

Digitale Informationsmodelle für die Planung und Optimierung von Gebäuden und urbaner Energieinfrastruktur

DIM4Energy

K. Berger, S. Hauer,
J. Peters-Anders, R. Schmidt,
A. Shadrina, E. Widl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

7/2021

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Digitale Informationsmodelle für die Planung und Optimierung von Gebäuden und urbaner Energieinfrastruktur

DIM4Energy

Karl Berger, Stefan Hauer, Jan Peters-Anders, Ralf-Roman Schmidt,
Anna Shadrina, Edmund Widl
AIT - Austrian Institute of Technology GmbH

Wien, November 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Kurzfassung | 8 |
| 2 | Abstract | 9 |
| 3 | Executive Summary | 10 |
| 4 | Ausgangslage | 14 |
| 4.1. | Digitalisierung als wesentliches Element der Dekarbonisierung | 14 |
| 4.2. | Energieeffiziente Städte und Quartiere | 14 |
| 4.3. | Building Information Modeling (BIM) | 15 |
| 4.4. | Urban Information Modeling (UIM) | 16 |
| 4.5. | Methoden für die Planung von Wärmenetzen..... | 18 |
| 4.6. | Methoden für integrierte Energieplanung..... | 19 |
| 5 | Projekthalt | 21 |
| 5.1. | Problemstellung | 21 |
| 5.2. | Ziele | 23 |
| 5.3. | Innovationsgehalt..... | 23 |
| 6 | Ergebnisse..... | 25 |
| 6.1. | Stakeholderprozess | 25 |
| 6.2. | Bestandsaufnahme DIM | 26 |
| 6.3. | Urban Information Model (UIM) und die Verwendung von CityGML..... | 27 |
| 6.4. | Das Schema der DIM-Anwendungen und das UIM als zentraler Baustein der digitalen Energieplanung..... | 28 |
| 6.5. | Use cases / Anwendungsfälle | 29 |
| 6.5.1. | Dynamischer Energieausweis, Perspektive Stadt..... | 29 |
| 6.5.2. | Dynamischer Energieausweis, Perspektive Gebäude..... | 31 |
| 6.5.3. | Planung und Optimierung von Wärmenetzen | 33 |
| 6.5.4. | Lokale Energieplanung aus Sicht der PV..... | 35 |
| 6.6. | Leitfaden..... | 38 |
| 6.7. | Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“ | 39 |
| 7 | Schlussfolgerungen..... | 40 |
| 8 | Ausblick und Empfehlungen | 41 |
| 8.1. | Prozesse..... | 41 |
| 8.2. | Daten und Datenformate | 41 |
| 8.3. | Softwaretools | 43 |
| 8.4. | Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Potenzial für Demonstrationsvorhaben | 44 |
| 8.5. | Ausblick..... | 45 |

| | | |
|------|----------------------------|----|
| 9 | Verzeichnisse..... | 47 |
| 9.1. | Abbildungsverzeichnis..... | 47 |
| 9.2. | Literaturverzeichnis..... | 47 |
| 10 | Anhang..... | 50 |

1 Kurzfassung

Ausgangssituation: Die Implementierung von energieeffizienten und erneuerbaren Städten und Stadtteilen ist ein komplexer und kostenintensiver Prozess. In Planungs- und Entscheidungsprozessen sowie für die Betriebsoptimierung von Energiesystemen spielen digitale Informationsmodelle (DIM) eine immer bedeutendere Rolle, angefangen bei einzelnen Gebäuden bis hin zu ganzen Städten. Jedoch werden bestehende DIM bislang im Wesentlichen individuell betrachtet und eingesetzt, Schnittstellen untereinander wurden nur vereinzelt und zum Teil auch erst in Pilotanwendungen umgesetzt.

Projekt-Inhalte und Methodik: Im Rahmen des Projektes DIM4Energy wurden Herausforderungen und Möglichkeiten analysiert, die sich durch den Einsatz von DIM für die integrierte Planung und den optimierten Betrieb von Plus-Energie-Quartieren und Städten ergeben. Dazu wurde unter anderem ein Stakeholderprozess mit VertreterInnen der österreichischen Bau- und Energiewirtschaft, Verwaltung und aus der angewandten Forschung durchgeführt.

Ergebnisse: Zentrales Element der hier vorgestellten Vision ist ein Urban Information Model (UIM), das existierende DIM, wie das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) oder Building Information Modeling (BIM) Datensätze und Geographische Informationssysteme (GIS) integriert. Bei einem UIM handelt es sich um ein zentrales, virtuelles Stadt- und Umgebungsmodell für die Datenpflege von Gebäuden und Infrastruktur über deren gesamten Lebenszyklus. Es sieht eine zentrale Datenbank auf Basis des CityGML Datenmodells vor, die über Schnittstellen zu anderen Datenbanken und Tools verknüpft werden kann. Im Rahmen des gegenständlichen Projektes wurde auch die Anwendbarkeit des UIMs auf unterschiedliche Anwendungsbeispiele untersucht: der dynamischer Energieausweis aus der Perspektive der Stadt und des Gebäudes sowie die Planung und Optimierung von Wärmenetzen und die lokale Energieplanung aus Sicht der PV. Der resultierende Mehrwert des Einsatzes des hier beschriebenen UIMs kann wie folgt dargestellt werden:

- Automatisierte Analysen des Gebäudestatus (Sanierungsbedürfnis, CO₂-Bilanz) sowie Evaluierung der Performance bzgl. Energieverbrauch sowie Identifikation lokaler Energiequellen und Potentiale
- Automatisierte Berücksichtigung lokaler Randbedingungen und Gebäudegeometrien sowie städtebaulicher Anforderungen/ Konformitätsprüfung
- Iterativer Abgleich der Planungsprozesse von Infrastruktur und Gebäude inkl. der Analyse technischer Varianten durch die Integration von Berechnungs- / Simulationstools sowie die Nutzung einer konsistenten Datenbasis und Kommunikationsschnittstellen
- Generierung von Verbesserungsvorschlägen, Ableitung von (Bau-) Vorschriften/Vorgaben

Ausblick: Zur Realisierung der genannten Mehrwerte wurden im Rahmen des DIM4energy Projektes übergreifende Handlungsempfehlungen in den Dimensionen Prozesse, Tools und Daten abgeleitet. Als zentrales Ergebnis des Projektes steht ein Leitfaden auf www.ait.ac.at/DIM4energy zum kostenfreien Download zur Verfügung.

2 Abstract

Initial situation: The implementation of energy-efficient and renewable cities and districts is a complex and cost-intensive process. Digital information models (DIM) play an increasingly important role in planning and decision-making processes as well as for the operational optimization of energy systems, starting with individual buildings and extending to entire cities. However, existing DIM have so far been considered and used mainly on an individual basis, interfaces between each other have only been implemented in isolated cases, in some cases only in pilot applications.

Methodology: Within the DIM4Energy project, challenges and opportunities arising from the use of DIM for the integrated planning and optimised operation of plus-energy neighbourhoods and cities were analysed. Therefore, a stakeholder process with representatives from the Austrian building and energy industry, administration and applied researchers was carried out.

Results: The central element of the vision presented is an Urban Information Model (UIM) that integrates existing DIM, such as the Building and Dwelling Register or Building Information Modeling (BIM) data sets and geographical information systems (GIS). A UIM is a central, virtual city and environment model for the data management of buildings and infrastructure over their entire life cycle. It provides a central database based on the CityGML data model, which can be linked to other databases and tools via interfaces. Within the scope of the project, the applicability of the UIM to different use cases was investigated: dynamic energy performance certificates from the perspective of the city and the building as well as planning and optimization of heating networks and local energy planning from the perspective of PV. The resulting added value of using the UIM described here can be illustrated as follows:

- Automated analysis of the building status (need for refurbishment, CO₂ balance) as well as evaluation of the performance in terms of energy consumption and identification of local energy sources and potentials.
- Automated consideration of local boundary conditions and building geometries as well as urban planning requirements/conformity check
- Iterative comparison of the planning processes of infrastructure and buildings including the analysis of technical variants by integrating calculation / simulation tools and using a consistent database and communication interfaces
- Generation of suggestions for improvement, derivation of (building) regulations / specifications

Outlook: In order to realize the above-mentioned added value, the DIM4energy project derived comprehensive recommendations for action in the dimensions processes, tools and data. As a central result of the project, a guideline (in German) is available for free download at www.ait.ac.at/DIM4energy.

3 Executive Summary

Energieeffiziente und erneuerbare Städte und Quartiere: Die Implementierung von energieeffizienten und erneuerbaren Städten und Stadtteilen ist ein komplexer und kostenintensiver Prozess. Der Abstimmungsaufwand zwischen den beteiligten Stakeholdern ist dabei sehr hoch, unter anderem, weil eine große Menge an Daten zielgerichtet und zeitgerecht für jeden Stakeholder erhoben und bearbeitet werden muss. Dabei sind vorhandene Datenbanken, Softwaretools sowie Softwarestandards zu berücksichtigen. In Planungs- und Entscheidungsprozessen sowie für die Betriebsoptimierung von Energiesystemen spielen digitale Informationsmodelle eine immer bedeutendere Rolle, angefangen bei einzelnen Gebäuden bis hin zu ganzen Städten. Aus diesen Modellen können wertvolle Informationen gewonnen werden, sofern die entsprechenden Datenquellen und damit verbundenen Softwaretools richtig miteinander verknüpft werden (können).

Hintergrund und Methode: Im Rahmen des Projektes DIM4Energy wurden Herausforderungen und Möglichkeiten analysiert, die sich durch den Einsatz von digitalen Informationsmodellen (DIM) für die integrierte Planung und den optimierten Betrieb von Plus-Energie-Quartieren ergeben. Ein zentrales Element hierbei war ein Stakeholderprozess mit VertreterInnen der österreichischen Bau- und Energiewirtschaft, Verwaltung und aus der angewandten Forschung. Ein wesentliches Ergebnis des Projektes ist ein Leitfaden, der in die Grundlagen der digitalen Energieplanung einführt, verschiedene Anwendungsfälle erläutert, sowie best-practice Beispiele, Herausforderungen und Handlungsempfehlungen zusammenfasst. Weitere Informationen sind zu finden unter www.ait.ac.at/dim4Energy/.

Integrierte Planung und optimierter Betrieb von Plus-Energie-Quartieren mit Hilfe digitaler Informationsmodelle: Derzeit eingesetzte bzw. in Entwicklung begriffene digitale Informationsmodelle (DIM) sind:

- **Gebäude und Wohnungsregister:** zentrales Register für Zwecke der Statistik, Forschung und Planung; lokales Register für Administration und regionale Analysen.
- **GIS-basierte Netzmodelle:** Modelle von Ver- und Entsorgungsnetzen (Fernwärme, Gas- und Stromnetze, ggf. Wasser, Abwasser) inkl. Analysen der lokalen Wärmebedarfsdichten und Wärmequellen.
- **Building Information Model:** virtuelles Gebäudemodell für die Datenpflege über den gesamten Lebenszyklus mit Einarbeitung von Sachdaten für weiterführende Informationen, die als zusätzliche Dimensionen beschrieben werden.
- **Digitale Zwillinge:** Sammlung von physikalischen Modellen, Algorithmen, statischen Daten und Betriebsdaten sowie allgemeines Betriebswissen über ein technisches System, die ein virtuelles Spiegelbild eines Systems erschaffen.
- **Performance Evaluierung:** Evaluierung und Benchmarking der Performance von Gebäuden/Quartieren oder ganzen Städten anhand des Vergleichs von Plandaten vs. realen Monitoringdaten. Diese können dynamisch über die Jahre aktualisiert werden.

Diese DIM werden bislang im Wesentlichen individuell betrachtet und eingesetzt. Schnittstellen untereinander wurden nur vereinzelt zum Teil auch erst in Pilotanwendungen umgesetzt.

Das „Urban Information Model“ als zentrales Element der digitalen Energieplanung: Bei dem Urban Information Model (UIM), auch City Information Model (CIM) genannt, handelt es sich um ein zentrales, virtuelles Stadt- und Umgebungsmodell für die Datenpflege bzgl. der Gebäude und Infrastruktur innerhalb einer Stadt über deren gesamten Lebenszyklus. Das UIM bindet existierende nationale Datenbanken, wie das GWR oder BIM-Datensätze aus der Planung über Schnittstellen (APIs)

sowie einheitliche Bauteil- und Gebäude-IDs ein. Es ermöglicht somit die optimierte Zusammenarbeit in den Bereichen Gebäude, Stadt und Netze bzw. Infrastruktur.

Schema der DIM Anwendungen: Es lassen sich grundsätzlich folgende zwei Dimensionen betrachten, siehe auch Abbildung 1:

- Aggregierungsebene (y-Achse, Detaillierungsgrad und Informationsgehalt)
- Eigenschaftsebene (x-Achse, Funktionalität des Modells).

Die dargestellten Grenzen zwischen den Elementen sind fließend, da hier keine komplett scharfe Trennung zwischen den Aggregierungsebenen und Eigenschaften bzw. Merkmalen möglich bzw. sinnvoll ist.

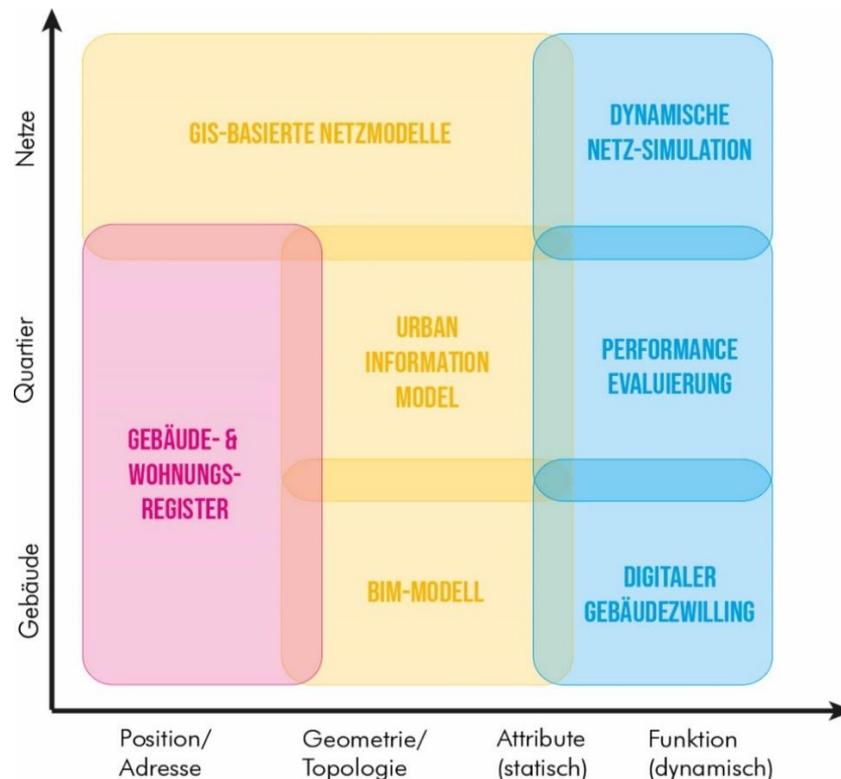


Abbildung 1: Schema der DIM-Anwendungen

Basierend auf dem Stakeholderprozess wurden im Rahmen des Projektes DIM4Energy unterschiedliche Anwendungsbeispiele untersucht, für die eine optimierte Zusammenarbeit der genannten DIM im Folgenden zusammengefasst ist:

Der **dynamischer Energieausweis (dEAW)** (unterstützt durch virtuelle Gebäude- und Stadtmodelle) ermöglicht die Durchführung von flächendeckenden und gebäudescharfen Analysen inkl. einem bidirektionalen Update von Anforderungen und statischen Planungswerten zu Realdaten zwischen UIM und BIM (dynamischer Energieausweis).

Aus der Perspektive des Gebäudes betrifft das „asbuilt“ Modelle, die als Informations-Hub dienen, um statische Werte nach der Inbetriebnahme mit dem tatsächlichen Energieverbrauch zu ersetzen, bzw. zu vergleichen. Diese können „as-planned – as-built – as-used“ Daten repräsentieren und diese für eine Performance-Evaluierung zur Verfügung stellen sowie mittels Internet der Dinge (IoT)-Schnittstellen ein automatisches Feedback von Heizung, Lüftung, Klima (HLK)-Geräten und User-Interaktion ermöglichen. Der Mehrwert digitaler Informationsmodelle ist das Feedback über die reale Gebäudeenergieeffizienz in Echtzeit, weiters sind derartige Modelle eine gute Basis für zukünftige Erweiterungen.

Aus der Perspektive der Stadt können somit wesentliche Grundlagen für die Energieraumplanung erstellt werden, diese inkludiert u.a. die Erstellung von Wärmekatastern für die Identifikation von Fernwärmeausbaugebieten, die Planung lokaler Energieerzeugung, wie durch Photovoltaik (PV) - Anlagen und die Identifikation von Sanierungszielgebieten. Der Mehrwert digitaler Informationsmodelle liegt auf der einen Seite in der automatisierten Prüfung von Baumaßnahmen auf Konformität zu regulatorischen Rahmenbedingungen der Stadt. Auf der anderen Seite ermöglichen sie eine automatisierte Analyse des Gebäudestatus (Sanierungsbedürfnis, CO₂-Bilanz) und die Generierung von Verbesserungsvorschlägen auf Basis von konsistenten realen Gebäudedaten (Geometrie- und Energiedaten).

Die Planung und Optimierung von innovativen Wärmenetzen: Niedertemperatur- und Anergienetze weisen eine hohe Effizienz, Flexibilität sowie hohe Potentiale für erneuerbare Energien auf. Herausforderungen liegen bei der höheren Komplexität bzgl. lokalem Verbrauch, Erzeugung und Speicherung sowie Regelung. Der Mehrwert digitaler Informationsmodelle liegt in der Abstimmung unterschiedlicher Stakeholderinteressen und technischer Varianten durch die Integration von Berechnungs- und Simulationstools sowie dem Ermöglichen eines iterativen Abgleichs der Planungsprozesse von Netz, Wärmequellen und Gebäude inkl. der automatisierten Berücksichtigung städtebaulicher Anforderungen. Die Nutzung einer konsistenten Datenbasis und der Kommunikationsschnittstellen ist eine wichtige Grundlage der Betriebsoptimierung.

Lokale Energieplanung aus Sicht der PV: bezieht sich auf die Berechnung des realen Solarpotentials für Bestands- und Neubauten basierend auf realen Bedingungen und der Potentialanalyse der zur Verfügung stehenden Energie/Leistung für das Quartier. Der Mehrwert digitaler Informationsmodelle liegt darin, dass durch die Performance-Evaluierung ein optimales Solarpotential für Gebäude und Quartiere unter Berücksichtigung lokaler Randbedingungen erhoben werden kann. Darüber hinaus kann die Stadt (Bau-) Vorschriften und Vorgaben aus den Modellen ableiten. Zusammenfassend kann der **Mehrwert** des dargestellten Einsatzes von DIM wie folgt dargestellt werden:

- DIM ermöglichen **automatisierte Analysen aktueller Zustände und Potentiale**, die direkt in anderen Anwendungen weiterverwendet bzw. genutzt werden können. Dies inkludiert den Gebäudestatus hinsichtlich des Sanierungsbedürfnis und der CO₂-Bilanz, was besonders für den Gebäudebestand wichtig, aber auch bei Neubauvorhaben bzgl. Planwerten relevant ist. Weiters kann eine Performance-Evaluierung bzgl. Energieverbrauch schnell und automatisiert durchgeführt werden, was auch die Rückmeldung von Fehlern und Verbesserungspotentialen inkludiert (siehe letzter Punkt). Abschließend können lokale Energiequellen inkl. verfügbare Dachflächen und Speicherpotentiale automatisiert analysiert werden und eine wichtige Grundlage für die Planung des Energiesystems liefern.
- DIM können **automatisiert relevante Aspekte berücksichtigen**, dies inkludiert vor allem die lokalen Randbedingungen wie vorhandene Infrastruktur, Mikro-Klima und Geometrien vorhandener und neuer Gebäude, aber auch städtebauliche Anforderungen hinsichtlich CO₂-Emissionen oder den Anteil erneuerbarer Energien. Hierbei kann z.B. eine Konformitätsprüfung hinsichtlich städtebaulicher Verträge direkt mit den Planunterlagen erfolgen. Ein Beispiel hierfür ist die teilautomatische Einreichprüfung, bei der aus Bauordnungstexten und -bestimmungen Vorgaben für Renovierungen und Neubauten abgeleitet werden, so dass ein digitales Anforderungsmodell für die zukünftige Planung entsteht¹.
- Über DIM kann ein **iterativer Abgleich der Planungsprozesse von Infrastruktur und Gebäude** erfolgen. Dieses betrifft die Analyse technischer Varianten durch die Integration von Berechnungs- bzw. Simulationstools sowie die Nutzung einer konsistenten Datenbasis. So

¹ Siehe z.B. das Projekt der Stadt Wien: Building Regulations Information for Submission Involvement, <https://digitales.wien.gv.at/site/projekt/brisevienna>

können Änderungen des Energiesystems oder der für PV verfügbaren Dachfläche bei der Planung eines neuen Gebäudes direkt dem Energieversorger bzw. dem Quartiersplaner mitgeteilt werden, so dass diese zeitnah potenzielle Auswirkungen auf die zu erwartende Performance des Quartiers berechnen und bei signifikanten Abweichungen entsprechende Aktivitäten setzen können. Weiters erlaubt die Nutzung einheitlicher Kommunikationsschnittstellen eine ganzheitliche Betriebsoptimierung des Systems inkl. der Kommunikation von relevanten Setpoints.

