Smart City
DIALOG

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

Urbane digitale Zwillinge in der Wärmeplanung

Potenziale und Rahmenbedingungen für den Einsatz in Kommunen

Lisa Dreier, Robert Riechel, Prajwala Prabhakar Adiga, Stefan Siegert, Matthias Berg, Nora Hunger, Sophie von Woedtke, Linn Jansen



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, Risikovorsorge und Verkehr"
Dr. Ralf Schüle
ralf.schuele@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren
Koordinierungs- und Transferstelle Modellprojekte Smart Cities (KTS):
Lisa Dreier, Robert Riechel, Nora Hunger, Sophie von Woedtke, Linn Jansen
Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)
ldreier@difu.de

Prajwala Prabhakar Adiga, Matthias Berg, Stefan Siegert
Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE
prajwala.adiga@iese.fraunhofer.de

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

Stand
Dezember 2025

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 in der Wärmeplanung

Bildnachweis
Titelbild: Andrey Popov – stock.adobe.com
S. 7: Andrey Popov – stock.adobe.com; S. 20: Herbert Stolz, Stadt Regensburg; S. 30: Olivier-Tuffé – stock.adobe.com;
S. 40: tina7si - stock.adobe.com; S. 44 (oben): Webseite des Landkreises Lörrach; S. 44 (unten): Webseite der Stadt München

Vervielfältigung
Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck
Nachdruck nur mit genauer Quellenangabe gestattet.
Bitte senden Sie uns zwei Belegexemplare zu.

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.

Zitiervorschlag
Dreier, L.; Riechel, R.; Prabhakar Adiga, P.; Siegert, 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

DOI 10.58007/mv0v-2j59
ISBN 978-3-98655-162-9 Bonn 2026

Urbane digitale Zwillinge in der Wärmeplanung

Potenziale und Rahmenbedingungen für den Einsatz in Kommunen

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

1 Einführung 8

1.1 Ziel der Studie 9

1.2 Methodik und Aufbau 9

2 Rechtliche und technische Grundlagen 12

2.1 Kommunale Wärmeplanung 12

2.2 Urbane digitale Zwillinge (UDZ) 16

3 UDZ in der Wärmeplanung: Ein Blick in die Praxis 21

3.1 Status quo der Wärmeplanung: Tools und Akteure 21

3.2 Vier Fallbeispiele aus der Praxis 25

3.3 UDZ-Typen in der Wärmeplanung 32

4 Potenziale von UDZ in der Wärmeplanung 35

4.1 Erhöhung der Datennutzbarkeit 36

4.2 Automatisierung von Vorgängen 37

4.3 Verbesserung von Entscheidungsgrundlagen 38

4.4 Schließen der Lücke zwischen Strategie und Umsetzung 40

4.5 Möglichkeit integrierter Planung und Entwicklung 42

4.6 Steigerung von Transparenz, Zugänglichkeit und Beteiligung 43

4.7 Zwischenfazit: Potenziale im Überblick 45

5 Vom Potenzial zur Umsetzung: Rahmenbedingungen und Handlungsperspektiven 46

5.1 Gelingensbedingungen 46

5.2 Föderaler Rahmen der kommunalen Wärmeplanung 48

6 Ausblick: Zukunftspotenziale versus Status quo 49

Literatur 51

Anhang 53

Zusammenfassung

Wie können urbane digitale Zwillinge (UDZ) Kommunen dabei unterstützen, die Wärmewende effizient, datenbasiert und integriert zu gestalten? Welche Formen und Anwendungen von UDZ sind für die kommunale Wärmeplanung (KWP) tatsächlich geeignet und unter welchen organisatorischen Voraussetzungen entfalten sie ihren Mehrwert? Diese und weitere Fragen beantwortet die vorliegende Studie. Sie soll Kommunen Orientierung geben, wie sie UDZ in der Wärmeplanung sinnvoll einsetzen und schrittweise in ihre Planungsprozesse integrieren können.

Die Studie untersucht die Potenziale und Einsatzbedingungen von UDZ in der kommunalen Wärmeplanung vor dem Hintergrund des Wärmeplanungsgesetzes (WPG 2024), das erstmals eine bundesweit einheitliche Pflicht zur Umsetzung oder Entwicklung einer strategischen Wärmeplanung schafft. UDZ werden im Kontext der Wärmeplanung als Instrument betrachtet, das räumliche, technische und organisatorische Daten auf einer gemeinsamen digitalen Grundlage zusammenführt und so neue Formen datengetriebener, transparenter und integrierter Planung ermöglicht. Der Fokus dieser Studie liegt dabei nicht primär auf der Technologie selbst, sondern auf ihrer kommunalen Anschlussfähigkeit und damit auf der Frage, wie digitale Werkzeuge an unterschiedliche Datenlagen, Ressourcen und Steuerungsstrukturen angepasst werden können.

Das Forschungsdesign kombiniert eine Breitenanalyse von 189 Kommunen, vier vertiefende Fallstudien (München, Zürich, Halle (Saale), Landkreis Lörrach) und einen Workshop mit Expertinnen und Experten. Diese mehrstufige Methodik erlaubt sowohl einen Überblick über den aktuellen Digitalisierungsgrad der Wärmeplanung als auch eine vertiefte Analyse konkreter Praxisbeispiele. Dabei wird zunächst deutlich: UDZ sind in deutschen Kommunen bislang unterschiedlich weit verbreitet und werden vor allem in frühen Planungsphasen – etwa zur Bestands- und Potenzialanalyse – eingesetzt. Rund 16 % der untersuchten Kommunen nutzen UDZ-ähnliche Tools; über 90 % greifen dabei auf externe Dienstleister zurück.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Verwaltungsstrukturen, Datenhoheit und institutionelle Verankerung entscheidender für den Erfolg sind, als die technologische Struktur. UDZ entfalten ihr Potenzial nur, wenn Kommunen ihre Datenstrukturen verstehen, intern Kompetenzen aufbauen und Verantwortlichkeiten klären. In der Studie wird ein Modell entwickelt, das vier funktionale Typen von UDZ in der Wärmeplanung unterscheidet: Visualisierung, Analyse, Simulation und innovative Integration. Dieses Modell dient nicht der Unterscheidung von Reifegraden, sondern als flexibler Bewertungsrahmen, der es Kommunen erlaubt, ihre digitale Wärmeplanung schrittweise und bedarfsgerecht weiterzuentwickeln.

Anhand der Fallbeispiele wird sichtbar, dass UDZ auf verschiedenen Wegen einen Mehrwert schaffen können: Sie erhöhen die Datennutzbarkeit, ermöglichen automatisierte Auswertungen, verbessern Entscheidungsgrundlagen und fördern Transparenz sowie Beteiligung. Diese Bandbreite zeigt, dass im Zusammenhang mit der kommunalen Wärmeplanung nicht die technologische Tiefe, sondern die Passung zu lokalen Strukturen den Erfolg eines UDZ bestimmt.

Im Ergebnis formuliert die Studie konkrete Handlungsempfehlungen: Kommunen sollten interne Datenkompetenzen aufbauen, insbesondere bei der Zusammenarbeit mit Dienstleistenden frühzeitig Datenrechte und Schnittstellen vertraglich sichern und bei der Toolauswahl pragmatisch vorgehen. Bund und Länder können durch Standardisierung, Interoperabilität und gezielte Förderung die Basis für eine nachhaltige Nutzung schaffen. Forschung und Wirtschaft sind gefordert, modulare, anschlussfähige Lösungen zu entwickeln, die kommunale Steuerungshoheit und Datensouveränität stärken.

Die Studie zeigt: UDZ sind kein fertiges Produkt, sondern eine sich entwickelnde Infrastruktur für die integrierte datenbasierte Planung. Ihr Erfolg hängt nicht allein von Software, sondern von Zusammenarbeit, Governance und einer datenbewussten Verwaltungskultur ab. Langfristig können sie die Wärme-, Energie- und Stadtentwicklungsplanung auf einer gemeinsamen digitalen Basis verbinden – und so einen entscheidenden Beitrag zur Umsetzung der kommunalen Wärmewende leisten.

Zentrale Ergebnisse auf einen Blick

Rund 16 % der zum Stichtag 20. Februar 2025 untersuchten Kommunen verwenden nach eigener Aussage UDZ oder ähnliche Systeme, meist in der Bestands- oder Potenzialanalyse. Dabei spielen externe Dienstleister eine zentrale Rolle: Über 90 % der untersuchten Kommunen greifen auf bestehende Lösungen zurück, die extern betrieben werden. Der Begriff „digitaler Zwilling" wird dabei sehr unterschiedlich interpretiert, von der einfachen 2D-Karte bis zum komplexen IT-System.

Heterogener Einsatz digitaler Tools in der kommunalen Wärmeplanung: Die Mehrheit der untersuchten Kommunen arbeitet mit Geoinformationssystemen (GIS) oder Visualisierungstools, während Simulations- und Monitoringfunktionen noch die Ausnahme bilden. Städte mit ausgeprägter Dateninfrastruktur und eigenen Fachteams können erheblich von analytischen und simulativen UDZ-Funktionen profitieren. Für kleinere Gemeinden empfiehlt sich in der Regel kein eigener UDZ. Hier sind interkommunale oder kreisweite Lösungen sowie niedrigschwellige, GIS-basierte Werkzeuge häufig am praktikabelsten und ressourceneffizientesten.

Datenhoheit ist der Dreh- und Angelpunkt: Ohne die kommunale Hoheit über Daten, Metadaten und Schnittstellen bleibt der Nutzen fortschrittlicher Tools begrenzt. Es fehlt noch vielerorts an stabilen Datenflüssen, klaren Zugangsregelungen und langfristig gesichertem Zugriff auf Dienstleisterdaten.

Governance entscheidet über Nachhaltigkeit: UDZ entfalten ihr Potenzial nur, wenn sie institutionell angemessen verankert sind. Dazu gehören klare Verantwortlichkeiten zwischen Kommune, Stadtwerken und Dienstleistern, verbindliche Finanzierungsmodelle und Kontinuität über Projektzyklen hinaus.

UDZ-Typenmodell zur Reifegradspezifizierung: UDZ in der Wärmeplanung sind mehrdimensionale Systeme, deren Funktionen unabhängig voneinander entwickelt werden können. Kommunen können gezielt in jene Bereiche investieren, die für ihre jeweiligen Aufgaben und Strukturen den größten Nutzen versprechen, anstatt einem starren Entwicklungspfad zu folgen.

Prozessbezogene Potenziale entlang der Wärmeplanung: UDZ können in allen Phasen einen Mehrwert stiften:

- Erhöhung der Datennutzbarkeit
- Automatisierung von Vorgängen
- Verbesserung von Entscheidungsgrundlagen
- Schließen der Lücke zwischen Strategie und Umsetzung
- Möglichkeit integrierter Planung und Entwicklung
- Steigerung von Transparenz, Zugänglichkeit und Beteiligung

Integration und Kommunikation: UDZ fördern nicht nur das interne Datenmanagement, sondern auch Kommunikation nach außen. Sie machen Wärmeplanung sichtbar und beteiligungsfähig, ermöglichen dialogorientierte Entscheidungen und schaffen Verständnis für Planungsentscheidungen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die Wärmewende fordert nicht nur technische, sondern auch kulturelle Veränderungen. Wenn UDZ eingeführt werden sollen, setzen diese einen strategischen und iterativen Umgang mit Daten voraus. UDZ können dabei zum Bindeglied zwischen Fachämtern, Stadtwerken und Bürgerschaft werden. Sie sind weniger High-tech-Vision als Infrastruktur der Verständigung, indem sie räumliche Zusammenhänge sichtbar machen, Datenräume öffnen sowie eine integrierte Planung fördern und damit dem Fortschritt der kommunalen Wärmewende dienen. Langfristig können UDZ so Wärme-, Energie-, Mobilitäts- und Umweltplanung sowohl technisch als auch organisatorisch verzahnen. Das ermöglicht eine neue Form integrierter Planung in Kommunen, in der Synergien im Vordergrund stehen.



Viele Kommunen nutzen Geoinformationssysteme und Visualisierungstools. Allerdings ist die Datenhoheit entscheidend: Ohne die kommunale Hoheit über Daten, Metadaten und Schnittstellen bleibt der Nutzen fortschrittlicher Tools begrenzt | Quelle: Andrey Popov – stock.adobe.com

> *Datenhoheit ist kein Nice-to-have, sondern Voraussetzung für Souveränität.*
>
> O-Ton aus dem Workshop mit Expertinnen und Experten

1 Einführung

Mit dem Inkrafttreten des Wärmeplanungsgesetzes (WPG 2024) erhält die kommunale Wärmeplanung (KWP) erstmals eine bundesweit einheitliche Grundlage. Alle Städte und Gemeinden sind nun verpflichtet, eine strategische Planung für die künftige Wärmeversorgung zu erarbeiten und sie regelmäßig fortzuschreiben. Damit ist die Wärmeplanung zu einem zentralen Steuerungsinstrument der Wärmewende auf lokaler Ebene geworden.

Gleichzeitig verändert das Gesetz die Anforderungen an die Planungspraxis grundlegend: Kommunen müssen umfangreiche Daten zu Gebäuden, Heizungsanlagen, Netzen und Potenzialen regenerativer Energieträger und der Nutzung von Abwärme sowie Einsparpotenzialen zusammenführen, bewerten und für verschiedene Akteure in Verwaltung, Politik und Wirtschaft nutzbar machen. Die strategische Planungsaufgabe wird damit auch zu einer technisch wie organisatorisch anspruchsvollen Aufgabe in der Erhebung, Organisation und Auswertung von Daten.

In diesem Kontext rücken UDZ zunehmend in den Fokus. Sie gelten als vielversprechendes Instrument, um räumliche Daten und Prozesse auf einer gemeinsamen digitalen Grundlage zusammenzuführen und für Planung, Kommunikation und Steuerung zu nutzen. Für die Wärmeplanung eröffnet sich dadurch eine Möglichkeit, Bestände sichtbar zu machen, Szenarien dynamisch zu prüfen und Entscheidungen datenbasiert sowie nachvollziehbar zu gestalten.

Doch die Praxis zeigt: Es gibt nicht den einen digitalen Zwilling, sondern eine Vielzahl von Ansätzen, die von einfachen kartografischen Visualisierungen über analytische Datenräume bis zu simulativen Plattformen reichen. Zahlreiche Kommunen arbeiten bereits mit digitalen Werkzeugen, die sich in diese Richtung entwickeln, oft eingebettet in Smart-City-Vorhaben oder in kommunale Digitalstrategien. Dabei entstehen wertvolle Erfahrungen, aber auch neue Fragen: Welche Funktionen sind für die Wärmeplanung tatsächlich relevant? Welche organisatorischen und technischen Voraussetzungen braucht es, um sie tragfähig einzusetzen? Und wie kann sichergestellt werden, dass die gewonnenen Daten langfristig in kommunaler Hand bleiben?

Hier setzt die vorliegende Studie an. Sie untersucht, unter welchen Bedingungen UDZ einen konkreten Mehrwert für die kommunale Wärmeplanung bieten können und wie ihre Nutzung mit heterogenen Ressourcenverfügbarkeiten, zersplitterten Datenlagen und diversen Governance-Strukturen vereinbar ist. Im Mittelpunkt steht dabei nicht die technologische Machbarkeit, sondern die kommunale Anschlussfähigkeit: Wie lassen sich die vorhandenen Werkzeuge, Kompetenzen und Prozesse so gestalten, dass UDZ sinnvoll in kommunale Strukturen eingebettet werden können und so die Wärmeplanung wirklich substanziell unterstützen?

Damit schließt die Studie eine Forschungslücke zwischen den rechtlichen Anforderungen der Wärmeplanung und den technologischen Möglichkeiten urbaner Datenräume. Sie zeigt, dass UDZ kein fertiges Produkt, sondern ein sich dynamisch entwickelndes Instrument sind, das mit jeder Kommune und ihren spezifischen Rahmenbedingungen wachsen kann.

> *Ein digitaler Zwilling in der Wärmeplanung ist nur so gut wie seine Daten – und die liegen vielerorts noch in den Aktenschränken.*
>
> O-Ton Workshop mit Expertinnen und Experten

Die Frage lautet daher nicht, ob digitale Zwillinge integraler Teil der Wärmeplanung werden können, sondern wie: Unter welchen Voraussetzungen, mit welchen Partnern und in welcher Tiefe ihres Einsatzes können sie zur Umsetzung der Wärmewende beitragen?

1.1 Ziel der Studie

Ziel dieser Studie ist es, das Potenzial und die Einsatzbedingungen von UDZ in der kommunalen Wärmeplanung zu untersuchen.

Die Studie verfolgt drei Fragestellungen:

1. **Überblick verschaffen:** Welche Formen und Funktionen von UDZ kommen derzeit in der Wärmeplanung zum Einsatz?

2. **Praxis erfassen:** Welche organisatorischen, daten- und steuerungsbezogenen Muster prägen bestehende Anwendungen?

3. **Orientierung bieten:** Welche Entwicklungspfade sind realistisch, damit Kommunen ihre Wärmeplanung schrittweise digital weiterentwickeln können?

Zentral sind dabei das in dieser Studie entwickelte UDZ-Typenmodell sowie die Diskussion der tatsächlichen Potenziale von UDZ entlang der verschiedenen Phasen der Wärmeplanung. Das Modell unterscheidet dabei vier funktionale Typen – Visualisierung, Analyse, Simulation und innovative Integration – und versteht sich nicht als lineares Stufenmodell, sondern als flexibler Bewertungsrahmen. Jede Kommune kann ihren Einstiegspunkt entsprechend ihrer Voraussetzungen und Zielstellungen wählen. So kann beispielsweise ein „Visualisierungszwilling", der Transparenz schafft, in bestimmten Kontexten mehr bewirken, als eine überkomplexe Simulationsplattform ohne lokale Datenbasis.

1.2 Methodik und Aufbau

Die vorliegende Studie basiert auf einem mehrstufigen Forschungsdesign, das qualitative und quantitative Ansätze miteinander kombiniert:

1. **Desk Research**
   In einem Desk Research wurden 158 Kommunen identifiziert, die bis zum Stichtag am 20. Februar 2025 einen Wärmeplan veröffentlicht haben. Zusätzlich wurden 28 Kommunen ausgewählt, die sich zu diesem Zeitpunkt noch in der Erarbeitungsphase befanden und dabei erkennbar eine Form von UDZ einsetzten, sowie drei internationale Vergleichskommunen. Die Pläne wurden mithilfe einer halbautomatisierten Textauswertung (MAXQDA) und anschließender manueller Prüfung analysiert. Ziel war es, die in der Wärmeplanung genutzten digitalen Tools, ihre Funktionsweise und Einsatzphasen zu erfassen sowie diejenigen Kommunen zu identifizieren, die einen UDZ oder vergleichbare Toolsets in ihrer Wärmeplanung verwendet haben.

2. **Vertiefende Fallstudien**
   Auf Basis dieser Breitenanalyse wurden drei besonders aussagekräftige Beispiele von Kommunen und einem Landkreis ausgewählt, die auf unterschiedliche Art bereits UDZ oder UDZ-ähnliche Tools in ihrem Wärmeplanungsprozess einsetzen: München, Halle (Saale) und der Landkreis Lörrach sowie als internationales Beispiel die Stadt Zürich in der Schweiz. Diese Fallstudien wurden hinsichtlich Datenverfügbarkeit und -qualität, technischer Infrastruktur, Governance- und Organisationsformen sowie personeller und institutioneller Kapazitäten untersucht. Dadurch wurden unterschiedliche Ausgangsbedingungen und Entwicklungspfade sichtbar, die den Einsatz digitaler Werkzeuge in der Wärmeplanung prägen. Die Fallbeispiele helfen dabei, die Ergebnisse der Breitenanalyse zu vertiefen und begünstigende sowie hemmende Bedingungen für UDZ in der Praxis zu erfassen. Dabei wurde deutlich, wie unterschiedlich die Ausgangslagen und Entwicklungswege sein können:

- **München steht für eine intern gesteuerte, analytisch-simulative Wärmeplanung,** bei der eine leistungsfähige geografische Informationssystem- (GIS) und Dateninfrastruktur sowie hohe interne Fachkompetenz ein Toolset mit internen wie externen Anwendungsmöglichkeiten entstehen lassen, das einem UDZ gleichkommt.

- Der **Landkreis Lörrach steht exemplarisch für eine interkommunale, durch externe Dienstleister unterstützte Wärmeplanung,** die vor allem kleine Gemeinden entlastet und visualisierungsorientierte Funktionen des digitalen Zwillings nutzt, um Transparenz herzustellen.

- **Halle (Saale) nutzt einen extern entwickelten digitalen Zwilling als Visualisierungs- und Analyseplattform,** die von den Stadtwerken gespeist wird und perspektivisch eine integrierte, fachübergreifende Planung ermöglichen soll.

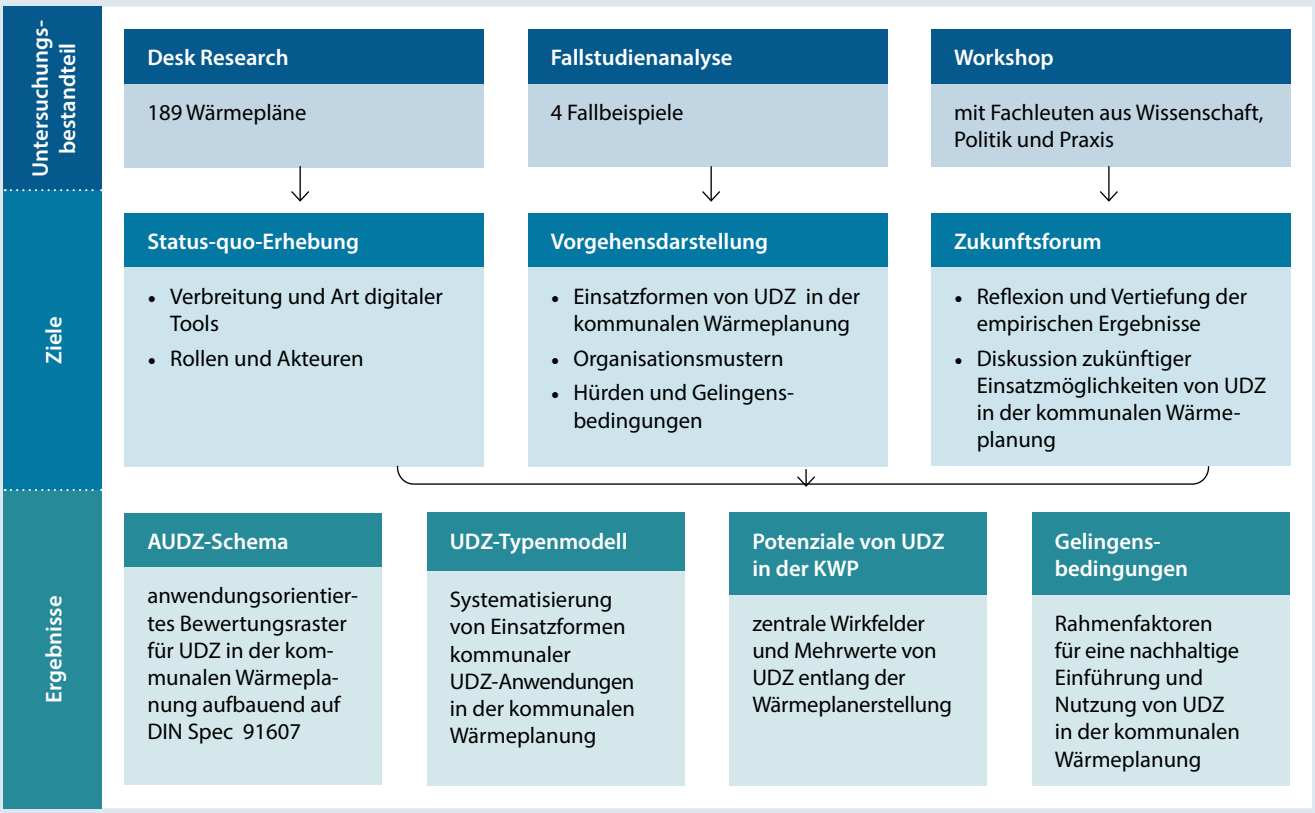
- **Zürich verfolgt eine stark datenbasierte Wärmeplanung mit hohem institutionellem Reifegrad,** bei der interne Fachkompetenz, modulare digitale Werkzeuge und eine klar geregelte Datenhoheit eine konsistente und stark verwaltungshoheitliche Planung unterstützen.

