

# Partizipative Energiesystemanalyse auf der Basis eines urbanen digitalen Zwillings und einer Smart-Meter-Datenanalyse zur Förderung von Plusenergiequartieren

*Ernst Gebetsroither-Geringer, Basak Falay, Daniel Horak, Jan Peters-Anders, Ali Hainoun*

(Dr. Ernst Gebetsroither-Geringer, AIT Austrian Institute of Technology, ernst.gebetsroither@ait.ac.at)

(Mag. (FH) Basak Falay, AIT Austrian Institute of Technology, basak.falay@ait.ac.at)

(Dr. Daniel Horak, AIT Austrian Institute of Technology, daniel.horak@ait.ac.at)

(Mag. Jan Peters-Anders, AIT Austrian Institute of Technology, jan.peters-anders@ait.ac.at)

(Dr. Ali Hainoun, AIT Austrian Institute of Technology, ali.hainoun@ait.ac.at)

## 1 ABSTRACT

Eine nachhaltige urbane Transformation erfordert Wege für eine städtische Energiewende, einschließlich der Einrichtung von Plusenergiequartieren (PEQs).<sup>1</sup> Für die Planung und Umsetzung von PEQs sind technische Lösungen und Simulationswerkzeuge für städtische Energiesysteme erforderlich. Die EU hat in ihrem „Implementation plan on positive energy districts“ das Ziel formuliert, 100 „Positive Energy Districts“ (PEDs) zu errichten und um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen ist die Einbeziehung aller gesellschaftlichen Akteure erforderlich. Zu diesem Zweck müssen innovative Forschungs-, Informations- und Kommunikationsstrategien entwickelt werden. Das transnational finanzierte Forschungsprojekt DigiTwins4PEDs konzentriert sich auf die Entwicklung eines urbanen digitalen Zwillings (UDT)<sup>2</sup> als dynamische digitale Darstellung städtischer Energiesysteme unter Verwendung von realen Daten und fortschrittlichen Simulationswerkzeugen. Der digitale Zwilling erleichtert die integrierte Analyse des Energiebedarfs und -angebots auf Stadtteil und -ebene. Er ermöglicht die Erstellung und Analyse zukünftiger Entwicklungsszenarien zur Simulation der Performance von PEQs. Er unterstützt fundierte Entscheidungen der Stadtverwaltung für eine nachhaltige städtische Energiewende. In diesem Projekt werden innovative Methoden und Umsetzungsstrategien entwickelt, die durch einen partizipativen Prozess unterstützt werden, an dem wichtige Interessengruppen und Bürger in den Phasen des gemeinsamen Entwurfs, der gemeinsamen Gestaltung und des gemeinsamen Lernens beteiligt sind. In verschiedenen Fallstudien werden die Bürger während des gesamten Projekts einbezogen, sodass bürgergetriebene Maßnahmen zur Schaffung von PEQs effizienter berücksichtigt und umgesetzt werden können. Neue Tools und Methoden werden mithilfe des UDT auf Basis des CityGML-Datenformats entwickelt und angepasst, um die Beteiligung der Öffentlichkeit an der Umsetzung der Energiewende zu erhöhen. Diese Tools ermöglichen es den Bürgern, aktiv an der Gestaltung der zukünftigen Energiewende ihrer Gemeinden mitzuwirken und so fundierte und abgestimmte Entscheidungen zu unterstützen.

Die entwickelte Urban-Digital-Twins-Plattform wird in verschiedenen städtischen Fallstudiengebieten (Wien, Stuttgart, Rotterdam, Breslau) im Rahmen eines öffentlichen Beteiligungsprozesses getestet, um gemeinsam mit den Bürgern die vielfältigen Aspekte zu adressieren, die für die Einrichtung von PEQs entscheidend sind.

Der hier präsentierte Beitrag diskutiert das Konzept der Bürgerbeteiligung, den Prototypen der UDT-Plattform sowie dessen Implementierung bzw. Parametrisierung in der Wiener Fallstudie. Weiters wird ein Tool vorgestellt, das Bürgern die Analyse der eigenen Smart-Meter-Daten ermöglicht, um damit den eigenen Energieverbrauch besser zu verstehen, und das dadurch die Parametrisierung des UDTs unterstützt.

Keywords: Digitaler Zwilling, Partizipative Stadtplanung, Positive Energy Districts, Simulationstools, Energiesystemanalyse

## 2 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Städte stehen unter hohem Handlungsdruck, Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen zu reduzieren und zugleich Versorgungssicherheit sowie sozialen Ausgleich zu gewährleisten. Plusenergiequartiere (PEQs) – urbane Teilräume, die im Jahresmittel mehr erneuerbare Energie erzeugen als verbrauchen – gelten als vielversprechender Baustein für die kommunale Klimaneutralität. Digitale Methoden, insbesondere urbane digitale Zwillinge (UDTs), haben sich als Schlüsseltechnologie etabliert, um komplexe Wechselwirkungen sichtbar zu machen und Optionen transparent zu vergleichen (Taylor et al., 2021; Zhang, 2013). Gleichzeitig

<sup>1</sup> PEQs = PEDs

<sup>2</sup> Urban Digital Twin

liefern Smart-Meter-Infrastrukturen hochfrequente Zeitreihen, wodurch sich präzise Diagnosen und Maßnahmen ableiten lassen – von temporalen Benchmarks bis zur netzdienlichen Lastverschiebung. Partizipative Planungsansätze verbessern die Qualität und Akzeptanz von Maßnahmen, insbesondere wenn Ergebnisse durch UDT verständlich visualisiert und diskutiert werden. Das im DigiTwins4PEDs Projekt entwickelte Framework zeigt, wie Living Labs, Co Design und Co Learning die Co Creation flexibler PEQ Szenarien unterstützen. Damit Partizipation wirksam ist, müssen Rollen, Entscheidungslogiken und Rückkopplungsschleifen transparent gestaltet werden (Azadi et al., 2025).

### 3 METHODIK

Die nachfolgend beschriebene Methodik wurde im Rahmen des DigiTwins4PEDs Forschungsprojekts entwickelt. Nach einer kurzen Einführung zum entwickelten Modellierungsschema konzentrieren wir uns auf die Implementierung der Wiener Fallstudie, deren Datenmodell und die spezifischen Lastverschiebungen. Weiters wird auf die partizipative Analyse der Smart-Meter-Daten mittels eines selbst entwickelten Online Tools eingegangen. Details zur Methodik der UDT-Plattform finden sich auch in .

#### 3.1 Daten- und Systemarchitektur der UDT-Plattform

Abbildung 1 zeigt das allgemeine Modellierungsschema. In DigiTwins4PEDs dient die auf PostgreSQL basierende CityGML 3D City Database (kurz: 3DCityDB) als zentrale Speicher- und Austauschplattform für Energy ADE angereicherte CityGML-Gebäudemodelle. Hierdurch wird eine strukturierte Speicherung, Abfrage und Verarbeitung energiebezogener Attribute gewährleistet. Die Energy ADE spielt eine entscheidende Rolle bei der Verwaltung komplexer energiebezogener städtischer Datensätze, ermöglicht einen effizienten Datenaustausch zwischen Simulationswerkzeugen wie SimStadt und MAPED (siehe unten) und gewährleistet Skalierbarkeit, Datenkonsistenz und Interoperabilität innerhalb des Projekt-Workflows.