- DIM erlauben die **Generierung von Verbesserungsvorschlägen sowie Ableitung von (Bau-) Vorschriften/Vorgaben**. Dies betrifft einerseits die (teil-)automatisierte Erstellung von Energieversorgungs- und Sanierungsszenarien für Quartiere basierend auf Plandaten der Bauträger bzw. bestehenden Performancedaten der Gebäude. Ggf. können Vorgaben zur Adaptierung der jeweiligen Energiesysteme bzw. Anschluss an (bestehende) Wärmenetze abgeleitet werden. Andererseits können Fehler bzw. Unregelmäßigkeiten im Betrieb von Gebäuden identifiziert und Maßnahmen zur Fehlerbehebung vorgeschlagen werden, z.B. hohe Spitzenlasten oder Systemtemperaturen im Gebäudeheizungssystem.

Zur Realisierung der genannten Mehrwerte werden folgende übergreifende **Handlungsempfehlungen** in folgenden drei Dimensionen abgeleitet:

Prozesse

- Die Einrichtung eines UIM als zentraler „Hub“ für den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Tools und Stakeholdern, das standardisierte Schnittstellen berücksichtigt und eine Möglichkeit für Drittanbieter eröffnet, Services anzubieten (siehe Tools).
- Der Übergang von statischen zu dynamischen Betrachtungen bei Planungs- und Optimierungsprozessen.
- Der iterative Abgleich des Gebäudeplanungsprozesses mit der Energieinfrastrukturplanung und den Vorgaben der Stadt basierend auf den digitalen Datenaustauschprozessen

Daten

- Die Erfassung von Daten zum Gebäudebestand, inklusive Geometrien, bestehende Energiesysteme, Gebäudezustände, Materialien etc. sowie Monitoringdaten des Energiebedarfs und Nutzungsprofile.
- Die Erarbeitung eines umfassenden Metadatenkatalogs zu allen erfassten und verarbeiteten Daten, der die Nachvollziehbarkeit der Inhalte, die Qualität und die Identifikation ermöglicht.
- Die Erfassung von Daten zur (lokalen) Energieerzeugung und Speicherung, inklusive Abwärme, Erdwärme, Kleinwindkraft, Solarkataster und lokaler Speicherpotentiale.
- Analyse, (Weiter-) Entwicklung und Validierung neuer bzw. ergänzender Datenformate (Gebäude: Fokus openBIM, Stadt: Fokus CityGML und ADEs).
- Definition eines UIM-Datenmodells inkl. der Schnittstellen zu schon existierenden städtischen und nationalen Datenbanken (Statistik Austria, Stadtverwaltungen, Bund, Energieversorger, Netzbetreiber).

Softwaretools

- Die Entwicklung und Implementierung von Algorithmen und Funktionalitäten zur Aggregation von Daten und Anonymisierung sowie Zugriffsberechtigung.
- Die (Weiter-)Entwicklung von Tools zur Unterstützung von Planungsprozessen bzgl. dynamischer Prozesse, Szenarienanalysen und Risikomanagement sowie Änderungsmanagement.
- Die (Weiter-)Entwicklung von Berechnungs- und Simulationstools für Gebäudeenergiebedarf sowie lokaler Energiepotentiale.

4 Ausgangslage

4.1. Digitalisierung als wesentliches Element der Dekarbonisierung

Österreich bekennt sich im Rahmen der Klima- und Energiestrategie Mission2030² zu den internationalen Klimazielen. Die Digitalisierung wird hierbei als eine Schlüsselfunktion für die Dezentralisierung, Flexibilisierung und effiziente Nutzung von Energie und Mobilität genannt. Dies betrifft neben der Steuerung und Regelung von integrierten Energiesystemen auch neue, zukunftsfähige Geschäftsmodelle. Langfristig wird die Verknüpfung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität ins Zentrum der IKT-gestützten Optimierung des Energie- und Mobilitätssystems rücken. Zwei Schlüsselemente im Rahmen der Mission2030 sind Plus-Energie-Areale und integrierte regionale Energiesysteme, die bis zu 100 % Energie aus erneuerbaren, lokalen Quellen nutzen. Weiters wird die überregional koordinierte und vorausschauende Energieraumplanung als wesentliches Instrument genannt, um lokale Energien sowie Kraft-Wärme-Kopplung und die Einspeisung von Abwärme aus Produktionsbetrieben zu maximieren. In diesem Zusammenhang sollen z.B. verfügbare Flächen bei Gebäuden (insbesondere Neubau und Sanierung) für gebäudeintegrierte Photovoltaik bestmöglich genutzt werden.

Im Umsetzungsplan für die Energieforschungsinitiative der österreichischen Klima- und Energiestrategie³ werden neben industriellen Energiesystemen (nicht Fokus des Projektes DIM4Energy) die Schwerpunkte „Plus-Energie-Quartiere“ und „integrierte regionale Energiesysteme“ der Mission2030 aufgegriffen und hierbei u.a. folgende Innovationsaktivitäten gesetzt: innovative Planungs- und Testtools für Gebäudecluster und Quartiere sowie planerische und räumliche Methoden für Fernwärme- (und Fernkälte-) Ausbauszenarien insbesondere in Verbindung mit Energieraumplanungsprozessen und einem intelligenten Datenmanagement.

4.2. Energieeffiziente Städte und Quartiere

Die Implementierung von energieeffizienten Städten und Stadtteilen ist ein komplexer und kostenintensiver Prozess. Einen wesentlichen Beitrag dazu können Plus-Energie-Quartiere leisten, indem sie Städten und ihren BewohnerInnen den Übergang zu einer energieeffizienten und klimaverträglichen Lebens- und Arbeitsweise ermöglichen. Aber auch der Übergang zu integrierten Energiesystemen, die Synergien zwischen verschiedenen Bereichen wie Energieeffizienz, Strom, Wärme und Gas effektiv nutzen, versprechen in diesem Zusammenhang bislang ungenutzte Potentiale zur Steigerung von Effizienz und Flexibilität zu nutzen.

Viele Herausforderungen im Kontext von Plus-Energie-Quartieren und integrierten Energiesystemen sind jedoch nicht primär auf neue Technologien ausgerichtet, sondern auf die Optimierung von (teils vorhandenen) Gebäuden und Energiesystemen über Energievektoren und -skalen hinweg unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und regulatorischer Aspekte. Der Übergang zu Plus-Energie-Quartieren und integrierten Energiesystemen steht jedoch bereits in der Planungs- und Entwurfsphase vor großen praktischen Herausforderungen, da es keine etablierten Ansätze gibt, die über die traditionellen Grenzen der individuellen Bereiche hinaus arbeiten. Grundsätzlich ist dabei der Abstimmungsaufwand zwischen den beteiligten Stakeholdern sehr hoch, unter anderem, weil eine große Menge an Daten zielgerichtet und zeitgerecht für jeden Stakeholder erhoben und bearbeitet werden muss. Dabei sind vorhandene Datenbanken, Softwaretools sowie Standards zu berücksichtigen.

² <https://mission2030.info/>

³ <https://www.nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/highlights/mission-innovation-austria-fokusgruppen.php>

In Planungs- und Entscheidungsprozessen sowie für die Betriebsoptimierung von Energiesystemen spielen digitale Informationsmodelle (DIM) eine immer bedeutendere Rolle, angefangen bei einzelnen Gebäuden (Building Information Models, BIM) bis hin zu ganzen Städten (Urban Information Models, UIM). Aus diesen Modellen können wertvolle Informationen gewonnen werden, sofern die entsprechenden Datenquellen und damit verbundenen Softwaretools richtig miteinander verknüpft werden.

Weltweit verwenden immer mehr Städte CityGML zur Speicherung ihres 3D-Stadtmodells. Im Zuge der Digitalisierung werden auch die Möglichkeiten der standardisierten Speicherung von Gebäudeattributdaten mehr und mehr genutzt. Zu den Städten, die CityGML schon verwenden, gehören im deutschsprachigen Raum z.B. Wien (Stadt Wien, MA41, 2020), Linz, Berlin, Hamburg und Zürich, wobei in Wien die Besonderheit besteht, dass hier die Wiener Linien zusätzlich ein eigenes CityGML Modell aller U-Bahn Bauwerke betreiben, das aktuell gehalten wird.

Das Projekt DIM4Energy analysiert in diesem Zusammenhang die Relevanz von Digitalen Informationsmodellen (DIM) in Verbindung mit Softwarelösungen. Im Folgenden wird daher die Ausgangslage innerhalb der folgenden Domänen skizziert:

- Building Information Modelling (BIM)
- Urban Information Modelling (UIM)
- Methoden für die Planung von Wärmenetzen
- Methoden für integrierte Energieplanung

4.3. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) ist ein Prozess, der auf einem gemeinsamen digitalen Datenmodell aufbaut und versucht, Infrastruktur und Gebäudeinformationen zu strukturieren. BIM wird heutzutage vorrangig in Projektentwicklung, Angebotslegung, Planung und Bau verwendet und deckt nicht nur Gebäude, sondern auch andere Objekte wie Brücken, Tunnel oder Straßen ab. BIM dient vorrangig als geometrische Darstellung des realen Gebäudes und erleichtert die Zusammenarbeit in den einzelnen Planungsphasen.

Von der Konzeptionierung über die Ausschreibung bis zur Planung ist BIM international fest etabliert, wenn auch eher für größere Projekte. Zahlreiche Staaten fordern BIM bereits in Bauprojekten: Im Vereinigten Königreich wird die Reife (maturity) von BIM in Ebenen (Levels) unterteilt, wobei Level 0 eine nicht-digitale Umgebung beschreibt, während Level 4 die Verwendung von BIM über alle Aspekte von Projektierung und Dokumentation in einem Bauprojekt umfasst. Die britische Regierung hat die Verwendung von BIM Level 2, also die Verwendung von kollaborierenden, „federated“ Modellen, bestehend aus grafischen und nicht-grafischen Daten in einer gemeinsamen Datenumgebung bereits mit 2016 für alle Regierungsbauprojekte eingeführt. In Norwegen, Schweden und Finnland ist die Sachlage ähnlich. Deutschland und Österreich haben keine derartige Regelung, Österreich ist allerdings in Bezug auf Standardisierung sehr aktiv. So wurde die ÖNORM A 6241-1 "Technische Zeichnungen für das Bauwesen – Teil 1: CAD-Datenstruktur und Building Information Modeling (BIM) – Level 2" und die ÖNORM A 6241-2 „Digitale Bauwerksdokumentation – Teil 2: Building Information Modeling (BIM) – Level 3-iBIM“ schon im Jahr 2015 herausgegeben und derzeit wird auf Basis dieser österreichischen Norm die internationale Norm ISO 19650-1 und ISO 19650-2 entwickelt.

Neben der Definition von BIM benötigt die Zusammenarbeit am gemeinsamen Datenmodell auch ein gemeinsames Vokabular und ein einheitliches Verständnis der verwendeten Begriffe. BuildingSMART hat dazu eine entsprechende Ontologie für die Bauindustrie definiert (bSI, 2020) und in der Norm ISO 12006-3 als buildingSMART Data Dictionary (bsDD) standardisiert. Das Data Dictionary ist somit international offen und ermöglicht Architekten, Ingenieuren, Beratern und Betreibern auf der einen Seite, sowie Produktherstellern und Zulieferern auf der anderen Seite, Produktinformationen auszutauschen. Der in Österreich entwickelte Merkmalsserver (freeBIM, 2020) ist im Wesentlichen

eine Sammlung von Eigenschaften mit einer eindeutigen Identifikation (GUID, *globally unique identifier*), die als Merkmale für Planung und Bau dienen und im Einklang mit bsDD stehen sollen. Dementsprechend sind vorrangig Merkmale zu Bauteil- und Materialeigenschaften definiert, Weiterentwicklungen sind aber angedacht. Die Definition eines gemeinsamen Vokabulars ist eine wesentliche Vorbedingung, um Interoperabilität zwischen verschiedenen Anwendungen zu erreichen. Derzeit zeigt sich, dass zwar das Datenformat IFC einheitlich verwendet wird, aber darauf aufbauend auch proprietäre Erweiterungen außerhalb des bsDD Vokabulars verwendet werden, was zu Informationsverlusten beim Austausch führt.

Die Arbeit wird auf den Vorarbeiten z.B. in Deutschland aufbauen, wo schon 2013 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) der BIM-Leitfaden für Deutschland (Egger, 2020) herausgegeben wurde, aber auch den bereits bisher in Österreich erarbeiteten Unterlagen wie dem BIM-Kompendium der Firma Allplan aus 2016 (ALLPLAN Österreich GmbH, 2019), welches sich bereits auf die neue IFC4 Schnittstelle bezieht oder dem BIM-Leitfaden der A-Null Bausoftware GmbH (Eichler, 2016).

Unterschiedliche Softwarelösungen unterstützen den BIM-Prozess bereits heute. Eine zentrale Herausforderung ist die Interoperabilität zwischen Unternehmen, Teams, Disziplinen und allen anderen Nutzern und Produzenten von Informationen. Dies führt zu der Notwendigkeit des sogenannten "Open-BIM"-Paradigmas, in dem ein gemeinsames Austauschformat verwendet wird. Bisher ist der Datenaustausch zwischen z. B. Architekt und TGA Planer nicht robust, meist bedingt durch den Export von proprietären Formaten in ein neutrales Format wie IFC und dem folgenden Import aus IFC in ein anderes proprietäres Format. Planungstools wie Revit, ArchiCAD u. ä. sind historisch bedingt am weitesten und bieten Exporte in IFC4 an.

Es existieren auch bereits branchenspezifische Tools z. B. für die TGA-Planung, die über IFC ankoppeln. Dennoch ist der Austausch meist nicht verlustfrei möglich. Hinzu kommt, dass es kaum Austausch über die Gebäudegrenze hinaus gibt. Diese Probleme müssen einerseits auf IT-Ebene adressiert werden, andererseits erfordert es ein Umdenken und eine dadurch bedingte Bewusstseinsbildung. Die Entwicklung von Modellierungsleitfäden auf diesem Gebiet, speziell in Zusammenarbeit mit „externen“ Daten aus der Stadtplanung, der Bauordnung bzw. der städtischen Infrastruktur sind daher wesentlich, um eine Zusammenarbeit zu ermöglichen.

4.4. Urban Information Modeling (UIM)

Energieraumplanung auf der Ebene von Städten oder Quartieren erfordert einen ganzheitlichen, strategischen Ansatz, der ein Verständnis der komplexen Systemzusammenhänge erfordert. Eine umfassende Kenntnis des Gebäudebestands und seiner physikalischen Eigenschaften, der Nachfrage und Versorgung mit Energieressourcen, der Energieinfrastruktur (Netze, Speicher, Erzeugungsanlagen für Strom, Gas, Wärme einschließlich ihrer räumlichen Verteilung) ist daher von größter Bedeutung. Die Bereitstellung solch detaillierter Informationen für jedes Gebäude ist jedoch eine Herausforderung, da diese Informationen sehr häufig über mehrere heterogene, nicht integrierte Datenquellen verteilt sind. Heutzutage können präzise Informationen über alle physischen und funktionalen Eigenschaften eines einzelnen Gebäudes mittels BIM organisiert werden, der Übergang zu Quartieren oder gesamten Städten (in einer Art Bottom-up-Ansatz) ist zwar theoretisch möglich, aber in der Praxis kaum umsetzbar. Einerseits sind innerhalb einer Stadt nur für wenige Gebäude BIM-Daten verfügbar (vor allem nicht für solche, die im 20. Jahrhundert oder davor gebaut wurden). Andererseits ist das Generieren eines BIM von Grund auf ein sehr aufwändiges Unterfangen, das sich nur bei der Planung neuer Gebäude rentiert.

Darüber hinaus sind stadtweit detaillierte und vollständige Daten zu energierelevanten Eigenschaften nicht in „BIM-ähnlichen“ Formaten verfügbar. Um diesem Problem zu begegnen, werden weltweit immer mehr semantische 3D-Stadtmodelle verwendet, die als standardisierte, integrierte und harmonisierte Datenquellen dienen. Ein 3D-Stadtmodell ist das Gegenstück zu einem BIM für die

gesamte Stadt und ist in der Regel das Ergebnis der Integration vorhandener räumlicher und nicht-räumlicher Datensätze (z.B. Volkszählungsdaten, GWR-Daten, Adressen, Bevölkerungsdaten, 2D und, falls verfügbar, semantisch angereicherte 3D-Geometrien). Wenn ein 3D-Stadtmodell auf offenen Standards beruht (z.B. wie der internationale offene Standard CityGML des Open Geospatial Consortium), verbessert dies die Dateninteroperabilität zwischen den verschiedenen Prozessen und Stakeholdern erheblich. Es kann als "gemeinsamer Nenner" für Stadtverwaltung, Energieversorger, Bürger und andere mögliche Interessengruppen fungieren, indem es die Speicherung, den Austausch und die Analyse von standardisierten Daten erleichtert. 3D-Stadtmodelle sind daher eine grundlegende Ergänzung der BIM-Welt, da sie diese Bereiche abdecken, die nicht und wahrscheinlich niemals "BIM-ready" sein werden (also vor allem Objekte in der Stadt wie Straßen, Netzwerke, usw.).

Bei der Arbeit im Stadt-/Quartiers-Maßstab umfasst die Anzahl der Möglichkeiten hinsichtlich offener und standardisierter Datenmodelle im Wesentlichen nur CityGML (Kolbe, 2009) und – zumindest für die Europäische Union – die INSPIRE-Datenspezifikation (Bartha & Kocsis, 2011). Obwohl beide teilweise grundlegende Konzepte teilen, hängt die Granularität ihrer Modellierung von Größenordnung und Zweck ab, wobei CityGML für die Stadt- und Regionenskala und INSPIRE für die grenzüberschreitende/internationale Ebene konzipiert ist. Gleichzeitig garantiert CityGML eine gewisse Überschneidung mit der BIM-Domäne, da sie in ihrer semantischen und räumlichen Granularität für die Gebäude bis in die Raumebene reicht. Eine schematische Übersicht ist in Abbildung 2 gegeben.