Aus den Fallstudien resultierten konkrete Gelingensbedingungen und Typenprofile, die zur Entwicklung des UDZ-Typenmodells beitrugen. Sie zeigen, wie unterschiedlich Kommunen – abhängig von Ressourcen, Datenzugang und Governance – digitale Zwillinge gestalten und weiterentwickeln können.

3. Workshop mit Expertinnen und Experten
Ein begleitender Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern aus Verwaltung, Politik, Forschung und Wirtschaft diente der Validierung und Einordnung der empirischen Ergebnisse. Er brachte unterschiedliche institutionelle Perspektiven zusammen und fungierte zugleich als Reflexions- und Zukunftsforum. Er half, die Erkenntnisse aus Breitenanalyse und Fallstudien kritisch zu spiegeln, Prioritäten aus Sicht der Praxis zu identifizieren und Entwicklungspfade für die kommenden Jahre zu skizzieren, etwa zur Verstetigung von Datenstrukturen, zur Standardisierung von Schnittstellen oder zur institutionellen Verankerung von UDZ in der kommunalen Planung.

Kapitel 2 beschreibt den rechtlichen und technischen Handlungsrahmen: Es erläutert die Anforderungen des Wärmeplanungsgesetzes, zentrale technische Standards wie die DIN SPEC 91607 sowie aktuelle Entwicklungen in XPlanung. Dabei wird deutlich, dass die digitale Wärmeplanung bisher auf verteilten, teils unverbundenen Datenlandschaften aufbaut, und wie UDZ hier eine neue Integrationslogik ermöglichen können.

Abbildung 1: Methodik und zentrale Ergebnisse der Studie | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)



Kapitel 3 zeigt den Status quo der Anwendung digitaler Zwillinge in der kommunalen Wärmeplanungspraxis: Auf Basis von 189 untersuchten Kommunen wird sichtbar, welche Tools und Organisationsformen derzeit für deren Erstellung und Umsetzung genutzt werden, wie hoch der Anteil UDZ-basierter Ansätze ist und welche Muster sich herausbilden: von kommunal betriebenen GIS-Lösungen bis hin zu extern gesteuerten Plattformen. Die Ergebnisse fließen in ein empirisch abgeleitetes UDZ-Typenmodell ein, das die Vielfalt kommunaler Ausgangslagen abbildet. Zudem werden hier die vier betrachteten kommunalen Fallbeispiele näher vorgestellt.

Kapitel 4 richtet den Blick nach vorn: Es beschreibt die Potenziale von UDZ entlang der wesentlichen Phasen der Wärmeplanung von der Datensammlung bis zur Fortschreibung und zeigt, wie Visualisierung, Simulation und adaptive Systeme Planungsprozesse transparenter, integrierter und anschlussfähiger machen können. Zur Illustration werden ausgewählte Aspekte aus den Fallbeispielen präsentiert.

Kapitel 5 bündelt schließlich die Gelingensbedingungen und Handlungsempfehlungen: Es formuliert konkrete Ansätze, wie in Kommunen Datenhoheit gesichert, Governance-Strukturen aufgebaut und Kooperationen zwischen Fachämtern, Stadtwerken und Dienstleistern verstetigt werden können. Darüber hinaus zeigt das Kapitel auf, welche Rollen Bund, Länder und Forschung bei Standardisierung und Qualifizierung übernehmen sollten und welche Diskrepanz aktuell noch zwischen Potenzialen und Realität zu überwinden ist.

> *Manchmal ist der einfachste Zwilling der richtige: Wenn er Wärmebedarfe und Netze sichtbar macht, die sonst nur Fachleuten bekannt sind.*
>
> O-Ton Workshop mit Expertinnen und Experten

2 Rechtliche und technische Grundlagen

Die kommunale Wärmeplanung steht an der Schnittstelle zwischen rechtlicher Verpflichtung und fachlicher Planungspraxis. Für die Integration von UDZ braucht es ergänzend die Bereitschaft zur Gestaltung eines digitalen Transformationsprozesses. Zur besseren Einordnung des Potenzials von UDZ in der Wärmeplanung ist auch ein Verständnis über die wesentlichen Strukturen vonnöten: Welche Vorgaben, Prozesse und Datengrundlagen prägen die Wärmeplanung – und welche technischen Standards und Systemlogiken bestimmen, wie digitale Werkzeuge in ihr wirken können?

Im Folgenden wird ein Überblick über die zentralen Grundlagen der kommunalen Wärmeplanung sowie von UDZ gegeben. Zunächst werden die rechtlichen und organisatorischen Prinzipien der kommunalen Wärmeplanung, ihre Phasen und Zuständigkeiten und Beteiligungsanforderungen dargestellt. Daran anschließend werden die technischen Grundlagen und Datenprozesse beschrieben, die für die Planung zentral sind – von Datenflüssen und Formaten bis zu den Herausforderungen des Datenschutzes und der Standardisierung. Abschließend werden die technologischen Grundlagen von UDZ vorgestellt, die in der Wärmeplanung bereits Anwendung finden oder künftig an Bedeutung gewinnen können.

2.1 Kommunale Wärmeplanung

Mit dem Inkrafttreten des Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (kurz: Wärmeplanungsgesetz, WPG) zum 1. Januar 2024 gilt für alle Kommunen eine Verpflichtung zur Erstellung eines kommunalen Wärmeplans.[1] Für große Kommunen mit mehr als 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern gilt dafür eine Frist bis Mitte 2026, für alle anderen bis Mitte 2028. Bis Ende April 2025 lagen für 488 von circa 10.700 Kommunen in Deutschland bereits Wärmepläne vor, für weitere 5.000 Kommunen befanden sich die Wärmepläne zu diesem Zeitpunkt in der Erstellung (vgl. Arnold-Drmic/Thiele 2025).

Ziel der kommunalen Wärmeplanung ist eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung bis spätestens 2045 (vgl. § 1 WPG), die zugleich kosteneffizient, nachhaltig, sparsam, bezahlbar und resilient ist (vgl. ebd.). Die kommunale Wärmeplanung ist eine rechtlich unverbindliche, strategische Fachplanung (vgl. Ortner et al. 2024; DVGW/AGFW 2023; MUKE 2020). Sie stellt ein bislang fehlendes, zukunftsgerichtetes und koordinierendes Element für die Wärmewende dar. Der Wärmeplan ist das zur Veröffentlichung bestimmte Ergebnis der Wärmeplanung (vgl. § 3 Nr. 19 WPG). Er spannt mit seiner räumlich integrierenden Perspektive einen Rahmen und ergänzt die gebäudebezogenen ordnungsrechtlichen Regelungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020/2023), das zeitlich gestaffelt Mindestvorgaben für erneuerbare Energien in der Wärmeversorgung macht.

Als strategisches Instrument (ohne Umsetzungsverpflichtung) bietet der Wärmeplan auf gesamtstädtischer Ebene Orientierung über die mittel- bis langfristige Gestaltung einer treibhausgasneutralen Wärmeversorgung des Gebäudebereichs in einer Kommune. Zeithorizont ist spätestens 2045, einige Kommunen haben sich auch frühere Fristen gesetzt. Der kommunale Wärmeplan ist als vorbereitende Planung eine Art Kompass, die Eignungen lokaler Systeme der Wärmeversorgung aus Nachfrage- und Angebotssicht ordnet, rahmengebend für weitere Planungen wirkt und Erfordernisse für weitere Planungsschritte definiert. Allerdings leitet sich aus der kommunalen Wärmeplanung weder zeitlich noch technisch oder ökonomisch ein Umsetzungsanspruch ab.

[1] Im föderalen System der Bundesrepublik Deutschland verpflichtet der Bund formal die Länder, die wiederum in Landesgesetzen weitere Regelungen treffen und die sogenannten planungsverantwortlichen Stellen – in der Regel Kommunen – bestimmen sollen.

§§ 14 ff. WPG definieren die Schritte der Erstellung des Wärmeplans. Neben der Vorbereitungsphase lassen sich dabei im Wesentlichen vier Schritte unterscheiden (vgl. für eine detaillierte Darstellung auch Ortner et al. 2024):

1. Bestandsanalyse
2. Potenzialanalyse
3. Zielszenarien (im Einklang mit der Einteilung in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete)
4. Umsetzungsstrategie

Die Fertigstellung des Wärmeplans markiert keinesfalls seinen Endpunkt. Für eine erfolgreiche kommunale Wärmewende ist die Umsetzung (s. Abbildung 2, Schritt 5) der in der Umsetzungsstrategie definierten Maßnahmen entscheidend. Dafür sind gegebenenfalls vertiefende Betrachtungen (z. B. Quartierskonzepte, technische Detailplanungen) erforderlich. Ein Monitoring (s. Abbildung 2, Schritt 6) dient der Evaluierung und hält die Fortschritte bei der kommunalen Wärmewende fest.



Abbildung 2: Phasen der Wärmeplanung | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) nach Kamlage et al. 2025

Die Wärmeplanung ist als rollierender und iterativer Prozess zu verstehen, in dem Prozessschritte mehrfach durchlaufen werden, um auf neue Erkenntnisse reagieren zu können. Gemäß dem Gesetzestext sind die erstellten Wärmepläne zu evaluieren und spätestens alle fünf Jahre fortzuschreiben.

Die Vorgaben zur Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung im WPG sind relativ allgemein gehalten und beschreiben ein gesetzliches Mindestmaß, wobei die Lieferung von Daten und Informationen im Vordergrund stehen. Nach § 7 WPG sind die Öffentlichkeit, Behörden und Träger öffentlicher Belange sowie Energieversorger im Rahmen der Wärmeplanung zu beteiligen. Weitere Akteure, die Energie aus erneuerbaren Quellen produzieren oder potenziell Abwärme bereitstellen, Großverbraucher, Immobilienunternehmen oder Handwerkskammern können integriert werden. Als planungsverantwortliche Stellen organisieren die Kommunen den Austausch zwischen allen Beteiligten und koordinieren den Prozess.

Mit Blick auf die Umsetzung der Wärmeplanung ist der Kreis der zu beteiligenden Akteure jenseits der gesetzlichen Empfehlungen noch größer zu ziehen (z. B. private Einzeleigentümer), deren kontinuierliche Einbindung zu gewährleisten und eine über die Informationsebene hinausgehende Mitgestaltung an kollektiven Umsetzungs- und Investitionsstrategien zu ermöglichen ist (vgl. Riechel et al. 2017; Kamlage et al. 2025; dena 2024). Dies erhöht die Chancen, dass die entwickelten Zielbilder auf die örtlichen Gegebenheiten und Bedürfnisse abgestimmt und umsetzbar sind. Eine auf die Interessen und Bedürfnisse der Bürgerinnen und Bürger zugeschnittene Öffentlichkeitsbeteiligung erhöht die Transparenz (z. B. über Möglichkeiten und Grenzen der Wärmeplanung, geplante Umsetzungsschritte und Mitwirkungsmöglichkeiten) und kann Akzeptanz und Unterstützung der geplanten Maßnahmen steigern. Akteursbeteiligung (Politik, Verwaltung, Stakeholder mit Fachexpertise) und bürgerorientierte Öffentlichkeitsarbeit sind somit mit unterschiedlichen Schwerpunkten in allen Phasen der Wärmeplanung und ihrer Umsetzung relevant (phasenübergreifend, s. Abbildung 2).

Datenmanagement in der kommunalen Wärmeplanung

Grundvoraussetzung für die kommunale Wärmeplanung ist eine belastbare Datengrundlage (vgl. Seidl et al. 2024). Kommunen sind im Rahmen der Wärmeplanung mit der Erhebung, Verarbeitung und Bereitstellung einer Vielzahl von Daten konfrontiert (vgl. dena 2025). Dies erzeugt einen erheblichen Aufwand und stellt eine der übergeordneten Herausforderungen für Kommunen dar.

Das Thema Datenmanagement gehört folglich zu den zentralen Aufgabenfeldern in der kommunalen Wärmeplanung, die durch Unterstützungsleistungen des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende (KWW), durch Leitfäden und durch den Stakeholder-Dialog des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) und das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (jetzt: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWE) adressiert wurden (zum Thema „Datenkompetenz in kommunalen Verwaltungen“ vgl. auch Sautter et al. 2024).

Die Frage, welche Daten für die kommunale Wärmeplanung zumindest benötigt werden, beantwortet das WPG. Es schafft somit eine wichtige und einheitliche Ausgangsbasis. In Anlage 1 des WPG wird aufgeführt, zu welchen Themengruppen Daten zu erheben sind: Gas- und Wärmeverbräuche, dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen mit Verbrennungstechnik, Gebäudedaten, Prozess- und Abwärme bei Industrie, Gewerbe und Unternehmen, Wärmenetze und -erzeuger, Gas- und Stromnetze (Hoch-, Mittel- und Niederspannung), Kläranlagen, Abwassernetze sowie räumliche Planwerke.

Die besondere Kleinteiligkeit des Wärmesektors spiegelt sich auch in der Datenlage wider, die häufig fragmentiert auf viele Datenhalter und in unterschiedlichen Formaten verteilt ist. Relevante Daten liegen analog oder digital bei unterschiedlichen Stellen innerhalb der Verwaltung vor, aber auch bei Energieversorgern, Schornsteinfegerinnen und Schornsteinfegern

oder bei anderen Akteuren. Sie müssen daher für die Wärmeplanung erhoben, aufbereitet und bereitgestellt werden. Für personenbezogene Daten gilt dabei ein besonderer Schutzstatus, was deren Aggregation erforderlich macht. Datenerhebung und -management stellen folglich eine zentrale Aufgabe für Kommunen innerhalb der Wärmeplanung dar. Hilfsmittel wie Leitfäden oder der Datenkompass des KWW (vgl. Ortner et al. 2024; KWW 2025) bieten Orientierung über mögliche Quellen für die zu erhebenden Daten (z. B. Marktstammdatenregister, Kehrbuchdaten der Schornsteinfegerinnen und Schornsteinfeger, Energieversorgungsunternehmen, Amtliches Liegenschaftskataster, Zensus).

Zur Aufgabenerfüllung der Wärmeplanung, insbesondere zur Durchführung der Analysen (Bestands- und Potenzialanalysen), hat der Gesetzgeber mit § 10 WPG eine Rechtsgrundlage geschaffen, die der jeweiligen Planungsstelle weitreichende Befugnisse zur Verarbeitung auch personenbezogener Daten in maschinenlesbarer Form einräumt. Die Ermächtigung erstreckt sich zum einen auf Endenergieverbrauchsdaten, Daten der statistischen Ämter und Plattformen von Bundes- und Landesbehörden, Daten aus Gebäuderegistern, Grundbüchern und Liegenschaftskatastern sowie aus sonstigen öffentlichen oder den planungsverantwortlichen Stellen zugänglichen Datenbeständen (vgl. § 10 Abs. 3 WPG). Zum anderen beschränkt sie sich auf Gas und Wärme (Strom ist hiervon ausgenommen).

Darüber hinaus wird dem Planungsträger die Erhebung vorhandener Daten bei allen relevanten Akteuren (Behörden des Bundes und der Länder, Betreiber von Energieversorgungsunternehmen und Wärmenetzen, Bezirksschornsteinfegermeisterinnen und -meistern u. a.) auf Grundlage der ihm eingeräumten Auskunftspflicht nach § 11 WPG erheblich erleichtert. Diese weitreichenden Befugnisse zur elektronischen Datenerfassung bergen ein großes Potenzial für die zügige Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung. Dieses Potenzial lässt sich jedoch nur durch ein systematisiertes Vorgehen ausschöpfen, mit dem Planungsträger die unterschiedlich strukturierten Datenbestände adäquat und schnell verarbeiten können.

Selbst wenn Kommunen die Erstellung des Wärmeplans – wie es häufig der Fall ist – an externe Dienstleister vergeben (vgl. KWW 2024), sind die gelieferten Daten und dahinterliegenden Annahmen kontinuierlich zu prüfen. Für die Kommunen ist es daher wichtig, mindestens in einem gewissen Umfang auch eigene Datenkompetenzen für die Wärmeplanung aufzubauen und zu sichern.

Herausforderungen beim Datenmanagement

In der Praxis der kommunalen Wärmeplanung erweisen sich die Beschaffung, Erfassung und Analyse von Daten häufig als besonders zeitaufwändig und herausfordernd. Trotz der im WPG verankerten Ermächtigung zur Erhebung von Daten fehlt es mitunter an der Kooperationsbereitschaft von potenziellen Datenlieferanten (vgl. KWW 2024). Zeitaufwändig und teils auch problembehaftet ist die Erhebung und Harmonisierung dezentraler Datensätze wie Schornsteinfeger-, Wärmebedarfsdaten von Gebäuden oder Verbrauchsdaten.

Auch innerhalb von Kommunen sind Datenbestände mitunter siloartig entlang von Fachbereichsgrenzen aufgebaut, ohne dass technische Schnittstellen und Zugriffsrechte gegeben wären. Dies erschwert integrierte Planungen. Insbesondere in kleinen Kommunen liegen Planungsgrundlagen noch nicht überall digitalisiert vor (z. B. in einem Geoinformationssystem). Gleichzeitig gibt es derzeit Bemühungen, den XPlanungsstandard[2], der in anderen Planungsaufgaben wie der Flächennutzungs- und Bebauungsplanung schon einen gewissen Verbreitungsgrad erreicht hat, auch auf die Wärmeplanung anzuwenden.

[2] XPlanung ist ein bundesweiter Standard zur einheitlichen digitalen Beschreibung und zum Austausch raumbezogener Planwerke (z. B. Flächennutzungspläne, Bebauungspläne). Weitere Informationen unter: https://xleitstelle.de/xplanung [abgerufen am 16.01.2026].

Herausforderungen in der kommunalen Wärmeplanung auf einen Blick

- hoher Zeitaufwand bei der Erhebung, Bereitstellung und Auswertung von Daten
- Vielzahl unterschiedlicher Datenhalter
- unterschiedliche Datenformate, teils noch analog
- Sicherung der Datenqualität
- Datensilos in Kommunalverwaltungen
- fehlende technische Infrastrukturen beziehungsweise Schnittstellen
- Datenschutz: Unsicherheiten bei Datenhandling und Datenaggregation
- fehlende Standards zu Berechnungsmethoden
- nicht einheitliche Erfassung der Ergebnisdaten

Angesichts der Vielzahl unterschiedlicher Datenquellen variieren auch die Datenformate erheblich, teils werden Daten analog oder als PDF-Dokument bereitgestellt. Auch amtliche Daten unterscheiden sich im Hinblick auf Qualität, Genauigkeit, Umfang und Aktualität stark (vgl. KWW 2024). Diese Fragmentierung des Datenbestandes in Verbindung mit fehlender Anwendungserfahrung bei der Wärmeplanung führt zu Verzögerungen durch Doppelerhebungen, zu einer uneinheitlichen Datenlage und Unklarheiten über die notwendige Detailtiefe. Auch fehlende Standards für Berechnungsmethoden haben einen Mehraufwand zur Folge.

Hinsichtlich des Datenschutzes bestehen sowohl bei Kommunen als auch bei Dienstleistern Unsicherheiten beim Umgang mit Daten generell sowie deren Aggregation (vgl. BBSR 2025). Dazu hat das Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende eine Facharbeitsgruppe ins Leben gerufen. Im Ergebnispapier des Stakeholder-Dialogs Kommunale Wärmeplanung formuliert die Arbeitsgruppe „Daten“ das Erfordernis, „den im Zusammenhang mit der Datenerhebung entstehenden Aufwand für die Kommunen zu verringern und durch standardisierte, verlässliche und zentral verfügbare Daten die Wärmeplanung effizienter, transparenter und einheitlicher zu machen“ (dena 2025: 11).

2.2 Urbane digitale Zwillinge (UDZ)

Unter digitalen Zwillingen versteht man im Allgemeinen virtuelle Abbilder realer Systeme, mit denen Prozesse digital simuliert, analysiert und optimiert werden können. Übertragen auf Städte werden diese zu UDZ. Diese gewinnen in kommunalen Planungs- und Managementprozessen rasant an Bedeutung (vgl. Lehtola et al. 2022). Ihre Anwendungen reichen von kartografischen Visualisierungen für die Öffentlichkeitsbeteiligung bis hin zu analytischen Funktionen wie Berechnungen, Simulationen oder der Bewertung urbaner Systeme. In fortgeschrittenen Fällen können UDZ auch als Steuerungsinstrumente dienen, indem sie sowohl die Entscheidungsfindung als auch Kontrollmechanismen beziehungsweise sogar die (halb-)automatisierte Steuerung von Prozessen unterstützen. So kann ein UDZ Kommunen beispielsweise dabei behilflich sein, städtische Wärmeinseln zu identifizieren und Kühlmaßnahmen zu simulieren oder die energetischen Auswirkungen von Sanierungsstrategien und Erneuerbare-Energien-Anlagen zu bewerten.

Definiert wird ein UDZ als „ein dynamisches digitales Abbild, welches sich auf die Ganzheit oder einen anwendungsfallspezifischen Teil einer Stadt bezieht. Dazu gehören unter anderem die physische Bausubstanz, Infrastrukturanlagen und -einrichtungen sowie städtische Prozesse, Systeme und Daten unter Einbeziehung von Geräten des Internet der Dinge (IoT) und Informationsfeedback der Bürgerschaft“ (Brandt et al. 2023: 10).

Nach der 2024 veröffentlichten DIN SPEC 91607 „Digitale Zwillinge für Städte und Gemeinden“

trägt ein UDZ „zu den übergeordneten kommunalen Zielen des integrierten Handelns, der zukunftsorientierten Prozessoptimierung und der ganzheitlichen Messbarkeit von Maßnahmen und Entwicklungen bei“ (DIN SPEC 91607: 28). Digitale Zwillinge können somit auch die Beantwortung interdisziplinärer Fragestellungen erleichtern (vgl. Donaubauer 2024).