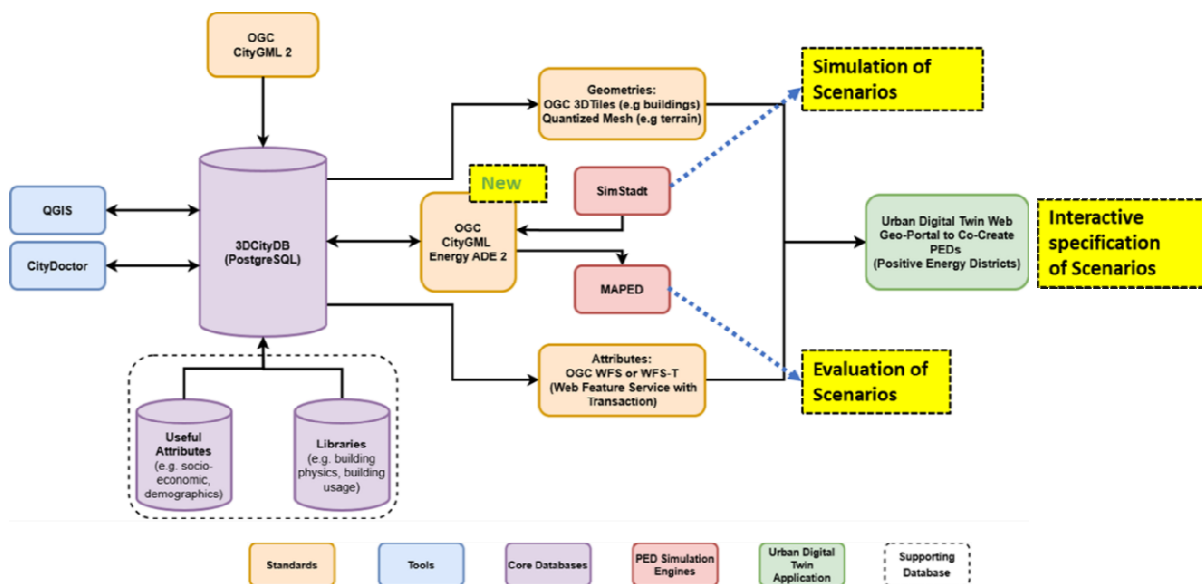


Abbildung 1: UDT-Systemarchitektur ©DigiTwins4PEDs

#### 3.2 SimStadt

SimStadt ist eine an der HFT Stuttgart entwickelte städtische Simulationsumgebung, die reale Stadtplanungsdaten für Energieanalysen von Gebäuden, Quartieren, Städten und Regionen nutzt. Sie ermöglicht hochauflösende Simulationen des Heiz- und Kühlbedarfs, Potenzialanalysen für Photovoltaik auf Dächern, Fassaden und Bodenflächen sowie Untersuchungen zu Gebäudesanierungen, erneuerbaren Energiesystemen, Strombedarf, Lastprofilen, Fernwärme, Wasserbedarf und Lebensmittelpotenzialen (Padsala et al., 2021). Damit unterstützt SimStadt Architekten, Planer, Energieexperten und Behörden bei integrierten Energieplanungsprozessen und der Entwicklung nachhaltiger städtischer Maßnahmen.

Als zentrale Eingabe dient das standardisierte CityGML-Datenmodell, das städtische Objekte und Attribute als 3D-Stadtmodell bereitstellt. SimStadt ergänzt diese Modelle um erforderliche Eigenschaften und integriert die erzeugten Energiesimulationsergebnisse wieder in den CityGML-Datensatz. Für die Energieberechnung benötigt SimStadt zusätzlich Wetterdaten und Gebäudeeigenschaften. Das Wettermodul

generiert aus standortbezogenen Monatswerten synthetische Stundenwerte. Gebäudeeigenschaften werden in bauphysikalische und nutzungsbezogene Parameter unterteilt, die als Bibliotheken und Workflow-Schritte vorliegen. Die bauphysikalische Bibliothek enthält Daten zu Konstruktionen, Materialien und U-Werten. Über die Gebäudenutzung werden Solltemperaturen, interne Lasten und Belegungen verschiedener Gebäudetypen definiert.

Im Projekt DigiTwins4PEDs übernimmt SimStadt die Energiesimulation auf Gebäudeebene, insbesondere für Heiz-/Kühlbedarf, PV-Potenzial und elektrische Lastprofile. Die Ergebnisse werden über die Energy ADE in 3DCityDB gespeichert und ermöglichen einen strukturierten Datenaustausch mit MAPED.

### 3.3 MAPED

MAPED ist ein Bottom-up Rapid-Assessment Tool zur Energieanalyse, mit dem der Energiebedarf und das Energieangebot von Stadtteilen analysiert und deren Eignung für eine positive Jahresenergiebilanz bewertet werden können, indem lokale erneuerbare Energiequellen zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs des Stadtteils genutzt werden. MAPED wurde vom AIT auf der Grundlage des bewährten Endverbrauchs-Konzepts des IAEA-Modells MAED entwickelt. MAPED konzentriert sich auf die Bewertung des Nutz- und Endenergiebedarfs auf Stadtteilebene und umfasst den Energiebedarf von Haushalten (Wohngebäuden) und Dienstleistungsgebäuden (Nichtwohngebäuden), städtischer Landwirtschaft, Industrie, Gewerbe und Mobilität. Darüber hinaus bietet es einen vereinfachten Ansatz zur Bewertung und Abschätzung der lokalen Erzeugung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Strombedarfs unter Verwendung von Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen. Weitere lokale Versorgungsoptionen wie Biomasse, Abwärme und Windkraft können ebenfalls berücksichtigt werden. Die Nutzung der lokalen erneuerbaren Energiepotenziale hängt von den jeweiligen Rahmenbedingungen, der Topologie, der sozialen Akzeptanz sowie den geltenden regulatorischen Vorgaben ab. Der MAPED-Ansatz bewertet den Endenergiebedarf auf der Grundlage demografischer, sozialer und technologischer Daten des betrachteten Stadtteils. MAPED setzt den spezifischen Energiebedarf für die Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen systematisch in Beziehung zu den sozialen, wirtschaftlichen und technologischen Faktoren, die den Bedarf an einem bestimmten Energieträger beeinflussen. Dazu gehören die Bevölkerungszahl und das -wachstum, die Anzahl der Einwohner pro Wohneinheit, die Anzahl der in Haushalten und Dienstleistungen verwendeten Elektrogeräte, das Mobilitätsverhalten und die Präferenzen hinsichtlich der Verkehrsmittel, die Entwicklung der Effizienz bestimmter Gerätetypen und die Marktdurchdringung neuer Technologien oder Energieformen. Die erwarteten zukünftigen Trends für diese bestimmenden Faktoren (Drivers), die „Szenarien“ darstellen, werden exogen eingeführt. Dies ermöglicht die Bewertung der erforderlichen Maßnahmen, um das betrachtete Gebiet innerhalb der vorgegebenen demografischen, sozialen, technischen und baulichen Spezifikationen in einen PED zu überführen.

Abbildung 2 veranschaulicht den methodischen Ansatz zum Mapping urbaner Quartiere sowie zur integrierten Analyse von Energiebedarf und -versorgung. Der Energiebedarf wird sektoral nach dem Endnutzungsansatz modelliert und anhand sozioökonomischer und technischer Treiber auf Nutz- und Endenergieebene bewertet.

Die Analyse umfasst fünf Wohngebäudetypen, charakterisiert durch Wohnungsgröße, Belegungsdichte und Energieeffizienz beim Heizen und Kühlen, sowie fünf Kategorien des Dienstleistungssektors (u. a. Büros, Bildung, Handel, Gesundheitswesen sowie Hotellerie/Gastronomie). Nutzenergieformen (Raumheizung/-kühlung, Warmwasser, Haushaltsstrom, Mobilität und ggf. industrielle Prozesse) werden über Effizienz- und Durchdringungsparameter mit den jeweiligen Endenergieträgern verknüpft und für ein Basisjahr anhand realer Daten kalibriert.

Die Energieversorgungsanalyse bewertet lokale erneuerbare Potenziale, einschließlich Photovoltaik (Dächer, Fassaden, Frei- und Verkehrsflächen) sowie Solarthermie, Geothermie, Biomasse und Mikrowind. Auf dieser Basis wird das Potenzial zur Erreichung einer positiven jährlichen Energiebilanz des Quartiers abgeschätzt. Zentrale Hebel zur Umsetzung eines Plusenergiequartiers (PEQ) sind Effizienzsteigerungen, die maximale Nutzung lokaler erneuerbarer Energien sowie Energieflexibilitäten durch Speicher und die Interaktion mit regionalen Strom- und Wärmenetzen.