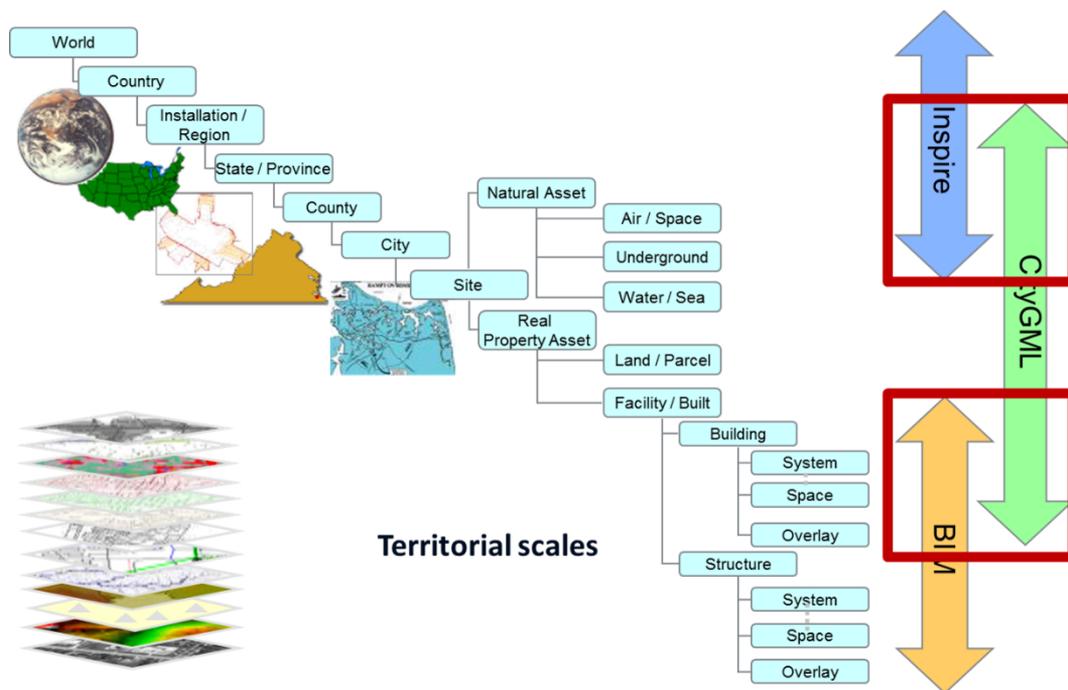


Abbildung 2: Qualitativer Vergleich der territorialen Skalen von INSPIRE-, CityGML- und BIM-Datenmodellen (Aguiaro G., 2019).

Es existieren bereits mehrere Werkzeuge, die den Umgang mit 3D-Stadtmodellen auf Basis von CityGML ermöglichen. Darunter fallen ELT-Tools (extract transform and load), Import-, Export- und Open-Source-Datenbankschemata, WFS (Web-Feature-Server) sowie verschiedene Visualisierungswerkzeuge zur Untersuchung der Daten.

Eine der Besonderheiten und Stärken von CityGML ist die Erweiterbarkeit. Beispielsweise wird CityGML durch die sogenannte Energy ADE (Application Domain Extension) und die sogenannte Utility Network ADE gezielt in Hinblick auf energiebezogene Themen und Anwendungen erweitert. Während sich die Energy ADE in erster Linie auf Gebäude konzentriert, fokussiert die Utility Network ADE auf Versorgungsnetze und damit verbundene Infrastruktur (Elektrizität, Gas, Fernwärme und -kühlung, Abwasser usw.).

Die Vorteile eines räumlich-semantisch kohärenten Stadtmodells (Stadler & Kolbe, 2007) sind vielfältig. Die Möglichkeiten reichen von Anwendungen in Stadtplanung, Lärmkartierung (Czerwinski, Sandmann, Stöcker-Meier, & Plümer, 2007), Augmented Reality bis hin zu Netzmanagement (Becker, Nagel, & Kolbe, 2013) und dem Einsatz in Verbindung mit Energiesimulationswerkzeugen. Die Verwendung von semantischen 3D-Stadtmodellen für Energiesimulationen wurde bereits von (Carrión, Lorenz, & Kolbe, 2010) und (Strzalka, Bogdahn, Coors, & Eicker, 2011) untersucht, die Algorithmen zur Schätzung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden vorgeschlagen haben. Das Projekt "Energieatlas Berlin" (Krüber & Kolbe, 2012) hat einen stadtweiten Energieatlas erstellt, der sich auf den Heizenergiebedarf von Wohngebäuden konzentriert. Das primäre Ziel des Projekts ist die Einführung eines integrierten, transparenten Planungskonzepts auf allen Ebenen der Entscheidungsfindung der Stadt. Sukzessive wurde der Ansatz des Gesamtenergiebedarfs erweitert, indem andere Quellen für Energieverbrauch (z.B. Warmwasser und Strom) und Produktion (z.B. Solarpotenzial der Dächer, Erdwärmepotenzial) integriert wurden (Kaden & Kolbe, 2013). Weitere, konzeptionell ähnliche Beispiele existieren für die Städte Stuttgart, Hamburg, Karlsruhe und Ludwigsburg in Deutschland, Lyon in Frankreich, Trento in Italien, Rotterdam in den Niederlanden, siehe (Nouvel, Schulte, Eicker, Pietruschka, & Coors, 2013), (Bahu, Koch, Kremers, & Murshed, 2015) und (Agugiario G. , 2016).

In Österreich wurden erste Erfahrungen mit der Erstellung eines integrierten 3D-Stadtmodells basierend auf CityGML (Agugiario G. , 2016) mit der Stadt Wien durchgeführt. Weiterführende Arbeiten konzentrierten sich darauf, den CityGML-Standard zu erweitern (Agugiario G. , 2016), um die Entwicklung energiebezogener Anwendungen zur Bewertung des Wohnungsbestands des gesamten Bezirks Meidling, Wien, weiter zu erleichtern (Agugiario, Skarbal, & Anders-Peters, 2017), (Skarbal, Peters-Anders, Faizan Malik, & Agugiario, 2017) bzw. die Kopplung von 3D-Stadtmodellen mit dynamischen Energiesimulationswerkzeugen zu ermöglichen (Agugiario, Hauer, & Nadler, 2015).

4.5. Methoden für die Planung von Wärmenetzen

Die Planung bzw. Transformation von Wärmenetzen (Fernwärme/Fernkälte) unterliegt diversen Randbedingungen (technisch, regulativ) und Einflussparametern (Energemarkt und Kunden), auch sind unterschiedliche Entscheidungskriterien (wirtschaftlich, ökologisch) und Stakeholder (Netzbetreiber, Bauträger, Kunden, Stadt, Land) zu berücksichtigen. Derartige Planungsprozesse werden bislang von Wärmenetzbetreibern oder Energieversorgern durchgeführt und basieren im Regelfall auf statischen Betrachtungen (Worstcase-Szenarien) mit zentralen Erzeugungsstrukturen unter Verwendung fossiler Energieträger. Hierbei sind die wichtigsten Planungsdaten der Wärme- und Kältebedarf von neuen und Bestandsgebäuden und die zu erwartenden Anschlussgrade. Zur Bestimmung des Wärmebedarfs kommen unterschiedliche Ansätze in Frage, von der Annahme pauschaler Raten für Sanierungen und Neuanschlüsse/Verdichtungen, über die Nutzung von Kennzahlen innerhalb detaillierter Wärmeatlanten wie z.B. in (Möller, 2015), (Büchle, 2015) oder mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen, die die Simulation des Wärmebedarfs einzelner Gebäude ermöglichen, siehe z.B. (Agugiario, Hauer, & Nadler, 2015) – mit einem steigenden Bedarf an Daten der Verbraucher. Für die Planung der Rohrleitungsnetze werden üblicherweise hydraulische Simulationen der Netzkapazitäten verwendet (StaNNet, 2019), (Bentley OpenUtilities Map, 2019), (Schneider Electric, 2019), ggf. können Tools verwendet werden, die eine optimale Netzwerktopologie berechnen (Capretti & Pozzi, 2016), (Baldvinson & Nakata, 2016).

DIM sind in diesem Zusammenhang im Regelfall GIS-basierte Netzwerkmodelle. Hierbei handelt es sich um Modelle, die räumliche Informationen von Ver- und Entsorgungsnetzen (Fernwärme, Gas- und Stromnetze, ggf. Wasser, Abwasser) basierend auf Geografischen Informationssystemen (GIS) enthalten. Zusammen mit digitalen Wärmebedarfskarten sowie der Quantifizierung und räumlichen Verortung von Potenzialen erneuerbarer Energiequellen (wie z.B. Abwärme) werden diese bei der Planung von Wärmenetzen eingesetzt. Dies inkludiert die Bewertung von standortspezifischen

Wärme-(netz)-Optionen und die Berechnung zur Netzauslegung (Durchmesser, Topologie) bei Neubau und Erweiterungen.

Derzeit findet allerdings ein Übergang in Richtung dezentraler Wärmenetze mit sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien und Abwärme statt – die 4. Generation der Fernwärme bzw. die Nutzung „neutraler“ Temperaturen (im Bereich von 15-40 °C) mit Verbraucherseitigen Wärmepumpen, die 5. Generation, sogenannte Anergienetze. Derartige Netze sind geprägt von wesentlich niedrigeren Temperaturniveaus, einer dynamischen Betriebsweise sowie der Einbindung von Speichern, auch sind derartige Netze wesentlich kleiner als herkömmliche Fernwärmenetze. Für deren Planung sind die einzelnen Gebäude von höherer Bedeutung und - neben den oben genannten Wärmebedarfsdaten - auch die eingesetzte Haustechnik bzw. die notwendigen und resultierenden Temperaturniveaus im Vor- und Rücklauf der angeschlossenen Gebäude wesentlich. Dazu kommt die Notwendigkeit von genaueren Daten zu Potentialen erneuerbarer bzw. alternativer Wärmequellen und Speicherpotentialen:

- *Freiflächen* für Solarenergiegewinnung wie Dachflächen (wirtschaftlich insbesondere bei größeren Gebäuden), und Freiflächen wie Parkplätze, Überdachungen etc.
- *Umweltwärme*: insbesondere die lokalen Potentiale im Erdreich (inkl. Geothermie) und Grundwasser sowie verfügbare Oberflächenwasser (Seen, Flüsse).
- *Abwärme* aus der produzierenden Industrie und aus Gewerbebetrieben, wie z.B. aus Reinigungsprozessen, Rechenzentren, Kühlanlagen von Supermärkten.
- *Abwärme* aus urbaner Infrastruktur, wie z.B. aus Abwasserkanälen, Tunneln.
- Für den Einsatz von *Großwärmepumpen* sind evtl. Informationen zu den bestehenden oder geplanten Stromnetzen bzw. deren Kapazität notwendig.

Derzeit sind diese Daten nur punktuell verfügbar und werden nicht systematisch erhoben und genutzt. Dieser Umstand ist einer der Gründe, warum es derzeit keine Werkzeuge oder Prozesse gibt, die eine strategische, integrierte Planung von Wärmenetzen der 4. Generation erlauben. Ähnliches gilt für die Entscheidungsfindung bezüglich der Adaptierung bestehender Netze.

Während der Betrieb von traditionellen Wärmenetzen über den Netzschlechtepunkt (geringster Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf) geregelt werden kann, erfordern neuartige Wärmenetze eine dynamische Betrachtungsweise, variable Temperaturniveaus und die Berücksichtigung bidirektionaler Strukturen. Hierfür existieren bislang nur wenige Simulationstools, wie z.B. Dymola/Modelica und die vom AIT entwickelte DisHeatLib (Leitner, 2019).

4.6. Methoden für integrierte Energieplanung

Beim Konzept von integrierten Energiesystemen geht es in erster Linie nicht um die Entwicklung neuer Technologien zur Kopplung von Energienetzen und Speichern, sondern vielmehr um deren systematische Integration und optimale Steuerung. Die Erforschung des Themas begann in den späten 90er Jahren, wo in (Bakken, et al., 1999) die Autoren ein mathematisches Modell für Multi-Carrier-Energiesysteme und Methoden zur Berechnung optimaler Betriebs- und Investitionsentscheidungen vorstellten. Ein großer Teil der Arbeit, die in der Folge veröffentlicht wurde, folgt einer ähnlichen Richtung und schlägt mathematische Modelle vor, um Aspekte der Konstruktion und Steuerung hybrider Energiesysteme zu erfassen, die rechnerische Komplexität der Modelle zu analysieren und Optimierungsalgorithmen dafür zu entwerfen. Eine prominente Forschungsrichtung ist der von Geidl und Andersson (Geidl & Andersson, 2005) eingeführte Energy Hub, der ein White-Box-Modell für ein System mit Ein- und Ausgängen für Energie in verschiedenen Formen darstellt. Intern kann der Energy Hub vernetzte Geräte zur Energieerzeugung, -nutzung, -umwandlung und -speicherung enthalten. Ein ausgezeichneter Überblick über die Forschung, die auf diesem Modell basiert, findet sich in (Krause, Andersson, Frohlich, & Vaccaro, 2011). Ein Beispiel für eine kommerzielle Anwendung, die sowohl die

thermische als elektrische Domäne abdeckt (inkl. Erzeugung, Umwandlung und Speicherung) und die Erzeugung (unit dispatch) und den Handel von Energie optimiert, ist GTMax (Argonne National Laboratory, kein Datum).

Für den Betrieb von integrierten Energiesystemen ist zusätzlich zur optimalen Planung des Erzeugerportfolios auch die detaillierte Bewertung von Regelungskonzepten wichtig. In den letzten Jahren konnten sich dafür im Wesentlichen zwei Ansätze durchsetzen. Einerseits werden Multi-Domänen-Modelliersprachen eingesetzt, die das gesamte System einheitlich und konsistent abbilden können. Beispielsweise kann die Modelliersprache Modelica (Fritzson, 2011) energierelevante Domänen wie z.B. Gebäude (Wetter, Zuo, Nouidui, & Pang, 2014) und elektrische Netze (Vanfretti, Rabuzin, Baudette, & Murad, 2016) abbilden. Andererseits erlauben Ansätze basierend auf der direkten Kopplung (co-simulation) von domänenspezifischen Simulationswerkzeugen ebenfalls eine sehr detaillierte technische Analyse solcher Systeme (Widl, et al., 2015), (Projekt OptHySys, kein Datum), (mosaik, kein Datum), mit dem Vorteil, dass DomänenexpertInnen die für sie jeweils am besten geeigneten Tools verwenden können.

All diesen Ansätzen gemeinsam ist, dass sie Daten aus sehr unterschiedlichen Bereichen benötigen, um sinnvolle und aussagekräftige Ergebnisse liefern zu können. Genauso wie im oben beschriebenen Fall von thermischen Netzwerken sind diese Daten aber oft nur punktuell verfügbar und werden nicht systematisch erhoben. Digitale Informationsmodelle, die räumliche, zeitliche und semantische Aspekte von Energie und Energieinfrastruktur in Städten erfassen und diese zentral speichern können, sind daher in diesem Zusammenhang von großem Interesse, siehe z.B. (Bachmaier, 2017).

Im Bereich der Integration der Solarenergienutzung im urbanen Raum besteht ebenfalls ein vitales Interesse, digitale Modelle der Umgebung, der Energieerzeugung und des Verbrauchs zu entwickeln und miteinander zu verschränken.

5 Projektinhalt

5.1. Problemstellung

Die Bauindustrie stellt sich den Herausforderungen der Digitalisierung, die im Begriff ist, die Branche stark zu verändern. Der Druck ist auch dadurch bedingt, dass Innovationen in den letzten Jahren nicht intensiv genug vorangetrieben wurden. Die Produktivität der Bauindustrie in Deutschland stieg in den letzten 10 Jahren um 4,1%; Zum Vergleich: das verarbeitende Gewerbe steigerte die Produktivität im selben Zeitraum um 34,1%.

Der Austausch von Daten zwischen sehr unterschiedlichen Disziplinen ist der Schlüssel zu einer reibungsfreien Zusammenarbeit. Der digitale Zugang muss geschaffen werden, auch um einen hohen Grad an Automation bei der Verarbeitung zu ermöglichen. Somit ist die Interoperabilität von BIM-basierten Werkzeugen mit anderen Datenformaten, -modellen und Softwarelösungen ein wichtiger Baustein im Rahmen der Umsetzung der Energiewende.

Zum Beispiel zielen nationale und internationale Vorgaben zur Steigerung der Energieeffizienz auf integrierte Energiekonzepte ab (gebäudeintegrierte Photovoltaik, Sektorkopplung in Verteilnetzen, etc.), wobei Plus-Energie-Quartiere dabei eine besondere Rolle spielen. Allerdings muss für die optimale Planung und den Betrieb solcher Systeme eine große Menge an Daten zielgerichtet für die involvierten Stakeholder erhoben und bearbeitet werden. Aufgrund des noch niedrigen Grades an Automatisierung und Interoperabilität - sowohl in Hinsicht auf Datenformate als auch Softwaretools und Prozesse - ist das derzeit mit einem sehr (oder oft auch zu) hohen logistischen Aufwand verbunden.

Die Notwendigkeit für die Harmonisierung und Integration von Daten und Datenformaten und die damit verbundenen Probleme sind auch auf internationaler Ebene Gegenstand der Forschung. Zu diesem Zweck wird viel Aufwand in Trans- und Multi-Domänen-Kooperationsprojekte zwischen verschiedenen internationalen Standardisierungsorganisationen gesteckt, zum Beispiel zwischen buildingSMART für die BIM-Domäne und dem Open Geospatial Consortium für die UIM-Domäne.

Konzept für DIM-basierte Energieraumplanung für Plus-Energie Quartiere

Im Folgenden wird angenommen, dass Planung und Betrieb von Gebäuden und Energieinfrastruktur in Zukunft zunehmend digitalisiert sein wird. Abbildung 3 zeigt einen aus heutiger Sicht plausiblen Ablauf für das digitale Planen und Betreiben von Plus-Energie-Quartieren, der sich über den gesamten Lebenszyklus der betroffenen Gebäude erstreckt.

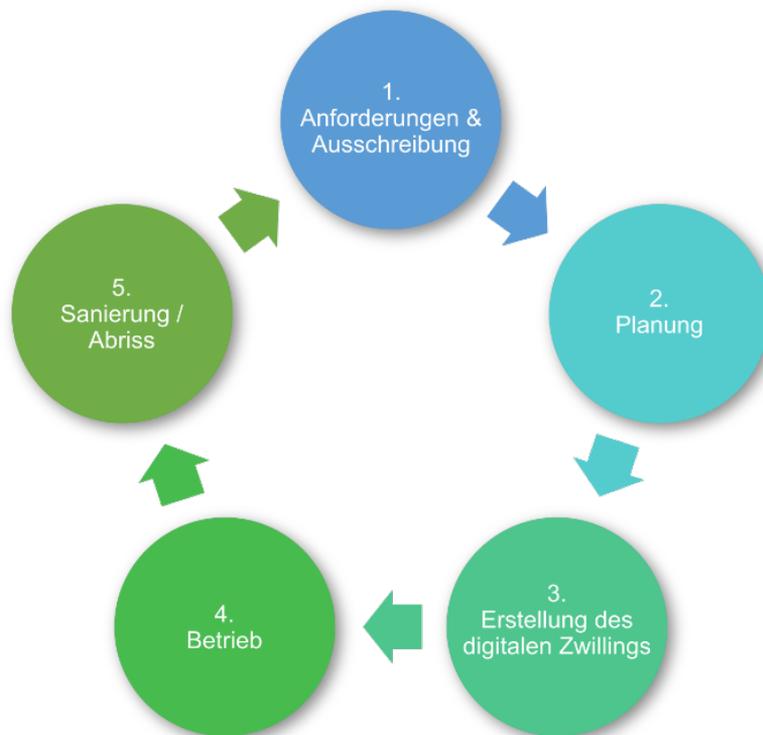


Abbildung 3: Konzept für DIM-basierte Energieraumplanung für Plus-Energie-Quartiere (eigene Darstellung)

In diesem Ablauf wird spezifisch davon ausgegangen, dass nicht nur mehrere Stakeholder an der Umsetzung eines Plus-Energie-Quartiers beteiligt sind, sondern diese auch innerhalb eines kollaborativen Prozesses miteinander an der Planung und dem Betrieb beteiligt sind. Weiters wird davon ausgegangen, dass ein integriertes, harmonisiertes, virtuelles Stadtmodell vorhanden ist, das als wesentliches Mittel zum Informationsaustausch zwischen diesen Stakeholdern dient (mit entsprechend angepassten Zugriffsrechten für verschiedene Benutzer). Darin sind beispielsweise enthalten:

- Informationen über den Gebäudebestand (3D-Geometrien, GWR-Daten, Energieausweise, Anschlüsse zu Fernwärme/Gas/Elektrizität, Energieverbrauchsdaten, usw.)
- Informationen über bestehende Netze (Fernwärme, Gas, Elektrizität, Abwasser, usw.)
- Informationen über Flächenwidmung und Bebauungspläne, inklusive Anforderungen (maximale Höhe, maximale Kubatur, maximale Geschossfläche, usw.)

Schritt 1: Anforderungen & Ausschreibung: Die baulichen Anforderungen (Neubau/Sanierung) stehen in digitaler Form als Teil des virtuellen Stadtmodells über eine Schnittstelle zur Verfügung. Abgesehen von geometrischen Informationen (maximale Bauhöhe, etc.) können auch energiespezifische Vorgaben gemacht werden (Fernwärmeanschluss, Photovoltaikanlage, etc.). Diese Anforderungen kommen direkt von der Stadt und ermöglichen die digitale Prüfbarkeit von Modellen.

