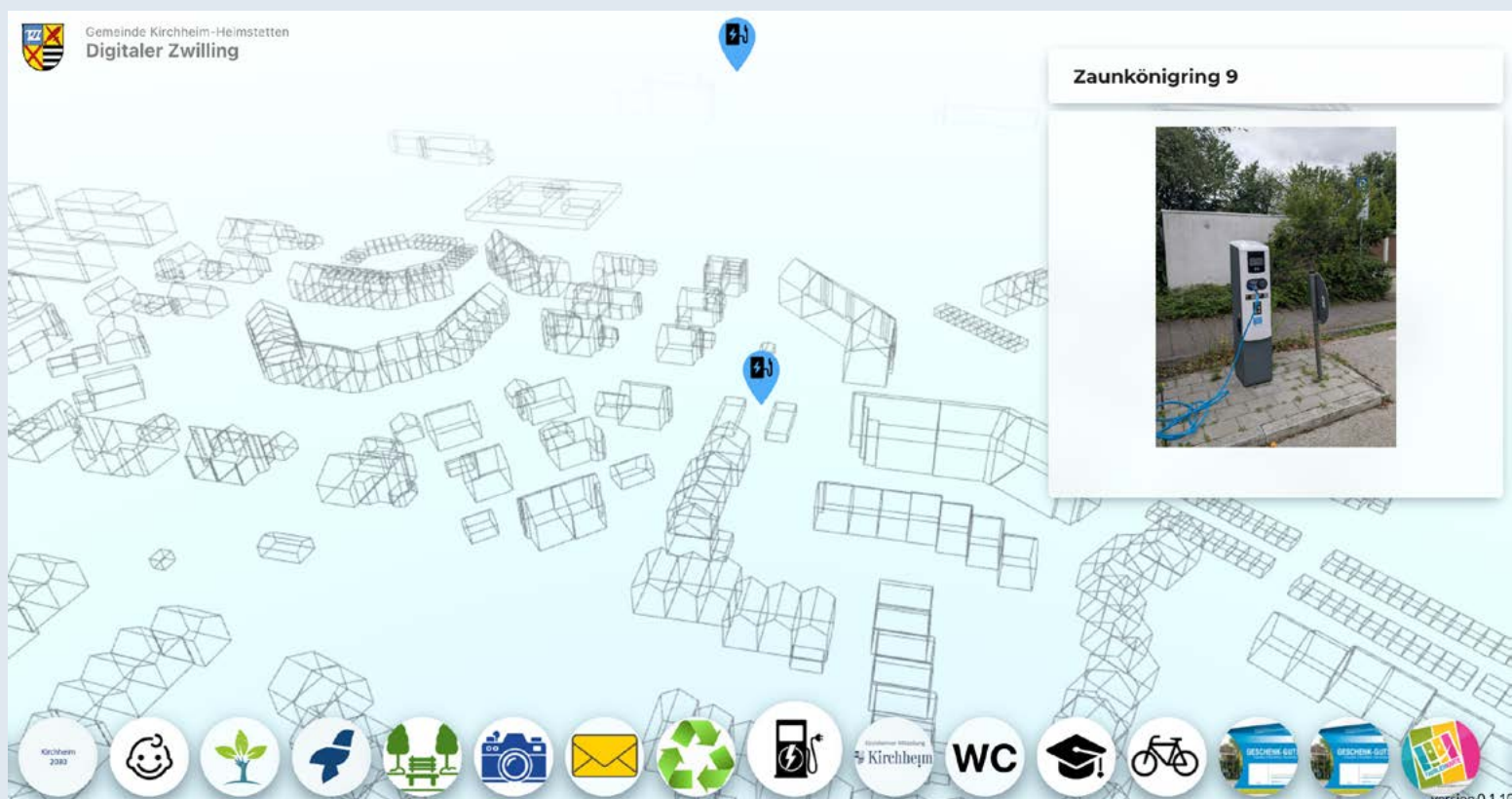
Durch diese Maßnahmen lässt sich sicherstellen, dass Daten nicht nur technisch verfügbar sind, sondern als strategische Ressource für Planung und Entscheidungsunterstützung im UDZ dauerhaft nutzbar und zuverlässig bleiben. Die Kombination aus gesamtstädtischer Datenstrategie, dezentraler Fachverantwortung, klarer Governance und modularer Ausgestaltung schafft dabei die notwendige Flexibilität, um unterschiedliche kommunale Ausgangslagen und Entwicklungsstände wirksam zu adressieren. Hier zeigt sich, dass auch die technische Umsetzung eines UDZ eng mit einer Datenstrategie verknüpft ist.

Spezifisches Datenmanagement und Datenqualität für Zwillinge

Eine Datenstrategie legt den Fokus auf langfristige Ziele, Leitlinien und Visionen für den Umgang mit städtischen Daten. Demgegenüber steht das hier beschriebene Datenmanagement, das sich auf die operative Umsetzung konzentriert, also die konkrete Pflege, Qualitätssicherung und Nutzung der Daten im laufenden Betrieb eines UDZ. Die Fallstudien verdeutlichen, dass diese Prinzipien in der Praxis unterschiedlich ausgestaltet werden. Gleichzeitig verdeutlichen die Interviews, dass Datenmanagement in der Praxis einen kontinuierlichen Aufwand darstellt. In München erfolgt das Datenmanagement konsequent anwendungsfallorientiert und wird als dauerhafte Aufgabe verstanden, bei der Qualitätssicherung und Standardisierung nur einen Teil der notwendigen Tätigkeiten darstellen. Der Bedarf eines konkreten Anwendungsfalls definiert, welche Daten in welcher Qualität erforderlich sind und wie sie gepflegt werden. Dadurch lässt sich ein Datenmanagement „auf Vorrat“ vermeiden, während gleichzeitig klare Anforderungen an Aktualität, Genauigkeit und Format entstehen.