Komponenten und Funktionen von UDZ

Bei einem UDZ handelt es sich nicht um eine monolithische Software. Vielmehr liegt sein Potenzial im Zusammenspiel seiner **Kernkomponenten** und den **Funktionen,** die sie ermöglichen. Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen bestehen gemäß DIN SPEC 91607 aus folgenden Komponenten:

- **Datenschicht:** heterogene und oft in Echtzeit verfügbare Datensätze aus verschiedenen Bereichen wie Gebäude, Energie, Mobilität, Umwelt und sozioökonomische Statistiken. Diese Datensätze werden gesammelt, standardisiert und in interoperablen Formaten gespeichert, um die Wiederverwendbarkeit über Abteilungen und Planungsaufgaben hinweg zu gewährleisten.

- **Modelle und Analysen:** Rechenmodelle, die von statistischen Analysen bis hin zu dynamischen Simulationen reichen und die Daten verarbeiten und interpretieren. Im Energiebereich kann dies Modelle zum Wärmebedarf auf Gebäudeebene, Fernwärmesimulationen oder die Optimierung des Potenzials erneuerbarer Energien umfassen.

- **Schnittstellen und Visualisierung:** benutzerorientierte Tools, die es kommunalen Mitarbeitenden, Versorgungsunternehmen und Bürgerinnen und Bürgern ermöglichen, auf den digitalen Zwilling zuzugreifen, ihn zu interpretieren und mit ihm zu interagieren. Diese Angebote können in Form von GIS-Plattformen, Dashboards oder 3D-Modellen erfolgen, die die Beteiligung und Kommunikation erleichtern.

Zusammen ermöglichen diese Komponenten einem UDZ die Erfüllung mehrerer Funktionen, die für die kommunale Verwaltung von unmittelbarer Bedeutung sind:

- **Integration:** Verknüpfung fragmentierter Datensätze zu einem kohärenten System und Sicherstellung der Interoperabilität zwischen Fachbereichen, Versorgungsunternehmen und externen Anbietern.

- **Analyse und Simulation:** Kommunen können Szenarien wie energetische Sanierungen, den Ausbau von Fernwärmenetzen oder den Einsatz erneuerbarer Energien testen, bevor von ihnen oder anderen Stakeholdern Investitionsentscheidungen getroffen werden.

- **Überwachen und aktualisieren:** Durch die fortlaufende Integration neuer Daten bildet der UDZ stets den aktuellen Zustand der Stadt ab und unterstützt adaptive, iterativ angelegte Planungsprozesse.

- **Kommunikation und Partizipation:** Visualisierungswerkzeuge machen komplexe Szenarien auch für Nicht-Fachleute verständlich und fördern damit Transparenz sowie die aktive Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern in Planungsprozesse.

- **Entscheidungsunterstützung:** Durch die Verbindung von Datenintegration, Modellierung und Visualisierung können UDZ als Steuerungsinstrumente wirken, die so evidenzbasierte Entscheidungen und eine langfristig strategische Planung unterstützen.

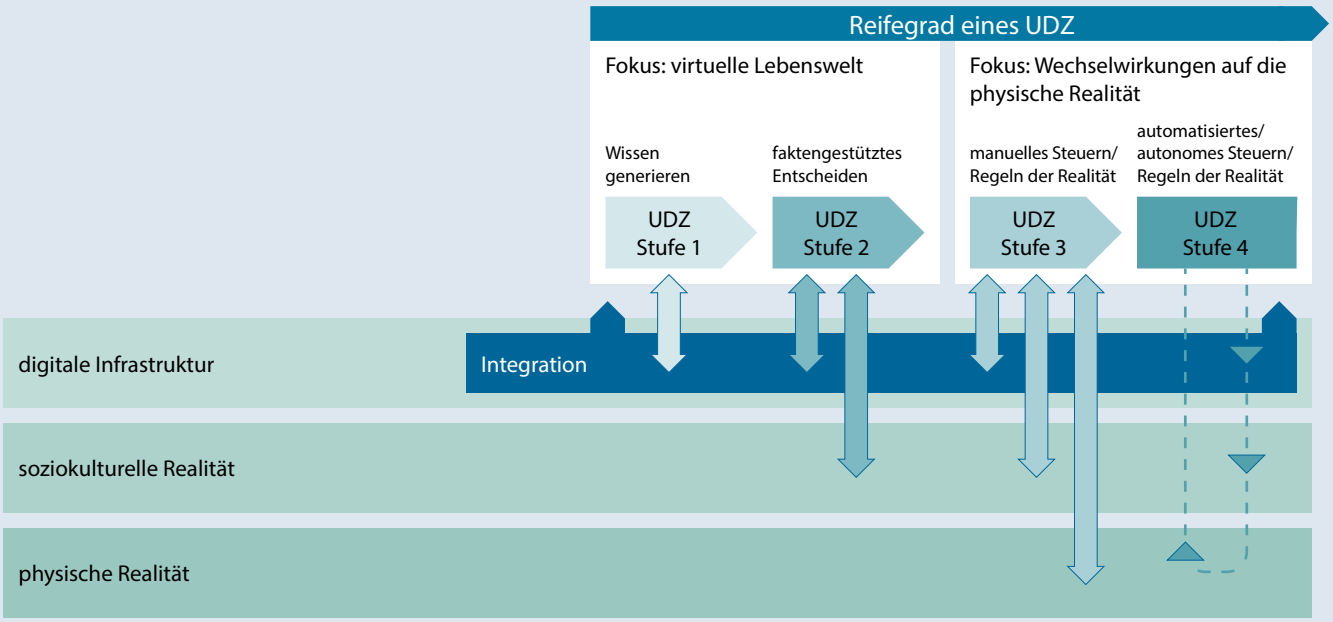
Reifegrade von UDZ

Die Systemlandschaft von UDZ in Deutschland ist derzeit ebenso vielfältig wie das Verständnis der Kommunen davon, was ein digitaler Zwilling eigentlich ist. In diesem Zusammenhang leistet die DIN SPEC 91607 einerseits einen Beitrag zu einer gemeinsamen Definition und Standardisierung technologischer Entwicklungen. Andererseits berücksichtigt sie die bestehende Heterogenität, indem sie die Entwicklung von UDZ anhand unterschiedlicher Reifegrade beschreibt, die widerspiegeln, wie umfassend die jeweiligen Fähigkeiten eines Zwillings genutzt werden. Diese Entwicklung reicht von einfachen digitalen Repräsentationen bis hin zu vollständig integrierten und adaptiven Systemen (vgl. DIN SPEC 91607).

Während die DIN SPEC 91607 einen standardisierten Rahmen zur Definition und Strukturierung von UDZ bereitstellt, unterscheiden sich in der Praxis das Verständnis und die Umsetzung von UDZ jedoch erheblich – sowohl zwischen Kommunen als auch zwischen Sektoren (vgl. Abbildung 3). Unterschiedliche Akteure interpretieren das Konzept jeweils nach ihren lokalen Prioritäten, verfügbaren Ressourcen und ihrem digitalen Reifegrad. Das Spektrum reicht dabei von grundlegenden GIS- oder (Energie-)Kataster-Anwendungen bis hin zu fortgeschrittenen Simulationsumgebungen oder Smart-City-Plattformen.

Selbst innerhalb des Bereichs der kommunalen Wärmeplanung variieren der Digitalisierungsgrad und die Umsetzungstiefe deutlich, beeinflusst durch Faktoren wie technische Infrastruktur, Datenmanagement oder organisatorische Kapazitäten. Obwohl klare wissenschaftliche Definitionen und technische Standards existieren, wird ihre Übersetzung in die Praxis stark durch den jeweiligen Kontext bestimmt. Die DIN SPEC 91607 fungiert daher als gemeinsame Referenz- und Orientierungshilfe, die es Kommunen und weiteren Akteuren ermöglicht, ihre eigenen Entwicklungen in ein gemeinsames konzeptionelles und technologisches Rahmenwerk einzuordnen und ihren Fortschritt vergleichbar zu bewerten.

Abbildung 3: Reifegradmodell von UDZ | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) nach DIN SPEC 91607



In der einfachsten Ausprägung stellen UDZ digitale Repräsentationen ausgewählter Aspekte der Stadt dar – etwa des Gebäudebestands oder von Infrastrukturnetzen. Mit zunehmendem Reifegrad werden diese Modelle um Visualisierungs- und Bewertungsfunktionen erweitert, die es Kommunen ermöglichen, Szenarien zu vergleichen, faktenbasierte Entscheidungen zu unterstützen und Handlungsoptionen gegenüber politischen Gremien oder der Öffentlichkeit zu kommunizieren.

Ein fortgeschrittener Entwicklungsstand ist erreicht, wenn UDZ Simulationen und strategische Planungen unterstützen – also digitale Szenarien physische Maßnahmen vorbereiten, die sich anschließend in der realen Welt umsetzen lassen. Im höchsten Reifegrad erlauben UDZ eine kontinuierliche und (teil-) automatisierte Interaktion zwischen digitaler und physischer Ebene der Stadt. In diesem Fall können Analysen aus der digitalen Umgebung unmittelbar Rückmeldungen oder Echtzeitanpassungen in kommunalen Systemen – etwa der Wärmeversorgung, Beleuchtung oder Energielenkung – auslösen.

Jede Kommune kann je nach Anwendungsfall und Prioritäten spezifische Funktionen, Module und unterstützende Technologien verwenden. Das Reifegradkonzept hilft dabei, den aktuellen Stand einer Kommune im Hinblick auf den Einsatz von UDZ zu bestimmen und eine mögliche Entwicklungsperspektive (sog. Roadmap) für die Weiterentwicklung zu formulieren. Auch wenn Reifegrade häufig als lineare Abfolgen dargestellt werden, zeigt die Praxis, dass Kommunen oft hybride Profile aufweisen, in denen Elemente unterschiedlicher Entwicklungsstufen kombiniert sind. Eine lineare Entwicklung ist daher nicht zwingend notwendig – vielmehr kann sie sich in unterschiedlichen Richtungen entfalten, abhängig von Kontext, Ressourcen und strategischen Zielen.

Bewertungsmodell für angewandte urbane digitale Zwillinge (AUDZ) in der Wärmeplanung

Um das konzeptionelle Reifegradmodell der DIN SPEC 91607 in ein praktisches und kontextsensitives Instrument zu übersetzen, wurde im Rahmen dieser Studie ein eigenes Bewertungsmodell für „angewandte urbane digitale Zwillinge“ (AUDZ) entwickelt.

Während die DIN SPEC 91607 die allgemeinen Entwicklungsstufen eines digitalen Zwillings beschreibt, passt das AUDZ-Schema diese Logik gezielt an die Anforderungen der kommunalen Wärmeplanung an. Es berücksichtigt, dass sich Kommunen stark in ihrer digitalen Leistungsfähigkeit, der Datenqualität und institutionellen Vorbereitung unterscheiden – und daher ein flexibles Bewertungsinstrument benötigen, das ihre bestehenden Ausgangsbedingungen reflektiert.

Das AUDZ-Schema wurde entwickelt, um Kommunen nicht nach Größe oder Ressourcenausstattung, sondern nach dem funktionalen Charakter ihrer digitalen Praxis zu bewerten – also danach, wie sie digitale Werkzeuge und Funktionen im Zusammenhang mit der kommunalen Wärmeplanung tatsächlich einsetzen. Das AUDZ-Rahmenmodell definiert vier funktionale Kategorien, die steigende Grade von Digitalisierung und analytischer Komplexität abbilden:

- **Visualisieren:** Fähigkeit eines UDZ, Daten mithilfe von Kartenanwendungen, Viewer-Plattformen oder Geoportalen darzustellen, um Transparenz und Kommunikation zu fördern.

- **Auswerten:** Fähigkeit, Daten zur Entscheidungsunterstützung zu verarbeiten und zu interpretieren, beispielsweise durch GIS-basierte Auswertungen oder Wärmenachfragemodelle.

- **Simulieren:** Einsatz dynamischer oder szenariobasierter Modellierungen zur Prüfung von Strategien, etwa für Gebäudesanierungen, Netzausbau oder Integration erneuerbarer Energien.

- **Adaptiv verwenden:** zukunftsorientierte Anwendungen, die Modelle und Echtzeitdaten miteinander verknüpfen, um kontinuierliches Lernen oder Optimierung zu ermöglichen, beispielsweise KI-gestützte Planung oder automatisierte Systemsteuerung.

Diese vier Kategorien vermitteln ein differenziertes Verständnis der Fähigkeiten von UDZ in der Wärmeplanung, indem sie zeigen, dass unter-

schiedliche Funktionen auf verschiedenen Reifegradstufen gleichzeitig bestehen können.

Das AUDZ-Bewertungsschema ergänzt somit das Reifegradmodell der DIN SPEC 91607 um eine praxisorientierte, sektorspezifische Rahmung. Es ermöglicht Kommunen, ihre aktuelle Position im Spektrum der Digitalisierung zu bestimmen und realistische Entwicklungspfade abzuleiten – sei es durch ein verbessertes Datenmanagement, die Einführung analytischer Werkzeuge oder den Aufbau integrierter Simulationsumgebungen.

Die detaillierte Methodik und die vollständige Klassifikation des AUDZ-Schemas sind im Anhang dieser Studie dargestellt.

Der Regensburger „Sanierungs-Zwilling" erfasst Gebäudedaten in einem 3D-Modell und wird zur Analyse energetischer Sanierungen verwendet. Das Tool ermöglicht Berechnungen des Energiebedarfs sowie die Simulation verschiedener Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich Energieeinsparung, Kostenreduktion und Treibhausgaseffekten | Quelle: Herbert Stolz, Stadt Regensburg



3 UDZ in der Wärmeplanung: Ein Blick in die Praxis

Im Folgenden wird anhand ausgewählter Beispiele exemplarisch aufgezeigt, wie digitale Zwillinge und vergleichbare digitale Werkzeuge in der kommunalen Wärmeplanung Anwendung finden und welche Muster sich dabei erkennen lassen. Ziel ist es, auf Basis konkreter Beobachtungen unterschiedliche Formen und Entwicklungsstufen digitaler Zwillinge zu erfassen und daraus übertragbare Erkenntnisse abzuleiten.

Zu diesem Zweck erfolgt in Kapitel 3.1 zunächst eine allgemeine Darstellung des Status quo der Anwendung digitaler Technologien in der Wärmeplanungspraxis einschließlich der beteiligten Akteure auf Basis einer Bestandsaufnahme kommunaler Wärmeplanungsaktivitäten. Kapitel 3.2 enthält die Ergebnisse einer Fallstudie, die drei ausgewählte Kommunen und einen Landkreis vergleichend analysiert. Das bereits vorgestellte AUDZ-Modell wird durch die empirischen Ergebnisse angereichert und in Kapitel 3.3 in ein Typenmodell zur Strukturierung von UDZ-Ansätzen in der Praxis überführt. Es unterscheidet vier funktionale Typen – von einfachen Repräsentations- und Visualisierungslösungen über Analyse- und Simulationsansätzen bis hin zu experimentell-integrativen Systemen – und zeigt, dass Ausprägung und Weiterentwicklung digitaler Zwillinge maßgeblich durch kommunale Ressourcen, Datenstrukturen und Governance-Rahmen bestimmt werden.

3.1 Status quo der Wärmeplanung: Tools und Akteure

Die folgende Auswertung basiert auf einer Datengrundlage von insgesamt 189 deutschen Kommunen, die zum Stichtag 20. Februar 2025 laut Datenbank der KWW einen Wärmeplan vorgelegt haben (158 Fälle) oder sich nachweislich in der Erstellung eines Wärmeplans befanden und dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit einen digitalen Zwilling oder vergleichbare Tools einsetzten (28 Fälle), sowie von drei internationalen Vergleichsfällen.

Von den 158 untersuchten Kommunen mit vorliegendem Wärmeplan haben 25 Kommunen in ihren veröffentlichten Unterlagen angegeben, bei der Erstellung einen UDZ eingesetzt zu haben. Bei sechs weiteren Kommunen kann aufgrund der Kombination der verwendeten Tools beziehungsweise der Beschreibung der Methodik angenommen werden, dass einem UDZ vergleichbare Tools beziehungsweise vergleichbare Toolsets angewendet werden. Daraus ergibt sich eine Gesamtheit von 31 von 189 im Frühjahr 2025 untersuchten deutschen Kommunen, bei denen angenommen werden kann, dass ein fortgeschrittener Digitalisierungsgrad in der Wärmeplanung vorliegt, was einem Anteil von 16,6 % entspricht. Allerdings gibt die Verwendung des Begriffs noch nicht hinreichend Aufschluss über die damit tatsächlich verbundenen technischen Eigenschaften. Zudem bleibt die Rollenverteilung unklar – also, ob die eingesetzten Tools allein vom beauftragten Planungsbüro, vom Energieversorger oder von der Kommune selbst betrieben beziehungsweise genutzt werden.

Auf Basis der Datengrundlage lässt sich ebenfalls ableiten, dass sich der Einsatz von digitalen Zwillingen oder vergleichbaren Tools in den betrachteten Fällen deutlich auf die Bestands- und Potenzialanalyse konzentriert. In vielen Fällen beschränkt sich die Nutzung sogar nur auf diese beiden Phasen. Selbst wenn sie in einer spezifischen Phase genutzt werden, ist eine Differenzierung erforderlich, für welche Teilaufgaben, in welchem Umfang und in welcher Tiefe die Tools jeweils genutzt wurden. An diesem Punkt waren erhebliche Unterschiede in den untersuchten Plänen erkennbar.

Für die anschließenden Phasen

1. der **Zielszenarioentwicklung** (Zielzustandsbeschreibung, automatisierte Ausweisung von Eignungsgebieten mittels interaktiver Anpassung von Daten, individuelle Parametrisierung von Technologieszenarien zukünftiger Heiztechnologien, Eignungsprüfung für Wärmenetze),

2. der **Umsetzungsstrategie** samt Detailplanung und Monitoring sowie

3. der **Evaluierung, Neubewertung und Fortschreibung** der kommunalen Wärmeplanung

gibt es in den untersuchten Fallbeispielen nur vereinzelte Anwendungsbeispiele beziehungsweise Hinweise.

Digitale Tools jenseits von UDZ

Auch ohne formal ausgewiesenen UDZ-Einsatz kommen im Wärmeplanungsprozess digitale Werkzeuge zum Einsatz. Die Auswertung der vorliegenden Wärmepläne zeigt eine Clusterung in vier Hauptgruppen:

- **GIS-basierte Systeme:** vor allem zur Visualisierung im Rahmen der Bestandsaufnahme
- **Geodatenquellen:** Kataster- und Eigentumsdaten, Schornsteinfegerdaten und so weiter als Basis für Bestandsanalysen
- **Automatisierungen:** unter anderem für automatisierte Gebäudezählungen oder algorithmische Potenzialanalysen
- **3D-Modelle und Simulationen:** bisher selten, vor allem für Potenzialsimulationen oder Szenarien einzelner Technologien

Damit bestätigt sich: Die Mehrheit der Kommunen arbeitet zum aktuellen Zeitpunkt eher mit **niedrigschwelligen Werkzeugen**, die eher punktuelle Analysen oder räumliche Darstellungenermöglichen. Umfassende Simulationsumgebungen oder kontinuierliche Monitoring-Systeme sind noch nicht im umfassenden Maße im Einsatz.

Tool/Funktion	Häufigkeit (n = 189)	typische Einsatzphase
automatisierte Gebäudeanzahlermittlung aus Karten	35	Bestandsanalyse
algorithmische Potenzialanalysen	35	Potenzialanalyse
Geoinformationssysteme	27	Datenaufbereitung, Darstellung
digitale Liegenschaftskataster/ALKIS	16	Bestandsanalyse
webbasierte Geoinformationssystemplattformen	14	Öffentlichkeitsarbeit
3D-Modelle (Geologie, Gebäude)	12	Potenzialanalyse
Monitoring-Tools (z. B. European Environment Agency, kommunale Energiemanagementsysteme)	9	Monitoring
Simulationssoftware (z. B. GEOHANDlight, flixOpt)	8	Zielszenarioentwicklung

Tabelle 1: Häufigkeit der in der Wärmeplanung eingesetzten digitalen Tools bei 189 untersuchten Wärmeplänen | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Phasen der Wärmeplanung	eingesetzte Technologien und Tools
1. Bestandsanalyse	Geoinformationssysteme (QGIS, Energieatlas), ALKIS, Schornsteinfegerdaten, automatisierte Gebäudezählung, Datenbanken, PostGIS
2. Potenzialanalyse	automatisierte Potenzialanalysen, parzellenbasierte Potenziale von Wärmepumpen oder Nahwärmenetzen, 3D-Modelle, digitale Oberflächenmodelle, Solarkataster, Wärmeatlanten
3. Zielszenarioentwicklung	Simulationstools (flixOpt, GEOHANDlight), digitaler Zwilling (DigiPAD), Technologie- und Gebäudedatenbanken, KI-basierte Simulationsmodelle
4. Umsetzungsstrategie	Treibhausgas-/Energiebilanzierung, szenariobasierte Planungsergebnisse
5. Umsetzung	Smart2Energy Web, QGIS Python-Plugins, Excel-Energiebilanz-Tools
6. Monitoring	European-Environment-Agency-Tool, kommunale Energiemanagementsysteme, Smart2Energy Web, Python-basierte Monitoringtools
Öffentlichkeitsarbeit	webbasierte Geoinformationssystem-Plattformen (Smart Geomatics), ODR GeoPortal, Visualisierungswerkzeuge/Dashboards

Tabelle 2: Übersicht der typischerweise in der kommunalen Wärmeplanung eingesetzten digitalen Tools | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Cluster	häufige Tools/Technologien	Einsatzzwecke
geoinformationssystem-basierte Systeme	QGIS, webbasiertes Geoinformationssystem, Energieatlas BW, Geoinformationssysteme allgemein, PostGIS	Bestandsaufnahme, räumliche Analyse, Visualisierung, Datenaufbereitung
Geodatenquellen	ALKIS, digitales Liegenschaftskataster, Schornsteinfegerdaten, Kehrbuch	Gebäudedaten, Eigentumsstruktur, Energieverbrauch, Gebäudetypen
Automatisierung	automatisierte Gebäudeberechnung, Potenzialanalyse, Datenexport	Effizienzsteigerung in Analyse und Auswertung, Reduktion ingenieurtechnischer (Einzel-) Berechnungen
3D-Modelle / Simulationen	3D-Modellierung, flurstückbasierte Potenzialberechnungen, KI-Integrationen	Simulation von Versorgungsszenarien und von Potenzialen erneuerbarer Energien, Monitoring, Indikatorik

Tabelle 3: Cluster der in der kommunalen Wärmeplanung eingesetzten digitalen Werkzeuge und ihre Einsatzzwecke | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Rolle externer Dienstleister in der Erstellung kommunaler Wärmepläne

Die Analyse verdeutlicht die herausragende Rolle spezialisierter externer Anbieter: **Nur bei drei der 31 Kommunen,** die nach eigenen Angaben eine Art von UDZ in ihrem Planungsprozess einsetzen, kann angenommen werden, dass dieser von der Kommune selbst verantwortet wird. Alle anderen Kommunen setzen auf **externe Lösungen.** Diese werden entweder von privaten Dienstleistern oder von kommunalen Unternehmen entwickelt und betrieben. Insgesamt lassen sich bei den 189 untersuchten Kommunen über 70 verschiedene an den Prozessen der kommunalen Wärmeplanung beteiligte Dienstleister identifizieren. Dabei unterscheidet sich ihr Angebotsspektrum deutlich, das vom Erstellen von Einzelgutachten, dem Durchführen von Analysen und Prognosen, der Bereitstellung von Software-as-a-Service-Leistungen wie Dashboards oder Simulationstools bis hin zur kompletten Umsetzung der Wärmeplanung reicht.