Schritt 2: Planung: BIM-basierte Modelle können verwendet werden, um Aussagen über Energiekennzahlen zu erstellen. Zusammen mit den enthaltenen geometrischen Daten kann damit das virtuelle Stadtmodell aktualisiert werden, um den aktuellen Planungsstand mit anderen Stakeholdern abzugleichen (Energieraumplanung, Netzbetreiber, etc.). Dieser Schritt kann theoretisch mehrere Male iterativ durchgeführt werden, um Konvergenz zwischen den Planungsprozessen der beteiligten Stakeholder zu erzielen.

Schritt 3: Erstellung des digitalen Zwillings: Das fertige BIM-Modell wird in einen digitalen Zwilling überführt, der als funktionales Modell für andere Stakeholder dient. Die entsprechenden Daten werden in das virtuelle Stadtmodell eingepflegt und als Bestandsgebäude gekennzeichnet. Dieser

Prozess sorgt für Transparenz und dient als Schnittstelle für andere Stakeholder (Gebäudebetreiber, Netzbetreiber, etc.) für den nachfolgenden Betrieb.

Schritt 4: Betrieb: Die im digitalen Zwilling vorhandenen Informationen können mit Betriebsdaten validiert werden. Da das virtuelle Stadtmodelle sowohl Gebäude als auch Energieinfrastruktur abbilden kann, bietet es sich hier als Schnittstelle für den Austausch von energierelevanten Daten an. Diese können außerdem von anderen Stakeholdern (Energieversorger, Netzbetreiber, etc.) für die Planung von Infrastruktur bzw. zur Betriebsoptimierung verwendet werden (insbesondere für Forecast).

Schritt 5: Sanierung / Abriss: Daten bezüglich Abriss bzw. Sanierung können ebenfalls in das virtuelle Stadtmodell eingepflegt werden.

5.2. Ziele

Übergeordnetes Ziel des Sondierungsprojekts DIM4Energy ist eine Analyse der Herausforderungen und Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von Digitalen Informationsmodellen (DIM) für die integrierte Planung und den optimierten Betrieb von Plus-Energie-Quartieren ergeben.

Wichtiges Element dieser Analyse war ein Stakeholder-Prozess, bei dem Input und Feedback von möglichst vielen (vor allem österreichischen) Stakeholdern eingeholt wurde, um die Relevanz und Umsetzbarkeit der erarbeiteten Konzepte zu garantieren. Dadurch wurde auch sichergestellt, dass die Projektergebnisse das Potenzial haben, für alle Stakeholder einen Mehrwert zu generieren.

5.3. Innovationsgehalt

Der Innovationsgehalt des Projekts liegt in der übergreifenden Analyse der Interoperabilität von unterschiedlichen DIM in Hinsicht auf Datenformate und Softwarelösungen für integrierte Planungs- und Betriebsprozesse von Plus-Energie-Quartieren (vgl. Abbildung 4). Diese Analyse basierte auf einem breiten Stakeholder-Prozess, der erstmals die unterschiedlichsten Stakeholder in Österreich zusammenführte (Stadtplaner, Energieversorger, Netzbetreiber, Architekten, Bauträger, KMUs aus dem Softwarebereich etc.). Die in Abschnitt 6.5 skizzierten Anwendungsfälle zeigen in diesem Zusammenhang nicht nur den Bedarf für das Projekt auf, sondern sind für sich genommen auch jeweils sehr gute Beispiele dafür, wie die flächendeckende Digitalisierung in Hinblick auf die Verfügbarkeit von digitalen Informationsmodellen für Gebäude und Städte in Zukunft innovative Ansätze der Digitalisierung ermöglichen, und somit einen wesentlichen Schritt in Richtung Dekarbonisierung des gesamten Energiesystems setzen. Dabei hebt sich der Projektinhalt insofern deutlich vom Stand der Technik ab, als es derzeit in der Praxis noch keine vergleichbaren Konzepte gibt.

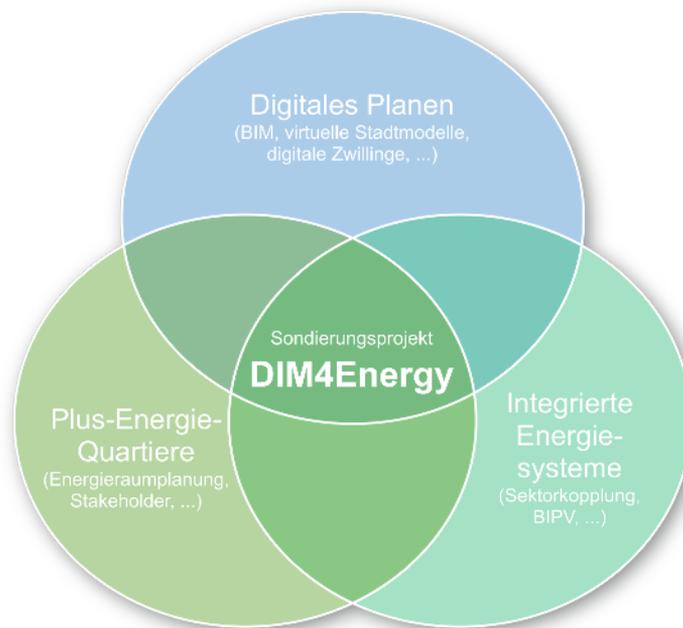


Abbildung 4: Thematischer Kontext von DIM4Energy (eigene Darstellung)

Die BIM-basierte Verknüpfung von Gebäudedaten mit virtuellen Stadtmodellen und darauf aufbauend der Austausch mit anderen Stakeholdern (z.B. Energieraumplaner, Energieversorger, Netzbetreiber) ist neu und bisher nur in wenigen Arbeiten behandelt, die auf theoretischer Ebene bleiben. In diesem Sinne wird auch der geplante Stakeholder-Prozess zum innovativen Charakter des Projekts beitragen, als er eine praxisrelevante und umsetzungsnahe Ausrichtung der Ergebnisse erlaubt und auf einen Mehrwert für alle beteiligten Stakeholder abzielt.

Eine wesentliche Besonderheit von DIM4Energy ist, dass alle im Projekt adressierten Technologien in Zukunft voraussichtlich flächendeckend eingesetzt werden. Sowohl digitales Planen im Gebäudebereich (BIM) als auch der Einsatz von virtuellen Stadtmodellen (UIM) sind vermeintlich unaufhaltbare Trends im Zuge der Digitalisierung. In diesem Sinne gibt es derzeit ein Opportunitätsfenster, bei dem DIM4Energy einen ersten wichtigen Schritt für die zielgerichtete Entwicklung und Verknüpfung dieser Technologien für die Entwicklung von Plus-Energie-Quartieren leisten kann. Dabei war der durchgeführte Stakeholder-Prozess wichtig, um bei den Stakeholdern (sowohl aus Industrie als auch Verwaltung und Politik) Bewusstsein und Perspektiven für diese zukünftigen Entwicklungen zu schaffen.

6 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projektes kurz dargestellt. Für eine weitere Ergebnisdarstellung wird auf den Leitfaden „Digitale Energieplanung & Optimierung urbaner Regionen; Herausforderungen, Best-Practice-Beispiele & Handlungsempfehlungen“ verwiesen. Dieser ist das zentrale Ergebnis des Projektes DIM4Energy und ist unter www.ait.ac.at/DIM4Energy/ kostenfrei als PDF zu beziehen.

6.1. Stakeholderprozess

Ein zentrales Element zur Erstellung dieses Leitfadens war ein Stakeholderprozess mit Vertretern der österreichischen Industrie (Architekten, Ingenieurbüros, Energieversorger, Softwarehersteller, Gebäudebetreiber), Verwaltung (bmvit, Statistik Austria, verschiedene MAs der Stadt Wien und Salzburg) und Forschung. Im Rahmen des Projektes fanden im Jänner und im Juni 2019 zwei Workshops am Austrian Institute of Technology (AIT) statt, bei denen über 40 TeilnehmerInnen die Ziele und Herausforderungen hinsichtlich DIM-basierter Anwendungen für Österreichs Energieplanung der Zukunft diskutieren, inklusive Datenformaten, Werkzeugen und Prozessen. Weiters wurden wesentliche Empfehlungen zur Zukunft der digitalen Energieplanung diskutiert und priorisiert.

**Workshop
Digitale Energieplanung**

Inhalt

Digitale Informationsmodelle (DIM) spielen in urbanen Planungs- und Entscheidungsprozessen eine immer bedeutendere Rolle, angefangen bei einzelnen Gebäuden (Building Information Models) bis hin zu ganzen Städten (Urban Information Models). Für die Planung und Betriebsoptimierung von Plus-Energie-Quartieren könnten aus diesen Modellen wertvolle Informationen gewonnen werden, sofern die entsprechenden Datenquellen und Softwaretools richtig miteinander verknüpft würden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts DIM4Energy laden das AIT Austrian Institute of Technology mit Unterstützung der Wiener Magistratsabteilung für Energieplanung (MA 20) herzlich zu einem Stakeholder-Workshop ein. Ziel des Workshops ist ein praxisorientierter Erfahrungsaustausch sowie das Erarbeiten von Zielen und Wünschen hinsichtlich DIM-basierter Anwendungen für Österreichs Energieplanung der Zukunft.

Themenschwerpunkte

An dem Workshop werden Stakeholder aus verschiedenen energierelevanten Bereichen teilnehmen, z.B. Stadt- und Energieplanung, Gebäude- / Systemtechnik, Netz- / Infrastrukturbetreiber und EVUs. Mit diesem breiten Spektrum an Stakeholdern werden die folgenden Themenschwerpunkte adressiert:

- Datenformate, Werkzeuge und Prozesse für DIM-basierte Energieplanung
- Innovative DIM-basierte Anwendungen im Bereich Energie, z.B. Erstellung dynamischer Energieausweise, Planung und Betrieb von integrierten Energiesysteme

Wann?
Dienstag, 29. Jänner 2019
von 10:00 bis 16:00

Wo?
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 2, 1210 Wien
Raum Nr.: GG2_F3_M1

Teilnahme
Die Teilnahme ist kostenlos. Verpflegung wird bereitgestellt.

Registrierung
Die Zahl der TeilnehmerInnen ist begrenzt. Um Registrierung wird gebeten bis spätestens **Freitag, 18. Jänner 2019** an: Ralf.Roman.Schmidt@ait.ac.at

DIM4Energy ist ein Projekt gefördert im Rahmen des Programms „Stadt der Zukunft“ (FFG-Nr. 867315). „Stadt der Zukunft“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.

**Abschluss-Workshop
Digitale Energieplanung**

Diskussion und Priorisierung wesentlicher Empfehlungen zur digitalen Energieplanung

Digitale Informationsmodelle (DIM) spielen in urbanen Planungs- und Entscheidungsprozessen eine immer bedeutendere Rolle, angefangen bei einzelnen Gebäuden (Building Information Models) bis hin zu ganzen Städten (Urban Information Models). Für die Planung und Betriebsoptimierung von Plus-Energie-Quartieren könnten aus diesen Modellen wertvolle Informationen gewonnen werden, sofern die entsprechenden Datenquellen und Softwaretools richtig miteinander verknüpft würden.

Stakeholder Prozess

Im Rahmen des Forschungsprojekts DIM4Energy wurde Ende Jänner 2019 ein erster Workshop zu den Zielen und Herausforderungen hinsichtlich DIM-basierter Anwendungen für Österreichs Energieplanung der Zukunft durchgeführt. Hierbei wurden mit über 30 Teilnehmern aus Wirtschaft, Administration und Forschung neben Datenformaten, Werkzeugen und Prozessen innovative DIM-basierte Anwendungen diskutiert.

Abschluss-Workshop

Hiermit lädt Sie das AIT Austrian Institute of Technology GmbH mit Unterstützung der Wiener Magistratsabteilung für Energieplanung (MA 20) herzlich zu dem DIM4Energy Abschluss-Workshop am 25.6. ein. Ziel ist es,

- einen Überblick zu aktuellen Entwicklungen und den wesentlichen Ergebnissen des Projekts DIM4Energy zu geben sowie
- die Diskussion und Priorisierung wesentlicher Empfehlungen zur digitalen Energieplanung.

Wann?
Dienstag, 25. Juni 2019
von 13:00 bis 17:00

Wo?
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 2, 1210 Wien
Raum Nr.: GG2_F4_M1

Teilnahme
Die Teilnahme ist kostenlos. Verpflegung wird bereitgestellt.

Registrierung
Die Zahl der TeilnehmerInnen ist begrenzt. Um Registrierung wird gebeten bis spätestens **Montag, 24. Juni 19, 12 Uhr** an: Ralf.Roman.Schmidt@ait.ac.at

DIM4Energy ist ein Projekt gefördert im Rahmen des Programms „Stadt der Zukunft“ (FFG-Nr. 867315). „Stadt der Zukunft“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.

Abbildung 5: Einladungen der zwei durchgeführten Workshops



Abbildung 6: Gruppenfoto TeilnehmerInnen des ersten DIM4Energy Workshops

Zusätzlich wurden Interviews mit relevanten Akteuren durchgeführt und aktuelle Beiträge aus der Praxis gesammelt, die in diesen Leitfaden eingeflossen sind. Dies inkludiert:

- Digitalisierung der Energieraumplanung in Wien - Gastbeitrag Stefan Geier, BOKU Wien - Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung und Herbert Hemis, Stadt Wien - Energieplanung
- GWR: Das Gebäude- und Wohnungsregister der Statistik Austria - Gastbeitrag Josef Preier, Statistik Austria
- Building Data - Gastbeitrag aedifion GmbH
- Best Practice Beispiele
 - Denkmalschutz in 3D: Museum in Innsbruck - Gastbeitrag Build Informed GmbH
 - Viega Seminarcenter in Attersee am Attersee - Gastbeitrag ATP sustain
 - Hotelprojekt in Salzburg - Gastbeitrag CES
 - Einsatz CityGML in Linz - Gastbeitrag Gerald Forkert, UVM Systems
 - PV-Integration im Plus-Energie-Bürohochhaus TU-Wien - Gastbeitrag David Alexander, TU Wien, Bauphysik
- Digitalisierung virtueller Stadtmodelle: CityGML und Energy ADE- Gastbeitrag Volker Coors Hochschule für Technik Stuttgart
- CityGML und Energy ADE am Beispiel Wien Meidling, Projekt CI-ENERGY - Gastbeitrag Giorgio Aguiaro, TU Delft

6.2. Bestandsaufnahme DIM

Eine der wesentlichen Herausforderungen des Projektes DIM4Energy war es, die für die untersuchten Use Cases relevanten DIM zu identifizieren und zu klassieren. Hierbei wurden sowohl DIM adressiert, die in der Praxis im Einsatz bzw. in der Umsetzung sind oder die sich derzeit noch in Entwicklung befinden. Es können folgende DIM genannt werden:

- Gebäude und Wohnungsregister (GWR): zentrales Register für Zwecke der Statistik, Forschung und Planung.
- GIS-basierte Netzwerkmodelle enthalten räumliche Informationen von Ver- und Entsorgungsnetzen (Fernwärme, Gas- und Stromnetze) basierend auf Geografischen Informationssystemen (GIS)

- Dynamische Netzsimulation: Entwicklung von Regelstrategien und Überprüfung realer Lastflüsse, inkl. Betriebsmanagementsystem
- Building Information Modeling (BIM): ist eine Merkmal-orientierte Methode für die vernetzte integrale Gebäudeplanung, Ausführung und Betrieb.
- Digitale Gebäudewillinge (DGZ) sind übergeordnete Informationsmodelle realer Gebäude, die sich über den Lebenszyklus mit relevanten Informationen (Geometrie bzw. Parameter) aufbauen.
- Performance Evaluierung: Benchmarking der Performance von Gebäuden oder ganzen Städten anhand des Vergleichs von Plan- und Monitoringdaten.

6.3. Urban Information Model (UIM) und die Verwendung von CityGML

Bei dem Urban Information Model (UIM), auch City Information Model (CIM) genannt, handelt es sich um ein zentrales, virtuelles Stadt- und Umgebungsmodell für die Gebäudedatenpflege über deren gesamten Lebenszyklus. Das UIM dient als Datenbank für die unterschiedlichen Bereiche der Verwaltung und bindet existierende nationale Datenbanken, wie das GWR oder BIM-Datensätze aus der Planung über Schnittstellen (APIs) sowie einheitliche Bauteil und Gebäude-IDs ein.

Als Datenformat für gebäudebezogene (3D-)Daten in Städten existiert seit 2008 CityGML4 (momentan in der Version 2.0, die Version 3.0 wird im Laufe des Jahres 2020 erwartet). Im Gegensatz zu BIM, das schon in der Planung zum Einsatz kommt, basieren CityGML Datensätze meist auf gemessenen Informationen, die Städte innerhalb ihrer Vermessungsabteilungen erheben. Die Daten liegen dort meist schon in Form eines Geographischen Informations-Systems (GIS) als 2D Dateien/Datenbanken vor, die zyklisch aktualisiert werden. Die Datenführung dieser gemessenen Daten ist aufwändig, aber notwendig, um einerseits den Status Quo der Stadt raum-zeitlich zu erfassen, andererseits darauf aufbauend, auch Planungsvorhaben und Projektionen in die Zukunft (zur Darstellung der weiteren Entwicklung) durchführen zu können.

CityGML baut auf den sogenannten Footprints (Grundrissen) der Stadtvermessung auf, wobei die 3D-Information mittels (teils sehr aufwändigen) Laserscanning-Methoden erhoben wird. Das dabei entstehende CityGML-Modell (entweder in Form einer XML-Datei oder sinnvollerweise als Repräsentierung in einer relationalen Datenbank) bietet anschließend die Möglichkeit, unterschiedlichste Gebäude und relevante Daten abzuspeichern und für die weitere Verwendung in verschiedenster Software standardisiert zur Verfügung zu stellen. CityGML bietet darüber hinaus über sogenannte Application Domain Extensions (ADE) - und hier vor allem der Energy ADE5 - eine erweiterte, standardisierte Gebäudedatenhaltung, was von enormem Vorteil für die Erhebung des Status Quo der Städte ist und den Mehrwert einer Vereinfachung der Prognosenerstellung bietet. Weltweit verwenden immer mehr Städte CityGML zur Speicherung ihres 3D-Stadtmodells. Im Zuge der Digitalisierung werden auch die Möglichkeiten der standardisierten Speicherung von Gebäudeattributdaten mehr und mehr genutzt (siehe folgender Abschnitt „Schema der DIM Anwendungen“). Zu den Städten, die CityGML schon verwenden, gehören im deutschsprachigen Raum z.B. Wien6, Linz, Berlin, Hamburg und Zürich, wobei in Wien die Besonderheit besteht, dass die Wiener Linien zusätzlich ein eigenes CityGML Modell aller U-Bahn Bauwerke betreiben, das aktuell gehalten wird.

⁴ CityGML Versions 2.0 and 3.0 Web Site www.citygml.org

⁵ CityGML Energy ADE http://www.citygmlwiki.org/index.php/CityGML_Energy_ADE

⁶ Stadt Wien, MA41 - Stadtvermessung, Stadtplan3D, www.wien.gv.at/stadtplan3d

6.4. Das Schema der DIM-Anwendungen und das UIM als zentraler Baustein der digitalen Energieplanung

Die bisher genannten digitalen Informationsmodelle wurden bislang im Wesentlichen nur individuell betrachtet und eingesetzt. Schnittstellen untereinander wurden nur vereinzelt, zum Teil auch erst in Pilotanwendungen umgesetzt. Die hier erläuterten digitalen Informationsmodelle lassen sich grundsätzlich in folgenden zwei Dimensionen betrachten:

- Aggregierungsebene (y-Achse) → bezieht sich auf die Skala bzw. den Detaillierungsgrad und Informationsgehalt der Modelle. Angefangen vom Einzelgebäude, über Quartiere und gesamte Städte bis hin zur Infrastruktur (Netze).
- Eigenschaftsebene (x-Achse) → bezieht sich auf die Funktionalität des Modells. Angefangen von einfachen Angaben wie Adressen, Geometrien und Topologien, sowie statische Attribute bis hin zu dynamischen Funktionen, die ein kontinuierliches Monitoring und eine Betriebsoptimierung erlauben.