Der Aufbau des UDZ in Kirchheim wirkte als Katalysator für ein bewussteres und anwendungsorientiertes Datenmanagement. Dort zeigt sich ein stark differenzierter Umgang mit verschiedenen Datentypen. Sensordaten werden automatisiert in den UDZ eingespeist und können nahezu in Echtzeit genutzt werden; auftretende Fehler oder Ausfälle werden über Warnmeldungen oder Log-Dateien sichtbar und anschließend geprüft. Kommunale Infolayer, etwa zu städtischen Einrichtungen oder zur Infrastruktur, werden hingegen händisch durch fachlich zuständige Mitarbeitende erstellt und gepflegt, wodurch die Qualitätssicherung bewusst in Händen des Fachpersonals verbleibt. Auch im Bereich des Baurechts werden Daten eingelesen und durch den UDZ bereitgestellt, während die inhaltliche Weiterverarbeitung weiterhin durch Verwaltungsmitarbeitende erfolgt. Ergänzend wird in Kirchheim und in Mönchengladbach zwischen einem öffentlichen und einem internen, zugangsbeschränkten UDZ unterschieden, um insbesondere relevante Daten der Datenschutz-Grundverordnung (DS-GVO) geschützt bereitzustellen. Dadurch ist auch die Datensicherheit gegeben. Das Datenmanagement ist dabei klar dezentral in den Fachämtern verankert.

Der Umgang mit Daten ist für einen UDZ grundlegend. Im Gegensatz zu anderen technischen Systemen bezieht der UDZ eine Vielzahl von Datenquellen mit ein, die in der Regel einer großen Heterogenität unterliegen | Quelle: Gemeinde Kirchheim b. München



Handlungsempfehlungen

Datenstrategie verbindlich festlegen: Die Kommune sollte eine zentrale Datenstrategie entwickeln und beschließen. Dazu gehört:

- 1) strategische Ziele definieren
- 2) prioritäre Datenfelder festlegen
- 3) grundlegende Prinzipien für Datenmanagement und Governance bestimmen

Die Strategie sollte schriftlich dokumentiert und organisationsweit kommuniziert werden. Damit schafft sie den normativen und richtungsweisenden Rahmen für die datengetriebene Stadtentwicklung.

Datenmanagement priorisieren: Das Projektteam sollte frühzeitig Verantwortliche für das Datenmanagement benennen und klare Prozesse für Pflege, Aktualisierung und Dokumentation von Daten etablieren. Diese Aufgaben sollten personell eingeplant und dauerhaft im Projekt verankert sein.

Klare Rollen- und Verantwortungsstrukturen etablieren: Für alle relevanten Datenbereiche sollten konkrete Rollen (z. B. Data Owner und Data Steward) definiert und einzelnen Personen oder Organisationseinheiten zugewiesen werden. Die Aufgaben und Zuständigkeiten dieser Rollen sind verbindlich festzuhalten. Verbindliche Qualitätsstandards implementieren: Das Projektteam sollte einheitliche Kriterien für Datenqualität (z. B. Aktualität, Vollständigkeit und Konsistenz) festlegen und einfache Prüfprozesse einführen, mit denen die Qualität regelmäßig überprüft und dokumentiert wird.

Mönchengladbach unterscheidet zwischen Geobasis- und Fachdaten. Während Geobasisdaten historisch gewachsen sind und aufgrund etablierter Standards eine vergleichsweise hohe Qualität aufweisen, gestaltet sich der Umgang mit Fachdaten deutlich komplexer. Die fachliche Qualität dieser Daten ist schwer zu bewerten, wenn die inhaltliche Bedeutung nicht im UDZ-Team verankert ist. Eine systematische Prüfung aller Datensätze ist deshalb häufig nicht möglich. An Stellen, an denen dieses Wissen im UDZ-Team fehlt, ist eine Verifizierung durch die zuständigen Fachbereiche notwendig, weshalb das Team auf Vertrauen und klare Zuständigkeiten angewiesen ist. Zudem wurde im Interview betont, dass Datenqualität stets anwendungsabhängig sei: Ein 2D-Datensatz zu Straßenlaternen könne für eine 3D-Planung unzureichend sein, während er für rein betriebliche Zwecke vollkommen ausreiche.

In Halle (Saale) erfolgt die Dateneinbindung überwiegend anwendungsfallorientiert und modular. Frei zugängliche Daten bindet die Stadt über standardisierte Schnittstellen ein, bereitet sie anschließend auf und stellt sie gezielt für die jeweiligen

Anwendungen bereit. Eigene Datenerhebungen spielen bislang eine untergeordnete Rolle. Für spezifische Anwendungsfälle werden Datensätze gezielt bei den jeweiligen Fachbereichen angefragt. Die Sicherstellung der Datenqualität liegt dabei primär bei den jeweiligen Bearbeitenden in den Fachbereichen; das UDZ-Team übernimmt keine inhaltliche Datenverantwortung, sondern greift auf bestehende Datenbestände zu und aktualisiert diese bei Bedarf. Bei HAL-Plan ist also organisatorisch klar verankert, wer wofür zuständig ist.

Insgesamt zeigen die Fallstudien, dass zwillingspezifisches Datenmanagement weniger durch zentrale Kontrolle als durch klar geregelte, dezentrale Verantwortung und anwendungsfallbezogene, standardisierte Qualitätsanforderungen erfolgreich wird. Das Datenmanagement sollte mit einer übergeordneten Datenstrategie einhergehen, um langfristige Ziele und Vorgehensweisen in der praktischen Umsetzung zu integrieren. Gerade diese Kombination ermöglicht es, heterogene Datenbestände langfristig nutzbar zu machen und einen UDZ als operatives Werkzeug in der kommunalen Praxis zu etablieren.