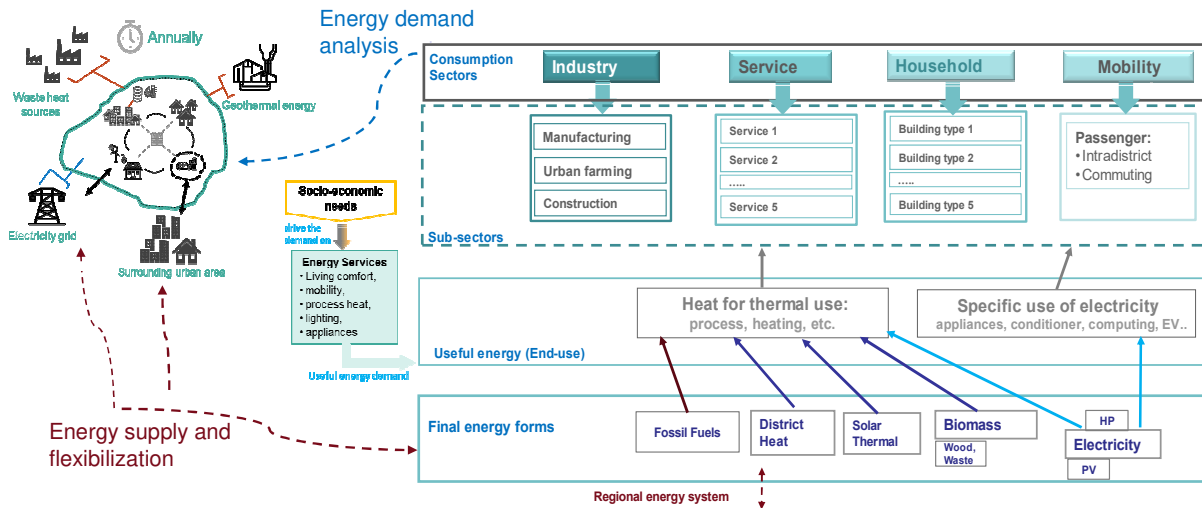


Abbildung 2: MAPED-Konzept zur Aufschlüsselung des Energiebedarfs des Stadtteils nach Brennstoffen und Verbrauchssektoren sowie zur geplanten Energieversorgung und zum Energieaustausch mit dem Nachbarschaftsenergiesystem ©AIT

Da SimStadt und MAPED in den DigiTwins4PEDs-Workflow integriert sind, werden die von SimStadt generierten Energiedaten auf Gebäudeebene über die Energy ADE auf Bezirksebene aggregiert und dann in MAPED verwendet. Diese Integration stellt sicher, dass detaillierte Energiebewertungen auf Gebäudeebene, wie z. B. Energiebedarf und Photovoltaikpotenzial, zu Strategien für die Energieflexibilität auf Bezirksebene beitragen, darunter Energieausgleich, Integration erneuerbarer Energien und Maßnahmen zur Nachfragesteuerung.

### 3.4 Datenmodell der Fallstudie Wien

Die Fallstudie in Wien konzentriert sich auf das Projektgebiet „Grätzl 20 + 2“ als Teil des Stadterneuerungsprogramms WieNeu+ der Stadt Wien. Das Grätzl 20 + 2 befindet sich in den benachbarten Bezirken Leopoldau (2. Bezirk) und Brigittenau (20. Bezirk) in Wien und wurde Anfang 2023 als bezirksübergreifendes Programm ins Leben gerufen.<sup>3</sup> Ein besonderer Schwerpunkt in diesen Gebieten liegt auf der Umstellung des derzeit gasbasierten Energieversorgungssystems auf alternative erneuerbare Energiequellen und der Bewertung der Auswirkungen einer solchen Umstellung auf das Strom- und Wärmelastmanagement, insbesondere der damit verbundenen Spitzenlasten. Daher besteht der geplante Ansatz innerhalb von DigiTwins4PEDs darin, verschiedene Szenarien für die Umstellung der Energieversorgung in Stadtteilen mit Schwerpunkt auf Optionen zur Flexibilisierung der Energieversorgung unter Verwendung urbaner digitaler Zwillinge als Simulationswerkzeuge gemeinsam zu entwerfen, Lösungen zu entwickeln und gemeinsam mit Anwohnern und Entscheidungsträgern das Potenzial und die Möglichkeiten für die Umwandlung des Grätzl 20+2 in ein PEQ<sup>4</sup> zu bewerten.

Nachfolgend wird der automatisierte Workflow, der für das Abrufen, Integrieren und Verarbeiten groß angelegter Geodatenätze zu Gebäuden und Flächennutzung im Rahmen des DigitTwins4PED-Projekts implementiert wurde, beschrieben. Das Hauptziel besteht darin, einen räumlich konsistenten und attributreichen städtischen Datensatz für Wien zu erstellen, indem über einen Web Feature Service (WFS) abrufbare Open Government Data (OGD), sowie Daten aus dem nationalen Forschungsprojekt „GEL S/E/P“ und CityGML-basierten 3D-Stadtmodellinformationen kombiniert werden. Der Workflow ist so konzipiert, dass er die Reproduzierbarkeit, Skalierbarkeit und effiziente Verarbeitung großer Datensätze gewährleistet und damit nachgelagerte GIS-basierte Analysen und städtische Energiesimulationen ermöglicht. Der Prozess wurde in Python unter Verwendung von GeoPandas und OGC-konformen<sup>5</sup> Diensten implementiert und besteht aus zwei Hauptkomponenten:

- (1) Datenerfassung: Autom. Batch-Abfrage von Geodatenätzen aus WFS-basierten OGD Endpunkten.

<sup>3</sup> <https://wieneuplus.wien.gv.at/graetzl20plus2> getestet am 27.1.2026

<sup>4</sup> bzw. Annäherung an ein PEQ

<sup>5</sup> OGC Open Geospatial Consortium <https://www.ogc.org/>, getestet am 27.1.2026

(2) Datenaufbereitung: Integration auf räumlicher und Attributebene mit bereits bestehenden Planungs- und statistischen Grenzen.

Wie in Abbildung 3 dargestellt, besteht der Arbeitsablauf aus vier Hauptphasen: 1) Abfrage der Datenquellen zur Datenerfassung, 2) Datenaufbereitung, 3) Qualitätsprüfung und 4) SimStadt-basierte Simulationen.

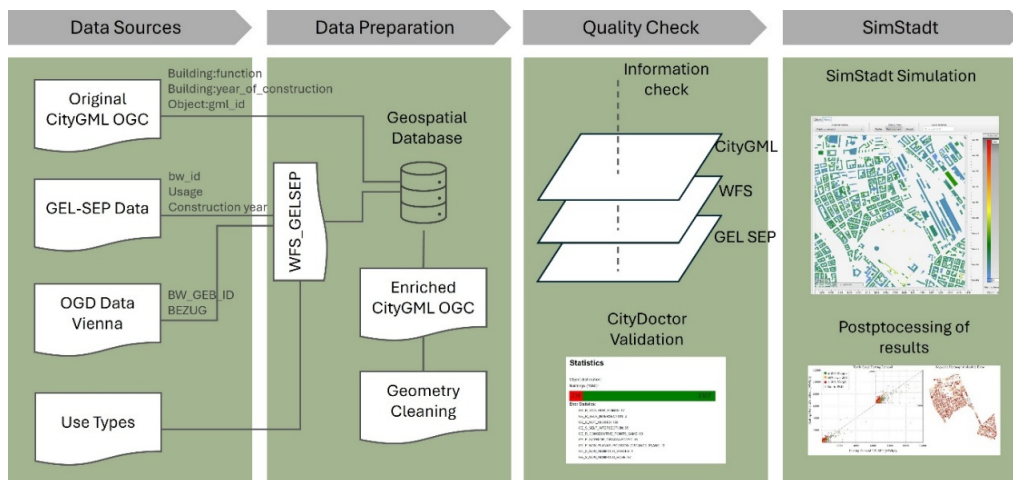


Abbildung 3: Übersicht über den automatisierten Daten-Workflow für die Anreicherung und Simulation von CityGML-Gebäuden.

Der Prozess integriert mehrere Datenquellen (CityGML, Wien OGD (WFS) und GEL-SEP), führt die Datenaufbereitung und Geometriebereinigung durch, wendet Qualitätsprüfungen durch CityDoctor-Validierung<sup>6</sup> an und speist das angereicherte CityGML-Modell in SimStadt für die städtische Energiesimulation und Nachbearbeitung ein. ©AIT

Tabelle 1 fasst die in diesem Workflow verwendeten Datensätze, ihre Quellen, Formate und die aus jedem einzelnen Datensatz extrahierten Schlüsselinformationen zusammen.