Die hier betrachteten digitalen Informationsmodelle existieren bereits bzw. befinden sich extensiv in Verwendung (blau gekennzeichnet), beschreiben Bereiche in Entwicklung mit absehbaren Anwendungen (gelb) oder stellen neue Wege dar (rot). Die dargestellten Grenzen zwischen den Elementen sind fließend, da hier keine komplett scharfe Trennung zwischen den Aggregierungsebenen und Eigenschaften bzw. Merkmalen möglich bzw. sinnvoll ist.

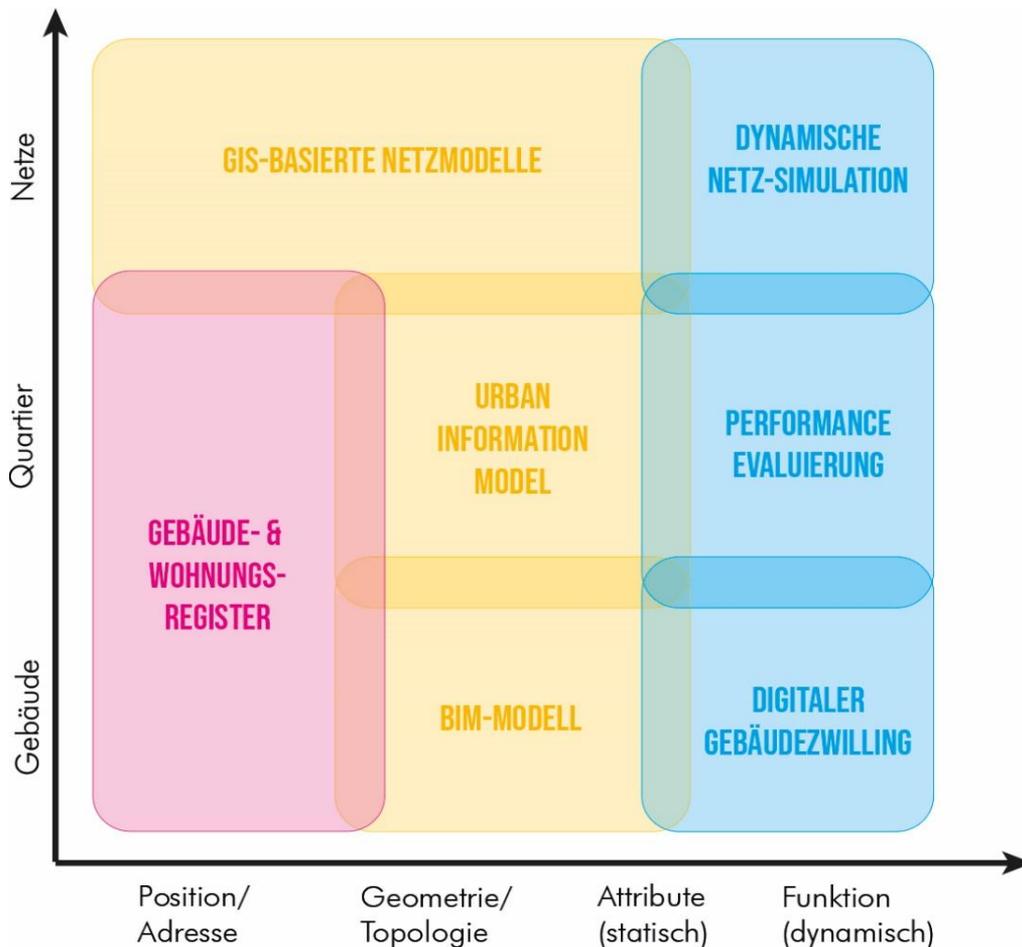


Abbildung 7: Schema der DIM Anwendungen im urbanen Kontext (eigene Darstellung)

6.5. Use cases / Anwendungsfälle

Basierend auf dem Stakeholderprozess wurden im Rahmen des Projektes DIM4Energy folgende Anwendungsbeispiele untersucht:

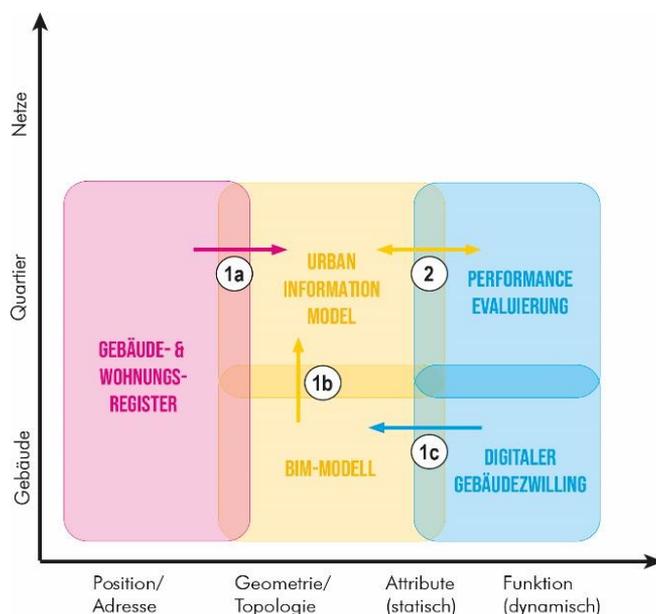
1. Dynamischer Energieausweis, Perspektive Stadt
2. Dynamischer Energieausweis, Perspektive Gebäude
3. Planung und Optimierung von Wärmenetzen
4. Lokale Energieplanung aus Sicht der PV

Im Folgenden wird die optimierte Zusammenarbeit der genannten DIM in den Bereichen Gebäude, Stadt und Netze bzw. Infrastruktur anhand unterschiedlicher Anwendungsfälle erläutert.

6.5.1. Dynamischer Energieausweis, Perspektive Stadt

Derzeit basiert die städtische Energieraumplanung vor allem auf 2D-GIS-Daten, die von der Stadt selbst erhoben, bzw. von Energie- und Netzanbietern zur Verfügung gestellt werden und (statischen) Energieausweisdaten aus der Planungsphase der Gebäude. Um diese Informationen zusammenzustellen und ein faktenbasiertes Bild zu erhalten, sind momentan noch sehr viele manuelle Datenverarbeitungsschritte nötig. Die Daten liegen darüber hinaus in den meisten Städten nicht flächendeckend und meist auch nur für Gebäude jüngeren Baujahrs (seit den 2000er Jahren) vor. In vielen Städten liegen oft wenig bis gar keine derartigen Daten in digitaler Form vor. Einen ersten Ansatz hat es hierzu im Projekt CI-ENERGY (CI-ENERGY Smart cities with sustainable energy systems, 2020) für Wien gegeben, in dem energiebezogene Gebäudedaten mittels Energy ADE aufbereitet wurden.

Warum dynamische Energieausweise für Städte? Aus Sicht der Stadtverwaltung wird die Einführung einer dEAW-Datenbank die Grundlage für eine verbesserte Energieraumplanung schaffen. Darüber hinaus wird eine dEAW-Datenbank innerhalb des UIM einerseits die Erstellung eines Wärmekatasters für die Identifikation von Fernwärmeausbaubereichen und Sanierungszielgebieten ermöglichen, aber auch die Planung lokaler Energieerzeugungsmaßnahmen, wie z.B. PV-Anlagen unterstützen. Zusätzlich wird die 3D-Information aus den CityGML-Daten momentan noch nicht verfügbare Untersuchungen, wie z.B. Sichtanalysen zu „Warmen Fassaden“ (Analyse der räumlichen Abgrenzung zwischen Gebäudeteilen) innerhalb der Stadt ermöglichen.



1a – Das GWR stellt die zentrale ID und adressbezogene Daten für das UIM bereit

1b – Planung/fertiggestelltes Gebäude: Gebäudegeometrien von geplanten bzw. gebauten Gebäuden, sowie deren Metadaten werden in das UIM integriert (BIM2CityGML-Schnittstelle)

1c – Betrieb: Messdaten aus dem betriebenen BIM Facility Management werden im UIM in Zeitreihen abgelegt

2 – Anhand des Vergleichs von (as-planned) EAW-Daten und Betriebsdaten aus dem Digitalen Gebäudezwilling (as-used) kann eine Performanceevaluierung für die Gebäude und eine Aggregation auf Stadtebene durchgeführt werden

Dynamischer Energieausweis, Perspektive Stadt

Abbildung 8: Schema der DIM Anwendungen im urbanen Kontext - Dynamischer Energieausweis, Perspektive Stadt (eigene Darstellung)

Zusammenspiel / Interaktionen: Im Bereich der Energieraumplanung existieren bereits einige Softwarelösungen, die eine Schnittstelle zu CityGML und der Energy ADE zur Verfügung stellen. Zur Datenaufbereitung bieten sich Extract Transform and Load (ELT)-Tools an, die Import- und Export-, sowie Datenmanipulationsfunktionalitäten bieten. Darüber hinaus können zur Datenerhebung zunächst existierende GIS-Applikationen verwendet werden, mit deren Hilfe die Lage, Form und Größe der Footprints der Gebäude, sowie energierelevante Attributdaten erfasst/digitalisiert werden können.

Die Informationen, die für das 3D-Modell benötigt werden, sind, wie zuvor beschrieben, mittels Lasererfassung und Aufbereitung der Daten durch entsprechende Serviceanbieter zu erheben. Die energiebezogenen Attributdaten werden in Zukunft aus den vorliegenden Energieausweisen der existierenden Bestandsgebäude extrahiert, bzw. werden sie durch aktualisierte Energieausweise nach Errichtung von Umbauten bzw. Neubauten aktualisiert. Die Parameter können via Schnittstellen von thermischen Analyse- und Simulationstools z.B. Energy ADE-CityGML-EnergyPlus, Envi_Met oder SimStadt angesprochen werden.

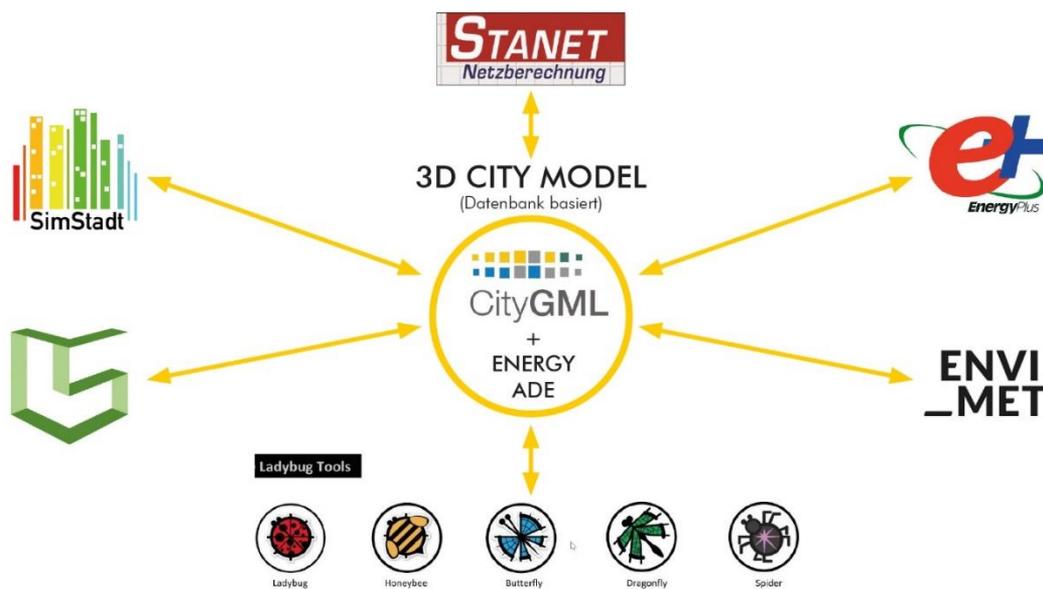


Abbildung 9: Exemplarische Softwaretools mit Schnittstellen zu CityGML7 (G. Agugiaro, 2019)

Diesen Applikationen können mittels einer serverbasierten CityGML- und Energy ADE-Datenbank (z.B. 3DCityDB) standardisiert Informationen zu den Energieverbräuchen (Strom, Wärme, etc.) der Gebäude der Stadt bzw. eines Quartiers zur Verfügung gestellt werden.

Daten & Datenfluss: Zur Datenerfassung sind für den dEAW zwei Schritte notwendig: In einem ersten Schritt werden die für den dEAW relevanten Daten aus unterschiedlichen Datenquellen (z.B. BIM und Realdaten des Digitalen Zwillings) in das Format des UIM übersetzt. Dabei wird eine räumliche Verortung (z.B. über das GWR) vorgenommen. Hierbei ist die Verwendung einheitlicher Gebäude-Identifikatoren, wie sie z.B. die Statistik Austria im GWR vorhält, über die gesamten räumlichen Datensätze der öffentlichen Verwaltung von größter Bedeutung, um manuelle Datenverarbeitungsschritte aufgrund von unterschiedlichen Identifikationsnummern zu vermeiden und um eine Verknüpfung weiterer Gebäudeinformation aus Datenbeständen der Städte und Gemeinden bzw. der Statistik Austria zu ermöglichen. Die BIM-, Real-, EAW-, und Performancedaten

⁷ „Exemplary Software Tools with Interface to CityGML by Giorgio Agugiaro is licensed under CC BY 4.0, siehe <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

werden anschließend mittels einer CityGML-Aggregatorschnittstelle in das CityGML und Energy ADE-Datenbankmodell überführt.

Auf den Daten aufbauend wird in einem zweiten Schritt eine Evaluierung der Performance und ein Benchmarking der Gebäude und Quartiere (z.B. mittels Synavision⁸, aedifion⁹, Visplore¹⁰, eigenen Auswerteroutinen, etc.) anhand des Vergleichs von berechnetem Energieausweis und realen Performance-Daten der Gebäude durchgeführt und die Resultate wieder in die aktualisierte UIM-Datenbank zurück geschrieben.

Mehrwert: Ein dEAW wird es erlauben, flächendeckend gebäudescharfe, energiebezogene Analysen auf Quartiers- und Stadtebene durchzuführen. So werden beispielsweise eine energetische Charakterisierung der Bausubstanz oder auch die Definition von Sanierungsszenarien von einzelnen Gebäuden oder Quartieren möglich werden. Der Austausch zwischen einem zentralisierten, harmonisierten, UIM-basierten Stadtmodell und BIM-Daten von geplanten/gebauten Gebäuden birgt viele Vorteile: Aus der Perspektive der Stadt wird zum einen das Stadtmodell automatisch im Rahmen der ständigen Wartung aktuell gehalten, zum anderen tragen die digitalen Informationen (z.B. 3D-Geometrie, Eigenschaften, Gebäudekennzahlen, Betriebskennzahlen) zu einer inhaltlichen Bereicherung des Stadtmodells bei. Somit können zum Beispiel im Voraus berechnete Energieausweise durch echte Verbrauchswerte (oder auch andere Kennzahlen) im Laufe des Bestehens eines Gebäudes validiert werden. Darüber hinaus bietet ein dEAW in Verbindung mit einem UIM die Möglichkeit einer automatisierten Prüfung der EAW auf Konformität zu den regulatorischen Rahmenbedingungen der Stadt, auf Basis von konsistenten realen Gebäudedaten (sowohl Geometrie- als auch Energiedaten). Durch das hierdurch möglich werdende Benchmarking können z.B. die nationalen Klimaziele genauer verfolgt, das Nutzerverhalten der Bewohner verbessert, sowie Baumängel (durch den Vergleich as-planned vs. as-built) identifiziert werden.

6.5.2. Dynamischer Energieausweis, Perspektive Gebäude

Das Bundesgesetz (EAVG 2012) schreibt derzeit vor, dass die aktuellsten Energie- und Gebäudeparameter – d.h. sowohl von Bestandsgebäuden als auch von Neubauten bzw. bei Gebäuderenovierungen – vorliegen müssen. Zusätzlich können daraus abgeleitete Informationen wie Gebäudegeometrie, Anschlussdaten bzw. wichtige Energiekennzahlen, z.B. der Heizwärmebedarf (HWB), ergänzend in das GWR übertragen und später als Anforderungen für die neue Gebäudeplanung genutzt werden, was aktuell noch nicht die gelebte Praxis darstellt.

Warum dynamische Energieausweise für Gebäude? Der sogenannte dynamische Energieausweis (dEAW) stellt die Schnittstelle zwischen den Bereichen digitaler Gebäudezwilling (DGZ) und Urban Information Modell (UIM) dar. Das Ziel des dEAW ist es, großflächige, jedoch gebäudescharfe energetische Analysen durchführen zu können, als auch ein bidirektionales Update zwischen UIM und dem DGZ zu ermöglichen; beispielsweise den Austausch von realen Gebäude- bzw. Verbrauchsdaten in das sogenannte as-built-Modell und das anschließende Ableiten von Anforderungen.

⁸ Synavision Software www.synavision.de/de/

⁹ aedifion Software www.aedifion.com

¹⁰ VRVis, Visplore Software <https://www.vrvis.at/research/projects/visplore/>

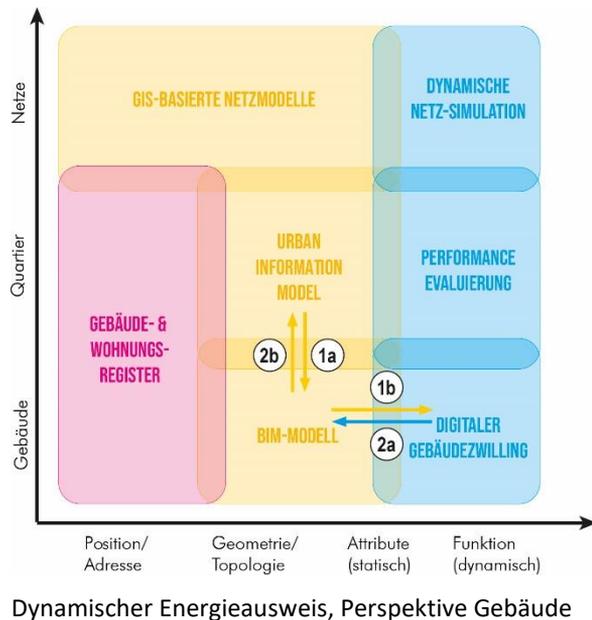


Abbildung 10: Schema der DIM-Anwendungen im urbanen Kontext - Dynamischer Energieausweis, Perspektive Gebäude (eigene Darstellung)

1a – einmalig, in der Vorentwurfsphase: Anforderungen werden von UIM ins BIM-Modell importiert.

1b – einmalig, während der Inbetriebnahme: Geometrie und Merkmale werden von BIM in den Digitalen Gebäudezwilling (DGZ) übertragen. Ab sofort wird das BIM-Modell (Gebäudegeometrie + Merkmale) ein Teil der DGZ-Datenbank

2a – regelmäßig: Die Monitoringdaten werden innerhalb des Gebäude- oder Quartiermodells verortet, entsprechend anonymisiert und gesammelt

2b – regelmäßig: Die Realdaten des aktuellen Gebäudestands werden aggregiert, die LODs werden angepasst

Tools: Für die energetischen Analysen des dEAW können unterschiedliche Analyse- bzw. Berechnungstools in openBIM (BIM in den verschiedensten Modellierungstools, basierend auf einem Exportformat) und closedBIM (BIM innerhalb einer proprietären Software) Systemen verwendet werden. Der Informationsfluss kann je nach System über offene (Austauschformate) oder geschlossene Formate (Plugins) geschehen. Als Datenformat im Gebäudesektor ist derzeit das Datenformat Industry Foundation Class (IFC) Version IFC 2x3 bzw. IFC4.1 sowie im Stadtsektor das Datenformat CityGML weit verbreitet. Der Funktionsumfang von energetischen Analysetools kann sich zwischen einfachen Analysen (Aggregation von Verbrauchswerten, Visualisierungen, etc.) bis zu vollwertigen thermischen Gebäude- und Anlagensimulationen (ein vollständig kalibriertes Modell für Analysen und Variantenberechnungen) bewegen.

Wichtig ist die Interoperabilität über offene Austauschformate (IFC und CityGML), um Informationsverluste zu vermeiden.