5.5 Nutzung

Nach der Vorbereitung, Konzeption und Entwicklung besteht eine wesentliche Herausforderung darin, einen UDZ tatsächlich in die alltägliche Nutzung zu bringen. Dies ist Grundvoraussetzung für das Entstehen von Mehrwert und somit letztendlich der zentrale Prüfstein für den Erfolg. Bei der Überführung in die Nutzung, so betonten die Verantwortlichen der Stadt Halle (Saale), handelt es sich ebenfalls um einen Prozess, der zunächst bei involvierten, jungen und technisch affinen Mitarbeitenden der Verwaltung greift, die seit Projektbeginn an dem UDZ mitgewirkt haben. Nach und nach erschließe sich der Mehrwert der Nutzung dann auch dem Rest der Verwaltungsmitarbeitenden, wenn das anfangs noch abstrakte Konzept schließlich als konkrete Anwendung vorliege. Dementsprechend beginnt die UDZ-Nutzung bereits in der Prototypentwicklung, nimmt in der Pilotphase zu und weitet sich im Idealfall in der Phase der Verstetigung und vertikalen Skalierung maßgeblich aus (vgl. Rabe et al. 2024). Zugänglichkeit und die Kommunikation des Mehrwerts eines UDZ können als die beiden grundlegenden Erfolgsfaktoren für dessen Nutzung erachtet werden.

Zugänglichkeit

In allen vier Gesprächen wurde die mit einem UDZ verbundene Zugänglichkeit als besonderer Mehrwert betont, der sich sowohl in der verwaltungsinternen als auch in der öffentlichen Nutzung ausdrücke. Verwaltungsintern erhöht sich zum Beispiel allgemein die Zugänglichkeit von Daten, indem ein UDZ fragmentiert vorliegende Daten unterschiedlicher Fachabteilungen zusammenführt und dadurch die fachübergreifende Datennutzung möglich macht. Darüber hinaus werden insbesondere Geodaten auch ohne spezifische Kenntnisse komplexer GIS nutzbar – bei entsprechender Nutzerfreundlich-

keit des UDZ. So betonte das Münchener Team, dass der UDZ die Arbeit mit Geodaten niedrigschwelliger mache. Etwas überspitzt führte ein Gesprächspartner aus: „Bisher musstest du zwei Jahre lang telefonieren, Leute kennen, anrufen und ein Monster schaffen, das 15 Jahre Studium voraussetzt.“ Verfügte man also in der Vergangenheit nicht selbst über ein hohes Maß an GIS-Kompetenz, musste man trotz guter Kontakte in das entsprechende Referat lange Wartezeiten in Kauf nehmen, um Fragen mit Geodatenbezug bearbeiten zu können. Demgegenüber sei zum Beispiel das Quartierentwicklungstool des UDZ so konzipiert, dass auch eine Person ohne GIS-Kompetenzen sich mit wenigen Klicks einen Bericht generieren könne. Zudem betonte Kirchheim, dass ein UDZ responsiver und interaktiver nutzbar sei als ein GIS. Interaktive Visualisierungen, Dashboards und benutzerfreundliche Interfaces reduzieren Abstraktheit und fördern die Akzeptanz der Nutzenden. Mehrwert entsteht aber vor allem dann, wenn Visualisierungen mit Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten verknüpft werden, die fachliche Entscheidungen unterstützen.

Eine weitere Besonderheit eines UDZ besteht darin, dass nicht nur innerhalb der Verwaltung, sondern auch öffentlich seine Nutzbarkeit gesteigert werden kann: Daten, aber auch Sachverhalte und Entscheidungen können für Bürgerinnen und Bürger niedrigschwellig zugänglich gemacht werden. Zu diesem Zweck verfügen die UDZ der interviewten Kommunen über öffentliche Bereiche, wie zum Beispiel ein Webviewer für Baumgesundheit, georeferenzierte Auslagestellen des Ortsblatts oder auch Wertstoffinseln in Kirchheim. In München und Mönchengladbach werden zudem die kommunalen Wärmepläne in Verbindung mit dem UDZ zugänglich gemacht. Entsprechend bezeichneten die Verantwortlichen in München ihren UDZ explizit als „Kommunikationswerkzeug“.

Handlungsempfehlungen

Zugänglichkeit erhöhen: Ein wesentlicher Mehrwert von UDZ besteht darin, Daten, Informationen und Analysen für unterschiedliche Zielgruppen nutzbar zu machen. Dafür müssen Kommunen darauf achten, dass die Anwendung verständlich, intuitiv und mit möglichst wenig Vorkenntnissen bedienbar ist. Dies bedeutet zum Beispiel, eine klare und übersichtliche Darstellung, einfache Navigationsstrukturen sowie die Möglichkeit, Inhalte flexibel filtern und erkunden zu können. Zudem sollten Informationen zielgruppengerecht aufbereitet und in geeigneter Form visualisiert werden, um eine eigenständige Nutzung und Interpretation zu ermöglichen.

Mehrwert des UDZ kommunizieren: Der konkrete Nutzen eines UDZ entsteht im Arbeitsalltag, etwa durch effizientere Abläufe, schnellere Entscheidungsprozesse und durch eine verbesserte Entscheidungsqualität. Diese erfahrbaren Vorteile sollten gezielt aufgezeigt und vermittelt werden, um Verständnis für die Technologie zu schaffen, Vorbehalte abzubauen und die Nutzung im Arbeitsalltag zu fördern. Eine transparente Darstellung konkreter Anwendungsszenarien und erzielter Verbesserungen trägt dazu bei, Akzeptanz zu erhöhen und den UDZ nachhaltig in der Verwaltung und der Stadtöffentlichkeit zu verankern.

Kommunikation des Mehrwerts

Ein weiterer Erfolgsfaktor, der zur UDZ-Nutzung beiträgt, besteht in der zielgruppengerechten Kommunikation des Mehrwerts, der mit der Anwendung verbunden ist. Auch hier kann zwischen der verwaltungsinternen und der öffentlichen Nutzung unterschieden werden.

Ein kommunizierbarer Mehrwert der internen Verwendung besteht in der Optimierung von Arbeitsprozessen und -ergebnissen. Was in Halle (Saale) als „digitale Dividende“ bezeichnet wurde, konkretisierte München als Steigerung sowohl der Effizienz als auch der Qualität von Services in Verbindung mit Smart-City-Maßnahmen. Am Beispiel des Quartierentwicklungstools führten die Gesprächspartner aus, was dies im Zusammenhang mit einem UDZ bedeuten kann: Hier seien Analysen in weniger als einer Minute durchführbar, die ohne den UDZ wesentlich mehr Zeit in Anspruch nehmen würden. Auch hätten bisher externe Gutachten zur Ermittlung des energetischen Zustands von Sanierungsgebieten vergeben werden müssen, die die Kommune mittlerweile selbst durchführen könne. Erste Einsparungen von Ressourcen verzeichnen auch die Verantwortlichen in Halle (Saale), da seit der Nutzung des UDZ nicht für

jeden Bebauungsplan Fachgutachten beauftragt werden müssten.