Bei Wärmeplänen, die von externen Dienstleistern unter expliziter Verwendung digitaler Zwillinge erstellt wurden, bleibt jedoch auf Basis der erhobenen Informationen unklar, in welchen Phasen diese für welchen Planungsschritt konkret eingesetzt wurden, oder welche Analyse- und Simulationsqualitäten tatsächlich erreicht werden können. Die entsprechenden Wärmepläne liefern hierzu keine ausreichende Detailtiefe hinsichtlich der Softwarebeschaffenheit oder des Datenmanagements.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass sich die Lösungen am Markt teilweise deutlich in ihren Fähigkeiten und Merkmalen unterscheiden. Nicht jedes als „digitaler Zwilling" bezeichnete Tool erfüllt die in der wissenschaftlichen und fachlichen Diskussion aufgeführten Kernmerkmale hinsichtlich „virtueller Repräsentation", „Auswertung", „Simulation" und „integrierten Managementfähigkeiten". Die meisten Lösungen am Markt lassen sich in den Bereich „einfache Repräsentation und Auswertung" einordnen, während umfassende Simulationen und Managementfähigkeiten zum aktuellen Zeitpunkt kaum erkennbar sind.

Ebenso ist unklar, ob die im Zwilling verarbeiteten Datensätze nach Erstellung eines Wärmeplans überhaupt in den Besitz der Kommune übergehen, und in wie weit die Kommune nach Abschluss der Wärmeplanung Zugriff auf das Tool hat.

Wenn deutsche Kommunen aktuell auf bereits existierende Zwillingslösungen zurückgreifen, dann werden diese primär von spezialisierten, privaten Dienstleistern angeboten und betrieben. Die damit verbundene Möglichkeit einer Abhängigkeit von extern verantworteten Lösungen wirft Fragen der kommunalen Steuerungshoheit und Nachhaltigkeit des Tooleinsatzes auf. Bisher deutet wenig darauf hin, dass Kommunen die Ownership über die verwendeten Daten und Systeme dauerhaft übernehmen.

Kurzzusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse zum Einsatz fortgeschrittener digitaler Tools in der Wärmeplanung:

- Es herrscht ein deutliches Übergewicht an spezialisierten Dienstleistern in der Umsetzung der Wärmeplanung: Kaum eine Kommune setzt ihre Wärmeplanung selbst um, nur in wenigen Fällen werden eigene digitale Lösungen eingesetzt.
- Einige Dienstleister sind kommunale Tochterunternehmen oder stadtwerkenahe Gesellschaften, agieren im Projektkontext jedoch wie externe Dienstleister.
- Unter den Dienstleistern setzen einige wenige nach eigenen Angaben digitale Zwillinge im Planungsprozess ein, der tatsächliche Leistungs- und Funktionsumfang lässt sich jedoch nicht bestimmen. Hinweise auf einen fortgeschrittenen, strategisch verankerten Einsatz von UDZ-Lösungen sind selten.
- Die Mehrheit der analysierten Projekte weist einen Einsatz dieser Tools in den Phasen Bestandsanalyse, Potenzialanalyse sowie Ziel- und Maßnahmenentwicklung aus.
- Der bisher eingeschränkte Einsatz in späteren Phasen (z. B. Szenarienbildung, Wirtschaftlichkeitsanalyse, Umsetzungsplanung oder Monitoring) deutet darauf hin, dass die eingesetzten Tools häufig nur grundlegende Datenverknüpfungen und -visualisierungen ermöglichen.
- Es werden vorwiegend Tools eingesetzt, die funktional eingeschränkt, aber niedrigschwellig verfügbar sind. Kommunen befinden sich aktuell häufig noch im Aufbau von Kompetenzen und greifen daher eher auf standardisierte, externe Tools zurück, die keine eigene spezialisierte Infrastruktur benötigen. Gleichzeitig stellt sich bei diesen Tools die Frage nach der langfristigen Verankerung in der kommunalen Struktur sowie nach der (Nach-)Nutzbarkeit von Daten und Berechnungsmodellen.

3.2 Vier Fallbeispiele aus der Praxis

Aufbauend auf der Breitenanalyse werden im Folgenden die UDZ-Einsatzformen der drei Städte München, Halle (Saale) und Zürich sowie des Landkreises Lörrach vertiefend betrachtet. Diese Fallbeispiele illustrieren exemplarisch die unterschiedlichen Einsatzformen von UDZ in der Wärmeplanung in der Praxis und zeigen die verschiedenen Varianten technischer Ausgestaltung, institutioneller Rahmenbedingungen sowie beteiligter Akteure und Kooperationsformen auf.

Bei der Auswahl der Fallbeispiele wurde darauf geachtet, diverse Ausgangslagen und Organisationsformen abzubilden – von kommunalintern entwickelten UDZ-ähnlichen Toolsets bis hin zu rein extern konzipiert und betriebenen Ansätzen. So wird sichtbar, wie unterschiedlich Kommunen digitale Werkzeuge in ihre Wärmeplanungsprozesse integrieren und welche Faktoren ihre Steuerungsfähigkeit prägen.

Die Fallbeispiele bilden zugleich die empirische Grundlage für das im anschließenden Kapitel 3.3 entwickelte UDZ-Typenmodell, das zentrale Funktions- und Organisationsmuster von UDZ in der Wärmeplanung systematisiert.

Ein Vergleich der Fallbeispiele ergibt, dass sich die untersuchten Kommunen erstens unterschiedlichen Funktionstypen zuordnen lassen. Zweitens lassen sie sich hinsichtlich ihres Ownership-Levels an Daten und Tools clustern. Ownership beschreibt in diesem Fall, ob die verarbeiteten Daten sowie die eingesetzten Tools tatsächlich in die kommunalen Prozesse integriert sind und ob zum Beispiel die Daten auch langfristig in den Besitz der Kommune übergehen. In den untersuchten Kommunen zeigt sich, dass das Ownership-Level stark mit der Art der eingesetzten digitalen Tools zusammenhängt. Externe, standardisierte Angebote von Dienstleistern werden potenziell nicht langfristig in kommunale Strukturen integriert, während kommunale Eige-

München

Frühzeitiger Start der Wärmeplanung mit klarer politischer Rückendeckung und starker interner Steuerung. Den Kern bildet eine leistungsfähige Geoinformationssystemplattform für Analysen und Datenintegration. Politische Unterstützung und Finanzierung schaffen Tempo, verlangen jedoch eine enge Koordination innerhalb der Verwaltung.

Ownership-Level:



Funktionstyp:
Analyse und Simulation

Landkreis Lörrach

35 Gemeinden bündeln ihre Wärmeplanung in einem gemeinsamen Kreisprojekt. Ein externer digitaler Zwilling integriert Daten und Analysen für den gesamten Landkreis. Die gemeinsame Organisation stärkt kleinere Kommunen, bringt aber Abhängigkeiten von Dienstleistern und die Notwendigkeit klarer Schnittstellen mit sich.

Ownership-Level:



Funktionstyp:
Visualisierung

Halle (Saale)

Ein externer digitaler Zwilling bildet die Basis für adressgenaue Analysen, Szenarien und Visualisierungen. Langfristiges Ziel ist die Planung über Fachgrenzen hinweg. Die hohe Datenhoheit durch Stadtwerke beschleunigt Prozesse, erfordert aber eine sorgfältige Balance zwischen ökonomischen Interessen und kommunalen Zielen.

Ownership-Level:



Funktionstyp:
Visualisierung und Integration

Zürich

Eine zentrale Geodatenplattform mit hoher Metadatenqualität und einem breiten abteilungsübergreifenden Zugriff bildet das Rückgrat der Energieplanung. Ein internes Team verantwortet Datenhaltung, Analysen und Modellierung und sichert so Kontinuität. Verbindliche Rückgaberegeln schützen die langfristige Nutzbarkeit.

Ownership-Level:



Funktionstyp:
Analyse und Simulation

Abbildung 4: Überblick über die Fallbeispiele | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

nentwicklungen ein höheres Maß an institutioneller Verankerung erkennen lassen.

Bezüglich der funktionalen Typen sind in allen Fällen Visualisierungs- und Analysefunktionen etabliert – etwa in Form kommunaler Geoportale, Energiekataster oder raumbezogener Modellierungen. Darüber hinaus zeigen einige Kommunen bereits simulative oder adaptive Ansätze, beispielsweise durch szenariobasierte Wärmenetzplanungen. Damit wird deutlich, dass die digitale Praxis der Wärmeplanung nicht linear, sondern modular und kontextabhängig verläuft: Einzelne Funktionsbereiche können gleichzeitig auf unterschiedlichen Reifeebenen existieren. Diese Heterogenität bestätigt die in Kapitel 2 beschriebene Beobachtung, dass kommunale Digitalisierungsprofile hybrid ausfallen und weniger einer stufenförmigen als einer anwendungsbezogenen Logik folgen.

München

In der Großstadt wurde der Wärmeplan unter Leitung des Referats für Klima- und Umweltschutz erstellt. Externe Studien flossen sowohl in der Vorbereitung als auch in der Umsetzung unterstützend ein. Seit Beginn des Wärmeplanungsprozesses wurde ein eigener Fachbereich mit heute 20 Mitarbeitenden aufgebaut und kontinuierlich in den Kompetenzaufbau investiert. Die Stadtwerke München sind zentraler Partner, ergänzt um Kooperationen mit Wissenschaftspartnern unter anderem für Simulationen.

digitale Infrastruktur und Tools

- verwaltungsweites Geoportal mit umfassenden Metadaten und Zugriffsoptionen
- Kartentool zur teilautomatischen Darstellung von Eingangsdaten, Eignungsgebieten und Nutzwertanalyse
- agentenbasierte Simulationen in Kooperation mit externem Dienstleister
- Verwendung von Python für Analyse und Bewertung
- umfassende digitale Beteiligungsangebote inklusive Informationen auf Quartiersebene
- Tool zur Energieberatung durch Externe in Entwicklung inklusive Steckbrieferstellung

Datenbasis

- Geoportal Stadt München
- gebäudescharfes Modell der Stadtwerke München
- regelmäßige Aktualisierung durch interne Kompetenzen und kommunale Datenhoheit gewährleistet

UDZ-Typ

- Toolkombination mit Eigenschaften eines analytischen Simulationszwillings (kein 3D oder Echtzeit)
- wird in der kommunalen Praxis nicht als UDZ benannt, um Verwechslung mit Smart-City-Projekten zu vermeiden
- Kombination aus internen GIS-Tools und externem Simulations-Know-how

Integration des UDZ/vergleichbarer Tools in Wärmeplanerstellung

Wärmeplanungsphase	Integration digitaler Tools
Vorbereitung	strategische, rechtliche und technische Analyse
Bestands- und Potenzialanalyse	Python-Tool, GIS-gestützt, intern durchgeführt
Zielszenarioentwicklung	eigene Modelle und externe Studien
Umsetzungsstrategie inklusive Maßnahmenplanung	Nutzwertverfahren und Kartenvisualisierung
Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung	Quartiersplattform Tools in Entwicklung für Energieberatung
Fortschreibung	intern geplant und technisch möglich

Tabelle 4: Steckbrief zum Fallbeispiel München | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Lessons Learnt

- eigenständige Dateninfrastruktur lohnt sich, wenn langfristige Fortschreibung und interne Steuerung erwünscht
- prozessbegleitende digitale Tools (zum Beispiel Bewertungs- und Analysemodelle) ermöglichen hohe Planungsqualität
- partizipative Instrumente stärken politische Legitimität der Planung
- UDZ braucht kein Label, wenn Funktionalität intern klar verstanden und genutzt wird
- Ansatz übertragbar auf kleinere Gemeinden, setzt jedoch Maßstab für bewährte Verfahren in der großstädtischen Planung

Landkreis Lörrach

Das durch Landesmittel finanzierte Pilotprojekt auf Kreisebene umfasst alle 35 Gemeinden (einschließlich Kleinstädte) und fokussiert auf die Unterstützung kleinerer Gemeinden. Die Koordination erfolgt durch einen Wärmewende-Steuerungskreis. Entwicklung und Einsatz eines digitalen Zwillings übernimmt ein externes Dienstleisterkonsortium mit Priorität auf vereinfachte Datenerhebung und -harmonisierung.

digitale Infrastruktur und Tools

- heterogene Ausgangslage im Landkreis: größere Städte mit aktiver Geoinformationssystem-Nutzung, viele kleinere Kommunen ohne entsprechende Kompetenzen
- digitaler Zwilling als extern lizenziertes und gehostetes Tool
- gestaffelte Zugänge und Nutzungsumfänge für verschiedene Nutzergruppen in Kommunen sowie Stadtwerken und Energieagentur
- Szenarioentwicklung primär durch analoge Stakeholder-Workshops
- ergänzendes Bürger-Geo-Portal unter anderem zur Darstellung von Eignungsgebieten auf Kartenbasis

Datenbasis

- Datenerhebung erfolgte durch das Konsortium
- Kommunen verfügen über kein eigenes Datenmodell, die Nutzung ist auf fertige Ergebnisse beschränkt
- nach Projektende Übergabe von Shapefiles, grundlegende Daten und Simulationen verbleiben bei Dienstleistern

UDZ-Typ

- Visualisierungszwilling: Nutzung mit Fokus auf Darstellung der Ergebnisse statt auf interaktiver Planung
- keine verwaltungsinternen Simulations- oder Aktualisierungskapazitäten

Integration des UDZ/vergleichbarer Tools in Wärmeplanerstellung

Wärmeplanungsphase	Integration digitaler Tools
Vorbereitung	über externe Organisation
Bestands- und Potenzialanalyse	extern erhoben
Zielszenarioentwicklung	statische Berichte und Viewer-Ausgaben
Umsetzungsstrategie inklusive Maßnahmenplanung	Viewer-Tool für die Kommunikation mit Kommunen und Bürgerinnen und Bürgern
Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung	Geo-Portal bietet Zugang; digitale Beteiligung ansonsten begrenzt
Fortschreibung	in Prüfung

Tabelle 5: Steckbrief zum Fallbeispiel Landkreis Lörrach | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Lessons Learnt

- mittels Koordination auf Landkreisebene Unterstützung für kleine Gemeinden bei der Wärmeplanung
- niedrigschwellige Lösungen, integriert in (Kreis-)Geoportale und begleitet durch Energieagentur und Klimaschutzmanagerinnen und -manager entwickeln Impact und schonen Ressourcen
- digitale Werkzeuge müssen tatsächlichen Nutzerbedarfen und -kapazitäten entsprechen
- Datenrechte, Exportmöglichkeiten, Formate, Zugänge und langfristige Kosten frühzeitig und eindeutig vertraglich regeln
- Komplexität der Werkzeuge muss auf Kommunen mit geringster Kapazität abgestimmt werden
- öffentlich zugängliche Geodaten fördern Transparenz und Akzeptanz.

Halle (Saale)

Die Wärmeplanung in Halle (Saale) wurde vollständig extern erstellt. Die Stadtwerke sind der zentrale Datengeber und verwalten technische Aspekte, die Kommune tritt vor allem koordinierend auf Ebene eines abteilungsübergreifenden Servicezentrums auf. Die langfristige organisatorische Anbindung wird aktuell geprüft. Ziel ist eine umfassende Abbildung und Verschränkung fachübergreifender Planungsprozesse.

digitale Infrastruktur und Tools

- Nutzung eines gemeinsamen GIS-Systems (2D-Fokus) zur Überlagerung von Daten für Analysen, Projektionen und Szenariotests
- fortgeschrittene Analysen und Simulationen möglich, ohne eigene Systeme aufbauen zu müssen
- perspektivisch Interesse am Ausbau mit KI-gestützten Planungsfunktionen zur Optimierung von Entwicklungsszenarien
- 3D-Visualisierung unterirdischer Infrastruktur geplant

Datenbasis

- Stadtwerke liefern Verbrauchs- und Netzdaten
- Integration in bestehenden UDZ „HAL-Plan“
- externe Auftragnehmer lieferten zusätzliche Analysen und Simulationen

UDZ-Typ

- analytischer Zwilling mit Fokus auf die Visualisierung von Endergebnissen zur Kommunikation mit diversen Stakeholdern
- angestrebt ist ein adaptiv-innovativer Zwilling zur Verschränkung fachübergreifender Planungsprozesse

Integration des UDZ/vergleichbarer Tools in Wärmeplanerstellung

Wärmeplanungsphase	Integration digitaler Tools
Vorbereitung	extern initiiert und geführt
Bestands- und Potenzialanalyse	Datenanalyse durch Dienstleister
Zielszenarioentwicklung	externe Modellierung; die Stadt überprüft die Ergebnisse
Umsetzungsstrategie inklusive Maßnahmenplanung	Metadatensystem ermöglicht detailliertes Verständnis der Herkunft der Datensätze
Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung	noch keine digitale Plattform
Fortschreibung	geplante Fünf-Jahres-Aktualisierungen und umfassende Integration verschiedener Planungsprozesse in HAL-Plan-Zwilling

Tabelle 6: Steckbrief zum Fallbeispiel Halle (Saale) | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Lessons Learnt

- starke Strukturen zwischen Stadt und Stadtwerken können die langfristige Nutzung, Weiterentwicklung und Verstetigung digitaler Wärmeplanungstools befördern
- UDZ-System entfaltet vor allem durch Ausbau bestehender Strukturen seine Wirkung
- 3D-Visualisierung zum Beispiel unterirdischer Infrastrukturen kann die integrierte Planung von Energie-, Mobilitäts- und grüner Infrastruktur nachhaltig verbessern und beschleunigen
- Datenhoheit und Schnittstellenverträge sind essenziell für nachhaltige Nutzbarkeit

Zürich

Zürich verfolgt eine intern getragene, stark datenbasierte Wärmeplanung, die auf kantonalen Vorgaben aufbaut. Mehrere Fachstellen (zum Beispiel Energieplanung, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Geoinformationssystem) sind beteiligt, die Koordination und Betreuung liegt bei einem Kernteam aus drei Personen. Simulationen werden größtenteils extern durchgeführt, aber mit klar definierter Datengrundlage aus der Verwaltung heraus. Ein interner Kompetenzaufbau zur Sicherstellung von Datenhoheit und Entwicklungsmöglichkeiten ist gewährleistet.

digitale Infrastruktur und Tools

- zentrale Plattform: Geo-Server mit gemeinsamem Metadatenkatalog für alle Abteilungen
- modularer Systemansatz: Planungsarbeit erfolgt größtenteils intern, mit gezielter externer Modellierung
- Datenverarbeitung mit FME, Python und Excel/CSV, je nach Datentyp und Anwendungsfall
- bisher keine 3D-Visualisierung, stattdessen systematische 2D-Datenpflege und -abfrage auf Adressniveau

Datenbasis

- starke und zentralisierte Geodatenplattform mit umfassender Metadatensystematik
- Datennutzungsvereinbarungen mit Verwendungszweck bei sensiblen Daten
- gezielte Ergänzungen durch externe Modellierungen, zum Beispiel für Gebäudeparksimulationen

Typ des urbanen digitalen Zwillings

- Tool-Kombination mit Eigenschaften eines analytischen Simulations-Zwillings (kein 3D oder Echtzeit)
- wird in der kommunalen Praxis nicht als UDZ benannt

Integration des urbanen digitalen Zwillings/vergleichbarer Tools in Wärmeplanerstellung

Wärmeplanungsphase	Integration digitaler Tools
Vorbereitung	Datenbereitstellung und Abgrenzung
Bestands- und Potenzialanalyse	Geoinformationssystemauswertungen intern
Zielszenarioentwicklung	Simulation mit externen Partnern
Umsetzungsstrategie inklusive Maßnahmenplanung	Ableitung von Netzgebieten
Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung	keine explizite digitale Beteiligung, öffentliche Datensätze werden über Open Government Data zugänglich gemacht
Fortschreibung	Simulationsmodelle werden über Aktualisierung der Datengrundlage sowie Modellrevision fortgeschrieben

Tabelle 7: Steckbrief zum Fallbeispiel Zürich | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Lessons Learnt

- leistungsstarke, metadatenreiche Geodatenplattform beschleunigt alle Phasen der Planung
- strategische Zielklarheit im Vordergrund – funktionaler Nutzen für Planung ist wichtiger als Etikettierung als digitaler Zwilling
- interne Modellierungsprozesse stärken Qualität und Kontrolle, insbesondere bei sensiblen Planungsdaten
- Datensouveränität bleibt durch klare Vereinbarungen zu Datenrückgabe und Nutzung bei der Stadt, auch bei externer Umsetzung

Zusammenfassende Erkenntnisse aus den Fallbeispielen

Aus den vier Fallbeispielen lassen sich eine Reihe gemeinsamer Muster wie Unterschiede ableiten, die über die Einzelkontexte hinausweisen. Die nachfolgenden Abschnitte ordnen diese Befunde entlang zentraler Themenfelder von Governance und Datenzugang bis hin zu Werkzeugnutzung und Zusammenarbeit ein und machen deutlich, welche organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen für die Nutzung digitaler Werkzeuge maßgeblich sind.

Kommunaler Kontext und Governance-Struktur: In allen vier Fällen prägt die kommunale Organisationsstruktur wesentlich die Herangehensweise an die Wärmeplanung. München und Zürich verfügen über integrierte, verwaltungsinterne Fachstrukturen, die strategisch verankert sind. In München steuert das Referat für Klima- und Umweltschutz mit einer Fachabteilung mit rund 20 Mitarbeitenden die Planung, in Zürich ein eigenes Team des Amts für Energie und Umwelt. Der Landkreis Lörrach und die Stadt Halle (Saale) hingegen agieren primär koordinierend, aber nicht führend. Sie stützen sich stark auf externe Dienstleister, während intern keine spezifische Wärmeplanungsfachstruktur besteht. Der Landkreis Lörrach fokussiert sich dabei auf die Koordination von 35 Gemeinden auf Kreisebene, Halle (Saale) beauftragte eine vollständig externe Erstellung und koordiniert diese über ein fachübergreifendes Servicezentrum und in enger Zusammenarbeit mit den Stadtwerken.

Status und Umfang der Wärmeplanung: Alle vier Kommunen befinden sich in einem fortgeschrittenen Stadium der Wärmeplanung: München und Zürich haben vollständige Pläne vorgelegt, die sowohl Maßnahmen als auch räumliche Steuerungselemente umfassen. Der Landkreis Lörrach hat im Rahmen eines Modellprojekts ebenfalls einen Wärmeplan erstellt und setzt diesen nun um, während Halle (Saale) sich nach externer Planausarbeitung in der Phase der Beteiligung und Umsetzungsvorbereitung befindet. Alle vier Kommunen haben für spezifische Fachgutachten externe Dienstleister beauftragt.