Datenfluss: Je nach Analyseanwendungsfall greift der DGZ auf relevante Daten aus dem BIM-Modell zu. Am Beispiel des HWB erfolgt ein bidirektionaler Austausch: einerseits werden Geometrieinformation wie Fassadenfläche, Fassadenorientierung, Gebäudematerialien und ihre bauphysikalischen Merkmale ausgelesen. Andererseits können Planungsdaten für Hauptverbräuche mit realen Verbrauchsdaten aktualisiert werden. Notwendige Standortdaten können durch eine genauere Verortung im UIM-Modell definiert werden (Grundstückskataster). Das UIM kann somit auf reale Verbrauchs- bzw. Messdaten zugreifen und diese für Analysen und Anforderungen verwenden. Anwendungsbeispiele können den Energieverbrauch (tatsächlicher Verbrauch, werden geplante Standards eingehalten?), Raumkomfort (Komfortkriterien eingehalten? Sanierung notwendig?) Energieproduktion (Energiebereitstellung an Nachbargebäude möglich?) und Standortanalysen beinhalten.

Mehrwert: Der dEAW ermöglicht mehr Transparenz für energierelevante Gebäudeprozesse. Die dadurch entstehende nachvollziehbare Darstellung von Informationen, wie zum Beispiel der tatsächliche Energieverbrauch, Gebäudelasten, Verbrauchsprofile, etc., dient als Basis für die Gebäudebetriebsoptimierung im Hinblick auf das Ausschöpfen der Flexibilität (thermisch und elektrisch) und der damit verbundenen Minimierung des Gesamtenergieverbrauchs sowie der CO₂-Emissionen, sowohl für das aktuelle Gebäude als auch zukünftige Gebäudeprojekte in der Umgebung. Profiteure gibt es auf unterschiedlichen Ebenen: Das Facility Management (FM) kann diese Informationen für eine lokale Betriebsoptimierung und Performanceanalyse des Gebäudes

heranziehen. Planungsbüros für Gebäude, thermische und elektrische Netze bzw. Stadtplanung können aus den Informationen des Gebäudes bzw. der Umgebung Anforderungen für neue Bauprojekte ableiten. Etwa:

- Wie groß sind z.B. Energiebereitstellungspotential bzw. Energieverbrauch der Nachbargebäude?
- Könnte ein Plus-Energie-Gebäude die Nachbarschaft sinnvoll mit Energie beliefern?

Zusätzlich kann eine langfristige Datenauswertung auch zur Überarbeitung von Gebäudeanforderungen bzw. Normen führen, wodurch es möglich ist, realistischere Auslegungskriterien für Gebäude abzuleiten. Generell müssen Anforderungen hinsichtlich des Datenschutzes und gegebenenfalls Anonymisierung in jedem Schritt über geeignete Schnittstellen gewährleistet werden.

Herausforderungen: Um den dEAW bestens nutzen bzw. generieren zu können, bedarf es bereits in der Gebäudeplanung eines hohen Digitalisierungsniveaus. Eine saubere und einheitliche bzw. standardisierte Modellerstellung und Pflege der notwendigen Modellparameter muss im Gebäudelebenszyklus durchgehend gewährleistet sein. Sonst kommt es, wie derzeit noch üblich, zu Informationsverlusten und Neumodellierungen. Je nach Bereichen wie Gebäudeplanung, Betriebsführung, etc. muss die notwendige Verantwortung bzw. fachliche Kompetenz für die Modellerstellung und Wartung vorhanden sein. Zusätzlich bedarf es genauer Regeln und Vorgaben, wer wann für was verantwortlich ist. Aktuelle nationale Forschungsprojekte wie metaTGA11 bzw. BIMBestand12 befassen sich teilweise mit diesen Fragestellungen. Zusätzlich stellen geeignete Schnittstellen, die einen verlustfreien und standardisierten Informationsfluss garantieren, Herausforderungen für die Zukunft dar. Problematisch gestalten sich proprietäre Schnittstellen bzw. Modellformate, da diese meist nur für 2-5 Jahre – abhängig vom Softwarestand – in Verwendung sind. Um das Konzept des DGZ bzw. des dEAW langfristig nutzen zu können, bedarf es offener Schnittstellen wie IFC bzw. CityGML. Ob diese in Zukunft allen Anforderungen entsprechen können, wird iterativ in unterschiedlichen Forschungsprojekten untersucht. Die Schnittstelle bzw. das Datenformat und die Datenbank der Zukunft kann nur ein open-BIM-System sein, damit unterschiedliche Softwarehersteller (Gebäudemodellierung, Gebäudeanalyse, allgemeine Datenverarbeitung und Auswertung, etc.) an diese Schnittstellen andocken können, um das Konzept des dEAW zu ermöglichen.

6.5.3. Planung und Optimierung von Wärmenetzen

In dicht bebauten, urbanen Gebieten spielen Wärme- und Kältenetze eine entscheidende Rolle. Traditionelle Fernwärmenetze weisen relativ hohe Vorlauftemperaturen (VLT) auf und sind auf zentrale Wärmequellen und unidirektionale Wärmelieferung ausgelegt.

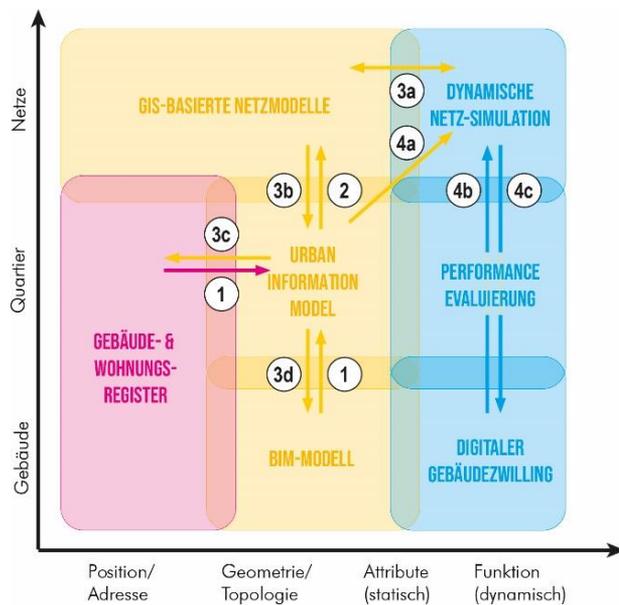
Herausforderungen bei der Planung und Optimierung innovativer Wärmenetze wie Niedertemperatur- oder Anergienetze ist deren hohe Individualität bezüglich der örtlichen Rahmenbedingungen, bestehenden Infrastrukturen und den Spezifikationen der Gebäude. Dies inkludiert die Notwendigkeit genauer Informationen hinsichtlich Wärme- und Kältebedarf, lokaler Abwärmequellen und saisonaler Speicherpotentiale sowie hohe Anforderungen an die Auswahl, Auslegung und Betrieb der gebäudeseitigen Heiz- bzw. Kühlsysteme inkl. der Integration der Wärmepumpen. Das Energiemanagement und die Regelung des Systems stellen aufgrund der hohen Diversität von Verbrauchern und Lieferanten, der Bidirektionalität der Netze sowie der ausgeprägten Strommarktkopplung eine weitere Schwierigkeit dar.

Für eine optimale Konzeptionierung und Dimensionierung dieser Netze ist dementsprechend ein kontinuierlicher Abstimmungsbedarf zwischen Bauträgern, Abwärmelieferanten und Prosumern sowie ggf. weiteren Stakeholdern wie Stadtplanung und Endkunden notwendig. Für einen optimalen Betrieb müssen Betriebsdaten, Sollwerte bzw. Tarifsignale fortlaufend zwischen Gebäude und Betreiber sowie

¹¹ metaTGA Projekthomepage www.metatga.org

¹² BIMBestand Projektinformationen <https://projekte.ffg.at/projekt/3307460>

ggf. Wärmelieferanten kommuniziert werden. Hierfür stellen Daten aus BIM, DGZ, UIM und die entsprechenden Kommunikationsprozesse sowie Simulationstools eine wertvolle Grundlage dar.



Planung und Optimierung von Wärmenetzen

PLANUNG UND IMPLEMENTIERUNG

1 – (iterativ) Import von Gebäudedaten in das UIM, inkl. Analyse Vollständigkeit/ Plausibilität

2 – (iterativ) Übergabe der Daten aus dem UIM an das Netzmodell, inkl. Potentiale für Abwärme, Solar, Speicher usw. ggf. Aggregation und Anonymisierung

3a – (iterativ) Netzplanung, inkl. statische, ggf. auch dynamische Netz-/Lastflussberechnung, Konzepterstellung und Wirtschaftlichkeitsanalyse

3b/c – (einmalig) Aktualisierung des Netzplans im UIM und der Informationen zum Anschluss der Bestandsgebäude an das Wärmenetz

3d – (iterativ) Übertragen von Anschlussbedingungen (Übergabestation, HKLS-Systeme, etc.)

BETRIEBSOPTIMIERUNG

4a – (regelmäßig) Übertragung von Prognosedaten für Wetter und Strompreise

4b – (regelmäßig) Laufende Übergabe von Monitoringdaten zur (modellbasierten) Optimierung des Betriebs, ggf. Identifikation von Fehlern (z.B. hohe Rücklauftemperaturen)

4c – (regelmäßig) Tarifsignale an das Gebäudeenergiemanagementsystem für eine lokale Betriebsoptimierung, ggf. Ableiten von Handlungsempfehlungen

Abbildung 11: Schema der DIM-Anwendungen im urbanen Kontext - Planung und Optimierung von Wärmenetzen (eigene Darstellung)

Zusammenspiel / Interaktionen: Grundlagen der Netzplanung sind

- Daten zum Wärme- bzw. Kältebedarf: diese können aus der Gebäudegeometrie, Dämmwerten, Fensterflächen etc. berechnet werden.
- Daten, aus denen sich Potentiale erneuerbarer Energiequellen berechnen lassen, wie Unternehmensdaten (Abwärme), Frei- und Dachflächen sowie Untergrunddaten.
- Zielvorgaben für Neubauquartiere bzgl. Anteil Erneuerbarer, CO₂-Emissionen etc. sowie städtebauliche Verträge und Netzrestriktionen (Straßen, Hindernisse und Eigentumsverhältnisse).
- Daten zur Topologie des Bestandsnetzes sowie der (spezifische) Wärme- und ggf. Kältebedarf, zusammen mit Energiepreisprognosen und lokalen Erzeugungscharakteristika.

Im Rahmen der Betriebsoptimierung werden Monitoring-/ Smart Meter-Daten des Gebäudes wie der aktuelle und der historische Wärme- bzw. Kältebedarf inkl. Spitzenlasten und Temperaturniveaus etc. verwendet. Diese Daten können auch zur Analyse von technischen Fehlern in der Auslegung oder

Installation der sekundärseitigen Heizsysteme, sowie zur Erstellung von Hinweisen an Gebäudebetreiber und Endverbraucher für ein energiesparendes Verhalten genutzt werden.

Stakeholder: zentrale Stakeholder sind

- Wärmeversorgungsunternehmen und Fernwärmenetzbetreiber aber auch Energiedienstleister, die derartige Systeme planen und betreiben
- Planungsbüros, die z.T. als Generalplaner oder aber auch für Detailplanungen und Ausführungsplanungen der Netze zuständig sind
- Gebäudeplaner und Betreiber bzw. Bewohner, die für den Anschluss an innovative Wärmenetze einen höheren Abstimmungsaufwand bzgl. der gebäudeseitigen Spezifikationen und Integration der Wärmepumpe haben, sowie der Möglichkeit, im Sommer die Abwärme aus der Kühlung an das Wärmenetz zu verkaufen
- Planer und Betreiber von Supermärkten, Büros oder Rechenzentren, die die Abwärmelieferung in ihre Planungsprozesse und Betriebsoptimierung einbeziehen sollen
- Stadt/Gemeinde, die Zielvorgaben zu dem versorgten Areal wie z.B. Energieeffizienz und CO₂-Emissionen macht, sowie ggf. Informationen zu lokalen Wärmequellen und Speicherpotentialen übermittelt

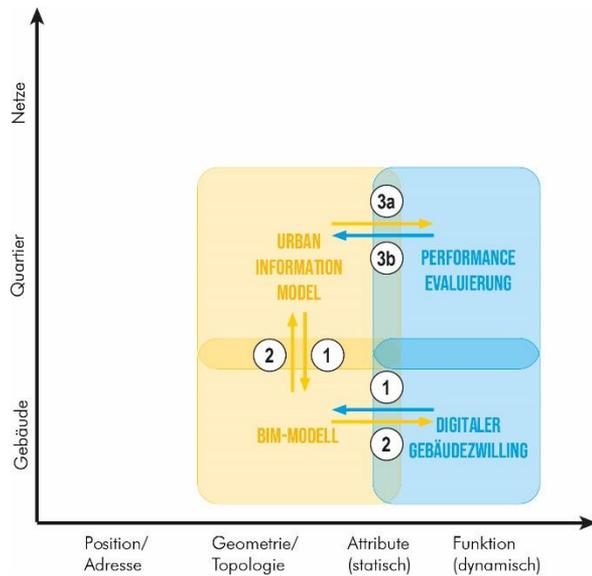
Mehrwert: Der Mehrwert liegt in folgenden Punkten

- der besseren Beherrschung der Komplexität bzgl. der unterschiedlichen Stakeholder und technischer Varianten, individuelle Gebäudeanforderungen etc.
- dem iterativen Abgleich der Planung von Netz, Wärmequellen und Gebäude inklusive des Änderungsmanagements
- Weiters wird die Nutzung einer konsistenten Datenbasis und vorhandener Smart Meter Daten für einen optimalen Betrieb ermöglicht, inkl. der Datenaggregation und Anonymisierung sowie dem Zugriffsmanagement
- Berechnungstools (auch von Dritteleistern) für z.B. Wärme- bzw. Kältebedarf, das dynamische Verhalten, Optimierungsalgorithmen etc. können über standardisierte Schnittstellen integriert und genutzt werden
- ggf. vorhandene städtebauliche Ziele bzw. Stadtteilkonzepte und Energie-Raum-Typologien können automatisiert berücksichtigt und deren Umsetzung kontinuierlich überprüft werden

6.5.4. Lokale Energieplanung aus Sicht der PV

Für Plusenergiegebäude und Quartiere ist die solare Ressource im urbanen Kontext eine wesentliche Energiequelle, weil damit direkt beim Verbraucher Wärme und Strom bereitgestellt werden kann. Die optimale Nutzung der solaren Erträge, die jahreszeitlich, im Tagesgang sowie mit den Wetterbedingungen variieren, erfordert Kenntnisse aus dem urbanen Umfeld (wie Geländetopologie und Umriss umliegender Objekte aus dem Stadtmodell, potentielle Nutzer von Energieüberschüssen) sowie von lokalen Wetter- und Klimadaten, die mit dem digitalen Gebäude- und Photovoltaikmodell zur Berechnung verwendet werden.

Eine digitale, integrale Planung von Vorgaben bei der Ausschreibung bis hin zur Betriebsführung ist wünschenswert, um möglichst hohe Erträge und eine gute Eigenbedarfsdeckung zu erzielen. Herausfordernd ist, dass einerseits Photovoltaikmodule Teil der Gebäudehülle, deren Verschaltung und Wechselrichter Teil der TGA und deren Erträge Teil des energetischen Gebäudegesamtkonzepts sind, wobei momentane Wetterbedingungen und lokale und überregionale Anforderungen elektrischer Netze die Randbedingungen definieren.



Lokale Energieplanung aus Sicht der PV

- 1 – Aus realer und geplanter Bebauung der Projektumgebung und den Bauvorschriften, die im UIM repräsentiert sind, werden Informationen im Ausschreibungsprozess zur Verfügung gestellt, woraus mit Einstrahlungs- und Klimadaten u.a. Verschattung und Albedo, und damit mögliche Potentiale am Standort und mittlere Jahresproduktionsdaten im digitalen Gebäudemodell bestimmt werden können
- 2 – Daten des tatsächlich realisierten Vorhabens werden in aggregierter Form wieder ins UIM integriert
- 3 – Kurz- und mittelfristige Prognosen für die Optimierung des Gebäudebetriebs und der Nutzung der erzeugten Energie im Quartier werden ermöglicht

Abbildung 12: Schema der DIM-Anwendungen im urbanen Kontext - Lokale Energieplanung aus Sicht der PV (eigene Darstellung)

Zusammenspiel / Interaktionen: In den unterschiedlichen Projektphasen von der Projektinitiative bis zum Betrieb werden Tools unterschiedlicher Granularität benötigt:

1. Ausschreibung und Vorentwurf: Aus dem UIM sind topografische Daten verfügbar, die adäquate Randbedingungen für ein Projekt (Sanierung, Um- und Neubau) definieren: Lage, Fern- und Nahverschattung durch umliegende Objekte, die zusammen mit lokalen und/oder großräumigen Klimadaten wie den Zeitreihen für Solarstrahlung, Temperatur und Wind nutzbar sind, um schon in frühen Planungsphasen solare Erträge für unterschiedliche Entwürfe abschätzen zu können, die in die digitale energetische Gesamtplanung eingehen. Dazu braucht es einerseits Tools, um diese Daten in hinreichender Genauigkeit extrahieren zu können, andererseits Rechenmodelle, die Energieerträge und Interaktionen des Teilsystems Photovoltaik mit der räumlichen und energetischen Modellierung des gesamten Gebäudemodells verknüpfen. In der Ausführungsplanung werden die Modelle verfeinert, wozu generische skalierbare digitale Modelle, Leistungserklärungen und Produktdatenblätter, die in BIM-Modelle eingebunden werden können, erforderlich sind, die in Summe den DGZ repräsentieren.
2. Aggregierte Daten und Modelle (as-built) werden aus dem Projekt wieder dem UIM zur Verfügung gestellt. Dies dient einerseits der strategischen Planung im Quartier, andererseits können mit aktuellen meteorologischen Daten und Prognosen Optimierungsprozesse im Betrieb auf regionaler Ebene erfolgen, wie etwa Austausch von Energie zwischen Nachbarn, oder die Bewirtschaftung eines Speichers auf Quartiersebene. Zukünftige Entwicklungsprojekte und Ausschreibungen profitieren von diesen Daten und Modellen. Bestehende Bauvorschriften und -vorgaben können optimiert werden.
3. Im Gebäudebetrieb wird durch die Einbindung der Photovoltaikanlage in die Modellierung das Facility Management unterstützt: Einerseits durch Now- und Forecasting (3a), andererseits indem bei Differenzen zwischen real gemessenen (Monitoring) und durch den DGZ berechneten Erträgen eine gezielte Wartung durchgeführt, sowie aggregierte Betriebsdaten für den digitalen Energieausweis (dEAW) an das UIM übermittelt (3b) werden können.

Mehrwert: Von der integralen Photovoltaikplanung in BIM profitieren:

- Stadtplanungseinrichtungen, indem treffsichere Zielvorgaben unter Berücksichtigung des Umfelds, sowie bessere Modellierung der tatsächlichen Performance auf Quartiersebene im UIM ermöglicht wird,

- Am Planungs- und Errichtungsprozess Beteiligte, durch Informationen aus dem UIM zur Optimierung des Projekts,
- Komponentenhersteller, indem passende Produkte besser auffindbar sind und leichter dargestellt werden kann, dass lokale Vorgaben erfüllt werden,
- Eigentümer, Betreiber und Nutzer, durch bessere und validierte energetische Qualität, sowie durch Kostenvorteile aus dem verbesserten Planungsprozess und durch zielgerichtete Wartungsstrategien.

Es ist derzeit gelebte Praxis, Photovoltaik erst spät im Planungsprozess zu berücksichtigen, wobei dann häufig – wenn überhaupt – nur Minimalanforderungen erfüllt werden. Erst wenn die Photovoltaikplanung als integrierter Teil der energetischen Gesamtplanung von Anfang an verstanden und gelebt wird, ermöglicht dies, vorhandene Potentiale möglichst gut auszunutzen und energetisch und wirtschaftlich effektive Lösungen zu generieren, deren Vorteile auch klar dargestellt und kommuniziert werden können.

6.6. Leitfaden

Das wesentliche Ergebnis des Projekts DIM4Energy ist ein Leitfaden zum Thema „Digitale Energieplanung & Optimierung urbaner Regionen, Herausforderungen, Best-Practice-Beispiele & Handlungsempfehlungen“.