Zusätzlich zur Effizienzsteigerung nannten alle vier Kommunen eine höhere Qualität datenbasierter Entscheidungen. Nicht nur könnten mit einem UDZ komplexere und bessere Entscheidungen getroffen werden – diese seien auch erklärbar. Ebenso ließen sich Bürgeranfragen nun datenbasiert beantworten und nicht wie zuvor „aus dem Bauch heraus“ (Kirchheim). Ein weiterer Mehrwert transparenten Verwaltungshandelns bestehe in der Entlastung der Mitarbeitenden durch eine geringere Anzahl von Bürgeranfragen. Kirchheim stellte dies beispielsweise durch den öffentlich zugänglichen Teil des UDZ zum Zustand der Baumgesundheit fest.

Über eine ähnliche Funktionalität verfügt das Quartierstool in München, das den direkten Übertrag von Analyseergebnissen in das öffentliche Geoportal „Masterportal“ ermöglicht. Wenn Bürgerinnen und Bürger verstehen, warum Verwaltungsentscheidungen getroffen werden „und sich selber noch einbringen können“ (München), zahlt dies letztlich auf den Aspekt der Bürgerbeteiligung mittels UDZ ein. Diese Nutzung eines UDZ durch Bürgerinnen und Bürger lässt sich ebenfalls intensivieren, wenn

es gelingt, die damit verbundene Steigerung von Transparenz und Bürgerbeteiligung als Mehrwert zu vermitteln.

Dementsprechend betonten die Verantwortlichen in München die kontinuierliche Kommunikation von „Erfolgsgeschichten“ – nach außen wie nach innen – als grundlegenden Erfolgsfaktor, der nicht nur politische Unterstützung, sondern auch die UDZ-Nutzung sicherstelle. Ähnlich führte Halle (Saale) Arbeitserleichterung und Verwaltungsmodernisierung als Schlagworte in der Kommunikation an, um den Mehrwert von HAL-Plan zu vermitteln.

5.6 Wissen und Kompetenzen

Fachwissen und Kompetenzen stellen bei der Umsetzung von UDZ eine zentrale Herausforderung dar. Durch den organisatorischen Umriss, der deutlich komplexer ist als bei vielen anderen Smart-City-Projekten, sowie die technischen und verwaltungsorganisatorischen Kontexte, entstehen mit UDZ Wissensbestände, die sich entlang des gesamten Entwicklungsprozesses aufbauen (vgl. Rabe et al. 2024). Diese könnten bei einem Personalwechsel nur schwer weitergegeben werden, wie der Gesprächspartner in Mönchengladbach betont. Insbesondere die Integration unterschiedlicher Datenquellen, das Wissen über verwaltungsspezifische Fachverfahren, die Nutzung komplexer Softwarelösungen und die Koordination interdisziplinärer Teams erfordern fundiertes technisches, organisatorisches und methodisches Know-how. Schwankende Kompetenzniveaus, Wissensabwanderung und fehlende Erfahrung in Fachbereichen, speziell in der Arbeit mit GIS, können die Umsetzung gefährden, ebenso wie fehlende Ressourcen für externe Expertise und eine langfristige Verstetigung.

Fachliche Kompetenzen

Fachexpertise in GIS und Geodatenmanagement seien für UDZ von zentraler Bedeutung, wie die Gesprächspartner aus München und Mönchengladbach im Interview betonten. Ebenfalls nannten sie technisches Wissen in den Bereichen Betrieb und Weiterentwicklung sowie organisa-

torische Kompetenzen wie Verwaltungsorganisation und, je nach Position, Projekt- sowie Personalmanagement als zentrale Faktoren.

Solche Kompetenzen und entsprechendes Fachwissen sollten gezielt in das Projekt eingebunden werden, speziell durch die Nähe zu entsprechenden Fachstellen. In Mönchengladbach sind die Projektstellen an die Fachbereiche angedockt. So konnte wichtiges Know-how in Themenfeldern wie 3D-Visualisierung, Stadt- und Geländemodellierung, AR/VR und Gamification sowie Wissen zu Serverstrukturen im Projekt gesichert werden. München betonte, dass erste Erfahrungen mit GIS als elementare Querschnittsfähigkeit angesehen werde, sodass mittlerweile bei Einstellungen auf das Vorhandensein dieses Wissens geachtet werde. Denn der Kompetenzumfang bei Personalwechseln sei ein Risikofaktor in UDZ-Projekten, wie Mönchengladbach im Interview betonte.

Ist technisches Fachwissen nicht vorhanden, müssen es durch die Einbindung von IT-Dienstleistern und externer Expertise sichergestellt werden. In Halle (Saale) werden der Betrieb und die Weiterentwicklung des UDZ daher von einem externen Dienstleister verantwortet, der bei kleineren Fragen auch niedrigschwellig unter die Arme greift. Auch Kirchheim deckt die UDZ-Entwicklung und den Betrieb über einen Dienstleister ab. Da die Projektstellen in Halle (Saale) für das Projektmanagement eingesetzt werden, gab es im Team keine Hosting-Kompetenzen, sodass dies vom kommunalen IT-Dienstleister übernommen wird. Auch empfiehlt sich die Einbindung von Projektpartnern aus dem wissenschaftlichen Bereich, wie zum Beispiel von Universitäten oder anderen Forschungseinrichtungen. Sie können bei komplexen Modellierungen und Simulationen externe Expertise und den neusten Stand der Forschung einbringen. In München wird die Partnerschaft mit dem Forschungscluster MCube als hochrelevant erachtet. Forschende der TU München begleiten von wissenschaftlicher Seite die Stadt sehr eng und übernehmen beispielsweise die Entwicklung von mikroskopischen Verkehrssimulationen. Im Gegenzug darf der Forschungspartner kommunale Daten nutzen.