Datensatzname	Quelle / Format	Beschreibung	Verwendete Informationen
GELSEP	MA20/ Geodatabase	Die im Rahmen des GEL S/E/P-Projekts <sup>7</sup> zusammengestellten Datensätze umfassen Informationen zu Gebäudebeständen, Heizungssystemen, Sanierungsstatus und Energieverhaltensverhalten	Gebäude-ID Baujahr Nutzungsart
CityGML	MA41/ CityGML	Semantisches 3D-Stadtmodell, das standardisierte Darstellungen von Gebäuden bereitstellt, einschließlich Geometrie, Gebäudefunktionen, Konstruktionsmerkmale und hierarchische Beziehungen für eine räumlich explizite Energie- und Stadtanalyse.	Gebäude-ID Geometrie (LoD1–LoD2) Geschosshöhe
GEBAEUDETYPOGD	OGD Wien <sup>8</sup> / WFS	Gebäudetypologien	Nutzungstyp
FMZKGEBOGD	OGD Wien/ WFS	Die Flächen-Mehrweckkarte zeigt die Bodennutzung (z.B. Gebäude, Fahrbahn oder Gehsteig) in einer flächigen Darstellung.	Gebäude-ID
GEBAEUDEINFOGD	OGD- Wien/ WFS	Allgemeiner Gebäude Datensatz	Baujahr

Tabelle 1: Im Workflow verwendete Datensätze, Quellen und erforderliche Informationen

Um sowohl räumliche Konsistenz als auch Attributgenauigkeit zu gewährleisten, werden frei verfügbare OGD mit den GELSEP-Daten kombiniert. Während GELSEP stabile räumliche Identifikatoren bereitstellt, die für die Verknüpfung von Gebäuden über Datensätze hinweg und mit CityGML-Objekten unerlässlich sind, sind einige Daten der Attributfelder (z. B. Baujahr und Nutzungsart) veraltet. OGD liefert aktuellere und zuverlässigere Attributinformationen. Durch die Integration beider Quellen bleibt die räumliche Repräsentation erhalten, während der Datensatz mit aktuellen Gebäudeeigenschaften angereichert wird, wodurch die Zuverlässigkeit der Gebietsanalyse und der Energiemodellierung verbessert wird.

Die Datensätze GEBAEUDETYPOGD, FMZKGEBOGD und GEBAEUDEINFOGD wurden iterativ in Batches von bis zu 400.000 Features abgerufen und zur weiteren Verarbeitung als Python GeoDataFrames gespeichert. Nach dem Abruf durchlaufen die Datensätze eine strukturierte Reihe von Bereinigungs- und

<sup>6</sup> <https://simstadt.hft-stuttgart.de/related-softwares/city-doctor/> getestet am 27.01.2026

<sup>7</sup> <https://www.researchstudio.at/projektkette-gel-s-e-p-erarbeite-methoden-fuer-die-energiewende/> getestet am 27.01.2026

<sup>8</sup> <https://www.researchstudio.at/projektkette-gel-s-e-p-erarbeite-methoden-fuer-die-energiewende/>, getestet am 27.01.2026; <https://www.data.gv.at/datasets?publisher=Stadt+Wien&locale=de>, getestet am 27.01.2026

Integrationschritten, um die räumliche und semantische Konsistenz mit dem CityGML-basierten Stadtmodell sicherzustellen. Das Hauptziel dieser Phase besteht darin, 3D-Stadt-Objekten konsistente und aussagekräftige Gebäude-Identifikatoren zuzuweisen, indem räumliche Beziehungen und hierarchische Identifikatorstrukturen genutzt werden. Eine räumliche Verknüpfung (join) unter Verwendung des Prädikats „bedeckt“ wird angewendet, um FMZK-Gebäude zu identifizieren, die räumlich von CityGML-Geometrien abgedeckt sind. Der resultierende Datensatz (joined\_covers) kombiniert Attribute aus beiden Quellen, bei denen Geometrien eine aussagekräftige räumliche Beziehung aufweisen.

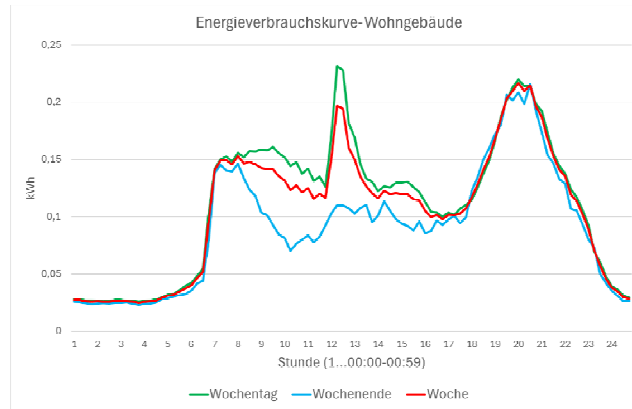


Abbildung 4: Standardlastkurve Tagesgang für Wohngebäude © DigiTwins4PEDs

<p>Eine Familie mit einem Elternteil zu Hause, zwei schulpflichtigen Kindern und einem Elektroauto.</p>	<p>Eine Familie, in der beide Elternteile berufstätig sind. Sie haben ein 10-jähriges Kind und zwei Elektroautos.</p>
<p>Eine Familie, in der beide Elternteile berufstätig sind. Sie haben ein 10-jähriges Kind und kein Elektroauto. Diese Familie hat einen sehr geringen Stromverbrauch</p>	<p>Eine alleinlebende Studentin. Sie hat ein Elektroauto.</p>
	<p><b>Erklärung:</b> Die in der Tabelle dargestellten Energieverbrauchskurven für Familie 1, Familie 2, Studentin, und Pensionisten, wurden mit dem LoadProfile Generator (LPG)<sup>9</sup> generiert. Familie 3 wurde aus realen Smart-Meter-Daten und der unten unter 3.6 beschriebenen entwickelten Webapplikation erzeugt.</p>
<p>Zwei ältere Personen, die nicht mehr arbeiten. Sie haben kein Elektroauto.</p>	

Tabelle 2: Verschiedene Energieverbrauchskurven.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> LoadProfileGenerator (LPG) ist eine Anwendung zur Erstellung synthetischer Lastprofile für Wohngebäude. Sie nutzt eine wunschgesteuerte Agentensimulation, um das Verhalten der Bewohner detailliert zu modellieren und Lastprofile

### 3.5 Energieverbrauchskurven

Eine Energieverbrauchskurve (Lastkurve) ist die grafische Darstellung des Stromverbrauchs eines Haushalts, eines Unternehmens oder anderer Anlagen über einen gewissen Zeitraum. Verbrauchswerte stammen hierbei von Smart Metern oder anderen Messsystemen. Durch die grafische Aufbereitung kann der Stromverbrauch sowie Veränderungen des Stromverbrauchs in einem bestimmten Zeitintervall einfach abgelesen werden. Im Folgenden werden die Standardenergieverbrauchskurven (Jahreswerte), wie sie in SimStadt verwendet werden, dargestellt, sowie eine Möglichkeit zur spezifischeren standortbezogenen Erhebung mittels Onlinetool vorgestellt.

#### 3.5.1 Standard-Energieverbrauchskurven

Abbildung 4 zeigt die Standard-Energieverbrauchskurve, die in SimStadt als Basis verwendet wurde. Sie zeigt deutliche Unterschiede zwischen Wochentagen (Werktagen) und dem Wochenende.

Die Energieverbrauchskurven in Tabelle 2 zeigen als Vergleich dazu spezifische Energieverbrauchskurven für verschiedene Haushaltstypen sowie eine kurze Beschreibung.

#### 3.5.2 Lastverschiebung – Batterieelektrische Fahrzeuge

Durch den steigenden Marktanteil von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEF) gewinnt die Schnittstelle zwischen Energieversorgung und Energiebedarf im Gebäudesektor und im Mobilitätssektor stark an Bedeutung. Dabei erhöhen BEFs nicht nur den lokalen Bedarf an Strom, sondern können durch ihre integrierten Energiespeicher auch entscheidende Beiträge zur Flexibilisierung des Energiesystems leisten. Die Nutzung von Flexibilitätspotenzialen ist hierbei insbesondere im Zusammenhang mit der Vermeidung von Lastspitzen im Stromnetz zu berücksichtigen, da erhöhte Marktanteile von BEFs zu starker Beanspruchung bestehender Infrastruktur führen können (Haidar et al., 2014).