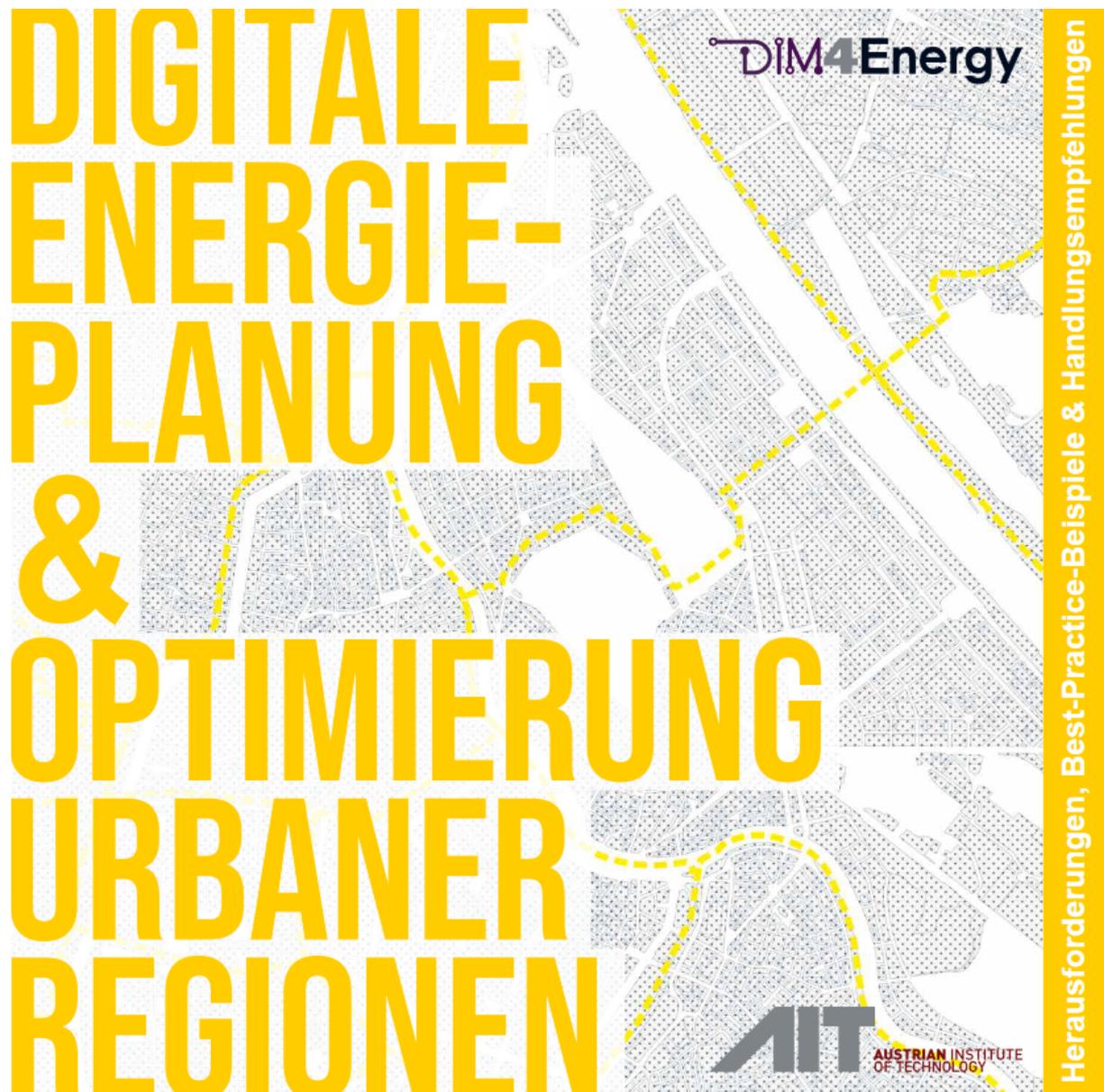


Abbildung 13: DIM4Energy Leitfadem Titelblatt

Dieser Leitfaden enthält neben allgemeinen Aspekten der digitalen Energieplanung (Digitale Informationsmodelle im Energiebereich, aktuelle und absehbare Entwicklungen, CityGML und Energy ADE sowie das UIM als zentrales Element der digitalen Energieplanung) diverse Praxisbeispiele (inkl. der Digitalisierung der Energieraumplanung in Wien) und die Einordnung der digitalen Informationsmodelle in unterschiedliche Eigenschafts- und Aggregationsebenen. Umsetzungsaspekte der untersuchten Anwendungsfälle werden beschrieben (Dynamischer Energieausweis, Perspektive Stadt/ Gebäude, Planung und Optimierung von Wärmenetzen sowie Lokale Energieplanung aus Sicht der PV). Abschließend werden Empfehlungen in den Kategorien Daten, Tools und Prozesse gegeben.

Dieser Leitfaden kann unter <https://www.ait.ac.at/dim4Energy/> kostenfrei als PDF bezogen werden.

6.7. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“

Das Projekt DIM4Energy fokussiert auf die Digitalisierung von Planungsprozessen unter Berücksichtigung der Systemintegration und inkludiert neben Plus-Energie-Quartieren auch urbane Entscheidungsprozesse und die Optimierung von Transformationspfaden ganzer Städte. DIM4Energy befindet sich an der Schnittstelle von zwei der drei Themenfelder des Programms „Stadt der Zukunft“: digitales Planen, Bauen und Betreiben sowie Plus-Energie-Quartiere. Es adressiert damit die Ziele des Programms wie folgt:

| Ziele des Programms Stadt der Zukunft¹³ | Beitrag des Projektes DIM4Energy |
|---|--|
| Beitrag zur Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität | Die in DIM4Energy untersuchten und beschriebenen Methoden und Prozesse können als Grundlagen für eine umfassende Nutzung und Optimierung vorhandener Potentiale bzgl. Energieeffizienz und erneuerbarer Energieträger genutzt werden. Die Verknüpfung verschiedener Daten und Tools ermöglicht die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Planung und dem Betrieb von Energieinfrastruktur und somit das Management der Risiken. |
| Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz | Der in DIM4Energy dargestellte, umfangreiche Katalog relevanter Daten zur Energieraumplanung inkl. UIM-Verknüpfung und Open Governance Ansätzen ist ein wesentlicher Aspekt, um ein umfangreiches Portfolio an Services für unterschiedliche Akteure anzubieten. Dies inkludiert Informationen zu städtischen Zielsetzungen und Energiepotentialen für Architekten und Bauherren, Sanierungspotentiale und verfügbare Freiflächen für Gebäudebesitzer sowie potentielle Stadterweiterungsgebiete für Energieversorger und Entwickler. Weiters sind maßgeschneiderte Tools denkbar, die Berechnungsprozesse automatisieren und vereinheitlichen, und als Service zur Verfügung stehen können. |
| Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet intelligenter Energielösungen für Gebäude und Städte | Insbesondere Städte wie Wien sind international Vorreiter der beschriebenen Entwicklungen im Bereich digitaler Energieraumplanung und open Data, so dass durch die Arbeiten in DIM4Energy bzw. die durch DIM4Energy initiierten Folgeprojekte eine wichtige Vorbildwirkung auch national erwartet wird. Dieses inkludiert auch die Verwendung der bestehenden Strukturen als Plattform für nationale Akteure, um neue Tools und Methoden für die Transformation und Optimierung urbaner Energiesysteme zu entwickeln und damit auch international relevante Forschungsprojekte und Aufträge zu lukrieren. |

¹³ <https://www.ffg.at/stadt-der-zukunft-programmlinie>

7 Schlussfolgerungen

Das Projekt DIM4Energy hat gezeigt, dass der Einsatz vom DIM bei der Planung und dem Betrieb von Plus-Energie-Quartieren bis hin zu ganzen Städten einen wichtigen Mehrwert in folgenden Dimensionen liefert:

- DIM ermöglichen **automatisierte Analysen aktueller Zustände und Potentiale**, die direkt in anderen Anwendungen weiterverwendet bzw. genutzt werden können. Dies inkludiert den Gebäudestatus hinsichtlich des Sanierungsbedürfnis und der CO₂-Bilanz, was besonders für den Gebäudebestand wichtig, aber auch bei Neubauvorhaben bzgl. Planwerten relevant ist. Weiters kann eine Performance-Evaluierung bzgl. Energieverbrauch schnell und automatisiert durchgeführt werden, was auch die Rückmeldung von Fehlern und Verbesserungspotentialen inkludiert (siehe letzter Punkt). Abschließend können lokale Energiequellen inkl. verfügbare Dachflächen und Speicherpotentiale automatisiert analysiert werden und eine wichtige Grundlage für die Planung des Energiesystems liefern.
- DIM können **automatisiert relevante Aspekte berücksichtigen**, dieses inkludiert vor allem die lokalen Randbedingungen wie vorhandene Infrastruktur, Mikro-Klima und Geometrien vorhandener und neuer Gebäude, aber auch städtebaulicher Anforderungen hinsichtlich CO₂-Emissionen oder den Anteil erneuerbarer Energien. Hierbei kann z.B. eine Konformitätsprüfung hinsichtlich städtebaulicher Verträge direkt mit den Planunterlagen erfolgen. Ein Beispiel hierfür ist die teilautomatische Einreichprüfung, bei der aus Bauordnungstexten und -bestimmungen Vorgaben für Renovierungen und Neubauten abgeleitet werden, so dass ein digitales Anforderungsmodell für die zukünftige Planung entsteht.
- Über DIM kann ein **iterativer Abgleich der Planungsprozesse von Infrastruktur und Gebäude** erfolgen. Dieses betrifft die Analyse technischer Varianten durch die Integration von Berechnungs- bzw. Simulationstools sowie die Nutzung einer konsistenten Datenbasis. So können Änderungen des Energiesystems oder der für PV verfügbaren Dachfläche bei der Planung eines neuen Gebäudes direkt dem Energieversorger bzw. dem Quartiersplaner mitgeteilt werden, so dass diese zeitnah potenzielle Auswirkungen auf die zu erwartende Performance des Quartiers berechnen und bei signifikanten Abweichungen entsprechende Aktivitäten setzen können. Weiters erlaubt die Nutzung einheitlicher Kommunikationsschnittstellen eine ganzheitliche Betriebsoptimierung des Systems inkl. der Kommunikation von relevanten Setpoints.
- DIM erlauben die **Generierung von Verbesserungsvorschlägen sowie Ableitung von (Bau-) Vorschriften/Vorgaben**. Dieses betrifft einerseits die (teil-)automatisierte Erstellung von Energieversorgungs- und Sanierungsszenarien für Quartiere basierend auf Plandaten der Bauträger bzw. bestehenden Performancedaten der Gebäude. Ggf. können Vorgaben zur Adaptierung der jeweiligen Energiesysteme bzw. Anschluss an (bestehende) Wärmenetze abgeleitet werden. Andererseits können Fehler bzw. Unregelmäßigkeiten im Betrieb von Gebäuden identifiziert und Maßnahmen zur Fehlerbehebung vorgeschlagen werden, z.B. hohe Spitzenlasten oder Systemtemperaturen im Gebäudeheizsystem.

8 Ausblick und Empfehlungen

Um den Mehrwert der im Rahmen des Projektes DIM4Energy untersuchten DIM und Anwendungsfälle erzielen zu können, wurden folgende Empfehlungen in verschiedenen Dimensionen ausgearbeitet:

8.1. Prozesse

- **Die Einrichtung eines UIM als zentralen „Hub“ für den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Tools und Stakeholdern, der standardisierte Schnittstellen berücksichtigt und eine Möglichkeit für Drittanbieter eröffnet, Services anzubieten (siehe Tools).**

Nutzen: Die bisher beschriebenen Mehrwerte digitaler Informationsmodelle lassen sich nur mit einem gut integrierten UIM vollständig realisieren.

Der Implementierungsaufwand wird als hoch eingeschätzt. Dieser inkludiert den Abstimmungsaufwand für Einführung von zentralen Softwaresystemen und Schnittstellen zwischen allen beteiligten Stakeholdern der Stadtverwaltung. Weiters ist eine Abstimmung mit allen externen Stakeholdern, die das UIM benutzen, notwendig.

- **Der Übergang von statischen zu dynamischen Betrachtungen bei Planungs- und Optimierungsprozessen.**

Nutzen: Die Gebäude- und Energieinfrastruktur unterliegt ständigen Schwankungen hinsichtlich Nutzung, Wetter und Energieerzeugung (z.B. aus PV Anlagen oder über am Strommarkt betriebene Wärmepumpen). Wirtschaftliche und ökologische Optimierungen erfordern eine dynamische Betrachtungsweise inkl. der Berücksichtigung von Speichern und der Trägheit der Gebäude.

Der Implementierungsaufwand wird als mittel bis hoch beurteilt. Normierte, validierte und vergleichbare Simulationsergebnisse werden erwartet, dazu soll die Weiterentwicklung bzw. Anpassungen der relevanten Normen durchgeführt werden. Wo notwendig, sollen die fehlenden Kompetenzen über die Weiterbildung aller beteiligten Stakeholder nachgezogen werden (Gebäude- und Stadtplanung, Gebäudeerrichtung, Gebäudebetrieb).

- **Der iterative Abgleich des Gebäudeplanungsprozesses mit der Energieinfrastrukturplanung und den Vorgaben der Stadt basierend auf den digitalen Datenaustauschprozessen.**

Nutzen: Die Einreichungsphase wird schneller und effektiver. Die geprüften Vorlagen können direkt in die Planungstools importiert werden. Verbesserungsvorschläge können besser auf der Stadt- und Quartierebene identifiziert werden.

Der Implementierungsaufwand wird als hoch beurteilt. Dieser inkludiert Schnittstellen für die fehler- und verlustfreie Datenübertragung zwischen den unterschiedlichen Bereichen (Gebäude, Infrastruktur und Stadt); Normative Weiterentwicklung bzw. Anpassungen: die Normen (z.B. OIB Richtlinien 1-6 und die lokalen Bauordnungen) sollen in das Modellprüfungstool als Regeln programmiert werden; Entwicklung von Methoden zur Datenaggregation (Übertragung von Informationen zwischen verschiedenen LODs)

8.2. Daten und Datenformate

- **Definition eines UIM-Datenmodells inkl. der Schnittstellen zu schon existierenden städtischen und nationalen Datenbanken (Statistik Austria, Stadtverwaltungen, Bund, Energieversorger, Netzbetreiber).**

Nutzen: Ein UIM ermöglicht eine Vernetzung von Daten aus unterschiedlichen nationalen Datenbanken mit Gebäudebezug, was eine wesentlich fundiertere Analyse energiebezogener Fragestellungen als in der Vergangenheit erlaubt, da Informationsebenen ohne großen manuellen Datenverarbeitungsaufwand miteinander betrachtet und analysiert werden können.

Der Implementierungsaufwand wird als mittel bis hoch beurteilt. Dieser inkludiert: Schnittstellen und Zugriffsrechte müssen vor der Erarbeitung des UIM Modells geklärt und die technische Umsetzung detailliert geplant werden (Definition von APIs zum Datenaustausch, etc.). Bei der Definition des UIM-Modells muss sichergestellt sein, dass Gebäude- und Gebäudeteil-IDs vereinheitlicht werden und sich möglichst an der GWR-Nomenklatur orientieren, um eine eindeutige Zuordnung von Informationen aus den verschiedenen Datenbanken zu ermöglichen.

➔ **Die Erarbeitung eines umfassenden Metadatenkatalogs zu allen erfassten und verarbeiteten Daten, der die Nachvollziehbarkeit der Inhalte, die Qualität und die Identifikation ermöglicht.**

Nutzen: „Eindeutige“ Beschreibungen der Attribute und Führung von eindeutigen Kennungen (Identifier) ermöglichen die Verknüpfung der Daten. Auch das Auffinden von Daten wird wesentlich erleichtert (Zeitersparnis und Wissenstransfer). Dadurch erhöhen sich auch die Datenqualität und daraus abgeleitete Analysen. Das wiederum unterstützt massiv evidenzbasierte Entscheidungen.

Der Implementierungsaufwand wird als hoch beurteilt. Festlegung klarer Kompetenzen und Verantwortlichkeiten (z.B. Datenverwaltung im Data Excellence Programm der Stadt Wien), z.B. Fachbeirat für zentrale Entscheidungen, Nominierung von Data Stewards inkl. Schulungen und einen fortlaufenden Austausch. Entwicklung eines zentralen „Tools“ zur Metadatenverwaltung und Bestimmung von Struktur, zu erfassender Parameter, Beziehung zwischen den Daten und dem Grad des Datenschutzes. Erfassung der relevanten Fachdaten und entsprechenden Nutzungen (z.B. OGD). Nutzung eines akkordierten Kennzeichenkatalogs, falls sich mehrere Daten auf dieselbe Codierung beziehen. Zentrale Ablage aller Daten in einem sogenannten DataWarehouse. Fortlaufende und regelmäßige Kontrolle und Pflege von Daten und Metadaten.

➔ **Die Erfassung von Daten zum Gebäudebestand inklusive 3D-Geometrien, Metadaten (bestehende Gebäudesysteme, Gebäudezustände, Materialien) sowie Monitoringdaten des Energiebedarfs und Nutzungsprofile.**

Nutzen: Die Erfassung des gesamten städtischen Gebäudebestands ermöglicht eine ganzheitliche Sichtweise auf die Stadt. So können die Daten zur Berechnung des Dämmgrades der Gebäude in der gesamten Stadt, Bezirken oder Gebäudeensembles, zur Evaluation von Sanierungs- und Energieeinsparungspotentialen, zur Analyse von PV-Installationsmöglichkeiten (Ausrichtung, Abschattung, etc.), sowie zu einem Performancemonitoring der einzelnen Gebäude bzw. Gebäudegruppen herangezogen und eine Bewertung innerhalb der Stadtverwaltung bezüglich der Energieraumplanung vorgenommen werden.

Der Implementierungsaufwand wird als hoch beurteilt. Dieser inkludiert: Zusammenlegung von den verfügbaren Modellen in unterschiedlichen Bereichen: Vereinheitlichung der Gebäude- und Bauteil-Identifikationen (einheitliche ID-Nomenklatur basierend auf dem GWR); Anonymisierungsprozesse, um vor allem Nutzungsdaten und Verbrauchsprofile weiter verwenden zu können.

➔ **Die Erfassung von Daten zur (lokalen) Energieerzeugung und Speicherung, inklusive Abwärme, Erdwärme, Kleinwindkraft, Solarkataster und lokale Speicherpotentiale.**

Nutzen: Derartige Potentialkarten sind eine wesentliche Grundlage für die Errichtung von effizienten Energiesystemen mit 100% erneuerbaren, lokalen Energieträgern sowie für die Identifikation von Dekarbonisierungs-Strategien auf gesamtstädtischer Ebene. Die Datenqualität ist hierbei wichtig für die Identifikation von geeigneten Standorten und Energieversorgungskonzepten, wobei für konkrete Umsetzungsprojekte im Regelfall Vor-Ort-Analysen der detaillierten Potentiale notwendig sind.

Der Implementierungsaufwand wird als gering bis hoch beurteilt. Dieser inkludiert: Potentiale von Solarenergie, Kleinwindkraft und Erdwärme können entweder über 3D-Gebäude- bzw. Stadtmodelle oder aus bestehenden hydrologischen Daten berechnet (geringer Aufwand) oder über Laserscandaten mittels Befliegung bzw. lokale Messungen (hoher Aufwand) erfasst werden. Die Identifikation von urbanen Abwärmepotentialen (z.B. von Rechenzentren, aus Kühlprozessen) ist mit hohem bis sehr hohem Aufwand verbunden, da die konkreten Standorte nicht immer bekannt sind, die entsprechenden Daten nicht systematisch erhoben werden oder eine geringe Qualität haben bzw. vertraulich sind. Aktuelle Forschungsprojekte entwickeln hier innovative bottom-up Ansätze mit geringem Aufwand.

→ **Analyse, (Weiter-) Entwicklung und Validierung neuer bzw. ergänzender Datenformate (Gebäude: Fokus openBIM, Stadt: Fokus CityGML und ADEs).**

Nutzen: Derartige Datenformate sind die notwendige Grundlage für die langfristige Modellwartung bzw. Verwendung und Interoperabilität österreichweit.

Der Implementierungsaufwand wird als gering mit mittel beurteilt. Dieser inkludiert: Erstellung von fehlenden bzw. Nutzung von verfügbaren Merkmalüberlappungen auf verschiedenen Ebenen (einige Merkmale werden sowohl in IFC als auch in CityGML Energy ADE definiert, bei der Vereinigung müssen die entscheidenden Merkmale automatisch ausgewählt werden). Wo technisch möglich und sinnvoll, existierende Datenbanken verknüpfen: XML-basierte Datenbanken für EAWs; Solarkataster, etc.

8.3. Softwaretools

→ **Die Entwicklung und Implementierung von Algorithmen und Funktionalitäten zur Aggregation von Daten und Anonymisierung sowie Zugriffsberechtigung.**

Nutzen: die Daten müssen standardisiert aufbereitet werden, damit einerseits Datenschutzkonformität herrscht, andererseits der Detaillierungsgrad für die nachstehenden Prozesse ausreichend ist.

Der Implementierungsaufwand wird als mittel bis hoch beurteilt. Dieser inkludiert: Definition und Beschreibung standardisierter APIs (hoher Aufwand), um einen verlustfreien Datenaustausch für unterschiedliche Anwendungen zu garantieren. (Weiter-) Entwicklung von Dashboards und Analysetools zur Aufbereitung und Visualisierung der relevanten Daten, um daraus für den notwendigen Anwendungsfall Handlungsempfehlungen generieren zu können.

→ **Die (Weiter-)Entwicklung von Tools zur Unterstützung von Planungsprozessen bzgl. dynamischer Prozesse, Szenarien-Analysen und Risikomanagement sowie Änderungsmanagement.**

Nutzen: Investitionsentscheidungen in Effizienzmaßnahmen und erneuerbare Erzeugungskapazitäten für Gebäude und Quartiere müssen mittel- bis langfristige Entwicklungen berücksichtigen und unterliegen dementsprechend diversen Unsicherheiten wie z.B. der Preisentwicklung von Strom und biogenen Brennstoffen sowie den zukünftigen Nutzungs- und Verbrauchsprofilen der Abnehmer.

Der Implementierungsaufwand wird als gering bis mittel beurteilt. Dieser inkludiert: Entwicklung von den Schnittstellen und Plugins für aktuelle und prognostizierte Strom- und Energiepreise; Erstellung von Schnittstellen für Risikomanagement-Tools; Verbesserte Darstellung für die Variantenstudien und Szenarien-Analyse innerhalb geeigneter Softwaretools.

→ **Die (Weiter-)Entwicklung von Berechnungs- und Simulationstools für Gebäudeenergiebedarf sowie lokale Energiepotentiale.**

Nutzen: Schnelle Berechnung wesentlicher Kennzahlen, Nutzung einheitlicher Daten bei allen involvierten Stakeholdern, automatische Synchronisierung von den Berechnungsergebnissen mit dem zentralen Modell.

Der Implementierungsaufwand wird als gering bis Mittel beurteilt. Dieser inkludiert: Die (Weiter-) Entwicklung bestehender Simulationstools für die schnelle Berechnung lokaler Energiepotentiale (basierend auf Normen und gelebter Praxis); Adaptierung und Angleichung der Berechnungsverfahren aus anderen Bereichen bzw. aus Erkenntnissen aus der Praxis. Entwicklung von Schnittstellen und Plugins für die dynamische Verknüpfung der Ergebnisse in das UIM.

8.4. Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Potenzial für Demonstrationsvorhaben

Die oben genannten Empfehlungen in den Bereichen Prozesse, Daten und Datenformate sowie Softwaretools bieten reichhaltige Potentiale für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bzw. Potenzial für Demonstrationsvorhaben.

Hierbei sollte der Fokus auf folgenden **Forschungs- und Entwicklungsarbeiten** liegen:

- Die (Weiter-) Entwicklung von dynamischen Simulations- und Berechnungstools, um den Übergang von statischen zu dynamischen Betrachtungen bei Planungs- und Optimierungsprozessen zu ermöglichen. Dies inkludiert die Berücksichtigung von Schwankungen bzgl. Strompreisen oder Wetterfaktoren sowie Speichermassen. Ebenso sollte die Vernetzung unterschiedlicher Tools und die Einbettung in Datenmodelle Gegenstand weiterführender Untersuchungen sein.
- Die Entwicklung von Methoden und Tools zur systematischen Erhebung von unkonventionellen Speicher- und Erzeugungspotentiale, wie Kühlung von Wohn- und Bürogebäuden sowie Datencentern, die Abwärme von Transformatoren und Elektrolyseprozessen sowie neue Potentiale im Untergrund (großvolumige Erdspeicherspeicher in Straßeninfrastruktur, Flughäfen, Tunnel, Kavernen, Stollen, die Nachnutzung ehemaliger Erdölsonden etc.).
- Der (Weiter-) Entwicklung von Methoden und Tools zur Bewertung und zum Management von Risiken bei Investitionsentscheidungen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten, wie z.B. der Preisentwicklung von Strom und biogenen Brennstoffen sowie den zukünftigen Nutzungs- und Verbrauchsprofilen. Hierfür kommen z.B. Monte-Carlo-Simulationen in Frage, die in anderen Bereichen bereits Stand der Technik sind, aber noch nicht im Bereich urbaner Energieinfrastrukturen eingesetzt werden.

Weiters besteht das Potenzial für folgende **Demonstrationsvorhaben**:

- Die Implementierung eines UIMs als zentralen „Hub“ für den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Tools und Stakeholdern als zentrales Element der integrierten Energieraumplanung inkl. Definition und Implementierung der Schnittstellen und der Abstimmung mit wesentlichen Akteuren der Stadtverwaltung und allen externen Stakeholdern, die das UIM benutzen (sollen). Dies inkludiert als wesentlichen Bestandteil die Definition eines UIM-Datenmodells, das die Vernetzung von Daten aus unterschiedlichen nationalen Datenbanken ermöglicht, gleichzeitig muss die technische Umsetzung inkl. Verknüpfungen und Zugriffsrechte etc. detailliert geplant werden.

- Die weitreichende Erfassung und Vernetzung wesentlicher Daten zur Urbanen Energieraumplanung, inkl. Daten zum Gebäudebestand, der bestehenden Energieinfrastruktur sowie Energie- und Speicherpotentiale. Dies inkludiert die Erarbeitung eines umfassenden Metadatenkatalogs zu allen erfassten und verarbeiteten Daten, der die Nachvollziehbarkeit der Inhalte, die Qualität und die Identifikation ermöglicht sowie die Weiterentwicklung von Open Government Data (OGD) Strukturen und die Implementierung von Algorithmen und Funktionalitäten zur Aggregation von Daten und Anonymisierung. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf der Ermöglichung bzw. Erleichterung der Datenerfassung – z.B. Datenübermittlung und deren Weiterverarbeitung und Veröffentlichung von Dritten gelegt werden. Hier gilt es, die bundes- oder landesgesetzlichen Rechtsgrundlagen zu prüfen.
- Die Implementierung bzw. Adaptierung von Planungsprozessen in der Stadtverwaltung inkl. der Abstimmung mit Baurägern, Architekten, Energieversorgern etc. Dies inkludiert Prozesse zum Abgleich der Gebäudeplanung mit der Planung der Energieinfrastruktur und den Vorgaben der Stadt basierend auf den digitalen Datenaustauschprozessen, inkl. Schnittstellen für die fehler- und verlustfreie Datenübertragung zwischen den unterschiedlichen Bereichen; normative Weiterentwicklung sowie die Festlegung klarer Kompetenzen und Verantwortlichkeiten und Nutzung des UIMs und der damit verbundenen Daten(-formate).

8.5. Ausblick

Die im Projekt DIM4Energy dargestellten Entwicklungen werden bereits auf unterschiedlichen Ebenen umgesetzt bzw. finden aktuell in unterschiedlichen Projekten in diesem Bereich statt. Beispielhaft sind hier zu nennen:

- **Enerspired Cities¹⁴**: Ziel ist die Entwicklung eines Konzeptes für einen offenen und harmonisierten Zugang zu Daten für die räumliche Energieplanung. Der Fokus liegt dabei auf dem Aufbau eines entsprechenden Datenkatalogs, der alle wesentlichen Metadaten enthält.
- **Spatial energy planning¹⁵**: Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung aller notwendigen Grundlagen für die Umsetzung von räumlicher Energieplanung für die Wärmewende in ausgewählten Verwaltungsprozessen von sieben Demogemeinden und den drei Pilotregionen Steiermark, Wien und Salzburg. In diesem Projekt wird ein Wärmetlas entwickelt, der alle wesentlichen Informationen für Eigentümer, Entwickler und PlanerInnen bezüglich Wärmeversorgung in anschaulicher Art und Weise bündelt. Auch für Gemeinden und Bezirke werden energierelevante Informationen gesammelt aufbereitet. Diese Informationen sollten den Lebenszyklus von Gebäuden und Energiesysteme integrieren. Auch der Datenfluss sollte darauf abgestimmt sein.
- **City Intelligence Labs (CIL)**: Das AIT wird die Verwendung von CityGML basierten Datenbanken zur standardisierten Speicherung stadtrelevanter Daten weiter explorieren, um in Zukunft etwaige schon existierende CityGML-Datensätze verschiedener Städte einbinden und effizient verarbeiten zu können. So soll mittels eines dedizierten Servers untersucht werden, inwieweit 3DCityDB dazu verwendet werden kann, städtische Energie-Monitoring-Plattformen zu erweitern bzw. als Grundlage der Datenspeicherung national und

¹⁴ <https://www.enerspired.city>

¹⁵ <https://waermeplanung.at/>

international zu etablieren. Darüber hinaus soll die automatisierte Anbindung an Applikationen des City Intelligence Labs (CIL)¹⁶ am AIT weiter vorangetrieben werden.

- **RAARA**¹⁷: Weiters wird CityGML im AIT Projekt RAARA dazu verwendet, um 3D-Gebäudeinformationen zur Berechnung der Schallausbreitung von Wärmepumpen aus dem Wiener Stadtmodell zu extrahieren.
- **BE-smart**¹⁸: Ein weiteres Beispiel für eine Folgeaktivität ist das Projekt BE-smart (H2020 GA 818 009, Innovative Building Envelope for Sustainable, Modular, Aesthetic, Reliable and efficient construction, 2018-2022): Im H2020 Projekt BE-smart zur gebäudeintegrierten Photovoltaik sind Überlegungen zur digitalen Raumplanung Teil des WP6 – Exploitation, Cost/benefit analysis, LCA & new business models. Fehlende Modelle der digitalen Gebäudeplanung, des Genehmigungsprozesses und zur Unterstützung des Betriebs (digital twin) sind Hindernisse auf dem Weg zur besseren Nutzung der solaren Ressource in der Stadt.

¹⁶ <https://cities.ait.ac.at/site/>

¹⁷ <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/raara.php>

¹⁸ <https://www.besmartproject.eu/>

9 Verzeichnisse

9.1. Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Schema der DIM-Anwendungen | 11 |
| Abbildung 2: Qualitativer Vergleich der territorialen Skalen von INSPIRE-, CityGML- und BIM-Datenmodellen (Agugiaro G. , 2019)..... | 17 |
| Abbildung 3: Konzept für DIM-basierte Energieraumplanung für Plus-Energie-Quartiere (eigene Darstellung) | 22 |
| Abbildung 4: Thematischer Kontext von DIM4Energy (eigene Darstellung)..... | 24 |
| Abbildung 5: Einladungen der zwei durchgeführten Workshops | 25 |
| Abbildung 6: Gruppenfoto TeilnehmerInnen des ersten DIM4Energy Workshops | 26 |
| Abbildung 7: Schema der DIM Anwendungen im urbanen Kontext (eigene Darstellung)..... | 28 |
| Abbildung 8: Schema der DIM Anwendungen im urbanen Kontext - Dynamischer Energieausweis, Perspektive Stadt (eigene Darstellung) | 29 |
| Abbildung 9: Exemplarische Softwaretools mit Schnittstellen zu CityGML (G. Agugiaro, 2019)..... | 30 |
| Abbildung 10: Schema der DIM-Anwendungen im urbanen Kontext - Dynamischer Energieausweis, Perspektive Gebäude (eigene Darstellung)..... | 32 |
| Abbildung 11: Schema der DIM-Anwendungen im urbanen Kontext - Planung und Optimierung von Wärmenetzen (eigene Darstellung) | 34 |
| Abbildung 12: Schema der DIM-Anwendungen im urbanen Kontext - Lokale Energieplanung aus Sicht der PV (eigene Darstellung)..... | 36 |
| Abbildung 13: DIM4Energy Leitfadem Titelblatt..... | 38 |

9.2. Literaturverzeichnis

- Agugiaro, G. (2016). Enabling “energy-awareness” in the semantic 3D city model of Vienna. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* (S. 81-88). Split: Croatia.
- Agugiaro, G. (2016). Energy planning tools and CityGML-based 3D virtual city models. Experiences from Trento (Italy). *Applied Geomatics*, 8(1), 41-56.
- Agugiaro, G. (2016). First steps towards an integrated CityGML-based 3D model of Vienna. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* (S. 12-19). Prague: Czech Republic.
- Agugiaro, G. (25. June 2019). GIS -based modelling of energy systems. *DIM4Energy Workshop* . Vienna.
- Agugiaro, G., Hauer, S., & Nadler, F. (2015). *Coupling of CityGML-based semantic city models with energy simulation tools: some experiences*. Gent: Belgien.
- Agugiaro, G., Skarbal, B., & Anders-Peters, J. (2017). Das 3D Stadtmodell Wiens als Datenquelle für die Ermittlung des Primärenergiebedarfs von Wohngebäuden. *AGIT Journal für Angewandte Geoinformatik*, 3, 354-363.
- ALLPLAN Österreich GmbH. (2019). *Das BIM-Kompendium Theorie und Praxis*. Von <https://info.allplan.com/at/bim-guides/bim-leitfaden.html> abgerufen
- Argonne National Laboratory. (kein Datum). *Generation and Transmission Maximization (GTMax) Model*. Abgerufen am 26. 2 2018 von <http://www.dis.anl.gov/projects/Gtmax.html>

- Bachmaier, A. (2017). *Techno-ökonomische Strukturoptimierung von thermischen und elektrischen Energiespeichern in urbanen Energieversorgungssystemen auf Basis von Geoinformationen (Dissertation)*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Bahu, J.-M., Koch, A., Kremers, E., & Murshed, S. M. (2015). Towards a 3D Spatial Urban Energy Modelling Approach. *International Journal of 3-D Information Modeling*, 3(3), 1-16.
- Bakken, B., Haugstad, A., Hornnes, K., Vist, S., Gustavsen, B., & Roynstrand, J. (1999). Simulation and optimization of systems with multiple energy carriers. *Proc. Scandinavian Conference on Simulation and Modeling*.
- Baldvinson, I., & Nakata, T. (2016). A Geographic Information-Based Mixed Integer Linear Programming Model. *2nd International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating*. Aalborg, Dänemark.
- Bartha, G., & Kocsis, S. (2011). Standardization of geographic data: the European INSPIRE directive. *European Journal of Geography*, 2(2), 79-89.
- Becker, T., Nagel, C., & Kolbe, T. H. (2013). Semantic 3D modeling of multi-utility networks in cities for analysis and 3D visualization. In *Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences* (S. 41-62). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Bentley OpenUtilities Map. (2019). *Software für Versorgungsnetzplanung und GIS*. Abgerufen am 26. 2 2018 von <https://www.bentley.com/de/products/product-line/utilities-and-communications-networks-software/bentley-openutilities-designer>
- bSI. (2020). *buildingSMART Data Dictionary Service*. Von <http://bsdd.buildingsmart.org/> abgerufen
- Büchele, R. (2015). *Bewertung des Potenzials für den Einsatz der hocheffizienten KWK und effizienter Fernwärme- und Fernkälteversorgung*.
- Capretti, A., & Pozzi, M. (2016). Decision Support System in District Heating: analysing, connecting, developing and optimising, a joint effort! *2nd International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating*. Aalborg, Dänemark.
- Carrión, D., Lorenz, A., & Kolbe, T. H. (2010). Estimation of the energetic rehabilitation state of buildings for the city of Berlin using a 3D City Model represented in CityGML. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(4/W15), 31-35.
- CI-ENERGY Smart cities with sustainable energy systems. (2020). Von <https://cordis.europa.eu/project/id/606851> abgerufen
- Czerwinski, A., Sandmann, S., Stöcker-Meier, E., & Plümer, L. (2007). Sustainable SDI for EU noise mapping in NRW – best practice for INSPIRE. *International Journal for Spatial Data Infrastructure Research*, 2(1), 90-111.
- EAVG 2012. (kein Datum). Bundesgesetz über die Pflicht zur Vorlage eines Energieausweises beim Verkauf und bei der In-Bestand-Gabe von Gebäuden und Nutzungsobjekten (Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012 – EAVG 2012).
- Egger, M. (2020). *BIM-Leitfaden für Deutschland - Information und Ratgeber, Endbericht*. Von <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/bim-leitfaden-deu.html> abgerufen
- Eichler, C. (2016). *BIM-Leitfaden. Struktur und Funktion. 2. Auflage*. Von <https://www.a-null.com/schulungen/handbuecher> abgerufen
- freeBIM. (2020). Von <https://www.freebim.at/> abgerufen
- Fritzson, P. (2011). *Introduction to Modeling and Simulation of Technical and Physical Systems with Modelica*. Wiley-IEEE Press.
- G. Agugiaro. (2019). CityGML and EnergyADE . *Präsentation beim DIM4Energy Workshop am AIT*.
- Geidl, M., & Andersson, G. (2005). Optimal power dispatch and conversion in systems with multiple energy carriers. *Proc. 15th Power Systems Computation Conference (PSCC)*.
- Kaden, R., & Kolbe, T. H. (2013). City-wide total energy demand estimation of buildings using Semantic 3D city models and statistical data. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-2/W1, 163-171.
- Kolbe, T. H. (2009). *Representing and exchanging 3D city models with CityGML*. In: *3D Geo-Information Sciences*. New York, NY, USA: Springer Verlag.

- Krause, T., Andersson, G., Frohlich, K., & Vaccaro, A. (2011). Multiple-energy carriers: modeling of production, delivery, and consumption. *Proceedings of the IEEE*, 99(1), 15-27.
- Krüber, A., & Kolbe, T. H. (2012). Building analysis for urban energy planning using key indicators on virtual 3D city models – the Energy Atlas of Berlin. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(B2), 145-150.
- Leitner, B. (2019). *Modelica DisHeatLib library*. Von <https://github.com/AIT-IES/DisHeatLib> abgerufen
- Möller, B. (2015). *Mapping the Heating and Cooling Demand in Europe*. STRATEGO Projekt, Universität Flensburg.
- mosaik. (kein Datum). *A flexible Smart Grid co-simulation framework*. Abgerufen am 26. 2 2018 von <https://mosaik.offis.de/>
- Nouvel, R., Schulte, C., Eicker, U., Pietruschka, D., & Coors, V. (2013). CityGML-based 3D city model for energy diagnostics and urban energy policy support. *IBPSA World*.
- Projekt OptHySys. (kein Datum). *Optimierung Hybrider Energienetze und -Systeme*. Abgerufen am 26. 2 2018 von <https://www.energieforschung.at/projekte/288/optimierung-hybrider-energienetze-und-systeme>
- Schneider Electric. (2019). *Termis District Energy Optimization Software*. Abgerufen am 26. 2 2018 von <http://software.schneider-electric.com/products/termis/>
- Skarbal, B., Peters-Anders, J., Faizan Malik, A., & Agugiario, G. (2017). How to pinpoint energy-inefficient buildings? An approach based on the 3D city model of Vienna. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* (S. 71-78). Puebla: Mexico.
- Stadler, A., & Kolbe, T. H. (2007). Spatio-semantic coherence in the integration of 3D city models. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI-2/C43.
- Stadt Wien, MA41. (2020). *Stadtvermessung, Stadtplan3D*. Von www.wien.gv.at/stadtplan3d abgerufen
- StaNet. (2019). *Programmsystem zur stationären und dynamischen Berechnung von Ver- und Entsorgungsnetzen*. Abgerufen am 26. 2 2018 von <http://www.stafu.de/de/home.html>
- Strzalka, A., Bogdahn, J., Coors, V., & Eicker, U. (2011). 3D City modeling for urban scale heating energy demand forecasting. *HVAC&R Research*, 17(4), 526-539.
- Vanfretti, L., Rabuzin, T., Baudette, M., & Murad, M. (2016). iTesla Power Systems Library (iPSL): A Modelica library for phasor time-domain simulations. *SoftwareX*.
- Wetter, M., Zuo, W., Nouidui, T. S., & Pang, X. (2014). Modelica Buildings library. *Journal of Building Performance Simulation*, 7(4), 253-270.
- Widl, E., Müller, W., Basciotti, D., Henein, S., Hauer, S., & Eder, K. (2015). Simulation of multi-domain energy systems based on the functional mock-up interface specification. *International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST)*.

10 Anhang

DIM4Energy-Leidfaden als PDF-Version

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)