Digitale Infrastruktur und genutzte Werkzeuge: Ein zentrales Unterscheidungsmerkmal ist der Grad an interner digitaler Infrastruktur. Zürich und München verfügen über etablierte, institutionalisierte Systeme: München nutzt für die

Der Erfolg von UDZ in der kommunalen Wärmeplanung hängt von klaren Zielen, guter Governance, einer soliden Datenbasis und der funktionalen Einbettung der digitalen Werkzeuge in bestehende Verwaltungs- und Entscheidungsprozesse ab | Quelle: Olivier-Tuffé – stock.adobe.com



Wärmeplanung ein städtisches Geoinformationssystem (GeoInfoWeb) mit Oracle-Datenbank, ergänzt durch eigene Python-basierte Analysemodelle. Zürich setzt auf die ähnlich etablierte Geo-Softwareplattform FME und eine offene Dateninfrastruktur mit umfassendem Metadatenkatalog. In beiden Fällen ist die Geodatenbank tief in der gesamten Verwaltungsstruktur verankert und langjährig gewachsen. Der Landkreis Lörrach und Halle (Saale) verfügen über eine deutlich reduziertere digitale Infrastruktur. Hier kommen Tools zum Einsatz, die (noch) nicht in bestehende Systeme eingebettet sind.

Datengrundlage und -pflege: Zürich und München haben Zugriff auf hochqualitative, gebäudescharfe und regelmäßig gepflegte Daten, in München gespeist von den Stadtwerken sowie der verwaltungsinternen Datenbank, in Zürich über dezentral verantwortete Datenstellen mit zentralem Metadatenkatalog. Der Landkreis Lörrach und Halle (Saale) nutzen Daten, die durch externe Dienstleister erhoben und verarbeitet wurden. In beiden Fällen fehlen eine eigene Datenhaltung sowie Zugriffsmöglichkeiten für die spätere Fortschreibung. Hier bestehen Unklarheiten bezüglich Datenrechten, Rückführung und Nutzbarkeit über die Projektlaufzeit hinaus.

Einbindung digitaler Werkzeuge in die Wärmeplanungsphasen: München zeigt eine durchgängige Integration digitaler Tools in alle Phasen der Wärmeplanung: von Bedarfsanalysen über Szenarienentwicklung bis hin zur Beteiligung. Auch Zürich setzt digitale Methoden ein, allerdings modular und selektiv, zum Beispiel zur Szenariomodellierung oder Netzgebietsanalyse, allerdings ohne durchgängige Prozesslogik. Im Landkreis Lörrach und Halle (Saale) sind digitale Werkzeuge ausschließlich in der Analyse- oder Visualisierungsphase präsent. Sie wurden nicht als aktives Planungsinstrument verwendet, sondern primär zur Darstellung im Abschlussbericht und der Steuerung der Kommunikation mit beteiligten Stakeholdern sowie der vorbereitenden Energieberatung.

Organisationsform und Zusammenarbeit mit externen Partnern: Die kommunale Steuerung variiert stark. In München wurde frühzeitig ein internes Kompetenzzentrum aufgebaut, ergänzt durch methodische Expertise externer Forschungseinrichtungen. Zürich verzichtet weitgehend auf Dienstleister und lagert nur spezifische Simulationen aus. Halle (Saale) und der Landkreis Lörrach setzen auf vollständige Fremdvergabe, wobei in beiden Fällen keine langfristige organisatorische Einbindung der Planung in die Verwaltung stattfindet. Die Zusammenarbeit ist hier projektbasiert und nicht institutionell verankert.

Herausforderungen und Hemmnisse: Alle Kommunen berichten von organisatorischen Schnittstellenproblemen, insbesondere zwischen technischen Einheiten (Geoinformationssystem, Daten) und planerischen Fachabteilungen. Im Landkreis Lörrach und in Halle (Saale) kommen fehlende interne Kompetenzen sowie die Abhängigkeit von externen Dienstleistern hinzu. Datenschutz, Datenrechte und Schnittstellenmanagement wurden in Halle (Saale) als kritische Lücken benannt. Zürich und München weisen auf die Notwendigkeit klarer Begrifflichkeiten und Zielbilder hin.

Lessons Learnt: Die Erfahrungen aus den vier kommunalen Fallbeispielen zeigen, dass der Erfolg von UDZ in der kommunalen Wärmeplanung weniger von der technischen Etikettierung als vielmehr von klaren Zielen, guter Governance und einer soliden Datenbasis abhängt. Entscheidend ist eine funktionale Einbettung der digitalen Werkzeuge in bestehende Verwaltungs- und Entscheidungsprozesse. Eine leistungsfähige Geodateninfrastruktur und klare Regelungen zur Datensouveränität beschleunigen alle Phasen der Planung und sichern die nachhaltige Nutzbarkeit. Gleichzeitig zeigt sich aber auch: Digitale Tools müssen zu den tatsächlichen Bedarfen und Kapazitäten der Kommunen passen. Einfachheit und Anschlussfähigkeit sind wichtiger als maximale Komplexität. Interne Modellierungsprozesse und Kooperationen mit Stadtwerken können Qualität und Verstetigungsperspektiven verbessern, während partizipative und transparente Ansätze die politische Legitimität stärken. Schließlich bleibt die Skalierung auf kleinere Kommunen eine Herausforderung, doch interkommunale Lösungen

und niedrigschwellige Werkzeuge können hier wirksame Alternativen bieten.

3.3 UDZ-Typen in der Wärmeplanung

Die Betrachtung der Fallbeispiele hat gezeigt, dass Kommunen beim Einsatz digitaler Werkzeuge in der Wärmeplanung zwar unterschiedliche Wege gehen, sich aber auch wiederkehrende Muster in der Nutzung von Daten und Tools im Wärmeplanungsprozess identifizieren lassen. Zur Systematisierung dieser Beobachtungen wurde das in Kapitel 2 entwickelte AUDZ-Schema als funktionaler Orientierungsrahmen herangezogen und auf die vier Fallstudien angewendet. Dabei wurde deutlich, dass sich der Einsatz von UDZ und ähnlichen Tools nicht allein funktional beschreiben lässt, sondern maßgeblich durch strukturelle und organisatorische Rahmenbedingungen geprägt wird. Daher wurde das AUDZ-Schema auf Basis der empirischen Erkenntnisse weiterqualifiziert und zu einem praxisorientierten UDZ-Typenmodell weiterentwickelt.

Das Modell identifiziert vier wesentliche Typen von UDZ in der Wärmeplanung. Beschreiben lassen sich diese Typen entlang fünf zentraler Kategorien, die verdeutlichen, dass der Einsatz digitaler Tools in der Wärmeplanung nicht nur durch technische Fragestellungen geprägt ist, sondern ebenso durch organisatorische, institutionelle und personelle Rahmenbedingen: Neben der **Datenverfügbarkeit** und dem **Funktionsumfang der Tools** gilt es zu berücksichtigen, wie tief diese in den Wärmeplanungsprozess eingebettet sind **(Integration),** wie die Verantwortung für ihre Nutzung verteilt ist **(Governance)** und wie groß der Bedarf an personellen Wissensressourcen jeweils ist **(Kompetenzen).**

Das Modell liefert einen Betrachtungsrahmen, um die Vielfalt der kommunalen Ansätze zu erfassen und mögliche Entwicklungspfade sichtbar zu machen. So wird das Zusammenspiel verschiedener struktureller Voraussetzungen deutlich, die für den zielgerichteten Einsatz von UDZ in der Wärmeplanung vorherrschen, sich aber je nach Startvoraussetzungen und Zielsetzungen der Kommune deutlich voneinander unterscheiden können.

Die vier identifizierten Typen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Typ „Visualisierung“:** Der Schwerpunkt liegt darauf, Ergebnisse sicht- und kommunizierbar zu machen, häufig mithilfe externer Viewer-Tools, Dashboards oder Geoportalen. Relevante Daten sind verfügbar aber in ihrem Detailierungsgrad und in Bezug auf die Eigentumsverhältnisse begrenzt. Primär eingesetzt zur Kommunikation und Koordination in späteren Phasen der Wärmeplanung.

Verständnis und Nutzung des Begriffs „urbaner digitaler Zwilling“

Alle vier Kommunen interpretieren den Begriff UDZ für sich anders. In München wird er sogar bewusst vermieden, um konzeptionelle Unklarheiten beziehungsweise mögliche Interessenkonflikte verwaltungsintern zum Beispiel mit dem Smart-City-Team zu vermeiden. Auch die Stadt Zürich versteht ihr Toolset nicht dezidiert als UDZ. Beide Städte verfügen allerdings über funktionale Äquivalente zu einem datenbasierten, analytischen, planungsbegleitenden UDZ recht fortgeschrittener Ausbaustufe. Lörrach und Halle (Saale) hingegen verfügen über Tools, die einem visualisierenden, nicht planungsleitenden UDZ-Typ entsprechen, aber ohne eigene Steuerungsfunktion. Beide Kommunen haben sich in der Beauftragung der externen Dienstleister explizit auf den Begriff des „digitalen Zwillings“ bezogen, folgen dabei jedoch keiner einheitlichen Definition.

- **Typ „Analyse“:** Dieser Typ baut auf einer elaborierteren Datenbasis auf (zum Beispiel auf Geodatenplattformen oder gebäudescharfen Informationen) und ermöglicht es Kommunen, Bestandsaufnahmen, Quartiersumgriffe oder Potenziale eigenständig zu analysieren. Das Tool unterstützt verbindliche Planungen, die Szenariomodellierung bleibt jedoch begrenzt.

- **Typ „Simulation“:** Solch ein Tool geht über die Analyse hinaus und beinhaltet unter anderem Szenariomodellierungen und agentenbasierte Ansätze. Kommunen nutzen Simulationen aktiv für strategische Entscheidungen und nicht mehr nur für die Analyse. Die Tools sind über den Großteil der kommunalen Wärmeplanungsphasen verteilt im Einsatz (Vorbereitung, Potenzialanalyse, Szenarioentwicklung). Eine enge Zusammenarbeit zwischen Stadt und Stadtwerken oder anderen externen Dienstleistern ist charakteristisch.

- **Typ „Innovative Integration“:** Dieser Typ stellt die fortschrittlichste Nutzung digitaler Tools in der Wärmeplanung dar und vereint unter anderem UDZ, KI-Integrationen und 3D-Visualisierungen. Er unterstützt eine adaptive, kontinuierliche Aktualisierung und Innovationspotenziale in allen Phasen der Wärmeplanung sowie eine Verknüpfung und Koordination von anderen raum- und infrastrukturbezogenen Planungsprozessen.

Kategorie	Typ „Visualisierung“	Typ „Analyse“	Typ „Simulation“	Typ „Innovative Integration“
Datenverfügbarkeit	**niedrig** intern und extern gesammelte Basisdaten (Kataster-, Kehrbuch-, Verbrauchs-, Gebäudedaten, …)	**mittel bis hoch** metadatenreiche Geodatenplattformen; gebäudebezogene Informationen; regelmäßige Aktualisierungen	**hoch** detaillierte, standardisierte Datensätze mit Gebäude-, Verbrauchs-, Infrastrukturmodellen; konsistente ID-Verknüpfung	**sehr hoch** experimentelle Daten; Einsatz von KI-Piloten, 3D-Visualisierungen, hohe Aktualisierungsfrequenz
Funktionsumfang	**niedrig** statische oder einfache interaktive Kartendarstellungen, zum Beispiel Viewer-Tools, Geoportale zur Vermittlung von Ergebnissen und Planungen	**niedrig bis mittel** GIS-Integration; gebäude- oder quartierscharfe Modellierung; teilautomatische Erstellung von Quartierumgriffen sowie Gebäude- und Quartiersteckbriefen	**mittel bis hoch** Szenariomodellierung, zum Beispiel von Wärmepumpen, Blockheizkraftwerken, Solarthermieanlagen; Technologie-Mix-Simulationen; agentenbasierte Modellierung	**hoch** KI-Optimierungen; Aufbau integrierter UDZ zur interoperablen Multi-Sektor-Kopplung; multikriterielle Optimierung (Klima, Versorgung, Kosten)
Integration in Wärmeplanerstellung	**niedrig** Fokus auf Umsetzungsphase und Kommunikation	**mittel** integriert in Vorbereitung, Bestandsaufnahme und Potenzialanalyse	**hoch** integriert unter anderem in Vorbereitung, Potenzialanalyse, Zielszenarioentwicklung	**sehr hoch** deckt alle Phasen ab, einschließlich Monitoring und adaptiver Aktualisierung
Governance	**niedrig** technische Umsetzung durch externe Dienstleister; limitierter Einfluss auf Datenverarbeitung und Algorithmen	**niedrig bis mittel** Koordination durch Kommune oder Stadtwerke; Kooperation mit externen Auftragnehmern	**mittel bis hoch** Kooperation von Kommune und Stadtwerken; Umsetzung inhouse ergänzt durch externe Spezialisten für spezifische Einzelleistungen	**hoch** interdisziplinäre Kooperation aus fachübergreifenden Verwaltungseinheiten, Stadtwerken, Forschung und spezialisierten Dienstleistern
Kompetenzen (Personal und Autarkie)	**niedrig** Abhängigkeit von externen Dienstleistern, kein eigenes Personal	**mittel** kleine, aber qualifizierte interne Teams	**hoch** dedizierte Teams mit Bandbreite an spezifischen Kompetenzen	**sehr hoch** innovationsförderndes Umfeld mit Möglichkeiten zu experimenteller Entwicklung
Fallbeispiel	Landkreis Lörrach (aktuell); Halle (Saale) (anteilig)	Zürich (aktuell); München (Frühphase)	München (aktuell); Zürich (anteilig)	Halle (Saale) (Zielstellung); München (Zielstellung)

Tabelle 8: Typen von UDZ in der Wärmeplanung | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Dynamische Landkarte von Möglichkeiten: keine Stufen, sondern Möglichkeitsräume

Sowohl das AUDZ-System als auch das Typen-Modell machen deutlich, dass sich die Nutzung digitaler Zwillinge und verwandter Werkzeuge in der kommunalen Wärmeplanung nicht als linearer Entwicklungsprozess verstehen lässt. Die Typen bilden keine Stufen einer Leiter, die zwingend nacheinander erklommen werden müssen. Vielmehr können Merkmale verschiedener Typen parallel kombiniert und unterschiedliche Kategorien (Daten, Tools, Integration, Governance, Kapazitäten) unterschiedlich weit entwickelt sein.

Das zeigen auch die Befunde aus den untersuchten Fallstudien. So veranschaulicht der Landkreis **Lörrach** die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung eines digitalen Zwillings zu Zwecken der Visualisierung: Dort wird die Planung zentral über den Kreis organisiert, die einzelnen Gemeinden erhalten digitale Kartendaten zur Integration in ihre Geoinformationssysteme (sogenannte Shapefiles) zur Kommunikation und Orientierung. Kleinere Gemeinden werden so in der Planung entlastet. Gleichzeitig liegt die eigentliche Bearbeitungskompetenz bei externen Dienstleistern, da eigenständige Analysen oder Simulationen aus verschiedenen Gründen nicht umgesetzt werden können. Ähnliche Muster finden sich in **Halle (Saale),** wo die Wärmeplanung vollständig extern erstellt wird, Stadtwerke Daten beisteuern und die Kommune vor allem koordinierend wirkt.

In **München** zeigt sich ein anderes Bild: Hier besteht eine eigenständige Dateninfrastruktur, Stadtwerke und Verwaltung tragen maßgeblich zur Aktualisierung und Nutzung bei, Simulationen werden mit internen wie externen Partnern durchgeführt. Die Stadt bewegt sich damit im Feld zwischen einem analytischen und simulationsorientierten Zwilling, wobei Governance und Kapazitäten durch den Aufbau eines eigenen Fachbereichs mit über 20 Mitarbeitenden besonders stark ausgeprägt sind. **Zürich** liegt in einem ähnlichen Bereich: Die Stadt betreibt eine leistungsstarke Geodatenplattform, führt Analysen weitgehend intern durch und greift für spezifische Simulationen gezielt auf externe Expertise zurück. Beide Fälle machen deutlich, dass ein hohes Maß an Datenverfügbarkeit und Eigenständigkeit in der Analyse nicht automatisch bedeutet, dass alle Dimensionen des Modells gleichermaßen hoch entwickelt sein müssen.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich mehrere Schlüsse ziehen:

- **Mehrdimensionalität:** Jede Kategorie (Daten, Tools, Integration, Governance, Kapazitäten) kann sich unterschiedlich schnell (weiter-)entwickeln.
- **Kombination statt Linearität:** Die Typen können kombiniert auftreten, eine Kommune kann zugleich Visualisierungs- und Analysefunktionen nutzen, ohne dass dies widersprüchlich wäre.
- **Governance und Kapazitäten als zentrale Stellgrößen:** Während technische Funktionen vergleichsweise schnell durch externe Expertise hinzugekauft werden können, erfordern der Aufbau und die Verstetigung von Datenhoheit, personellen Ressourcen und Kooperationsstrukturen deutlich mehr Zeit und eine politisch-organisatorische Verankerung.
- **Entwicklungslogiken sind offen:** Kommunen können einzelne Kategorien gezielt ausbauen, etwa Governance durch Partnerschaften stärken oder die Integration durch adaptive Fortschreibung erhöhen, ohne vorher alle anderen Dimensionen auf ein höheres Niveau gebracht haben zu müssen.

Damit liefert das UDZ-Typenmodell eine Orientierung für die Praxis, die weniger als Fahrplan, sondern vielmehr als Landkarte zu verstehen ist: Kommunen können ihre aktuelle Position bestimmen, Stärken und Schwächen in den einzelnen Dimensionen erkennen und auf dieser Grundlage entscheiden, welche Entwicklungsschritte für sie sinnvoll und machbar sind.

4 Potenziale von UDZ in der Wärmeplanung

Auch wenn UDZ derzeit eher nur punktuell in der Wärmeplanung eingesetzt werden, lässt sich aus den Ergebnissen dieser Studie ein Zukunftsbild entwickeln, das zeigt, welche Potenziale UDZ künftig für eine zunehmend datenbasierte und integrierte Wärmeplanung erschließen können. Grundlage dafür sind zum einen empirische Ergebnisse aus der Untersuchung der Fallbeispiele, sowie der Workshop mit Expertinnen und Experten, in dem mögliche Weiterentwicklungen und zukünftige Anwendungsperspektiven diskutiert wurden. Potenziale werden in diesem Zusammenhang verstanden als **die Gesamtheit der funktionalen, prozessualen und strategischen Mehrwerte**, die durch den Einsatz dynamischer digitaler Abbilder urbaner Strukturen und Prozesse in der Erstellung und Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung erschlossen werden können.

Insgesamt lassen sich die folgenden sechs zentralen Potenziale von UDZ in der kommunalen Wärmeplanung ableiten:

- Erhöhung der Datennutzbarkeit
- Automatisierung von Vorgängen
- Verbesserung von Entscheidungsgrundlagen
- Schließen der Lücke zwischen Strategie und Umsetzung
- Möglichkeit integrierter Planung und Entwicklung
- Steigerung von Transparenz, Zugänglichkeit und Beteiligung

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die heutigen Anwendungsmöglichkeiten sowie die potenziellen zukünftigen Anwendungen von UDZ dargestellt. Ausgewählte Aspekte werden erläutert und hinsichtlich ihrer Vorteile beziehungsweise ihres Mehrwerts eingeordnet. Wo möglich, wird herausgearbeitet, in welcher Phase der Wärmeplanung (vgl. Kapitel 2.1) welches Potenzial von UDZ zum Tragen kommt. So entsteht ein differenziertes Bild der Anwendungsmöglichkeiten und des konkreten Nutzens von UDZ. Teilweise entfalten sich die Potenziale auch phasenübergreifend.

Use Cases aus den untersuchten Fallbeispielen und Ergebnisse des Workshops mit Expertinnen und Experten illustrieren konkrete Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis. Die Potenziale der UDZ werden an dieser Stelle entsprechend ihrer (theoretischen) Möglichkeitsräume bewusst weit gefasst. Ziel des Kapitels ist damit nicht allein die Sammlung mittelfristig erwartbarer Entwicklungen, sondern auch die Darstellung dessen, was zukünftig möglich ist. Eine Reflexion der Einsatzbedingungen und Voraussetzungen in Kommunen inklusive der Ableitung von Handlungsmöglichkeiten erfolgt in Kapitel 5.

Erhöhung der Datennutzbarkeit	Verbesserung von Entscheidungsgrundlagen	Möglichkeit integrierter Planung und Entwicklung
Daten aus Fachämtern und externen Quellen zusammenführen, strukturieren und fortschreibungsfähig machen	energetische Modellierung und Simulation, Szenarienvergleiche und Echtzeitmonitoring ermöglichen präzisere Planung	Wärmeplanung mit Strom-, Mobilitäts- und Infrastrukturplanung verknüpfen
Automatisierung von Vorgängen	**Schließen der Lücke zwischen Strategie und Umsetzung**	**Steigerung von Transparenz, Zugänglichkeit und Beteiligung**
Datenerhebung und -verarbeitung sowie Analysen und Aktualisierungen automatisieren, um Prozesse zu beschleunigen	Maßnahmen räumlich konkretisieren, multikriteriell priorisieren und mit Flächenverfügbarkeit abgleichen	Daten und Szenarien für Politik, Fachakteure und Öffentlichkeit visualisieren, Partizipation erleichtern

Tabelle 9: Potenziale von UDZ in der Wärmeplanung | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

4.1 Erhöhung der Datennutzbarkeit

Daten sind Dreh- und Angelpunkt – das gilt für den Betrieb und die Nutzung eines UDZ genauso wie für die Durchführung der kommunalen Wärmeplanung. Entscheidende Unterschiede sind jedoch folgende: Für die Wärmeplanung werden vorwiegend verteilte Daten zusammengeführt, teilweise auch erstmalig erhoben und schließlich verarbeitet, um verschiedene Ergebnisse zu erzielen (z. B. die Analyse des Bestands oder die Festlegung des Zielszenarios im Wärmeplan selbst, später dann das datenbasierte Monitoring zu Zwecken der Steuerung und Evaluation). Im Idealfall liegen die relevanten Daten digital und in maschinenlesbarer Form vor, sodass die Erstellung des Wärmeplans mithilfe digitaler Tools erfolgen kann. Dennoch werden all diese Prozesse weitestgehend manuell und singulär durchgeführt – auch bei der späteren Fortschreibung.

Im Gegensatz dazu ist für einen UDZ „die Verknüpfung der unterschiedlichen Modelle zur integrierten Abbildung der Realität“ (DIN SPEC 91607: 24) charakteristisch. Zu diesem Zweck werden Daten „über die Zeit systematisch aktualisiert und fortgeschrieben“ (ebd.). Die grundlegende Funktion eines UDZ besteht also darin, digitale Daten aus verschiedenen Quellen zu integrieren, um damit die städtische Realität abzubilden, Analysen und Simulationen zu ermöglichen und schließlich auf die Realität zurückzuwirken. Eventuelle Datenlücken können durch Interpolation mit Hilfe eines UDZ geschlossen werden – sofern eine sorgfältige Datenprüfung erfolgt.