Flexibilisierungspotenziale im Bereich von BEFs finden sich in mehreren Aspekten. Zum einen lassen sich Ladevorgänge, bedingt durch hohe Batteriekapazitäten im Vergleich zum typischen täglichen Mobilitätsbedarf, in Zeiten erhöhter Verfügbarkeit lokaler erneuerbarer Energieträger verschieben. Zum anderen kann diese Speicherkapazität durch bidirektionales Laden (Vehicle to home / grid) genutzt werden, um Zeiten geringerer erneuerbarer Versorgung im Stromnetz zu überbrücken oder auch netzdienliche Einspeisevorgänge vorzunehmen. Um die Effekte und Möglichkeiten der wachsenden Nutzung von BEFs innerhalb von PEQs zu untersuchen, wurde eine Methode zur stündlichen Modellierung des Ladebedarfs von BEFs in die UDT-Plattform eingebunden. Das Modell basiert auf einem Markov-Ketten-Ansatz, bei dem zwischen den Zuständen „Unterwegs“ und „zu Hause“ unterschieden wird, wobei das Nutzungsverhalten von BEFs basierend auf der aktuell verfügbaren Mobilitätsbefragung Österreich Unterwegs kalibriert wurde. Getätigte Fahrten (Zustandsänderungen) entladen Batterien in BEFs, im Zustand „zu Hause“, können diese im Modell geladen werden oder stehen für bidirektionales Laden zur Verfügung. Voraussetzung ist hier eine bestehende Möglichkeit zum Laden am Wohnort. Zur vereinfachten Anwendung dieses Ansatzes wurden in der UDT-Plattform zwei Ladeszenarien berücksichtigt und für eine typische Konfiguration einer möglichen Energiegemeinschaft in der Wiener Case Study modelliert. Dabei wird eine vollständige Nutzung lokaler Solarpotenziale und eine geringe Durchdringung von BEFs unterstellt. Das erste Szenario stellt das sogenannte „opportunistische Heimladen“ dar. Hierbei wird angenommen, dass BEFs im Zustand „zu Hause“ sofort geladen werden, ohne auf Netzparameter oder bevorstehende Photovoltaik-Einspeisung zu warten. Szenario 2 wird „antizipierendes Heimladen“ genannt. Hierbei werden Ladevorgänge bei Erreichen einer Batteriekapazität von 78% unterbrochen, sofern innerhalb der nächsten 24 Stunden ein lokaler Überschuss an PV-Erzeugung zu erwarten ist (instantane PV-Erzeugung abzüglich des erwarteten Strombedarfs im Gebäude). Der Schwellenwert von 78% wurde hierbei in Anlehnung an bestehende Befragungen zu Präferenzen von Nutzerinnen und Nutzern von BEFs gewählt. Die Bewertung lokaler PV-Überschüsse basiert hierbei auf dem SimStadt Modell zur Wiener Fallstudie. Die resultierenden Ladebedarfsprofile wurden für ein BEF normiert und in der UDT-Plattform bereitgestellt. Die maximale Ladeleistung wurde in beiden Szenarien mit 3,7 kW angenommen. Abbildung 5 zeigt den mittleren täglichen Ladeverlauf eines Tages im Juli für ein BEF innerhalb des angenommenen Pools an BEFs in der

mit einer hohen zeitlichen Auflösung von 1 Minute für den Energieverbrauch in Wohngebäuden, vor allem Strom und Warmwasser, zu generieren. Zusätzlich erzeugt sie Verhaltensdaten, Reise- und Standortdaten. <https://loadprofilegenerator.de/>

Energiegemeinschaft unter Berücksichtigung einer typischen jährlichen Fahrleistung in Wien (6500 km). Während durch opportunistisches Heimladen typische Bedarfsspitzen in den Abendstunden entstehen (überlappend mit bestehenden Bedarfsspitzen in der Nutzung von Haushaltsstrom), erlaubt antizipierendes Laden eine Verschiebung von Ladevorgängen in die Morgenstunden und den Vormittag, an denen lokaler PV-Überschuss erwartet wird. Es ist hierbei zu beachten, dass die normierte typische Ladekurve die Nutzung von BEFs in den Morgenstunden berücksichtigt, sodass viele Ladevorgänge im Laufe des Vormittags abgebrochen werden, weil die BEFs nicht mehr mit der lokalen Lademöglichkeit (zu Hause) verbunden sind. Durch diesen Effekt folgt die antizipierende Ladekurve nicht exakt dem typischen Verlauf der solaren Einstrahlung, und es ergibt sich während der Sonnenstunden um 12:00 eine im Vergleich zu den Morgenstunden reduzierte Ladeleistung. Die Diskrepanz zwischen der berücksichtigten maximalen Ladeleistung pro BEF (3,7 kW) und der maximalen Ladeleistung in Abbildung 5 ergibt sich aus der Mittelung der Ladeleistung über alle berücksichtigten BEFs. Durch die Annahme der vollständigen Nutzung des lokalen Solarpotenzials ergeben sich zudem in den Sommermonaten bereits in den Morgenstunden Überschüsse in der Solarproduktion, die durch die BEFs genutzt werden können.

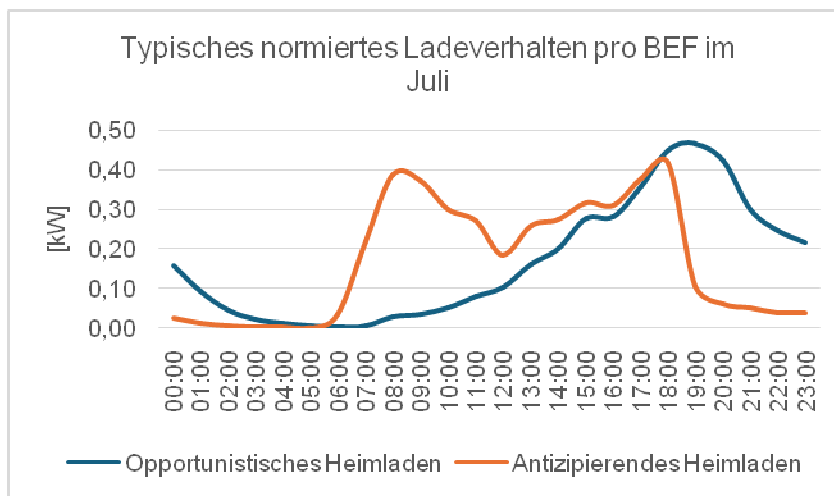


Abbildung 5: Normiertes Ladeverhalten eines BEFs für einen Tag im Juli anhand zweier Ladeszenarien. ©AIT

### 3.6 Partizipative Analyse der Smart-Meter-Daten

Wie im Kapitel 3.5 gezeigt variieren die Energieverbrauchskurven je nach Haushaltstyp stark. Dies war ein Grund dafür, dass im Rahmen des Projektes ein Online-Tool programmiert wurde, das es ermöglicht, die Smart-Meter-Daten der Wiener Haushalte zu laden und das folgende Analysen bietet:

- Allgemeine Analyse der 15min-Daten:
- Einteilung in spezifische Zeitgruppen
- Darstellung der Energieverbräuche je Zeitgruppe
- Ökonomische Analyse
- Mit spezifischen Tarifen für die Zeitgruppen und einem Ökotarif der für einen spezifischen - Zeitraum z.B. April bis August in den Stunden der Höchstleistung (Überschussproduktion) der PV-Stromerzeugung (12:00-16:00) einen eigenen Tarif simulieren lässt.
- Energieverbrauchsanalyse
- Generierung von aggregierten Energieverbrauchskurven (Wochentag, Wochenende und Woche)
- PV-Strom Energieanalyse
- Analyse einer fiktiven PV Anlage und Potenziale der Eigenstromnutzung im Vergleich zum Eigenverbrauch als Jahresbilanz, aber auch auf der Basis von Stundenwerten.