Handlungsempfehlungen

Fachkompetenzen einbinden: Fachzwillinge sollten in den entsprechenden Fachbereichen verortet sein. Dazu gehört es, die entsprechenden Fachbereiche in die Umsetzung miteinzu binden. So bleibt ein UDZ nachvollziehbar und nutzbar, was seine Akzeptanz innerhalb der Fachbereiche fördert. Neben der Entwicklung technischer Kompetenzen sind verwaltungsbezogene Kenntnisse (z. B. in Vergabe, Organisation und Prozessen) sowie die wissenschaftlich-methodische Expertise (z. B. in Datenanalyse, Modellierung und Evaluation) nötig.

Wissensmanagement fördern: Regelmäßige Schulungen, Dokumentationen, Austauschformate, der Aufbau von Helpdesks sowie der Einsatz von Multiplikatoren sind notwendig, um Wissen aufzubauen, zu bewahren und bei Personalwechseln effektiv zu transferieren.

Wissensmanagement und Wissenssicherung

Darüber hinaus sind ein effektives Wissensmanagement und die kontinuierliche Wissenssicherung zentrale Erfolgsfaktoren für UDZ. Halle (Saale) setzt hierfür Schulungen und ein Helpdesk mit Videos und Webinaren ein. Zusätzlich hat die Stadt Multiplikatoren etabliert, sogenannte Superuser, die das Know-how innerhalb der Verwaltung sichern und Wissen bei Personalwechseln dokumentieren und weitergeben. In Kirchheim sorgen regelmäßige Formate wie ein „Digitaler Dienstag“ für eine konstante Wissenssicherung, während der gezielte Austausch von Best Practices mit anderen Städten oder Projekten das Lernen aus erfolgreichen Beispielen unterstützt und hilft, Fehler zu vermeiden. Als in Mönchengladbach die Projektleitung wechselte, sicherte die Stadt einen Großteil des Wissens dadurch, dass sie das eigene Handeln ausführlich dokumentierte. Darüber hinaus war der Personalwechsel von einem ausgedehnten Wissensaustausch und einer Übergangsphase geprägt. In dieser Zeit wurden sämtliche Prozesse besprochen und eine umfangreiche Dokumentation der technischen Umsetzung angelegt.

Weiteres Wissen, beispielsweise zur Verstetigungsroadmap (vgl. Rabe et al. 2024), ist im Austausch mit Partnern der Koordinierungs- und Transferstelle Modellprojekte Smart Cities (KTS) sowie innerhalb der MPSC entstanden. Der Aufbau, die Pflege und das Engagement in langfristige Kontakte

zahlten sich aus, da man laut Halle (Saale) bei vielen Fragen auch einfach die anderen Kommunen kontaktieren könne.

5.7 Verstetigung und Nachhaltigkeit

Die Verstetigung und nachhaltige Etablierung eines UDZ ist von zentraler Bedeutung, da dessen Mehrwert erst über längere Zeiträume hinweg und durch kontinuierliche Nutzung, Weiterentwicklung und Integration in kommunale Routinen entsteht. Die Ergebnisse dieser Kurzexpertise zeigen, dass nicht technologische Grenzen, sondern vor allem institutionelle, organisatorische und finanzielle Rahmenbedingungen darüber entscheiden, ob ein UDZ über den Projektstatus hinaus Bestand hat.

Wie in den Kapiteln zuvor dargestellt, können die genannten Erfolgsfaktoren wesentlich zur Verstetigung eines UDZ-Projekts beitragen. Sie erhöhen die Wahrscheinlichkeit einer langfristigen Etablierung, stellen jedoch keinen Automatismus dar. Verstetigung entsteht nicht allein durch das Vorhandensein günstiger Rahmenbedingungen, sondern setzt eine erfolgreiche Umsetzung, die tatsächliche Nutzung im Arbeitsalltag, die erkennbare Generierung von Mehrwert sowie eine organisatorische Verankerung voraus. Darüber hinaus bedarf es eines klaren politischen und administrativen Willens zur Weiterführung sowie der dauerhaften Bereitstellung personeller und finanzieller Ressourcen. In

diesem Sinne ist Verstetigung nicht nur Ergebnis, sondern zugleich ein eigenständiger Erfolgsfaktor eines UDZ-Projekts an sich, der durch verschiedene Aspekte unterstützt werden kann. Dementsprechend ist die Verstetigung eine eigene Phase (vgl. Rabe et al. 2024: 15), die es im kompletten vorherigen Entwicklungsprozess vorzubereiten gilt.

Langfristige strategische Planung und institutionelle Einbettung

Die kommunale Realität ist häufig geprägt von politischen Unsicherheiten, volatilen Haushaltslagen, langwierigen Entscheidungsprozessen sowie komplexen Vergabe- und Förderstrukturen. Aus Perspektive der Projektumsetzung stellen diese Rahmenbedingungen zentrale Herausforderungen dar, die die Planung, Umsetzung und Verstetigung von Projekten maßgeblich beeinflussen. Sie erschweren eine verlässliche Langfristplanung und führen dazu, dass UDZ häufig als zeitlich begrenzte Innovationsprojekte behandelt werden. Ein zentraler Erfolgsfaktor liegt daher in einer frühzeitigen strategischen Verankerung eines UDZ in kommunalen Strukturen. Unter den Interviewten herrscht Konsens darüber, dass all diese Herausforderungen bestünden und eine langfristige Planung und Etablierung des UDZ wichtig und nötig seien.

Die Fallstudie Mönchengladbach zeigt, dass eine Verankerung des UDZ in der Stadt gelingen kann, wenn der Zwilling als dauerhafte Aufgabe eines Fachbereichs definiert wird. Dort ist das Projekt organisatorisch im Fachbereich Geoinformation angesiedelt und damit explizit über den ursprünglichen Förderzeitraum hinaus vorgesehen. Diese institutionelle Zuordnung schafft Planungssicherheit und signalisiert, dass der UDZ nicht als temporäres Unterfangen, sondern als langfristige Infrastruktur verstanden wird. Es wird aber auch betont, dass eine intrinsische Motivation in den Fachabteilungen nötig sei, damit sich Projekte wie der UDZ umsetzen und verstetigen ließen.