Daten zusammenführen und zielgerichtet nutzbar machen

Das wesentliche Potenzial eines UDZ im Zusammenhang mit der Wärmeplanung liegt dementsprechend in der Zusammenführung von Daten aus verschiedenen Quellen. Dies bezieht sich nicht nur auf verschiedene Fachabteilugen der Kommunen, sondern auch auf die Daten, die von unterschiedlichen Stakeholdern außerhalb der Verwaltung bereitgestellt werden müssen. Durch diese Zusammenführung der Daten erhöht sich deren Nutzbarkeit. Beispielsweise lassen sich Energie- oder Infrastrukturdaten in einen vorhandenen Geobasiszwilling einbetten. Durch ihre räumliche Darstellung im Zusammenhang mit einem zwei- oder dreidimensionalen Stadtmodell können komplexe Zusammenhänge visualisiert und besser verstanden werden. Darüber hinaus ermöglicht ein UDZ die Verschneidung verschiedener Daten, was umfassende Analysen ermöglicht und die Interpretationsgrundlage verbessert.

Dies setzt jedoch die Verfügbarkeit dieser Daten und deren zweckorientierte Aufarbeitung voraus. In der Regel wird dies dadurch sichergestellt, dass der UDZ an verschiedene Datenquellen wie eine urbane Datenplattform (UDP) beziehungsweise eine offene urbane Plattform (OUP) oder direkt an Fachanwendungen angebunden ist. Diese wiederum werden von verschiedenen kommunalen Fachabteilungen gespeist. Zudem stellt die Einbindung externer Stakeholder über föderierte Systeme wie Datenräume einen Schlüssel zur zukünftigen Entwicklung von digitalen Zwillingen dar. Der Zwilling selbst kann zudem über einen eigenen Speicher verfügen, um Daten eigenständig vorzuhalten (vgl. DIN SPEC 91607: 49 f.).

Ein grundlegender Vorteil eines UDZ, der in eine solche Dateninfrastruktur eingebunden ist, besteht in einem optimalen Daten- und Informationsaustausch. Dadurch sind Daten kurzfristig verfügbar und im Grunde für sämtliche Phasen des Wärmeplanungsprozesses nutzbar. Besondere Vorteile liegen in der Bestands- und Potenzialanalyse sowie beim Monitoring. Zudem verbessert die Visualisierung von Daten zum Beispiel in ihrem räumlichen Kontext nicht nur die Qualität der Planung selbst, sondern auch die Öffentlichkeitsbeteiligung. Im Ergebnis stehen die Steigerung von Effizienz und die Beschleunigung des Prozesses.

Daten digital aufbereiten und verfügbar machen

Mit dem Aufbau eines digitalen Zwillings geht ein wichtiger „Nebeneffekt“ einher: Die digitale

Zürich – städtisches Geodaten- und Metadatenportal
Der Geodaten-Server der Stadt Zürich ist eine stadtweite Plattform für räumlich referenzierte Daten. Alle Abteilungen innerhalb der Zürcher Verwaltung können mit unterschiedlichen Zugangsrechten auf die Daten zugreifen. Die Daten stehen in verschiedenen Formaten zur Verfügung und können so leicht genutzt werden. Der Server verfügt über interaktive Karten, Metadaten, Suchfunktionen und Integrationsmöglichkeiten weiterer Datensätze. Viele Daten stehen auch externen Nutzerinnen und Nutzern in verschiedenen Formaten zur Verfügung. Der städtische Geo-Server ist an Open-Government-Data-Portale angebunden. Relevante Datensätze aus verschiedenen Fachabteilungen, wie der Energieplanung, können auf diesem Weg problemlos öffentlich bereitgestellt werden.

Eine Besonderheit ist der Geodatenkatalog, das Metadatensystem, das Hintergrundinformationen wie Nachführungsstand, detaillierte Datenelement- und Attributsbeschreibungen bereitstellt und die Daten thematisch und nach Dienstabteilung gliedert. Die Daten können über dieses Tool direkt in den Geoinformationssystem-Viewer eingebunden werden.

Durch die Integration der Datensätze und ihrer genauen Hintergründe in ein öffentlich zugängliches Portal erhöht der seit circa 15 Jahren bestehende Server die Datennutzbarkeit für alle Beteiligten enorm. Als Datensammelstelle ermöglicht er einen zentralisierten Austausch und effiziente Arbeitsabläufe. Das gewissermaßen lebendige Werkzeug sichert die Aktualität und Echtheit der Daten und ermöglicht ihre nachhaltige Nutzbarkeit.

Aufbereitung von Daten in einem Geoinformationssystem oder einem Geobasiszwilling ermöglicht es, diese Daten in einer strukturierten und zugänglichen Form zu speichern. Dies verbessert den Daten- und Informationsaustausch erheblich. Die Abschichtung der Zugriffs- und Bearbeitungsrechte ist für interne beziehungsweise externe Nutzerinnen und Nutzer dabei ohne weiteres möglich. Für den **Landkreis Lörrach** war die Verfügbarkeit von digitalen Daten für die Wärmeplanung auch in kleineren kreisangehörigen Kommunen eines der zentralen Ziele beim Aufbau eines Zwillings. Die Stadt **Halle (Saale)** plant im Rahmen des sogenannten HAL-Plans Schnittstellen zu erzeugen, um Mitarbeitenden aus unterschiedlichen Fachbereichen Daten ihrer Fachanwendungen nutzbar zu machen. Im Zusammenhang mit der Wärmeplanung soll dies einerseits die Grundlage der Bestandsanalyse verbessern und andererseits die Erstellung von CO_2-Bilanzen ermöglichen.

Durch die Integration mit anderen Datenquellen und der Möglichkeit, diese Daten etwa in einem 3D-Modell darzustellen, können komplexe Zusammenhänge visualisiert und somit besser verstanden werden. Dies ermöglicht auch die Verschneidung von Daten, was zu deutlich erweiterten Möglichkeiten für Analyse und Interpretation der Daten im Rahmen der Wärmeplanung führt..

4.2 Automatisierung von Vorgängen

Eng verbunden mit dem UDZ ist die Automatisierung in verschiedenen Aufgabengebieten der kommunalen Wärmeplanung. Dabei kommen verschiedene Fähigkeiten des Systems zum Tragen. Ist ein UDZ in die Dateninfrastruktur eingebunden, kann zum Beispiel ein automatisierter Datenaustausch stattfinden. Durch die Automatisierung von Analysen, Simulationen und Monitoring lässt sich Wissen generieren. Zudem kann die automatisierte Anbindung dezentral vorliegender Daten (z. B. von Schornsteinfegerinnen und Schornsteinfegern, Industriebetrieben) perspektivisch den Zeit- und Ressourcenaufwand erheblich reduzieren.

Die zentralen Vorteile der Automatisierung bestehen in der Effizienzsteigerung und der Beschleunigung von Prozessen, insbesondere bei der Bestands- und Potenzialanalyse sowie beim Monitoring. Anstatt komplexe Berechnungen wiederholt händisch vornehmen zu müssen, sobald eine neue Datengrundlage vorliegt, ermöglicht ein UDZ algorithmenbasierte Analysen von automatisiert angebundenen Datenquellen.

Daten automatisiert erheben und bereitstellen

Die Automatisierung beziehungsweise Teilautomatisierung der Datenerhebung für die kommunale Wärmeplanung (z. B. mittels einer digitalen Eingabemaske) stellt ein erhebliches Potenzial zur Beschleunigung und Vereinfachung dar, insbesondere in der Phase der Bestandsanalyse. Die untersuchten Praxiskommunen haben solche Versuche bereits in Ansätzen unternommen.

In **Halle (Saale)** werden beispielsweise Schnittstellen gerade so aufgebaut, dass die Dateneigner (z. B. Energieversorger) ihre Daten für die Wärmeplanung direkt bereitstellen können. Um die Belastbarkeit der Daten abzusichern, werden sie auf Parameter wie „Relevanz", „tatsächliche Datenquelle" und „Datenquelle" hin geprüft. Die Fallbeispiele zeigen, dass in der zügigen und umfänglichen Bereitstellung sowie gegebenenfalls auch teilautomatisierten Eingabe von Daten in ein gemeinsames Datenmodell ein Vorteil kommunaler Energieversorger (Stadtwerke) liegt.

Komplexe Daten automatisiert verarbeiten

Einer der wesentlichen Vorteile eines UDZ besteht darin, dynamische Daten verarbeiten zu können. So ist unter anderem die Übermittlung von Energieverbräuchen und -erzeugungsdaten sowie deren Verarbeitung in Echtzeit möglich. Auf diese Weise kann ein UDZ fortlaufend und in Echtzeit mehr oder weniger detaillierte Analysen vornehmen und dadurch Wissen generieren. Für Versorger ist eine solche Funktion zur Steuerung ihrer Versorgungsnetze interessant. Perspektivisch ließe diese Funktionalität auch die gebäudescharfe Planung und Koordination energetischer Sanierungsmaßnahmen zu.

Im Workshop mit Expertinnen und Experten wurde allerdings betont, dass automatisierte Analysen und Szenarien auch geprüft und im Zweifel korrigiert und ergänzt werden müssten. Hier spielten Ortskenntnisse und das Wissen um verfügbare kommunale Raumpotenziale im digitalen Werkzeug eine wichtige Rolle. Um perspektivisch einen solchen Grad an Automatisierung zu erreichen, müssten allerdings verschiedene Voraussetzungen gegeben sein. So wurde im Workshop auf die flächendeckende Verfügbarkeit digitaler Hausakten als Datenquelle für die Gebäudeebene verwiesen.

Heute ist eine solch automatisierte Datenverarbeitung in der Praxis der kommunalen Wärmeplanung noch die Ausnahme. **München** und **Zürich** haben in diese Richtung erste Ansätze erprobt. Dort werden Befliegungsdaten genutzt, um automatisiert Informationen zu Geschosszahlen von Gebäuden sowie Fensterflächen und Fassaden-Photovoltaik-Potenziale zu ermitteln. Es wurde ein sogenanntes 3D-Mesh von Objekten auf der Erdoberfläche erstellt, das in das Wärmebedarfsmodell eingeflossen ist..

4.3 Verbesserung von Entscheidungsgrundlagen

Im Zusammenhang mit der Datennutzbarkeit und der Automatisierung standen bisher vor allem die Integration verschiedener Datenquellen und das Generieren von Wissen durch automatisierte Analysen als grundlegende Fähigkeiten eines UDZ im Mittelpunkt (vgl. DIN SPEC 91607: 29). Ein weiteres Potenzial liegt in der Bereitstellung verbesserter Planungs- und Entscheidungsgrundlagen durch den Einsatz von UDZ, indem energetische Modellierungen und Simulationen durchgeführt und ein fortlaufendes Monitoring ermöglicht werden.

Energetische Modellierung und Simulation in einer Vielzahl von Varianten durchführen

Laut § 17 WPG bestimmt die planungsverantwortliche Stelle das maßgebliche Zielszenario für das gesamte Gemeindegebiet und zieht dabei unterschiedliche zielkonforme Szenarien hinsichtlich des voraussichtlichen Wärmebedarfs und der Entwicklung der erforderlichen Energieinfrastrukturen in Betracht. Genau an diesem Punkt unterstützen UDZ, weil sie anderen Formen der Szenarienentwicklung hinsichtlich Anzahl und Komplexität der betrachteten Parameter deutlich überlegen sind. Sie erleichtern die Entwicklung und den Vergleich unterschiedlicher Varianten der zukünftigen Wärmeversorgung, indem sie die Erstellung mehrerer Zielbilder und die automatisierte Variation von Inputgrößen (z. B. Energieträgerpreise) ermöglichen. Zudem können auch Auswirkungen bestimmter Planungsvarianten (z. B. hinsichtlich des entstehenden Flächenbedarfs durch Energieerzeugungsanlagen und Versorgungsnetze) modelliert werden.

Beispielsweise nutzt die Stadt **München** für die Wärmeplanung ein gebäudescharfes Wärmebedarfsmodell der Stadtwerke, in dem unterschiedliche Wärmebedarfsszenarien modelliert werden und das zukünftig jährlich fortgeschrieben werden soll.

Ein anderer Ansatz sind sogenannte agentenbasierte Modellierungen. Diese erlauben es, Vorhersagen zum Verhalten von Objekten (z. B. Gebäuden oder Anlagen) oder gar menschlichen Akteuren zu treffen. Hierfür werden „Agenten" in Form vieler kleiner Programme erstellt. Auf diese Weise lassen sich sowohl das Verhalten heterogener Gruppen als auch die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen Agenten simulieren.

Im Ergebnis folgt aus den deutlich verbesserten Analyse- und Modellierungsmöglichkeiten eine höhere Genauigkeit bei der Szenariobildung und Gebietsabgrenzung, zum Beispiel im Hinblick auf die Abgrenzung von Teilgebieten mit Eignung für bestimmte Formen der Wärmeversorgung, weil variable technische und wirtschaftliche Faktoren besser berücksichtigt werden können. Genauere Berechnungen können dazu führen, dass die Zahl der Teilgebiete mit unklarer Eignung für bestimmte Wärmeversorgungsarten (Prüfgebiete) sinkt. Durch die Nutzung von UDZ kann die Zielszenarioentwicklung beschleunigt und verbessert und auf veränderte Zielsetzungen oder neue Erkenntnisse reagiert werden.

München – Simulation von Standorten für Grundwasserwärmepumpen
Ein Beispiel aus München zeigt die Simulation von Versorgungsvarianten auf Teilgebietsebene. Für ein bestehendes Quartier können durch die Kopplung einer Optimierung mit einer Multiagentensimulation ideale Standorte für Grundwasserwärmepumpen identifiziert werden. Die einzelnen Gebäude (= Agenten) entscheiden dabei unabhängig voneinander, ob sie eine Wärmepumpe installieren und wann sie genutzt wird. Das Tool berechnet, wo die Bohrung für eine Grundwasserwärmepumpe erfolgen kann, ohne die benachbarten Anlagen in ihrer Funktionsfähigkeit zu beeinträchtigen. Der Algorithmus zieht dafür einen Pool hydraulischer, thermischer gebäudetechnischer und städtebaulicher Daten heran. Er bezieht für die analytische Temperaturfeldberechnung insbesondere Bestandsanlagen sowie deren Temperaturfeldverläufe in seine Simulation mit ein, um Effizienzstörungen bei bestehenden und neuen Brunnen zu verhindern und die wasserrechtliche Genehmigungsfähigkeit sicherzustellen. Das Tool ermöglicht es so, die Auswirkungen von (potenziellen) Infrastrukturänderungen auf Quartiersebene zu erfassen.



Die Stadtwerke München bieten der Stadt für die Wärmeplanung ein gebäudescharfes Wärmebedarfsmodell, in dem unterschiedliche Wärmebedarfsszenarien modelliert werden und das zukünftig jährlich fortgeschrieben werden soll | Quelle: tina7si – stock.adobe.com

Kontinuierliches Monitoring ermöglichen

Eine weitere grundlegende Eigenschaft von UDZ ist die Fähigkeit, Echtzeitdaten zu verarbeiten. Dementsprechend lassen sich fortlaufende Analyse und das Monitoring als kontinuierlicher, integrierter Datenmanagementprozess betrachten, in dem Kennzahlen fortlaufend abgeglichen werden können. Beispielsweise wird durch die dynamische Aktualisierung des Gebäudemodells einer Kommune und die Einbindung bestehender Datensysteme (z. B. Gebäuderegister) eine ständige Verfügbarkeit relevanter Daten gewährleistet.

Mit Blick auf die Fallbeispiele verfolgt die Stadt **Halle (Saale)** das Ziel, den digitalen Zwilling zu einem Echtzeitsystem für die Szenarienmodellierung und das Monitoring von Energieverbräuchen zu entwickeln. Die Vorteile dieses Potenzials liegen auf der Hand: Bestands- und Potenzialanalyse werden als eigenständige Phasen im Prozess der Wärmeplanung zunehmend obsolet, da relevante Daten dauerhaft verfügbar sind und fortlaufend verarbeitet werden.

4.4 Schließen der Lücke zwischen Strategie und Umsetzung

Für eine erfolgreiche Wärmewende sind kommunale Wärmeplanung und deren Umsetzung als komplementäre Bestandteile mit engen wechselseitigen Bezügen zu verstehen. Dies wurde auch im Workshop mit Expertinnen und Experten besonders betont. Der Plan erfüllt nur seinen vorgesehenen Zweck, wenn er Umsetzungsschritte vorbereitet und passfähige Investitionsentscheidungen von Energieversorgern und Gebäudeeigentümern auslöst. In diesem Sinne kann ein UDZ dabei helfen, diese Lücke zwischen Planung und Investitionsentscheidung zu schließen. Dafür ist eine enge Verzahnung mit anderen Planungsprozessen und Politikfeldern wie der Energieberatung erforderlich, wobei UDZ einen wichtigen Beitrag zur Anschlussfähigkeit der Wärmeplanung leisten können. Dieses Potenzial bezieht sich insbesondere auf die Phasen der Umsetzungsstrategie sowie die Umsetzung selbst.

Gebietsbezogene Handlungsprogramme konkretisieren

Wie zuvor am Simulationsbeispiel in **München** gezeigt, erlauben die vielfältigen Datenverarbeitungsmöglichkeiten von UDZ ein quasi „stufenloses" Hereinzoomen von der mehr oder weniger abstrakten Gebietskulisse auf gesamtstädtischer Ebene zur konkreten Betrachtung auf Quartiersebene und deutlich detaillierteren Planungsschritten. Damit lässt sich eine häufig geäußerte Kritik an der Wärmeplanung zumindest ein Stück weit auffangen, sie sei zu abstrakt und nicht detailliert genug für die Umsetzung.

Ein UDZ erlaubt es, energetische Quartierskonzepte aus dem Wärmeplan heraus abzuleiten und weiterzuentwickeln. Damit werden einerseits konkrete Umsetzungsschritte für Energieversorger und Gebäudeeigentümer definiert, während andererseits der Bezug zum gesamtstädtischen Rahmen erhalten bleibt.

Mit der Konkretisierung der Handlungsprogramme und den Maßnahmen ist es dann auch möglich, ausgewählte Parameter gesondert unter die Lupe zu nehmen. So erlauben UDZ bei entsprechender Konfiguration zum Beispiel die genauere Betrachtung von Flächenbedarfen möglicher Maßnahmen der im Wärmeplan formulierten Ziele (z. B. Errichtung eines Wärmespeichers) und gleichzeitig einen praktischen Abgleich, ob beziehungsweise unter welchen Bedingungen notwendige Flächen verfügbar sind. Ein UDZ ermöglicht die Prüfung eines formulierten Zielszenarios und der definierten Umsetzungsstrategie aus räumlicher Perspektive.

Maßnahmen multikriteriell bewerten und priorisieren

Mit der Formulierung einer Umsetzungsstrategie sollen im Wärmeplan Maßnahmen für die anstehende Umsetzung definiert werden. Ein UDZ kann bei der Auswahl und Priorisierung dieser Maßnahmen unterstützen, indem er hilft, die Maßnahmen mit der größten Wirkung auszuwählen.

Dies erleichtert unter anderem die Lokalisierung von Gebieten, in denen Umsetzungsmaßnahmen einen besonders hohen Wirkungsgrad erzielen können und ermöglicht somit die Priorisierung von deren Umsetzung.

Ebenso kann ein UDZ dabei unterstützen, Maßnahmen in einer räumlich und zeitlich koordinierten Reihenfolge anzugehen. Je größer die Zahl der definierten Maßnahmen und der Umsetzungsoptionen ist, desto wichtiger ist deren Priorisierung. Möglich ist aber auch, dass die Rahmenbedingungen eine Priorisierung vor allem auf Ressourceneffizienz ausgerichteter Maßnahmen notwendig machen.

In den betrachteten Kommunen finden sich viele Beispiele für solche Hinweise auf kriteriengestützte Priorisierungen. Die Entscheidung, wo im **Landkreis Lörrach** das schon seit Jahren praktizierte Beratungsformat der sogenannten Energiekarawanen eingesetzt wird, kann nun aus dem Wärmeplan abgeleitet werden. In Frage kommen insbesondere Ortsteile mit alternden Heizungsanalagen. Die Stadt **München** leitet etwa aus dem Wärmeplan ab, wo Quartierskonzepte entwickelt und wo Schwerpunkte für die aufsuchende Energieberatung gesetzt werden sollen.

München – Nutzwertanalyse

Die Auswahl der bestgeeigneten Areale für integrierte Quartierskonzepte (vgl. ehem. KfW 423) und aufsuchende Energieberatungen ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Je mehr Kriterien für die Bewertung einer Eignung vorliegen, desto komplexer wird die Entscheidungsfindung. In München kommt eine Nutzwertanalyse zur Anwendung, in der über 40 Kriterien und Datensätze (Treibhausgasemissionen, Mobilität, Baustruktur, Stadtklima, Umwelt) aus allen relevanten Themengebieten auf Baublockniveau im Geoinformationssystem analysiert werden. Die Gewichtung ist Aushandlungssache zwischen den Fachbereichen.

4.5 Möglichkeit integrierter Planung und Entwicklung

Im Zuge der Wärmeplanung und deren Umsetzung entstehen vielfältige Koordinierungserfordernisse mit anderen Infrastruktursektoren wie Strom und Gas, aber auch darüber hinaus. Mit Blick auf die Nutzung von Abwärmepotenzialen ist die Abwasserentsorgung (Abwasserdruckleitungen, Kläranlagen) relevant, wenn man an die möglichst störungsfreie Abwicklung von Baustellen denkt, aber auch an Trinkwasserleitungen oder an die Verkehrsinfrastruktur. Zudem zieht die Transformation stadttechnischer Infrastrukturen veränderte Flächenanforderungen und Raumwirkungen nach sich (vgl. Riechel et al. 2025).

UDZ können hier wichtige Unterstützung leisten, um die zukünftige Wärmeversorgung einer Stadt mit ihren Einflussfaktoren und Wechselbeziehungen zu anderen stadttechnischen Infrastruktursystemen einschließlich der stadtplanerischen Anforderungen integriert zu betrachten.

Ohne ein solches Hilfsmittel wäre die Verarbeitung einer Vielzahl der zu betrachtenden Fachinformationen und unternehmerischen Strategien der Infrastrukturbetreiber eine Überforderung.

Auf der technischen Ebene kann ein UDZ über verschiedene thematische Layer verfügen wie zum Beispiel Wärme-, Gas- und Stromnetze oder energiebezogene Flächenpotenziale. Wahlweise lassen sich solche Layer dann zueinander in Beziehung setzen oder einzelne Datensätze aus anderen Themenbereichen werden zum Beispiel zur Durchführung von Analysen in einen spezifischen Layer integriert. Auf diese Weise unterstützen UDZ die integrierte Betrachtung, indem sie zum Beispiel ihre Lage und möglichen Flächenkonkurrenzen, ihre technischen und wirtschaftlichen Faktoren sowie deren Wechselwirkungen verdeutlichen können. In der Folge können Synergien aufgedeckt und Simulationen in Planungskonzepte überführt werden. Die Nutzung eines Tools für verschiedene Planungszwecke steigert die Integration.