Die für die Analyse benötigten Daten können über das Smart-Meter-Portal der Wiener Netze als CSV-Dateien in 15-Minuten-Werten heruntergeladen werden.<sup>10</sup>

DSGv-konform werden keine Daten übertragen, sondern vom Online-Tool lokal auf dem Gerät des Benutzers verarbeitet. Es gibt jedoch die Möglichkeit, dass auf freiwilliger Basis aggregierte Tagesverläufe mit Stundenaufösung, zusammen mit einer Beschreibung der Haushalte übermittelt werden. Diese Daten können in weiterer Folge helfen, die lokale Analyse mit SimStadt für das Untersuchungsgebiet zu verbessern.

Abbildung 6 zeigt einen Screenshot des Tools. Im Block „DATEN“ können durch Drücken des Buttons „Browse“ (1) die csv-Daten in den Browser geladen werden. Daran anschließend wird die Analyse automatisch durchgeführt. Wenn unter (2) eine Änderung der Zeitgruppen oder der dazugehörigen Tarife eingegeben wird, werden die Berechnungen aktualisiert. Unter (3) kann vom Normaltarifsystem auf einen Ökotarif umgestellt werden, der es ermöglicht, einen spezifischen Zeitraum für den Ökotarif (z.B. April-August 12:00 – 16:00) und den Tarif selbst einstellen zu lassen. Die restlichen Tarife können wieder unter (2) verändert werden.

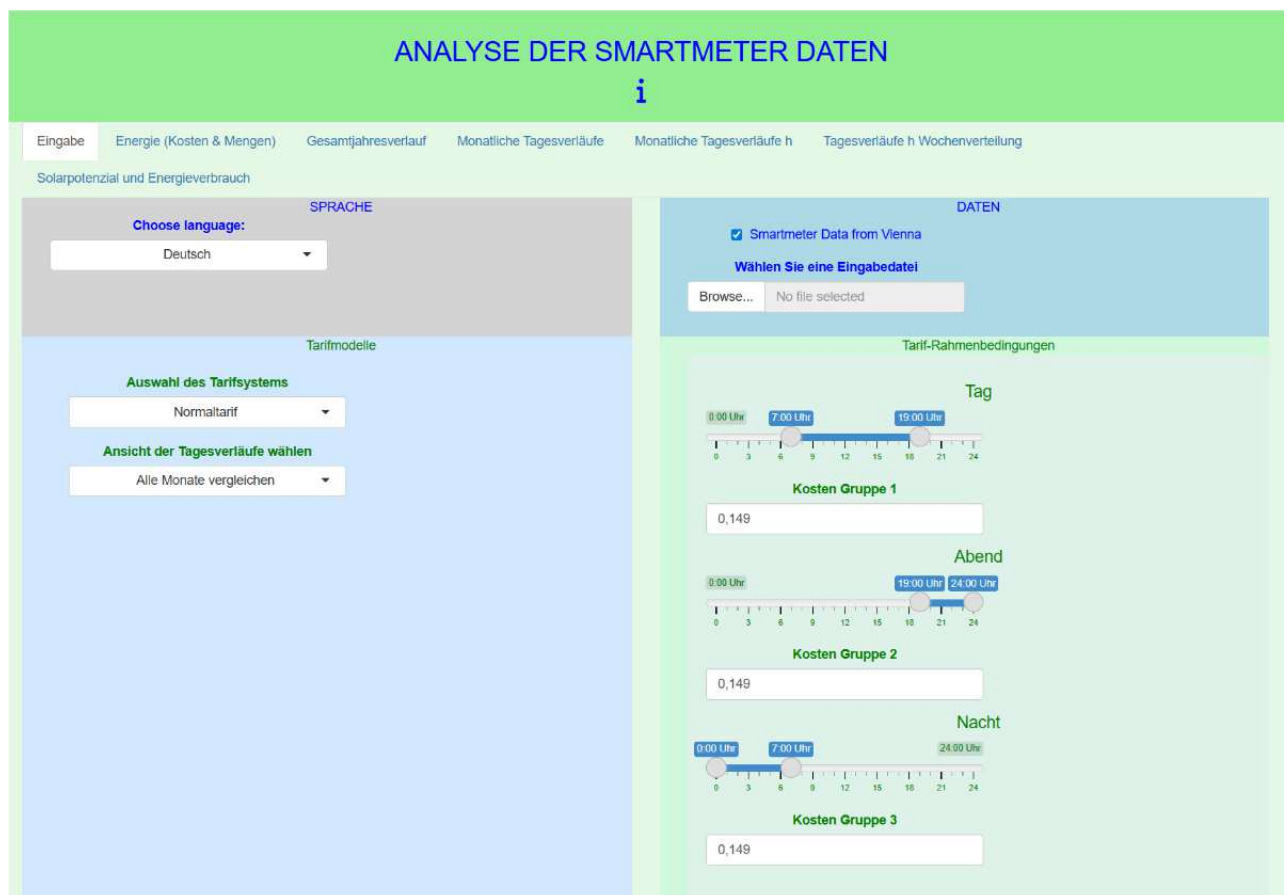


Abbildung 6: Screenshot der Powerflex-Webapplikation zur Smart-Meter-Datenanalyse <https://cities.ait.ac.at/powerflex/> ©AIT

Die Abbildung 7 zeigt für die Monate Jänner (01) bis Dezember (12) die dazugehörigen Energieverbräuche und Kosten, die nach dem Datenimport automatisch berechnet werden.

<sup>10</sup> <https://www.wienernetze.at/smart-meter-webportal>, getestet am 27.01.2026. Anmerkung: Damit die 15-Minuten-Daten exportiert werden können, müssen sie im Portal aktiviert worden sein, denn erst ab der Aktivierung werden sie gesammelt und zum Download zur Verfügung gestellt.