Langfristige Finanzierung und nachhaltiger Betrieb

Die langfristige Finanzierung stellt einen weiteren entscheidenden Erfolgsfaktor dar. Fördermittel ermöglichen häufig den Einstieg, sind

jedoch zeitlich begrenzt und nicht auf den dauerhaften Betrieb ausgelegt. Kommunen stehen daher vor der Herausforderung, frühzeitig Budgets für Betrieb, Wartung und Weiterentwicklung einzuplanen – einschließlich kostenintensiver Maßnahmen wie Befliegungen, Sensorik, Datenpflege oder Softwareupdates.

In Mönchengladbach waren diese Fragen bereits zu Projektbeginn entscheidend: Selbst, wenn Fördermittel verfügbar sind, kann die ungeklärte Frage der Verstetigung dazu führen, dass Projekte keine Freigabe erhalten. Dies gilt insbesondere in angespannten Haushaltslagen, wie es aktuell in der Stadt der Fall ist. Über Entwicklungspartnerschaften und gezielte Zusammenarbeit zwischen Kommunen können finanzielle und personelle Ressourcen jedoch geteilt werden – wie es Mönchengladbach und Halle (Saale) gerade planen –, was eine längerfristige Finanzierung ermöglicht. Über die gemeinsame Entwicklung und Nachnutzung kann ein nachhaltiger Betrieb entstehen, wie unter anderem Halle (Saale) bestätigte.

München stärkt zudem noch den Punkt, dass ein UDZ nicht nur Betriebskosten bedeutet, sondern auch Kosten für aktuelle Datensätze und unter Umständen die Entwicklung neuer Anwendungsfälle. Hervorgehoben wird an der Stelle, dass München auf innovative Weiterentwicklungen setzt, die gezielt mit der Wissenschaft als Partner erfolgen. Die Stadt nutzt dazu die Nähe zu Forschungseinrichtungen, um gemeinsam Projektideen zu entwickeln und dann zum Beispiel durch Projektförderungen in die Umsetzung zu bringen.

In Kirchheim ist die Nutzung des UDZ bereits Alltag geworden und auch im aktuellen Haushalt eingeplant. Gelingen ist dies unter anderem durch die tiefe Integration des Systems und das Hervorheben der Mehrwerte des UDZ. Halle (Saale) setzt aktiv auf die Bewerbung des UDZ, um so Akzeptanz sowie die Einbettung in bestehende Strukturen zu erzielen und gemeinsame Weiterentwicklungen zu forcieren. Für den nachhaltigen Betrieb setzt die Stadt daher auf eben diese gemeinsame Entwicklung und die Nutzung des HAL-Plans auch auf Landesebene, um so den Betrieb und die langfristige Finanzierung sicherzustellen.

Handlungsempfehlungen

Politischen Rückhalt aktiv sichern: Der Mehrwert des UDZ sollte messbar gemacht und Erfolge regelmäßig kommuniziert werden. Eine nachvollziehbare Darstellung von konkreten Ergebnissen stärkt nicht nur die Akzeptanz in Verwaltung und Bevölkerung, sondern auch die politische Unterstützung.

Langfristige Finanzierung und Verstetigung strategisch absichern: Nachhaltigkeit muss von Beginn an mitgedacht werden. Dazu gehören eine frühzeitige politische Einbindung, mehrjährige Finanzierungsmodelle sowie interkommunale Kooperationen, um Skaleneffekte zu nutzen und Planungssicherheit zu schaffen.

Einbindung externer Partner frühzeitig erwägen: Kommunen sollten bereits in der Konzeptionsphase Kooperationen mit externen Partnern erwägen. Dies kann sich auf andere Kommunen beziehen, die bereits Erfahrungen mit UDZ gesammelt oder gar nachnutzbare Lösungen entwickelt haben. Für die Entwicklung beziehungsweise Weiterentwicklung von UDZ bietet es sich an, den Kontakt zu wissenschaftlichen Einrichtungen aufzubauen, um methodische Expertise, Innovationsimpulse und aktuelle technologische Entwicklungen systematisch in das UDZ-Projekt zu integrieren.

Verstetigung von Projekt- und Fachstellen

Ein weiterer zentraler Erfolgsfaktor ist die personelle Verstetigung. In vielen Kommunen sind UDZ stark projektgetrieben und damit personell an befristete Stellen gebunden. Die Analyse zeigt jedoch, dass Nachhaltigkeit vor allem dann entsteht, wenn Projektstellen in reguläre Stellen überführt oder von Beginn an dauerhaft eingeplant werden, wie es in Kirchheim, Mönchengladbach und München der Fall ist. Die im Projekt tätigen Mitarbeitenden in Mönchengladbach sind nicht über Smart-City-Fördermittel finanziert, sondern aus dem regulären Stellenplan des Fachbereichs heraus besetzt. Damit ist zumindest der Geo-Basis-Zwilling personell verstetigt. Gleichzeitig wird deutlich, dass diese Lösung auch Grenzen hat. Die Weiterentwicklung spezifischer Fachzwillinge – etwa im Bereich Planung oder Umwelt – erfordert dauerhaftes Wissen aus den jeweiligen Fachbereichen. Daher ist der UDZ in Kirchheim mit seinen Fachanwendungen in den Fachämtern angesiedelt. Auch wenn die Projektsteuerung noch außerhalb der Verwaltung verortet ist, soll diese in Referate und Abteilungen überführt werden. Mithilfe von Projektbeauftragten soll der UDZ dann gesteuert werden.

Dabei stoßen Kommunen jedoch an strukturelle Grenzen: Verwaltungsorganisationen sind selten darauf ausgelegt, interdisziplinäre Teams dauerhaft zu etablieren oder neue fachübergreifende Einheiten zu schaffen. Die Folge ist eine starke Abhängigkeit vom Engagement einzelner Fachbereiche und deren intrinsischer Innovationsbereitschaft. Diese Motivation oder Unterstützung muss auch auf politischer Ebene vorhanden sein, damit ein UDZ verstetigt werden kann.