Die Vorteile der Verwendung UDZ für die integrierte Planung liegen auf der Hand: Sie reduzieren die Fehleranfälligkeit isolierter Planungsprozesse, steigern so die Effizienz und ermöglichen im Idealfall die Nutzung von Synergien. Diese Mehrwerte entfalten sich vor allem in den Phasen „Zielszenarioentwicklung“ und „Umsetzung“.

Halle (Saale) – der HAL-Plan als Werkzeug für die integrierte Planung

Die Stadt Halle (Saale) betont, dass eine isolierte Betrachtung der Wärmeplanung spätestens mit dem Beginn der Umsetzungsphase scheitern würde. Aufgrund des steigenden Bedarfs an erneuerbarem Strom für die Wärmeversorgung (z. B. für Wärmepumpen) müssen die Auswirkungen auf das Stromverteilnetz mitbetrachtet werden.

Der HAL-Plan, der digitale Zwilling der Stadt, visualisiert unter- und oberirdische Infrastruktur. Größere Bauvorhaben können so für mehrere anstehende Maßnahmen, unter anderem auch des Wärmeplans, gleichzeitig genutzt werden: Die Verlegung von Rohren kann mit Leitungslegungen und Begrünungsmaßnahmen sowie mit Klimaanpassungen im öffentlichen Raum kombiniert werden. Das spart Ressourcen und Zeit.

Die entsprechenden Daten werden in das von Stadtverwaltung und Stadtwerken gemeinsam genutzte Geoinformationssystemprogramm eingespeist. Diese dienen als Grundlage für Analysen, Prognosen und Szenarienentwicklung. Dabei soll der digitale Zwilling unter anderem auch Förderprogramme und Gesetzesänderungen berücksichtigen und kann so die Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit von baulichen Maßnahmen bewerten.

4.6 Steigerung von Transparenz, Zugänglichkeit und Beteiligung

Eingangs wurde verdeutlicht, wie ein UDZ die Datennutzbarkeit erhöht. Dieses Prinzip gilt jedoch nicht nur input- sondern auch outputseitig. Ergebnisse wie Monitoringdaten, Analysen und Simulationen können für Expertinnen und Experten, aber auch für die Öffentlichkeit – gegebenenfalls je nach Zugangsberechtigung in Abstufungen – zugänglich gemacht werden. Möglich wird dies durch Datenexporte, die Anbindung an Plattformen wie Geodatenportale oder spezifische Layer des Zwillings, die öffentlich zugänglich sind. Auf diese Weise können Daten für verschiedene Zwecke bereitgestellt und Beteiligungsprozesse ergänzend auch digital durchgeführt werden. Indem verschiedene Akteure – Kommunen, Energieversorger, Energieberater und so weiter – auf die gleiche Datenbasis zurückgreifen, entsteht eine andere Form der Vernetzung. Auf dieser Grundidee basiert auch der interkommunale Ansatz im **Landkreis Lörrach,** wo der UDZ das Gebiet von 35 Kommunen umfasst.

Daten für andere Stakeholder und die Öffentlichkeit leichter bereitstellen

Die Bereitstellung relevanter und geeigneter Datensätze durch einen UDZ fördert nicht nur die Transparenz bezüglich des Verwaltungshandelns von Kommunen. Ferner wird auf diese Weise eine breitere Nutzung der Informationen möglich. Dies kann sich auch auf deren wirtschaftlich orientierte Verwendung beziehen und das Entstehen neuer oder die Verbesserung bestehender Dienstleistungen ermöglichen. Solche Prozesse setzen allerdings solide Verwertungskonzepte und klare rechtliche Bedingungen voraus. Häufig sind sie in übergeordnete Governancestrukturen wie Open-Government- oder kommunale Datenstrategien eingebettet.

Durch Visualisierungen Transparenz und Beteiligungsprozesse verbessern

Eng verbunden mit dem vorausgegangenen Potenzial der Daten- und Informationsbereitstellung ist die Verbesserung von Beteiligungsprozessen. Viele UDZ sind explizit hierauf ausgelegt, sodass die Infrastruktur für digitale Partizipationsprozesse mit einem Zwilling bereits verfügbar ist. Sowohl explizit öffentlich zugängliche Bereiche eines UDZ als auch Datenexporte und Visualisierungen, die über öffentlich zugängliche Geoinformationssystemportale bereitgestellt werden, ermöglichen eine verbesserte Nachvollziehbarkeit zum Beispiel von Planungsszenarien. Zusätzlich können 3D-Darstellungen sowie XR-Anwendungen auch Laien Fachthemen der Planung intuitiv zugänglich machen und verständlich vermitteln. Generell lässt sich durch Visualisierungen das Verständnis für Zusammenhänge der kommunalen Wärmeplanungen und deren Umsetzung substanziell erhöhen.

Durch interaktives Zoomen, Kombinieren von Geoinformationssystem-Layern, stetige Aktualisierbarkeit und Synchronisation mit beteiligten Akteuren wird die Thematik der Wärmeplanung mit Leben gefüllt. Um zu gewährleisten, dass der UDZ tatsächlich genutzt wird, muss er dabei finanzierbar und zugänglich sein. Benutzerfreundlichkeit und geringe Komplexität der Anwendung sorgen für eine niedrigschwellige Bedienung und verhindern Überforderung. Das spart Ressourcen und steigert die Motivation, sich mit dem Tool zu befassen. Nur, wenn es flächendeckend von allen zentralen Akteuren genutzt und gepflegt wird, kann es sein Potenzial dauerhaft entfalten und Transparenz und Akzeptanz erhöhen.

Mitgestaltungsmöglichkeiten ausbauen

In manchen Fällen verfügen UDZ bereits über Feedbackkanäle, sodass Bürgerinnen und Bürger ihre Meinung äußern können. Das fördert nicht nur das Verständnis, sondern auch den Austausch zwischen Verwaltung und Bevölkerung (= Interaktivität). Perspektivisch sind auch die Darstellung und Verarbeitung von Rückmeldungen im Zwilling vorstellbar.

Häufig erfolgen solche Formen der digitalen Partizipation mittels Webplattformen, über die Rückmeldungen erstellt, zugänglich gemacht und über den digitalen Zwilling in den Planungsprozess integriert werden können. Die Mehrwerte bestehen in einer erweiterten und vereinfachten Beteiligung, die ein Mehr an Transparenz und die

Lörrach – digitaler Zwilling als Motor für Digitalisierung und Transparenz

In Lörrach werden ausgewählte Ergebnisse des Wärmeplans im Bürger-Geoportal bereitgestellt. Dazu gehören beispielsweise die Eignungsgebiete oder auch die primären Brennstoffe pro Gebäudecluster. Der urbane digitale Zwilling knüpft an diese Datenbasis an und erhöht nicht nur die interne Nutzbarkeit, sondern ermöglicht auch eine Sichtbarmachung für die Öffentlichkeit über das Bürger-Geoportal. Die interaktiven Karten schaffen Transparenz und erlauben Verwaltung, Politik sowie Bürgerinnen und Bürgern, Potenziale der Wärmeplanung nachzuvollziehen. Das erleichtert die Kommunikation sowohl zwischen Fachabteilungen der Verwaltung als auch zwischen Kommunen und Landkreis sowie mit der Bevölkerung.

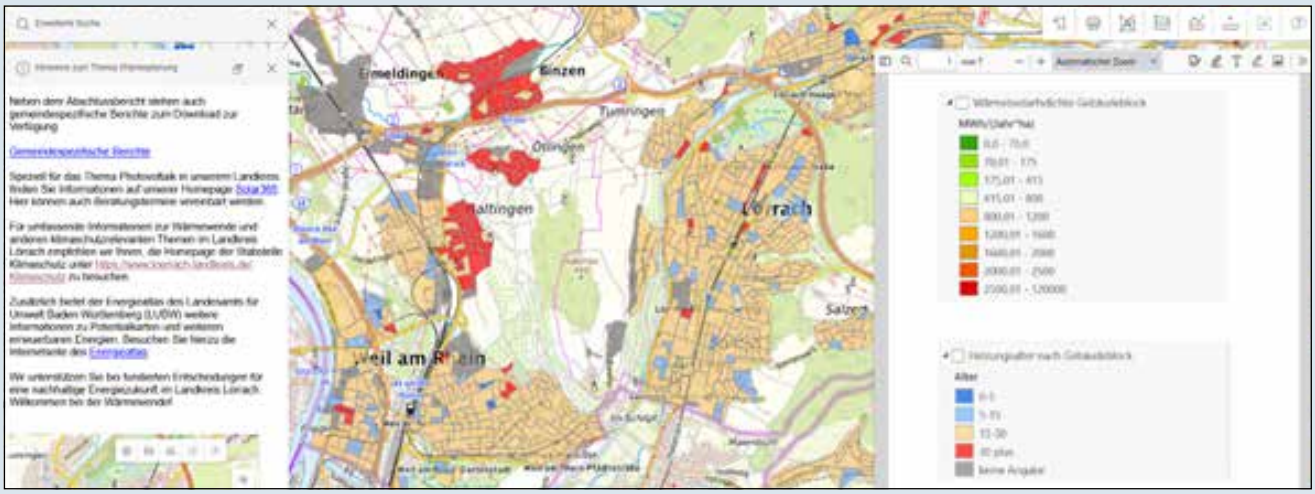


Abbildung 5: Bürgerportal Landkreis Lörrach | Quelle: Webseite des Landkreises Lörrach

München – digitale Angebote eröffnen Möglichkeit zur Interaktion

Umfangreiche Möglichkeiten der digitalen Bürgerbeteiligung im Zusammenhang mit Wärmeplanung und Wärmewende stellt die Stadt München bereit. In einem ersten Schritt war die im Rahmen der Wärmeplanerstellung obligatorische Öffentlichkeitsbeteiligung mittels vieler Kanäle möglich – so auch digital. Zudem ist der Wärmeplan im Geoportal der Stadt öffentlich zugänglich. Darüber hinaus sind für einige Teile der Stadt sogenannte Quartiers-Brettl vorhanden, auf denen Bürgerinnen und Bürger sowie weitere Akteure zum Beispiel der Zivilgesellschaft miteinander und mit der Stadtverwaltung interagieren können – beispielsweise in Form von Gesuchen und Angeboten für kollektive Wärmeversorgung über Nahwärmenetze oder durch Erfahrungsberichte zu Sanierungsmaßnahmen. Jedes Quartier bekommt seine eigene digitale Pinnwand zum Thema Wärmeplanung.

So können Kooperationen für gemeinsame Sanierungen in Nachbarschaften entstehen, Handwerkerinnen und Handwerker lokal vermittelt und Angebote verglichen werden. Zudem gibt es die Möglichkeit, sich bereits energetisch sanierte Häuser in der Nachbarschaft anzusehen. Durch den niedrigschwelligen Zugang für Bürgerinnen und Bürger ebenso wie für die Verwaltung lässt sich die Öffentlichkeitsbeteiligung erhöhen und durch einen Feedbackloop stetig verbessern.

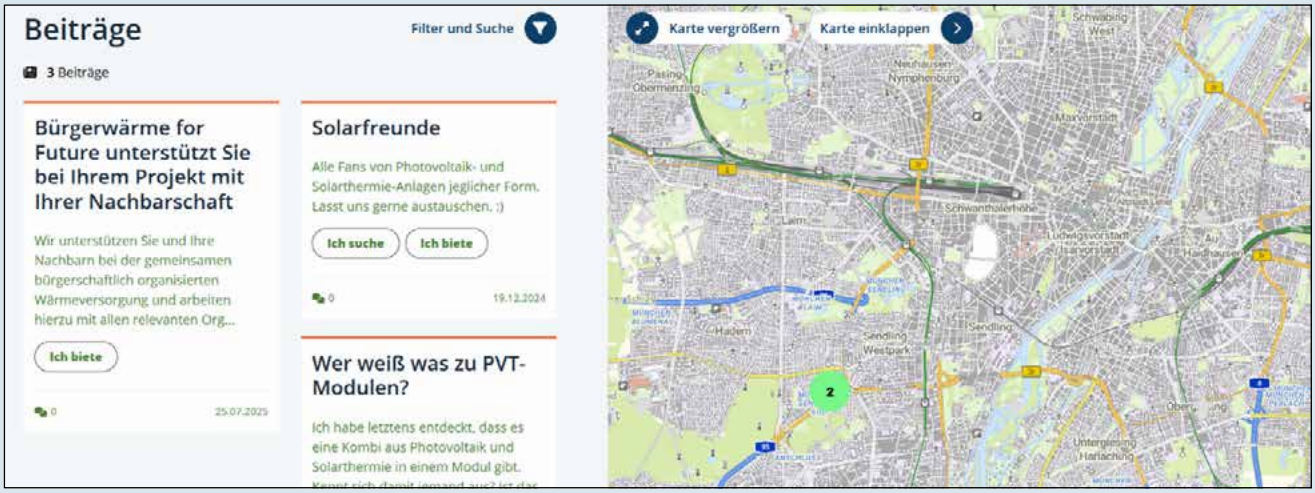


Abbildung 6: Quartiers-Brettl Zirler Platz München | Quelle: Webseite der Stadt München

Verbesserung der Governance zur Folge haben. Ferner kann durch digitale Beteiligung und das vereinfachte Handling der Daten verwaltungsseitig auch eine Effizienzsteigerung erzielt werden. In der Folge entfaltet die Verbesserung von Beteiligungsprozessen ihr Potenzial in allen Phasen der Wärmeplanung und nicht nur an den Stellen, an denen Beteiligung verpflichtend gefordert ist.

4.7 Zwischenfazit: Potenziale im Überblick

Die Potenziale von UDZ zeigen sich über alle Phasen der Wärmeplanung hinweg und treten teilweise auch phasenübergreifend auf. Besondere Vorteile verspricht der Einsatz von UDZ in der Bestands- und Potenzialanalyse sowie in der Umsetzungsphase, wenn Daten stufenlos im notwendigen Detaillierungsgrad auf Quartiers- beziehungsweise Projektebene ausgegeben werden können. Dies erleichtert auch die Auswahl von Anschlussaktivitäten, zum Beispiel Energieberatungsmaßnahmen in ausgewählten Fokusquartieren. Perspektivisch könnte die Aufteilung in die Phasenlogik dank einer jederzeit aktuellen und abrufbaren Datenbasis in den Hintergrund treten. Ob die skizzierten Potenziale tatsächlich ausgeschöpft werden können, ist von technischen und organisatorischen Voraussetzungen abhängig, insbesondere von Dateninfrastrukturen, Schnittstellen, Zuständigkeiten und Kompetenzen.

	Bestandsanalyse	Potenzialanalyse	Zielszenarioentwicklung	Umsetzungsstrategie	Umsetzung (ggf. inkl. Detailplanung)	Monitoring	Beteiligung und Öffentlichkeitsarbeit
Erhöhung der Datennutzbarkeit	■	■				■	■
Automatisierung von Vorgängen	■	■			■		
Verbesserung von Entscheidungsgrundlagen			■			■	
Schließen der Lücke zwischen Strategie und Umsetzung				■	■		
Möglichkeit integrierter Planung und Entwicklung	■				■		
Steigerung von Transparenz, Zugänglichkeit und Beteiligung	■	■			■		■

Tabelle 10: Potenziale von UDZ in den Phasen der Wärmeplanung | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

5 Vom Potenzial zur Umsetzung: Rahmenbedingungen und Handlungsperspektiven

Die Untersuchung der vier Fallbeispiele hat verdeutlicht, dass der Einsatz digitaler Zwillinge in der kommunalen Wärmeplanung nicht immer unbedingt nur eine technologische Frage, als vielmehr auch eine institutionelle, organisatorische und kulturelle Herausforderung ist. Genauso wurde aber auch deutlich, dass die kommunale Wärmeplanung selbst durch den Einsatz einfacher digitaler Anwendungen an Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Steuerungsfähigkeit gewinnen kann.

Aufbauend auf den empirischen Befunden der Fallstudien, den Ergebnissen des Workshops und dem in Kapitel 3 entwickelten Typenmodell werden im Folgenden die zentralen Erkenntnisse zusammengefasst und diskutiert sowie aufgezeigt, welche Schlussfolgerungen daraus für Kommunen, Länder und Bund abzuleiten sind.

Das in Kapitel 3.3 entwickelte UDZ-Typenmodell zeigt, dass deren Einsatzpotenziale unmittelbar aus den jeweiligen kommunalen Ausgangsbedingungen resultieren: Datenlage, personelle Kapazitäten, technische Infrastruktur und Governance-Strukturen bestimmen, welcher UDZ-Typ sinnvoll und realisierbar ist.

Die vorgestellten UDZ-Typen bilden funktionale Entwicklungsstufen und keine lineare Hierarchie ab. So kann beispielweise ein Zwilling mit Fokus auf Visualisierung ein Mittel zur Verbesserung der Kommunikation im Wärmeplanungsprozess darstellen und gleichzeitig eine Möglichkeit bieten, Datenbestände besser zu strukturieren und aufzubereiten. Kommunen mit bereits etablierteren Dateninfrastrukturen können UDZ mit Analyse- oder sogar Simulationsfähigkeit als strategisches Planungsinstrument etablieren und in bestehende Prozesse integrieren. Langfristig gesehen kann so ein integriertes Tool zur Steuerung und zum Monitoring des gesamten Wärmeplanungsprozesses entstehen.

5.1 Gelingensbedingungen

UDZ entfalten vor allem dann ihre Potenziale, wenn Technik, kommunale Strukturen und Prozesse ineinandergreifen. UDZ sind primär ein Arbeitstool, das eine datenbasierte Analyse und integrierte Planung ermöglichen kann. Gerade in einem neuen und komplexen Aufgabenfeld wie der kommunalen Wärmeplanung entscheidet die Passung zwischen Technik, Governance und Planungskultur darüber, ob die geschilderten Potenziale gehoben werden können.

Aus den vorliegenden Untersuchungen lassen sich drei zentrale Ebenen von Gelingensbedingungen ableiten, die für die praktische Umsetzung besonders relevant sind: die technische, die organisatorisch-institutionelle sowie die strategisch-kulturelle Ebene.

Technische Gelingensbedingungen betreffen Datenverfügbarkeit, Interoperabilität und die Passfähigkeit von Werkzeugen zu den kommunalen Kapazitäten.

- **Datenverfügbarkeit und -qualität:** Eine solide Bestandsdatengrundlage (Energie-, Gebäude-, Netz- und Geodaten) ist Voraussetzung für belastbare Analysen. Fehlende oder fehlerhafte Daten können nicht durch Tools kompensiert werden.

- **Datenstandards und Schnittstellen:** Offene Formate und konsequente Metadaten sind entscheidend, um langfristige Nutzbarkeit, Vergleichbarkeit und Nachnutzung zu gewährleisten.

- **Datensouveränität:** Kommunen müssen sicherstellen, dass Datenrechte, Formate und Exportmöglichkeiten vertraglich geregelt sind – insbesondere bei externer Vergabe.

- **Systemarchitektur:** UDZ sollten modular, skalierbar und kontextsensitiv sein und an bestehende (Geoinformations-)Systeme anknüpfen statt Parallelstrukturen zu schaffen.

- **Passung:** Tools müssen zu den Bedarfen, Kompetenzen und Kapazitäten der Kommune passen. Komplexe 3D-Systeme können ein Mittel sein, sind aber kein Selbstzweck.

Organisatorisch-institutionelle Gelingensbedingungen betreffen Strukturen, Prozesse und Verantwortlichkeiten in Verwaltung und kommunalen Unternehmen.

- **Governance und Zuständigkeiten:** Klare Zuständigkeiten und die institutionelle Verankerung von Datenmanagement und Wärmeplanung sind Grundvoraussetzungen.

- **Projektmandat und politische Rückendeckung:** Ein legitimiertes Mandat der Stadtspitze sichert Priorität und Ressourcen.

- **Koordination und Kooperation:** Interdisziplinäre Zusammenarbeit und verlässliche Partnerschaften zwischen unter anderem Planung, Energieversorgern, Infrastrukturmanagement, IT, Stadtwerken und Forschung sind entscheidend. Digitale Wärmeplanung kann nicht im Alleingang erfolgen.

- **Kompetenzaufbau:** Der Aufbau interner Daten- und Analysekompetenzen erhöht die Unabhängigkeit von externen Kompetenzen und die Fähigkeit zur eigenständigen Fortschreibung. Nachhaltige Vergabe: Externe Leistungen sollten so gestaltet werden, dass Wissen und Daten in der Verwaltung verbleiben beziehungsweise dorthin zurückfließen.

- **Interkommunale Modelle:** Gemeinsame Plattformen und Kreisstrukturen können kleine Gemeinden entlasten und Synergien schaffen.

Strategisch-kulturelle Gelingensbedingungen betreffen die institutionelle Lernfähigkeit und die Rolle von UDZ im Verwaltungshandeln.

- **Planungskultur und Lernprozesse:** UDZ entfalten Wirkung dort, wo sie als Teil kontinuierlicher Lern- und Fortschreibungsprozesse verstanden werden, nicht als Einmalprodukt.

- **Partizipation und Kommunikation:** Visualisierungen und interaktive Tools fördern Transparenz, interne Abstimmung und politische Legitimität.

- **Iterative Entwicklung:** Die schrittweise Einführung von einfachen Anzeigesystemen hin zu integrativen Analysen ist realistischer als ein Komplettansatz.

- **Offenheit und Kooperation:** Der Austausch über Verwaltungsebenen hinweg (z. B. über Lernnetzwerke) fördert Standardisierung und vermeidet Doppelstrukturen.

- **Strategische Verankerung:** UDZ sollten in übergeordnete Digital- und Klimastrategien eingebettet werden, um dauerhaft Integration, Weiterentwicklung und Mittelbindung zu sichern.

	Kernaussagen der Lessons Learnt
technisch	Datensouveränität sichern; offene Standards nutzen; Tools an lokale Kapazitäten anpassen
organisatorisch	Zuständigkeiten und Governance klären; internes Wissen aufbauen; Kooperation fördern
strategisch-kulturell	digitale Zwillinge als Lernsystem verstehen; Beteiligung und Kommunikation aktiv gestalten; schrittweise Entwicklung ermöglichen

Tabelle 11: Kernaussagen der Lessons Learnt | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

5.2 Föderaler Rahmen der kommunalen Wärmeplanung

Die Untersuchung macht deutlich, dass Kommunen trotz hohem Engagement und großem Gestaltungsspielraum an Grenzen stoßen, wenn rechtliche, organisatorische oder datenbezogene Voraussetzungen außerhalb ihres Einflussbereichs liegen. Die **Rahmensetzung auf Landes- und Bundesebene** ist entscheidend, um Skalierung und Verstetigung datenbasierter Wärmeplanung zu ermöglichen.

Wichtige Orientierung bietet hier der **Stakeholder-Dialog Wärmeplanung**, der unabhängig von dieser Studie zwischen Juni 2024 und Juni 2025 unter Leitung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) durchgeführt wurde. Die dort zusammengeführten Akteure aus Kommunen, Ländern, Bund, Wirtschaft und Forschung bestätigen die zentrale Erkenntnis dieser Untersuchung: Kommunen können digitale Werkzeuge nur dann langfristig etablieren, wenn übergeordnete Ebenen **Datenzugang, Standardisierung und Ressourcen** sicherstellen (vgl. BBSR 2025).

Bundesebene: Rahmen und Verstetigung

Auf Bundesebene liegt der Schwerpunkt auf der **Schaffung eines kohärenten Ordnungsrahmens** und der **Förderung interoperabler Infrastrukturen**. Das Wärmeplanungsgesetz und die DIN SPEC 91607 bilden hierfür erste Grundlagen, die nun **praxisorientiert konkretisiert** werden müssen. Zudem sollten Bundesförderprogramme stärker auf **Betrieb, Qualifizierung und Verstetigung** ausgerichtet werden anstelle einer kurzfristigen Projektförderung. Kommunen benötigen langfristige Unterstützung, um Datenpflege, technische Weiterentwicklung und Personalqualifikation kontinuierlich leisten zu können.

Länderebene: Standardisierung und Befähigung

Auf Länderebene bestehen zentrale Hebel, um Kommunen strukturell zu unterstützen. Landeskompetenzzentren, Datenplattformen und Schulungsangebote können als Schnittstellen zwischen Praxis, Fachverwaltung und Forschung wirken. Hier bedarf es **einheitlicher technischer und prozessualer Standards,** die Datenaustausch und Vergleichbarkeit ermöglichen. Darüber hinaus braucht es eine **aktive Rolle der Länder in der Datenbereitstellung,** etwa durch einen zentralen Zugriff auf Geobasis-, Netz- und Gebäudedaten. Eine solche Koordination stärkt die Datensouveränität und reduziert Abhängigkeiten von externen Dienstleistern (z. B. Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg, Landesgesellschaft für Energie und Klimaschutz NRW.Energy4Climate).

Kooperation und Lernnetzwerke

Eine erfolgreiche Umsetzung erfordert **Kooperationen über Verwaltungsebenen hinweg.** Interkommunale Netzwerke, Landesstellen und Bundesinstitutionen sollten als **Lernsystem** agieren, in dem Erfahrungen und Werkzeuge gemeinsam weiterentwickelt werden. Solche Netzwerke fördern nicht nur die technische Skalierung, sondern auch ein **institutionelles Lernen** – eine zentrale Voraussetzung für die Übertragbarkeit erfolgreicher Ansätze.

Kommunen können die Digitalisierung der Wärmeplanung nicht allein tragen. Die Skalierung kann nur als gemeinsamer Lern- und Entwicklungsprozess zwischen Kommunen, Ländern und Bund gelingen. Erforderlich sind dafür

- verbindliche Standards und Schnittstellen,
- verlässliche Landesstrukturen für Beratung und Datenbereitstellung,
- langfristige Förder- und Betriebskonzepte auf Bundesebene und
- kooperative Lernnetzwerke, die Wissen und Praxis verbinden.

6 Ausblick: Zukunftspotenziale versus Status quo

Diese Studie hat aufgezeigt, wie UDZ in ihrer Eigenschaft als integrative Plattformen die kommunale Wärmeplanung erleichtern können, indem sie vielfältige Datensätze harmonisieren, Sanierungsansätze und Versorgungsstrukturen simulieren sowie Partizipation und Transparenz durch Visualisierungstools fördern. Mit dem hier entwickelten UDZ-Typenmodell wird das Einsatzspektrum von UDZ in der kommunalen Wärmeplanung aufgezeigt: von der grundlegenden Datenintegration bis hin zu vollständig adaptiven, automatisierten Systemen, die die Planung, Steuerung, Umsetzung und das Monitoring von Wärmeplanungsmaßnahmen kontinuierlich begleiten. In der Theorie bieten UDZ so ein hilfreiches Instrument zur Digitalisierung von Planungsprozessen und können somit eine evidenzbasierte, kosteneffiziente und partizipative Entscheidungsfindung befördern.

Der Blick in die Wärmeplanungspraxis in deutschen Kommunen zeigt jedoch ein komplexeres Bild, was vor allem an den heterogenen Ausgangslagen der Kommunen liegt: Während einige Großstädte dank starker Partnerschaften mit kommunalen oder regionalen Energieversorgern, Stadtwerken sowie Forschungseinrichtungen und ausreichend verfügbaren Personal- und Finanzressourcen bereits fortgeschrittene Anwendungen vorweisen können, stehen viele kleinere oder mittelgroße Kommunen vor großen Hindernissen. Für viele bleibt die Vision, die höchste Ausbaustufe eines UDZ zu erreichen, daher in weiter Ferne. Zwischen dem konzeptionellen Versprechen eines UDZ und den praktischen Realitäten von kommunaler Governance und Digitalisierung besteht bisher immer noch eine klare Wirklichkeitslücke.

Diese Diskrepanz zwischen Zukunftsvision und Möglichkeitsraum prägen mehrere miteinander verknüpfte Faktoren:

- **Unterschiedliche Auffassungen von UDZ:** Die Interviews zeigten, dass das Konzept des UDZ in der Praxis sehr unterschiedlich interpretiert wird. Für einige Akteure bezieht sich UDZ auf einfache GIS-basierte Tools oder Energiekataster; für andere impliziert es Echtzeitdaten, fortschrittliche Simulationen oder Smart-City-Plattformen, die von verschiedenen kommunalen Akteuren realisiert werden. Auch wird der Begriff des urbanen digitalen Zwillings insbesondere stark mit der Integration von Daten in 3D-Modelle der gebauten Umwelt assoziiert. Diese unterschiedlichen Interpretationen unterscheiden sich teils deutlich von wissenschaftlichen Definitionen und Standardisierungsbemühungen. Dies erschwert eine flächendeckende Implementierung von UDZ im Zusammenhang mit der Wärmeplanung.

- **Datenverfügbarkeit und -qualität:** Unabhängig von den eingesetzten Technologien bemängeln viele Akteure in der Praxis die fehlende Verfügbarkeit und mangelnde Qualität der Daten, die für eine solide kommunale Wärmeplanung notwendig sind. Dies liegt zum einen an schlechten Dateninfrastrukturen auf Seiten der Kommunen. Auf der anderen Seite hängt die Wärmeplanung von Daten ab, die von externen Stakeholdern zur Verfügung gestellt werden müssen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Kommunen mit Erfahrung in der UDZ-Entwicklung und einem fortschrittlichen Einsatz von Technologie Zugang zu verlässlichen Daten haben und es schaffen, erfolgreich externe Datenquellen zu nutzen.

- **Einschränkungen hinsichtlich Technik und Ressourcen:** Insbesondere kleineren Kommunen fehlt es oft an grundlegenden IT- und Dateninfrastrukturen, ausreichenden Data-Governance-Kapazitäten und dem entsprechenden Fachpersonal, das für die Wartung und Aktualisierung von Technologien für UDZ erforderlich ist. Selbst wenn externe Studien oder Pilotinstrumente zur Verfügung stehen, bleibt die langfristige Integration in kommunale Prozesse oft begrenzt. Darüber hinaus sind UDZ komplex, anspruchsvoll und initial teuer in ihrer Imple-

mentierung – insbesondere in kommunalen Kontexten mit geringem digitalem Reifegrad. Hier können niedrigschwellige digitale Tools aufbauend auf einem Geoinformationssystem mit Zugang zu einer verlässlichen Dateninfrastruktur effizienter sein.

- **Markt- und Anbieter-Diskrepanz:** Digitale Lösungen, die derzeit von Planungsbüros, Versorgungsunternehmen oder Technologieunternehmen angeboten werden, scheinen nicht in jedem Fall den spezifischen Anforderungen der Kommunen zu entsprechen. Statt freiem Zugang zu Daten und Funktionalitäten entstehen Abhängigkeiten von externen Akteuren, die Fragen nach langfristiger Datensouveränität aufwerfen. Diese Diskrepanz scheint nicht nur auf technische Einschränkungen zurückzuführen zu sein, sondern auch auf unklare Anforderungen, unterschiedliche Interpretationen dessen, was einen digitalen Zwilling ausmacht, und auf ein mangelndes gemeinsames Verständnis der zu erwartenden Funktionalitäten.

Vor diesem Hintergrund äußerten sich Expertinnen und Experten skeptisch, ob UDZ derzeit überhaupt als Gesamtlösung für die kommunale Wärmeplanung eingesetzt werden können. Stattdessen ist es wahrscheinlicher, dass Kommunen ausgewählte Komponenten oder Funktionen von UDZ, wie Geoinformationssystem-basiertes Mapping, gebäudebezogene Wärmebedarfsmodelle oder externe Simulationen, übernehmen, ohne diese notwendigerweise in einen urbanen digitalen Zwilling im eigentlichen Sinne zu integrieren. Gerade in fortgeschrittenen Kommunen kann ein bestehender UDZ, der in eine solide ausgebaute Dateninfrastruktur eingebunden ist, aber durchaus Potenziale für die städtische Wärmeplanung entfalten – umso mehr, wenn es um eine integrierte Planung von Wärme, Energie, Klima und den entsprechenden Infrastrukturen geht.

Nichtsdestotrotz sind die hier entwickelten Forschungsergebnisse und Instrumente nach wie vor wertvoll. Sie vermitteln Kommunen ein klareres Verständnis ihrer aktuellen Position im Digitalisierungsspektrum und bieten Orientierung für die zukünftige Entwicklung. Auch wenn der idealtypische Entwicklungspfad langwierig erscheint, kann die UDZ-Typisierung Kommunen bei der Priorisierung von Investitionen und der Identifizierung schrittweiser Entwicklungspfade unterstützen.

Die Schlussfolgerung ist, dass die kommunale Wärmeplanung möglicherweise nicht der Anwendungsfall ist, in dem ein UDZ sofortige Effizienz- und Qualitätssteigerungen nachweist, wenn er von Grund auf neu eingeführt wird. Der Weg zur UDZ-Reife ist kein striktes Stufenmodell, sondern ein iterativer Prozess. Kommunen können in einigen Bereichen (z. B. bei der Simulation von Szenarien) schnell Fortschritte machen, während sie in anderen Bereichen (z. B. bei Dateninteroperabilität oder Governance) hinterherhinken. Diese Diskrepanz zwischen Potenzialen und Praxis zu erkennen, ist wesentlich und unterstreicht, wie wichtig es ist, inkrementelle, kontextspezifische Entwicklungspfade für die Implementierung digitaler Lösungen zu entwerfen, um die Vision von UDZ an die Realitäten der kommunalen Verwaltung anzupassen. Durch den Fokus auf die schrittweise Entwicklung, die Ausrichtung externer Lösungen an den kommunalen Bedürfnissen und die Stärkung der Datensouveränität können Kommunen sinnvolle Schritte unternehmen, um die Realitätslücke zu schließen und die langfristigen Potenziale von UDZ in der Wärmeplanung zu realisieren. Ein funktionierendes, einfaches System ist besser als ein ungenutztes komplexes.

Nicht zuletzt macht die Studie deshalb deutlich, wie wertvoll UDZ und andere digitale Tools für die Umsetzung der Wärmewende vor Ort sein können. Dies geht über die engen Grenzen des Instrumentes „Wärmeplan“ und den Anwenderkreis „Kommune“ hinaus und reicht von Anwendungen wie Echtzeitmodellierung von Angebot und Nachfrage erneuerbarer Wärme in Versorgungsnetzen für Energieversorger bis hin zu Beratungsangeboten für Gebäudeeigentümer zu unterschiedlichen Sanierungsoptionen und deren ökonomischen und ökologischen Auswirkungen. Mithilfe digitaler Lösungen lässt sich auch in der Umsetzung ein erhöhter Anspruch an ein integriertes Vorgehen einlösen.

Literatur

Arnold-Drmic, A.; Thiele, J., 2025: Wärmewende in Deutschland: Kommunale Wärmeplanung im Überblick. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung. Bonn. Zugriff: https://doi.org/10.58007/64j8-7a06 [abgerufen am 10.10.2025].

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.html [abgerufen am 10.10.2025].

Bürger, S.; Grotelüschen, L.; Klausing, R., 2025: Datenaggregation nach dem WPG. Bericht der KWW-Facharbeitsgruppe Aggregation. Herausgeber: dena – Deutsche Energie-Agentur GmbH. Zugriff: https://api.kww-halle.de/fileadmin/PDFs/KWW-FAGA_Bericht-Datenaggregation-nach-WPG.pdf [abgerufen am 10.10.2025].

DIN SPEC 91607:2024-1, 2024: Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen. Zugriff: https://dx.doi.org/10.31030/3575521 [abgerufen am 10.10.2025].

Donaubauer, A., 2024: Digitaler Zwilling: Die Zukunft visualisieren. Zugriff: https://www.kommune21.de/k21-meldungen/die-zukunft-visualisieren [abgerufen am 10.10.2025].

DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.; AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (Hrsg.), 2023: Praxisleitfaden Kommunale Wärmeplanung. Zugriff: https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/leitfaden-kommunale-waermeplanung-dvgw-agfw.pdf [abgerufen am 10.10.2025].

Grotelüschen, L.; Klausing, R.; Knirlberger, A.; Neuhaus, M.; Becker, C.; Frank, D., Koch, A.; Schmelcher, S.; Ammon, M.; Arnold-Drmic, A; Korinke, E. K.; Neußer, W.; Schüle, R.; Thiele, J., 2025: Stakeholder-Dialog Wärmeplanung. Ergebnispapier. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn. Zugriff: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2025/stakeholder-dialog-waermeplanung.html [abgerufen am 10.10.2025].

Kamlage, J.-H.; Silina, I.; Arnold, D. J. C., 2025: Beteiligung in der kommunalen Wärmewende. Ein Modell für eine bürger*innenorientierte kooperative Planung. Kurzstudie. Berlin. Zugriff: https://www.researchgate.net/publication/393177260_beteiligung_in_der_kommunalen_warmewende_ein_modell_fur_eine_burgerinnenorientierte_kooperative_planung [abgerufen am 10.10.2025].

KWW – Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende, 2024: KWW-Kommunalbefragung 2024 zur Kommunalen Wärmeplanung (KWP). Vortrag auf Tagung „Kommunale Wärmeplanung", 19. November 2024, Berlin. Zugriff: https://api.kww-halle.de/fileadmin/PDFs/KWW-Kommunenbefragung2024_Pr%C3%A4sentation-gesamt_final.pdf [abgerufen am 10.10.2025].

KWW – Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende, 2025: Herausforderungen und Lösungsansätze einer einheitlichen und effizienten Datenverarbeitung in der KWP. Vortrag bei der Onlineveranstaltung „Komm in Fahrt" am 8. September 2025.

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. Zugriff: https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102915 [abgerufen am 10.10.2025].

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.), 2020: Kommunale Wärmeplanung. Handlungsleitfaden. Stuttgart. Zugriff: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf [abgerufen am 10.10.2025].

Ortner, S.; Paar, A.; Johannsen, L.; Wachter, P.; Hering, D.; Pehnt, M.; Acker, Y.; Köhler, B.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Keimeyer, F.; Ott, B.; Radgen, P.; Kluge, C.; Bartsch, A.; Langreder, N.; Billerbeck, A., 2024: Leitfaden Wärmeplanung. Heidelberg, Freiburg, Stuttgart, Berlin. Zugriff: https://api.kww-halle.de/fileadmin/PDFs/Leitfaden_W%C3%A4rmeplanung_final_17.9.2024_gesch%C3%BCtzt.pdf [abgerufen am 10.10.2025].

Riechel, R.; Koritkowski, S.; Libbe, J.; Koziol, M., 2017: Kommunales Transformationsmanagement für die lokale Wärmewende. TransStadt-Leitfaden. Herausgeber: Difu – Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin. Zugriff: https://repository.difu.de/handle/difu/241699 [abgerufen am 10.10.2025].

Riechel, R.; Trapp, J. H.; Montano, F., 2025: Konzeption einer räumlich-integrierten stadttechnischen Infrastrukturplanung: Ergebnisse einer sektorenübergreifenden Sondierung für das Land Berlin. Unveröffentlichter Bericht für die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin. Berlin.

Sautter, J.; Lindner, M.; Lödige, M.; Dobrokhotova, E.; Kirchner, J.; Seick, J.-P.; Braun, S., 2024: Datenkompetenz in kommunalen Verwaltungen. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). BBSR-Online-Publikation 96/2024. Bonn. Zugriff: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2024/bbsr-online-96-2024.html [abgerufen am 10.10.2025].

Seidl, H.; Wollburg, C.; Weingarten, L.; Balun, E.; Häußler, J., 2024: Daten für die kommunale Wärmeplanung. Herausforderungen, Best Practices und Handlungsempfehlungen. Herausgeber: Deutscher Städtetag. Berlin, Köln. Zugriff: https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Weitere-Publikationen/2024/Leitfaden-kommunale-Waermeplanung-mit-Daten.pdf [abgerufen am 10.10.2025].

Yildiz, Ö., Richwien, M.; Steidle, D.; Dellbrügge, M.; Schmidt, J.; Maraj, B., 2024: Akteursbeteiligung in der Kommunalen Wärmeplanung. Leitfaden. Herausgeber: dena – Deutsche Energie-Agentur GmbH; KWW – Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende. Zugriff: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Leitfaden_Akteursbeteiligung_in_der_Kommunalen_Waermeplanung.pdf [abgerufen am 10.10.2025].

Anhang

Systematik zur Bewertung der Ausbaustufen der verwendeten UDZ

Bereits während der Erstellung der Gesamtübersicht der untersuchten kommunalen Wärmepläne wurde deutlich, dass eine wesentliche Herausforderung der Analyse darin besteht, die tatsächliche Leistungsfähigkeit beziehungsweise den Funktionsumfang der erwähnten urbanen digitalen Zwillinge zu bewerten. Dies trifft insbesondere auf Kommunen zu, die die Erstellung ihrer Wärmeplanung vollständig an Dienstleister ausgelagert haben. Daher wurde eine **Bewertungssystematik der Ausbaustufen von urbanen digitalen Zwillingen in der kommunalen Wärmeplanung** entwickelt. Diese baut auf der Zuordnung der zuvor identifizierten Tools zu den Phasen der Wärmeplanung auf:

Phasen der Wärmeplanung	eingesetzte Technologien und Tools
1. Vorbereitungsphase	Projektmanagementsoftware
2. Eignungsprüfung	ALKIS; digitales Immobilienkataster; webbasiertes Geoinformationssystem; Energieatlas
3. Bestandsanalyse	Geoinformationssysteme (QGIS, Energieatlas Baden-Württemberg); ALKIS; Schornsteinfegerdaten; automatisierte Gebäudezählung; Datenbanken; PostGIS
4. Potenzialanalyse	automatisierte Potenzialanalyse; Potenziale von Wärmepumpen und Nahwärmenetzen; 3D-Modelle; digitale Oberflächenmodelle; Greenventory; Solarkataster; Wärmeatlas
5. Zielszenarioentwicklung	Simulationstools (flixOpt, GEOHANDlight); digitaler Wärmezwilling (DigiPAD); Technologie- und Gebäudedatenbanken; KI-basierte Simulationsmodelle
6. Umsetzungsstrategie	BICO2 BW (Treibhausgas-/Energiebilanz); szenariobasierte Planungsergebnisse
7. Detailplanung	Smart2Energy Web; QGIS Python-Plugins; Excel-Energiebilanz-Tools
8. Monitoring	European-Environment-Agency-Tool; kommunale Energiemanagementsysteme; Smart2Energy Web; Python-basierte Monitoring-Tools
9. Evaluierung, Neubewertung und Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung	Monitoringdashboards; Evaluierungsinstrumente (European-University-Association-Outputs)
(Öffentlichkeitsarbeit)	webbasierte GIS-Plattformen (Smart Geomatics); GeoPortal; Visualisierungswerkzeuge/Dashboards

Tabelle 12: Eingesetzte Tools in der Wärmeplanung | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Der nächste Schritt bestand darin, einen UDZ-Reifegrad abzuleiten, den sogenannten AUDZ (=angewandten urbanen digitalen Zwilling). Dieser basiert darauf, inwieweit die implementierten Tools und Prozesse mit denen in der Literatur definierten Kernmerkmalen und Anforderungen eines digitalen Zwillings übereinstimmen.

Die Definition eines UDZ, der für diese Studie in Betracht gezogen wird, lautet wie folgt:

Ein UDZ ist definiert als „ein dynamisches digitales Abbild, welches sich auf die Ganzheit oder einen anwendungsfallspezifischen Teil einer Stadt bezieht. Dazu gehören unter anderem die physische Bausubstanz, Infrastrukturanlagen und -einrichtungen sowie städtische Prozesse, Systeme und Daten unter Einbeziehung von Geräten des Internet der Dinge (IoT) und Informationsfeedback der Bürgerschaft“ (Brandt et al. 2023: 10).

Laut der im November 2024 veröffentlichten DIN SPEC 91607 „Digitale Zwillinge für Städte und Gemeinden“ leistet ein UDZ somit „einen Beitrag zu den übergeordneten kommunalen Zielen des integrierten Handelns, der zukunftsorientierten Prozessoptimierung und der ganzheitlichen Messbarkeit von Maßnahmen und Entwicklungen“ (DIN SPEC 91607: 28). Digitale Zwillinge können somit auch die Beantwortung interdisziplinärer Fragestellungen erleichtern (vgl. Donaubauer 2024).

Nach dieser Definition müssen vier Schlüsselmerkmale erfüllt sein, damit sich eine Organisation als vollständig entwickelter urbaner digitaler Zwilling qualifizieren kann:

1. virtuelle Repräsentation
2. Auswertung
3. Durchführung von Simulationen
4. Management

Anhand des Ausmaßes, in dem jedes dieser Merkmale erfüllt ist, kann eine entsprechende Note beziehungsweise ein entsprechendes Level vergeben werden, welche oder welches den Reifegrad einer UDZ-Implementierung widerspiegeln (s. AUDZ-Typisierung).

Daraus lässt sich folgende Bewertungssystematik ableiten:

Typen	Merkmal	(Mindest-)Komponenten	typische Technologien
AUDZ 1	virtuelle Repräsentation	geodatenbezogene 3D-Modellierung der Stadt oder anwendungsspezifischer Stadtteile (Gebäude, (Teile der) Infrastruktur, urbane Prozesse, Daten von IoT-Geräten, Informationsfeedback der Bürgerschaft)	QGIS; webbasiertes Geoinformationssystem; Energieatlas; Geoinformationssysteme allgemein; PostGIS; ALKIS; digitales Immobilienkataster; Schornsteinfegerdaten; Kehrbuch
AUDZ 2	Auswertung	intelligente und dynamische Integration von anwendungsspezifischen Funktionen für Auswertungen; Datenanalysetools; kontinuierlicher und systematischer Abgleich zwischen Realität und virtuellem Abbild	automatisierte Gebäudeberechnung; Potenzialanalyse; Datenexport
AUDZ 3	Durchführung von Simulationen	Simulationssoftware; Integration von Planungsdaten	paketbasierte Potenziale; European-Environment-Agency-Tool; GEOHANDlight; flixOpt
AUDZ 4	Management	Echtzeit-Kontrolle von Objekten und Infrastrukturen in der physischen Welt; Engagement für die Erfüllung kommunaler Aufgaben	Smart-Grid- oder KI-basierte Steuerungsysteme (bisher kaum realisiert)

Tabelle 13: Bewertungssystematik für Ausbaustufen von UDZ in der kommunalen Wärmeplanung | Quelle: Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

www.bbsr.bund.de

ISBN 978-3-98655-162-9