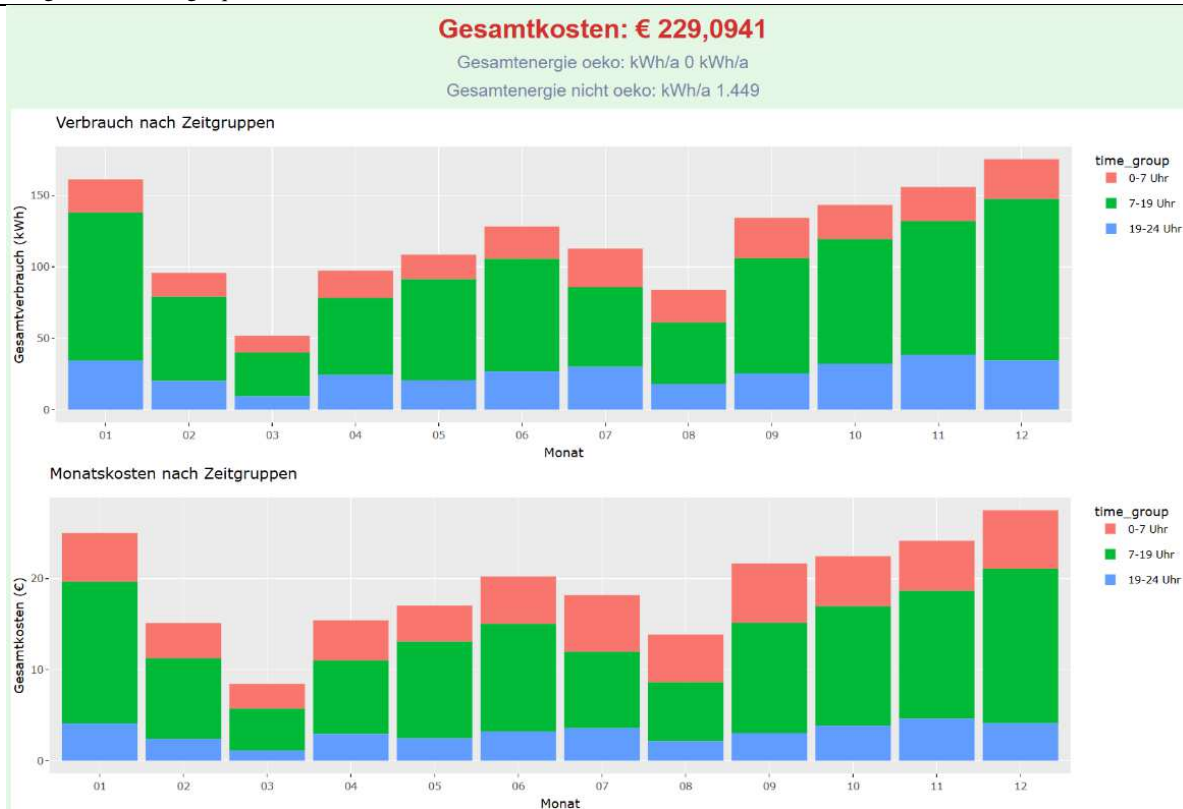


Abbildung 7: Verbrauch und Kosten nach Zeitgruppen ©AIT

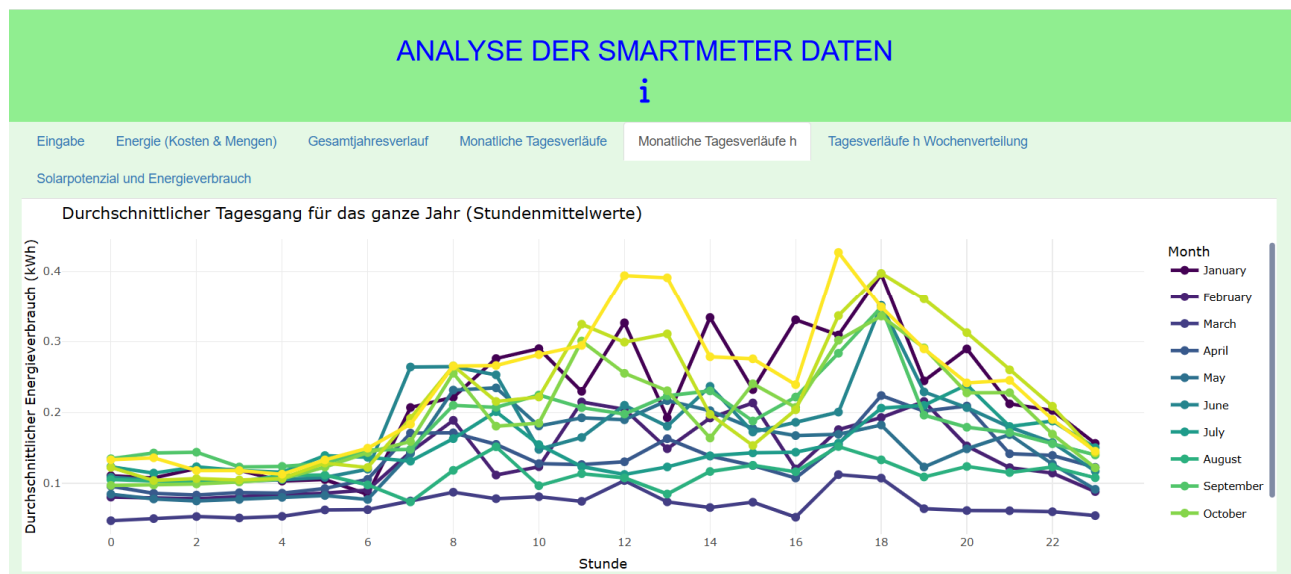


Abbildung 8: Analyse der Tagesgänge in den Monaten ©AIT

Das Online-Tool bietet zusätzlich die Möglichkeit, mittels einer fiktiven Solaranlage und deren stündlichem Strom-Produktionspotenzials<sup>11</sup> eine Analyse der direkten nutzbaren Stromproduktion durchzuführen (4 & 5). Dies ist zwar nur eine Näherung, aber im Vergleich zu einer jährlichen oder monatlichen Bilanzierung liefert dies eine viel genauere Abschätzung. Wie in Abbildung 9 dargestellt, ergibt sich für das vorliegende Beispiel ein 33% Eigennutzungsanteil des PV-Stroms, der von einer 1kWp Anlage produziert wird.

<sup>11</sup> Input dafür sind 10-minütige Solareinstrahlungsdaten im Jahr 2024 für Wien. Diese Daten wurden auf 8760 Stunden pro Jahr aggregiert und mit den stündlichen Verbrauchsdaten aus den SMART-METER-DATEN verglichen.

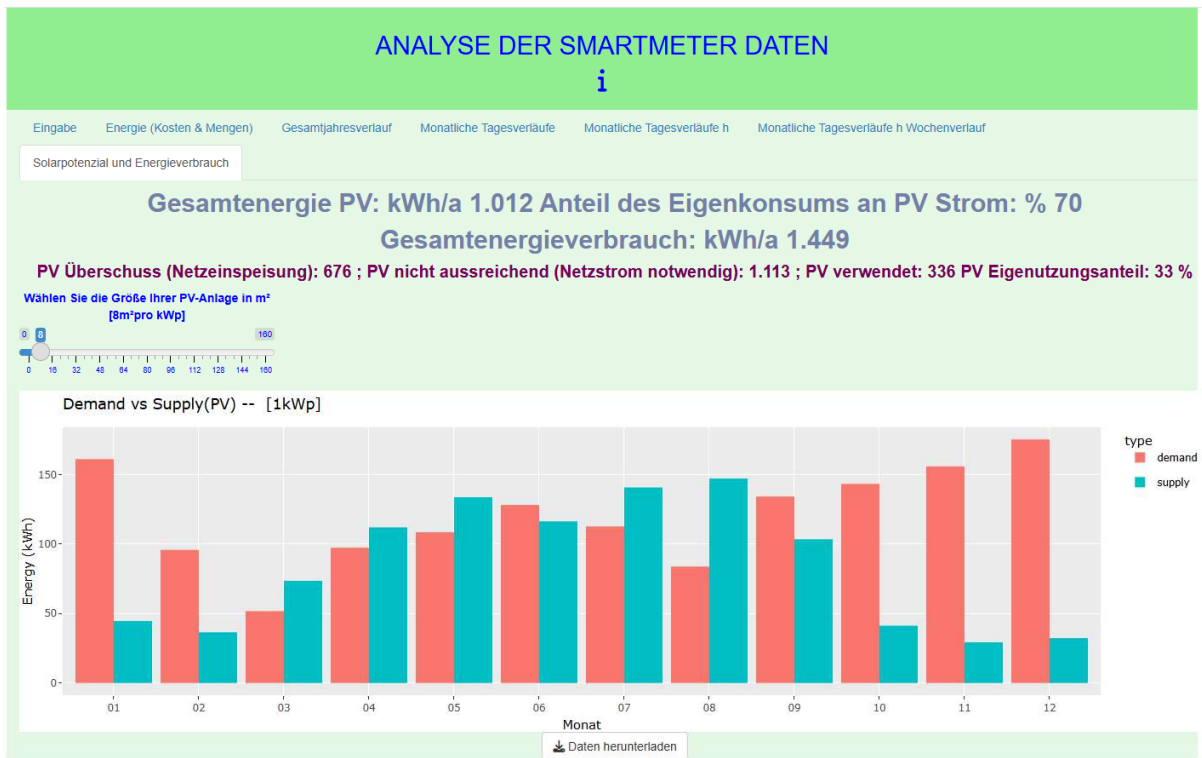


Abbildung 9: Analyse der Verbrauchsdaten gegenüber der Produktion einer fiktiven PV-Stromanlage ©AIT

Abbildung 10 zeigt die Energieverbrauchskurven, Stundenmittelwerte und die Unterschiede an Wochentagen (Werktagen) und am Wochenende sowie den Durchschnitt der Woche. Diese Daten können helfen das SimStadt-Simulationstool mit realen lokalen Daten zu parametrisieren und somit die oben angeführte Standardlastkurve (Abbildung 4) zu adaptieren. Dazu ist es notwendig, dass die Analysedaten (Stundenmittelwerte) inklusive soziodemografischer Angaben (Haushaltsgröße, Haushaltstyp und Postleitzahl) übermittelt werden (siehe Abbildung 10). Die Soziodemographischen Daten ermöglichen eine Hochrechnung auf das gesamte Untersuchungsgebiet.