Messbarkeit

Nicht zuletzt ist die Messbarkeit der Wirkung ein wesentlicher Garant für die Verstetigung eines UDZ. Die quantifizierende Wirkungsmessung setzt dabei die Definition und Erhebung passender Indikatoren beziehungsweise Key Performance Indicators (KPI) voraus. Dies umfasst in Halle (Saale) neben der Dokumentation der technischen Weiterentwicklungen konkret die Ermittlung von Nutzungszahlen und -intensitäten, die Anzahl angelegter Projekte oder auch die Quantifizierung des erzielten Mehrwerts. Jedoch sind nicht alle Aspekte verbesserter Qualität und gesteigerter Effizienz im Verwaltungskontext zählbar, weshalb in München auch Bürgerfeedback und andere Rückmeldungen in die qualitative Bewertung des UDZ mit einbezogen werden.

6 Fazit und Ausblick

Das Thema UDZ ist erst vor wenigen Jahren in den Fokus deutscher Kommunen gerückt und hat sich in dieser Zeit äußerst dynamisch entwickelt. Die Ergebnisse dieser Kurzexponente bestätigen, dass sich UDZ derzeit überwiegend noch in der Entwicklungsphase befinden. Auch wenn sie bislang nur einen Bruchteil ihres theoretischen Potenzials realisieren, gibt es jedoch schon Teilprojekte, die lauffähig sind und teilweise einen hohen Reifegrad aufweisen. Die Erfolgsfaktoren, die sich aus der Analyse solcher Beispiele herauskristallisieren, tragen alle maßgeblich dazu bei, inwieweit ein UDZ zu einem operativen Analyse-, Planungs- und Steuerungsinstrument wird.

Ein zentrales Ergebnis ist, dass der Aufbau von UDZ eng mit strategischen und organisatorischen Prozessen verknüpft ist: Kommunen müssen Daten- und Digitalstrategien entwickeln, Governance-Strukturen anpassen und tragfähige Kooperationsformen etablieren, bevor technologische Komponenten sinnvoll skaliert werden können. Die Leistungsfähigkeit von UDZ ist demnach nicht allein von der Technologie, sondern insbesondere auch von Institutionalisierung, Datenintegration und Managementprozessen abhängig.

In unseren Fallstudien zeigt sich, dass Datenqualität, Datenzugang und Interoperabilität zwischen heterogenen Systemen die größten Hürden darstellen: Ohne klare Datenmodelle, gemeinsame Standards und konsistente Datenhaltungsmechanismen bleibt die Nutzung oft auf oberflächennahe Darstellungen und isolierte Anwendungsfälle beschränkt. Hier zeigt sich das momentan größte Potenzial von UDZ – welches allerdings bislang noch nicht ausgeschöpft ist. Zudem findet aktuell auf technischer Ebene noch kein Austausch von Daten und Fragestellungen zwischen unterschiedlichen UDZ statt.

Des Weiteren identifizieren die Interviews institutionelle und soziale Rahmenbedingungen als

entscheidende Erfolgsfaktoren. Nur wenn Verwaltung, Fachabteilungen und Stakeholder gemeinsam tragfähige Arbeitsabläufe und Verantwortlichkeiten etablieren, kann ein UDZ über den Pilotstatus hinaus zu einem robusten Instrument werden. Partizipative Ansätze, die Bürgerinnen und Bürger und die Fachöffentlichkeit einbeziehen, können dabei helfen, Akzeptanz zu schaffen und die Nutzung zu verbreitern.

Mit Blick auf die Zukunft ist zu erwarten, dass sich UDZ weiterentwickeln: in Richtung mehr Interoperabilität, gesteigerte Nutzung von Echtzeitdaten, größere KI-gestützte Analysen und weitreichendere adaptive Simulationen. Solche Systeme werden dann ihr volles Potenzial entfalten können, wenn technische, organisatorische und soziale Elemente gebündelt adressiert werden. Darüber hinaus wird die Entwicklung gemeinsamer Standards und Datenräume eine Schlüsselrolle spielen, um fragmentierte Datensilos aufzubrechen und integrierte, ganzheitliche und technisch vernetzte UDZ zu realisieren.

Abseits der vorgestellten UDZ-Fallbeispiele liegt der Schwerpunkt mehrheitlich weniger auf ausgereiften Anwendungen als vielmehr auf dem Aufbau von Strukturen, Strategien und Kompetenzen. Viele Anwendungsfelder sind noch nicht erschlossen, anwendungsübergreifende Fragestellungen wenig adressiert, und die technologischen Grundlagen – etwa Datenverfügbarkeit, Echtzeitfähigkeit und algorithmische Auswertung – müssen weiter ausgebaut werden. Die UDZ-Weiterentwicklung wird somit weniger ein technisches Projekt als ein langfristiger Transformationsprozess sein, in dem Datenstrategie, Governance, Zusammenarbeit und technologische Innovation Hand in Hand gehen. Mit dem Fokus auf integrierte Ansätze, übergreifende Nutzungsszenarien und nachhaltige Organisationsmodelle werden sich die Fähigkeiten von UDZ weiterentwickeln und sich neue Erfolgsfaktoren ergeben.

Literatur

Blüml, M.; Horn, N.; Schneuer, M., 2025: Digitale Zwillinge für Bau, Infrastrukturmanagement und -betrieb. Herausgeber: IRights Lab. Berlin. Zugriff: https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/umfassende-arbeitsergebnisse-digitale-zwillinge-fuer-bau-infrastrukturmanagement-und-betrieb-chancen-anwendungs-bereiche-umsetzungsoptionen.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen am 22.02.2026].

BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, o. J.a: Modellprojekte Smart Cities. Zugriff: <https://www.smart-city-dialog.de/ueber-uns/modellprojekte-smart-cities> [abgerufen am 07.04.2026].

BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, o. J.b: HAL-Plan: Digitaler Zwilling für Stadtentwicklung und Wirtschaftsförderung. Zugriff: <https://www.smart-city-dialog.de/wissen/massnahmen> [abgerufen am 07.04.2026].

BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, o. J.c: Kirchheim bei München. Zugriff: <https://www.smart-city-dialog.de/ueber-uns/modellprojekte-smart-cities/kirchheim-bei-muenchen> [abgerufen am 07.04.2026].

BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, o. J.d: Digitaler Zwilling für Baurechtsmanagement und erlebbare Stadtentwicklung. Zugriff: <https://www.smart-city-dialog.de/wissen/smart-city-loesungen/digitaler-zwilling-fuer-baurechtsmanagement-und-erlebbare-stadtentwicklung> [abgerufen am 07.04.2026].

BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, o. J.e: Mönchengladbach. Zugriff: <https://www.smart-city-dialog.de/ueber-uns/modellprojekte-smart-cities/moenchengladbach> [abgerufen am 07.04.2026].

Brandt, S.; Henningsen, J.; Hess, S.; Jedlitschka, A.; Hellmuth, R., 2023: Digitale Zwillinge. Potenziale in der Stadtentwicklung. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bonn. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2023/digitale-zwillinge.html> [abgerufen am 10.10.2025].

Dembski, F.; Wössner, U.; Letzgus, M.; Ruddat, M.; Yamu, C., 2020: Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. Sustainability, 12. Jg. (6): 2307. <https://doi.org/10.3390/su12062307>

DIN SPEC 91607:2024-1, 2024: Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen. <https://dx.doi.org/10.31030/3575521>

Dreier, L.; Riechel, R.; Adiga, P.; Siegert, S.; Berg, M.; Hunger, N.; Woedtke, S.; Jansen, L., 2026: Urbane digitale Zwillinge in der Wärmeplanung: Potenziale und Rahmenbedingungen für den Einsatz in Kommunen. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bonn. <https://doi.org/10.58007/mv0v-2j59>

Eichhorn, T.; Tegtmeyer, S.; Gras, P.; Arndt, D.; Müller, M.; Gellhaus, U.; Boedecker, M.; Stöer, G.; Sander, S.; Zupan, V.; Blome, G., 2023: Urbane Digitale Zwillinge: Eine Stadt sehen, verstehen und lebenswert gestalten. Herausgeber: Deutscher Städtetag. Berlin, Köln. Zugriff: <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Weitere-Publikationen/2023/expertenpapier-urbane-digitale-zwillinge-2023.pdf> [abgerufen am 22.02.2026].

Guckenbiehl, P.; Hess, S.; Mumme, M.; Swarat, G.; Vogt-Hohenlinde, S., 2021: Der Digitale Zwilling für smarte Städte – zwischen Erwartungen und Herausforderungen. Herausgeber: Fraunhofer-Gesellschaft e. V. München. Zugriff: <https://www.iese.fraunhofer.de/content/dam/iese/publikation/smart-city-digitale-zwillinge-fuer-smarte-staedte-fraunhofer-iese.pdf> [abgerufen am 22.02.2026].

Land Sachsen-Anhalt, o. J.: Stadt Halle (Saale). Zugriff: <https://strukturwandel.sachsen-anhalt.de/revier-entdecken/stadt-halle-saale> [abgerufen am 07.04.2026].

Landeshauptstadt München, o. J.a: Willkommen bei der Landeshauptstadt München. Zugriff: <https://stadt.muenchen.de/infos/statistik-bevoelkerung.html> [abgerufen am 07.04.2026].

Landeshauptstadt München, o. J.b: München in Zahlen: Daten und Statistiken der Stadt München. Zugriff: <https://www.muenchen.de/sehenswuerdigkeiten/muenchen-zahlen-interessante-fakten-ueber-die-stadt> [abgerufen am 07.04.2026].

Landeshauptstadt München, o. J.c: Digitaler Zwilling München. Zugriff: <https://muenchen.digital/projekte/digitaler-zwilling.html> [abgerufen am 07.04.2026].

Lehtola, V. V.; Koeva, B.; Elberink, S. O.; Raposo, P.; Virtanen, J.-P.; Vahdatikhaki, F.; Borsci, S., 2022: Digital twin of a city: Review of technology serving city needs. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 114: 102915. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102915>

Lei, B.; Janssen, P.; Stoter, J.; Biljecki, F., 2023: Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. Automation in Construction, 147: 104716. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104716>

Rabe, J.; Sahr, F.; Helsper, A.; Kaltenegger, S.; Burgold, A.; Berg, M.; Schmitt, A., 2024: Smart-City-Lösungen skalieren: Eine Roadmap für Kommunen. Erfolgskriterien für die nachhaltige Verstetigung und den erfolgreichen Transfer. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bonn. <https://doi.org/10.58007/yhr9-9m50>

Planungsverband Äußerer Wirtschaftsraum München, o. J.: PV steigt bei IHK-Smart-Mobility-Pilotprojekt ein. Zugriff: <https://www.pv-muenchen.de/leistungen/verbandskommunikation/news-terminen/detail/news-smart-city-kirchheim> [abgerufen am 07.04.2026].

Shahat, E.; Hyun, C. T.; Yeom, C., 2021: City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda. Sustainability, 13. Jg. (6): 3386. <https://doi.org/10.3390/su13063386>

Stadt Mönchengladbach, 2022: Smart-City-Strategie der Stadt Mönchengladbach. Zugriff: https://www.smart-city-dialog.de/system/files/media/2287/1715349572/SmartCity_Strategie_MG.pdf [abgerufen am 07.04.2026].

Stadt Mönchengladbach o. J.: Ein digitaler Zwilling für Mönchengladbach. Zugriff: <https://geoportal.moenchengladbach.de/portal/apps/storymaps/stories/8d28f4046ea24a8db4904b3d96b40a78> [abgerufen am 07.04.2026].

Weil, C.; Bibri, S. E.; Longchamp, R.; Golay, F.; Alahi, A., 2023: Urban Digital Twin Challenges: A Systematic Review and Perspectives for Sustainable Smart Cities. Sustainable Cities and Society 99: 104862. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104862>