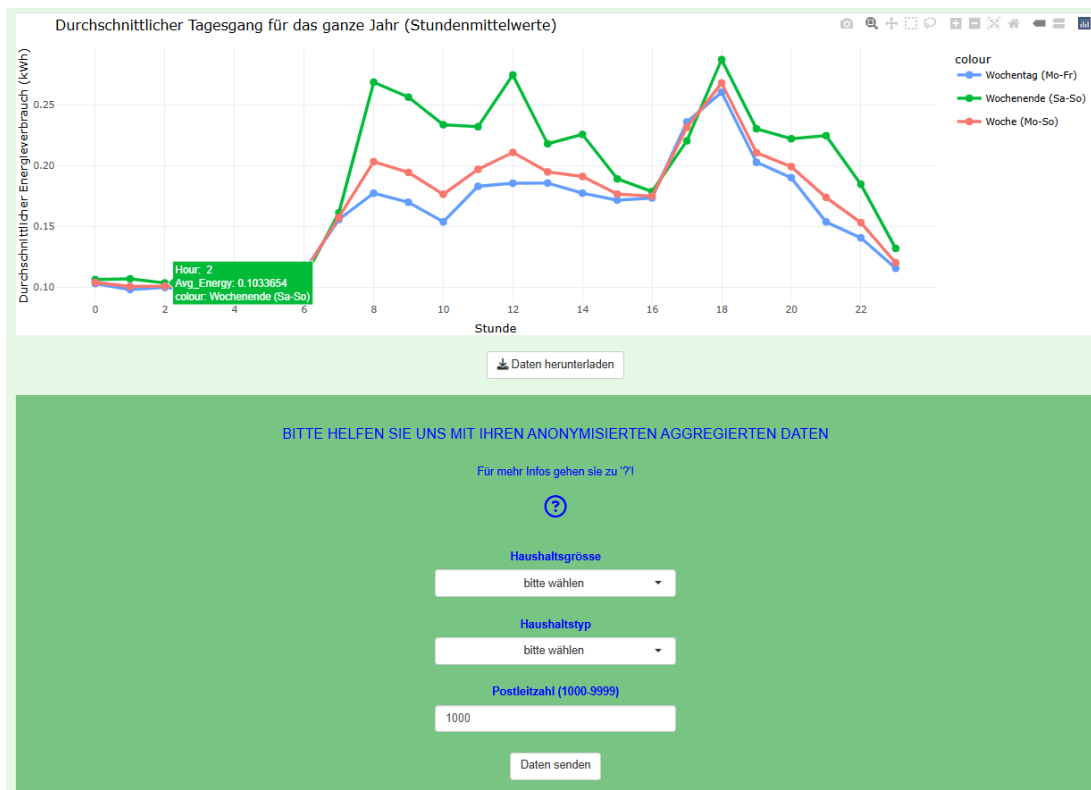


Abbildung 10: Durchschnittliche Tagesverläufe -Vergleiche Wochentage zu Wochenende ©AIT

## 4 FAZIT UND AUSBLICK

Die UDT-Plattform und Smart-Meter-Daten-Analysen ermöglichen eine ganzheitliche, transparente und partizipative Energiesystemanalyse auf Quartiersebene. Sie schaffen eine gemeinsam nutzbare Daten und Modellsicht, die technische Optimierung und gesellschaftliche Legitimation verbindet – eine notwendige Voraussetzung für die Realisierung von PEQs. Durch die Aufnahme normierter Ladeprofile für BEFs in die UDT-Plattform können die Auswirkungen eines roll-outs von BEFs auf die stündliche Strombilanz im betreffenden Planungsgebiet abgeleitet werden. Darüber hinaus wird die in beschriebene Methode zur Bewertung des Einflusses bidirektionalen Ladens genutzt. Die Simulationen werden im Februar 2026 für die Fallstudie Wien durchgeführt und dann im Stakeholder-Workshop im April präsentiert und diskutiert.<sup>12</sup> Die Webapplikation zur Analyse der Smart-Meter-Daten steht bereits als Prototyp zur freien Verwendung zur Verfügung und wird bis zum Projektende noch erweitert. <https://cities.ait.ac.at/powerflex/>.

## 5 DANKSAGUNG

Dieses Projekt wird vom BMIMI<sup>13</sup> und im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon Europa“ der Europäischen Union unter der Fördervereinbarung Nr. 101069506 gefördert. Besonderen Dank möchten wir der MA20 und MA41 für die Projektunterstützung aussprechen, ferner unseren transnationalen Projektpartnern unter der Leitung der HFT Stuttgart.

## 6 LITERATUR

- FRANCISCO, A., Mohammadi, N., & Taylor, J. E. (2020). Smart City Digital Twin-Enabled Energy Management: Toward Real-Time Urban Building Energy Benchmarking. *Journal of Management in Engineering*, 36(2), 04019045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000741](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000741)
- GEBETSROITHER-GERINGER, E., Padsala, R., Hainoun, A., Agugiaro, G., Biernat, S., Reber, A., Smetschka, B., Gao, W., Horak, D., Falay, B., & Coors, V. (2025). A Participatory Planning Framework using Urban Digital Twins Supporting the Co-Creation of Flexible, Positive Energy Districts. *URBAN INNOVATION: TO BOLDLY GO WHERE NO CITIES HAVE GONE BEFORE. Medium Sized Cities and Towns as a Major Arena of Global Urbanisation. Proceedings of REAL CORP 2025, 30th Intl. Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society*, 65–76. <https://www.corp.at/>
- HAIDAR, A. M. A., Muttaqi, K. M., & Sutanto, D. (2014). Technical challenges for electric power industries due to grid-integrated electric vehicles in low voltage distributions: A review. *Energy Conversion and Management*, 86, 689–700. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.06.025>
- HORAK, D., Hainoun, A., Neugebauer, G., & Stoeglehner, G. (2024). Battery electric vehicle energy demand in urban energy system modeling: A stochastic analysis of added flexibility for home charging and battery swapping stations. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 37, 101260. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101260>
- KLEIN, M., Lüpke, L., & Günther, M. (2020). Home charging and electric vehicle diffusion: Agent-based simulation using choice-based conjoint data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 88, 102475. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102475>
- MA20. Magistratsabteilung 20 – Energieplanung: [link](#)
- MA 41. Magistratsabteilung 41 Stadtvermessung und Geoinformation: [link](#)
- NEUMANN, H.-M., Hainoun, A., Stollnberger, R., Etmiman, G., & Schaffler, V. (2021). Analysis and Evaluation of the Feasibility of Positive Energy Districts in Selected Urban Typologies in Vienna Using a Bottom-Up District Energy Modelling Approach. *Energies*, 14(15), 4449. <https://doi.org/10.3390/en14154449>
- PFLUGRADT, N., Stenzel, P., Kotzur, L., & Stolten, D. (2022). LoadProfileGenerator: An Agent-Based Behavior Simulation for Generating Residential Load Profiles. *Journal of Open Source Software*, 7(71), 3574. <https://doi.org/10.21105/joss.03574>
- TAYLOR, J. E., Bennett, G., & Mohammadi, N. (2021). Engineering Smarter Cities with Smart City Digital Twins. *Journal of Management in Engineering*, 37(6), 02021001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000974](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000974)
- TOMSCHY, R., Herry, M., Sammer, G., Klementsitz, R., Riegler, S., Follmer, R., Gruschwitz, D., Josef, F., Gensasz, S., Kirnbauer, R., & Spiegel, T. (2014). Österreich unterwegs 2013/2014 | Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätsbefragung „Österreich unterwegs 2013/2014“. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. [https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/statistik/oesterreich\\_unterwegs/berichte.html](https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/statistik/oesterreich_unterwegs/berichte.html)
- VCÖ. (2025, September 19). VCÖ: In Wien und in Westösterreich fahren die Haushalte weniger mit dem Auto als im Österreich-Schnitt. <https://vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/vcoe-in-wien-und-in-westoesterreich-fahren-die-haushalte-weniger-mit-dem-auto-als-im-oesterreich-schnitt>
- ZHANG, X., Shen, J., Saini, P. K., Lovati, M., Han, M., Huang, P., & Huang, Z. (2021). Digital Twin for Accelerating Sustainability in Positive Energy District: A Review of Simulation Tools and Applications. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.663269>
- ZHANG, Y. (2013). Urban metabolism: A review of research methodologies. *Environmental Pollution*, 178 (Supplement C), 463–473. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.052>

<sup>12</sup> <https://unsere-energie.wien/aktuelle-veranstaltungen>

<sup>13</sup> Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur