

SmartQ+ Bruck/Leitha: Potenziale der Quartiersentwicklungsplanung auf dem Weg zum Plus-Energie- Quartier

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 88/2025

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

DI Stefan Bindreiter MSc, Yosun Şişman BSc, Lukas Rast BSc, Raumsimulationslabor,
Institut für Raumplanung, TU Wien

DI Sabine Sint, Simon Hinterseer MSc, Forschungsbereich Bauphysik, Institut für
Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, TU Wien

DI Emanuel Selz, yVerkehrsplanung GmbH

DI Karin Mottl MMSc, DI Ralf Roggenbauer MES, Energiepark Bruck/Leitha
Wien, 2025. Stand: September 2024

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). 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 aller betroffener Bereiche 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 BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung	8
2 Abstract.....	10
3 Ausgangslage.....	12
3.1. Sektorenkopplung auf dem Weg zum Plus-Energie-Quartier.....	12
3.2. Forschungsfrage und Zielsetzungen	12
3.3. State of the Art.....	13
3.3.1. Gekoppelte Netz- und Gebäudesimulation	13
3.3.2. Verkehrsmodellierung	14
3.3.3. Überblick: Stadtsimulationsmodelle in der Praxis.....	15
3.3.4. Szenarien und Datenvisualisierung zur Planungs- und Entscheidungsunterstützung 17	
3.3.5. Wissenschaftliche Vorarbeiten.....	18
4 Projektinhalt.....	19
4.1. Überblick.....	19
4.2. Anforderungsanalyse Modellanwendung.....	21
4.2.1. Methodik	21
4.2.2. Ausgangssituation in der Testgemeinde für die Modellanwendung.....	21
4.2.3. Entwicklung von Simulationsvarianten und Prognoseszenarien.....	22
4.3. Konzept und Aufbau modellübergreifender Basisdaten	24
4.3.1. Verkehrsnachfragemodell	24
4.3.2. Gebäude im gekoppelten Gebäude- und Energiemodell	27
4.3.3. Trafostationen im gekoppelten Gebäude- und Energiemodell.....	30
4.3.4. Datenschnittstellen zur Open-Data-Plattform	31
4.4. Modellaufbau, -anpassung und -synthese.....	32
4.4.1. Aufbau Verkehrsnachfragemodell.....	32
4.4.2. Aufbau gekoppelte Gebäude- und Energiemodelle	36
4.4.3. Verknüpfung der Simulationsmodelle.....	45
4.4.4. Kumulierte Simulationsdaten auf Gemeindeebene	51
4.5. Datenvisualisierung.....	51
4.5.1. Konzept und Mockups	51
4.5.2. Umsetzung Proof-of-Concept Visualisierung.....	54
5 Ergebnisse	55
5.1. Interaktive Datenvisualisierung	55
5.1.1. Aufbau	56
5.1.2. Funktionen.....	59
5.2. Modellanwendung und Szenarien-Evaluierung.....	64

5.2.1.	Anwendungsmöglichkeiten des Modells.....	64
5.2.2.	Limitationen bei Daten und Darstellung	66
5.3.	Erkenntnisse aus Simulationsdaten	68
5.3.1.	Verkehrs nachfragemodell	68
5.3.2.	Gekoppeltes Gebäude- und Energiemodell.....	69
5.3.3.	Kumulierten Gemeindedaten	75
5.4.	SmartQ+ Projekt im „Stadt der Zukunft“ Programm.....	79
6	Schlussfolgerungen.....	80
6.1.	Erkenntnisse des Projektteams.....	80
6.2.	Relevanz für Zielgruppen	81
6.3.	Bisherige Verwertung, Anwendungs- und Marktpotenziale	83
6.4.	Forschungs- und Entwicklungsbedarf.....	84
6.5.	Potenzial für Demonstrationsvorhaben.....	85
7	Verzeichnisse.....	87
8	Anhang.....	96
8.1.	Glossar	96
8.2.	Data Management Plan (DMP).....	101
8.3.	Metadaten von Quelldatensätzen und generierten Datensätzen.....	102
8.4.	Auswertungen zum Gebäudebestand	118

1 Kurzfassung

Ausgangslage und Motivation: Um die im internationalen Klimaübereinkommen von Paris festgelegten Klimaziele zu erreichen, bieten neben dem Umstieg auf nachhaltige Energieträger und der Schaffung energieeffizienter Gebäude vor allem der Verkehr und die Transformation unseres Mobilitätssystems einen großen Hebel zur Reduktion des Energieverbrauchs und von Klimagasen. Der steigende Bedarf nach emissionsfreier Mobilität (z.B. durch Elektromobilität) aber auch die Wärmeversorgung mit Wärmepumpen hat unmittelbare Auswirkung auf die Stromverbräuche von Gebäuden und Siedlungen. Noch lassen sich die Aus- und Wechselwirkungen von Maßnahmen, welche auf die Siedlungsstruktur (Dichten, Nutzungsverteilung und -mischung), Mobilität und Verkehr wirken, nur schwer simulieren. Durch Konzepte nachhaltiger Stadtentwicklung mit Fokus auf qualitativer Nachverdichtung und Nutzungsmischung in Siedlungen können viele tägliche Wege verkürzt und anstatt mit dem Auto zu Fuß oder per Rad zurückgelegt werden. Das verringert den Energieverbrauch und reduziert den Ausstoß von Treibhausgasen. Auf dem Weg zur Sektorenkopplung fehlt es an verständlichen Tools zur Ex-Ante-Evaluierung von Planungsmaßnahmen auf Gemeindeebene und die Verknüpfung von domänenspezifischen Modellen (Energie, Verkehr) für kleinräumige Prognosemodelle. Außerdem sind die Datenverfügbarkeit und Datenqualität für die eingesetzten Simulationsmodelle auf verschiedenen Skalen sehr heterogen.

Ziele und Innovation: Um sich diesen Herausforderungen zu stellen, wird für die Methodenentwicklung ein digitaler Zwilling der Gemeinde Bruck an der Leitha auf Basis eines offenen Datenmodells aufgebaut, mit dessen Hilfe Maßnahmen zur Verbesserung der Siedlungsstruktur innerhalb der Gemeinde simuliert werden können. Dazu werden Prognosemodelle für die Mobilität und den Gebäudebestand entwickelt bzw. angewendet und über ein offene Datenmodell verknüpft, um Entwicklungsszenarien und Varianten anhand konkreter Fragestellungen durchspielen zu können. Die im Projekt geschaffenen Prognose- und Visualisierungsmöglichkeiten bilden die Grundlage zur Ex-Ante-Evaluierung von Maßnahmen und Policies auf dem Weg zum Plus-Energie-Quartier. Durch die Identifizierung und Erhebung fehlender Daten werden Datenlücken für die Simulation präziser Modelle im konkreten Untersuchungsraum geschlossen.

Methodische Vorgehensweise: Um dieses Zusammenspiel der Energiedaten aus den Gebäuden mit dem Energiebedarf durch die Mobilität in Planungs- und Entscheidungsprozessen frühzeitig untersuchen und berücksichtigen zu können, wird das Konsortium aus Expert:innen für Verkehrsnachfragemodelle und Verkehrssimulation, für Gebäude- und Netzsimulation, der Energiewirtschaft, der Informatik und der Raumplanung zusammengestellt, um anhand konkreter, praktischer Fragestellungen methodische Entwicklungen und neue Ansätze voranzutreiben. Gemeinsam mit Vertreter:innen der Stadtgemeinde Bruck an der Leitha werden in Arbeitspaket (AP) 2 die Simulationsszenarien und -varianten entwickelt und die Anforderungen an die Simulationsmodelle (Energie, Verkehr) auf Basis der konkreten Fragestellungen spezifiziert. Sie bilden die Basis für den Aufbau der Prognosemodelle und den dafür benötigten Datensätzen (AP3 + AP4). Das im FFG-Projekt „SIMULTAN“ entwickelte IT-Ökosystem mit seinem offenen Datenmodell bietet bereits die Möglichkeit, Gebäude mit spezifischen Parametern (Nutzungsinformationen, Geometrie, Bautechnik und Gebäudetechnik) als Gebäudemodell zu halten. Dieses wird hinsichtlich der Datenbankschnittstellen ergänzt, um auch die Ergebnisse der Verkehrsnachfragesimulationen halten zu können und dann an die Proof-of-Concept Visualisierung (AP5) weiterzuleiten. Die aussagekräftige

Datenvisualisierung hilft die Modellergebnisse in kooperativen und kommunikativen Prozessen unter Einbeziehung unterschiedlicher Expert:innen und Akteur:innen zu erörtern und zu evaluieren (AP6). Um möglichst praxistaugliche und verständliche Auswertungen zu schaffen, werden in vielen Bereichen der Projektbearbeitung immer wieder Stakeholder und Zielgruppen/Nutzer:innen einer zukünftigen Methodenanwendung einbezogen (AP2, AP5, AP6, AP7).

Ergebnisse und Schlussfolgerungen: Für die Untersuchung der Prognoseergebnisse und der unterschiedlichen Szenarien wird ein Proof-of-Concept für ein intuitives Decision Support Tool in Form eines digitalen, interaktiven 3D Modells erstellt. Diese dient als Kommunikations- und Entscheidungsgrundlage zur Verbesserung von Planungs- und Policy-Maßnahmen für die Plus-Energie-Quartier-Siedlungsentwicklung. Neben der Entwicklung von Simulationsmodellbausteinen zu spezifischen Fragestellungen über die Wirksamkeit von Veränderungen der Siedlungsstruktur (Nutzungsmischung, Mobilität, ...) hinsichtlich der Energiebilanz von Quartieren, entstehen Schnittstellendefinitionen und Datenbeschreibungen für die Simulation von gesamten Siedlungssystemen. Das verwendete offene Datenmodell erlaubt die Gegenüberstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Simulationsmodelle.

Ausblick: Die Datenlage auf Gemeindeebene ist ein zentrales Thema für die zukunftsähige Planung und Entwicklung von Quartieren. Eine verbesserte Datenbasis ermöglicht es, fundierte Entscheidungen zu treffen, die zur Erreichung von Klimazielen und Energieeffizienz beitragen. Dabei geht es nicht nur um die Erhebung neuer Daten, sondern vor allem auch um das sinnvolle Zusammenführen bestehender Datenquellen. Ein wichtiger Aspekt der Datensammlung auf Gemeindeebene betrifft den Gebäudebestand. Die Integration unterschiedlicher Datenquellen, wie zum Beispiel der Informationen von Rauchfangkehrer:innen, kann hier in Zukunft eine wertvolle Quelle darstellen. Diese Daten ermöglichen präzisere Aussagen über den energetischen Zustand von Gebäuden, Heizsysteme und sonstige relevante Merkmale. Durch das Zusammenführen solcher Quellen könnten nicht nur umfassendere Analysen erfolgen, sondern auch die Effizienz der Gebäudebewirtschaftung und Sanierung gesteigert werden.

Um dabei den Aufwand für Gemeinden beim Modellaufbau zu reduzieren, braucht es für eine effiziente Ex-ante-Evaluierung Modelle für generalisierte Raumtypen. Diese generalisierten Modelle sind auf unterschiedliche, häufig auftretende Strukturen in Gemeinden anwendbar und können so eine Vielzahl von Planungsprozessen unterstützen. Zu diesem Zweck wurde das Forschungsprojekt „DataScience4SmartQuarters“ eingereicht, was auf den Erkenntnissen des hier vorgestellten Projekts aufbaut. Es hat die Erforschung einer innovativen Methode zur schnellen und effizienten Evaluierung von Simulationsszenarien (Gebäude/Energie, Mobilität) für Gemeinden zum Ziel. In Kombination mit den hochauflösenden Simulationsdaten und Daten großräumiger Studien werden übertragbare Testdaten und Modelle für unterschiedliche Raumtypen durch unterschiedlichen Data Science Modelle (z. B. ML, Regressionsanalysen, ...) geschaffen. Durch die Verbesserung der Datenlage und Integration verschiedener Quellen kann es Gemeinden ermöglicht werden, eigene Szenarien und Varianten zu erstellen, um Energieeinsparungen und Infrastrukturentscheidungen besser abschätzen zu können.

2 Abstract

Background and Motivation: To achieve Sustainable Development Goals (Paris Agreement), in addition to switching to sustainable energy sources and creating energy-efficient buildings, transport offers a significant lever for reducing energy consumption and greenhouse gases. The increasing demand for emission-free mobility (e.g., through electromobility) and the supply of heat with heat pumps directly impact the electricity consumption of buildings and settlements. Simulating the effects and interactions of measures that affect the settlement structure (densities, distribution and mix of uses), mobility, and transport is still difficult. Through concepts of sustainable urban development with a focus on qualitative redensification and a mix of uses in settlements, many trips can be replaced by walking or cycling instead of going by car, which both reduces energy consumption and greenhouse gas emissions. Sector coupling concepts require comprehensible tools for ex-ante evaluation of planning measures at the community level and the linking of domain-specific models (energy, transport) for small-scale forecasting models. Also, data availability and quality for the simulation models used are very heterogeneous at different scales.

Objectives and Innovation: Therefore, a digital twin of the municipality of Bruck an der Leitha based on an open data model will be built for the method development, which can be used to simulate measures to improve the settlement structure within the municipality. For this purpose, forecast models for mobility, the energy network and the building stock are developed or applied and linked via the open data model in order to be able to run through development scenarios and variants based on concrete questions. The forecasting and visualisation options created in the project form the basis for the ex-ante evaluation of measures and policies on the way to a Positive-Energy-District. By identifying and collecting missing data, data gaps are filled for the simulation of precise models in the specific study area.

Methodology: The consortium is made up of experts in transport demand models and transport simulation, building and grid simulation, the energy industry, IT, and spatial planning to analyse and take into account this interaction of energy data from buildings and grids with the energy demand from mobility in planning and decision-making processes at an early stage. They drive forward methodological developments and new approaches based on concrete, practical issues. Together with representatives of the municipality of Bruck an der Leitha, the simulation scenarios and variants are developed in work package (WP) 2 and the requirements for the simulation models (energy, transport) are specified on the basis of the specific issues. They form the basis for developing the forecast models and the required data sets (WP3 + WP4).

The open data model ‘SIMULTAN’ already offers the possibility to store buildings with specific parameters (utilisation information, geometry, structural engineering, and building technology) as a building model. This will be supplemented with regard to the database interfaces to be able to hold the results of the traffic demand simulations and then forward them to the proof-of-concept visualisation (AP5). The meaningful data visualisation helps to discuss and evaluate the model results in cooperative and communicative processes involving different experts and stakeholders (WP6). In order to create analyses that are as practical and comprehensible as possible, stakeholders and target groups/users of a future method application are repeatedly involved in many areas of project work (WP2, WP5, WP6, WP7).

Results and Conclusions: A proof-of-concept for an intuitive decision support tool in the form of a digital, interactive 3D model will be created to examine the forecast results and the different scenarios. This will serve as a communication and decision-making tool to improve planning and policy measures to achieve energy efficient and self-sufficient settlement structures. In addition to the development of simulation model modules for specific questions about the effectiveness of changes in the settlement structure (mix of uses, mobility, ...) with regard to the energy balance of neighbourhoods, interface definitions and data descriptions for the simulation of entire settlement systems are created. The open data model allows the results of different simulation models to be compared.

Outlook: The data situation at the municipal level is a crucial issue for the sustainable planning and development of neighbourhoods. An improved database makes it possible to make well-founded decisions that contribute to achieving climate targets and energy efficiency. This is not just about collecting new data but also about combining existing data sources meaningfully. An essential aspect of data collection at the municipal level concerns the building stock. Integrating different data sources, such as information from chimney sweeps, can be a valuable source in the future. This data enables more precise statements about the energy status of buildings, heating systems, and other relevant features. Combining such sources could enable more comprehensive analyses and increase the efficiency of building management and refurbishment.

Models for generalised spatial types are needed for an efficient ex-ante evaluation to reduce the effort for municipalities when setting up models. These generalised models can be applied to different, frequently occurring structures in municipalities and can thus support a variety of planning processes. To this end, the research project 'DataScience4SmartQuarters' was submitted, which builds on the findings of the project presented here. It aims to research an innovative method for the fast and efficient evaluation of simulation scenarios (buildings/energy, mobility) for municipalities. In combination with the high-resolution simulation data and data from large-scale studies, transferable test data and models for different spatial types will be created using different data science models (e.g. ML, regression analyses, ...). By improving the data situation and integrating different sources, municipalities can be enabled to create their own scenarios and variants to better assess energy savings and infrastructure decisions.

3 Ausgangslage

3.1. Sektorenkopplung auf dem Weg zum Plus-Energie-Quartier

Um die im Klimaübereinkommen von Paris festgelegten Klimaziele zu erreichen, bieten neben dem Umstieg auf nachhaltige Energieträger und der Schaffung energieeffizienter Gebäude vor allem der Verkehr und die Transformation unseres Mobilitätssystems einen großen Hebel zur Reduktion des Energieverbrauchs und von Klimagasen. Auf den Verkehr entfällt ca. ein Drittel des Energieverbrauchs (BMK, 2020). Der steigende Bedarf nach emissionsfreier Mobilität (z.B. *Elektromobilität*) und auch die *Wärmeversorgung mit Wärmepumpen* haben unmittelbare Auswirkung auf die *Stromverbräuche von Gebäuden und Siedlungen*. Konzepte nachhaltiger Stadtentwicklung („*Stadt der kurzen Wege*“ - Jessen, 2018; „*Transit Oriented Development*“ - Calthorpe, 1993; Cervero & Kockelmann, 1997; „*EcoCity*“ - Gaffron et al., 2005&2008) legen den Fokus auf qualitative Nachverdichtung und Nutzungsmischung in Siedlungen. So könnten viele tägliche Wege verkürzt und anstatt mit dem Auto zu Fuß oder per Rad zurückgelegt werden. Das verringert den Energieverbrauch und reduziert den Ausstoß von Treibhausgasen. Noch lassen sich die Aus- und Wechselwirkungen von Maßnahmen, welche auf die Siedlungsstruktur (Dichten, Nutzungsverteilung und -mischung), Mobilität und Verkehr wirken, nur schwer simulieren. Auf dem Weg zur *Sektorenkopplung fehlt* es an verständlichen Tools zur Ex-Ante-Evaluierung von *Planungsmaßnahmen auf Gemeindeebene* und die Verknüpfung von domänenspezifischen Modellen (Energie, Verkehr) für kleinräumige Prognosemodelle.

3.2. Forschungsfrage und Zielsetzungen

Das Projekt bereitet die Grundlage für die *Simulation der Wechselwirkungen von Siedlungsstrukturen, Verkehrsnachfrage und Energieversorgung, Netzauslastung und Gesamtverbrauch* und damit einen wesentlichen Schritt in Richtung *Sektorenkopplung* von Verkehr und Siedlung. Dies ermöglicht die Identifizierung und Gestaltung von Optimierungen (nicht nur auf Gebäude-, sondern auch) auf Netz- und Quartierebene. Damit können die Realisierung klimaneutraler Quartiere in frühen Planungsphasen, aber auch gezielte Verbesserungen in bestehenden Siedlungsstrukturen erprobt werden. Das Projekt liefert *Methoden und Lösungen zur Verknüpfung von domänenspezifischen Modellen* für kleinräumige Prognosen, welche für die strategische Planung durch Raumplaner:innen, aber auch für Energieplaner:innen von klimaneutralen Quartieren und Kommunen hilfreich sind.

Im Projekt soll eine (1) *verständliche, visuelle Aufbereitung von Daten und Wirkungszusammenhängen von Maßnahmen der kommunalen Planung* für Akteur:innen der Planung und Verwaltung geschaffen werden, um so die Sektorenkopplung (zwischen Gebäude, Energie und Verkehr) schon in der Quartiersplanung zu befördern. Dies umfasst die Entwicklung eines methodischen Ansatzes mit dem (2) die *Simulation der Auswirkung von Planungsmaßnahmen und der Vergleich von Entwicklungsvarianten und Szenarien* ermöglicht wird, um optimale Lösungen zu finden.

Dazu soll auf Basis eines offenen Datenmodells (Bednar et al., 2020; im Folgenden auch als „*Open-Data-Modell*“ bezeichnet) erstmals eine (3) *Verknüpfung von Verkehrsnachfrage- und*

Energiesimulationsmodellen für die kommunale Planung entwickelt werden, um in einer interaktiven Visualisierung die (4) (Energie-)Einsparungspotenziale in der Siedlungsentwicklung, bzw. die Auswirkungen von Planungsvorhaben auf die Mobilität, die Gebäude und das Energienetz einer Gemeinde sichtbar zu machen.

Deshalb wird für die Entwicklung und Erprobung des methodischen Ansatzes für die Gemeinde Bruck/Leitha ein digitaler Zwilling aufgebaut, mit dem Maßnahmen zur Verbesserung der Siedlungsstruktur innerhalb der Gemeinde simuliert und vorab evaluiert werden können. Dazu werden *Prognosemodelle für die Mobilität, das Energienetz und den Gebäudebestand* entwickelt bzw. angewendet und im *Open-Data Modell* verknüpft, um Entwicklungsszenarien und Varianten anhand konkreter Fragestellungen durchspielen zu können. Dies bildet die Grundlage zur Ex-Ante-Evaluierung von Maßnahmen und Policies auf dem Weg zum Plus-Energie-Quartier. Durch die Identifizierung und Erhebung fehlender Daten werden Datenlücken für die Simulation präziser Modelle im konkreten Untersuchungsraum geschlossen.

Durch ausführliche Dokumentation der Methode soll die Darstellung von Zusammenhängen und Hindernissen bei der Bearbeitung der Fragestellungen zu einem methodischen Erkenntnisgewinn führen und notwendige weiterführende Fragestellungen zur Grundlagenforschung und Datenerhebung aufdecken.

Für die visuelle Präsentation und Untersuchung der Simulationsergebnisse und der unterschiedlichen Szenarien wird ein Proof-of-Concept eines digitalen, interaktiven 3D Modells in einem Webinterface erstellt. Dieses dient als Kommunikations- und Entscheidungsgrundlage zur Verbesserung von Planungs- und Policy-Maßnahmen für die Plus-Energie-Siedlungsentwicklung. Neben den *Simulationsmodellbausteinen* zu spezifischen Fragestellungen über die Wirksamkeit von Veränderungen der Siedlungsstruktur (Nutzungsmischung, Mobilität, ...) hinsichtlich der Energiebilanz von Quartieren, entstehen *Schnittstellendefinitionen und Datenbeschreibungen* für die Simulation von gesamten Siedlungssystemen. Das verwendete Open-Data Modell erlaubt die Gegenüberstellung der Ergebnisse unterschiedlicher Simulationsmodelle.

3.3. State of the Art

3.3.1. Gekoppelte Netz- und Gebäudesimulation

Gebäudesimulationen sind ein wichtiges Mittel zur Vorhersage des Energieverhaltens (Strom, Wärme, Kälte) von Gebäuden oder Gebäudegruppen oder sogar ganzen Städten. Bei derartigen Simulationen von Gebäudegruppen oder Stadtquartieren (Gebäude mit all seinen relevanten Parametern z.B. HKLS – Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär), muss allerdings darauf geachtet werden, dass Simulationsmodelle nicht zu detailliert und umfangreich aber auch nicht zu vereinfacht definiert werden, um aussagekräftige Resultate zu erhalten (Huber et al., 2012). Am Markt gibt es verschiedene Simulationsprogramme, wie zum Beispiel EnergyPlus (<https://energyplus.net/>) oder IDA ICE (<https://www.equa.se/de/ida-ice>), welche unter anderem für thermische Gebäudesimulation herangezogen werden. Das Ziel von Gebäudesimulationen ist, schon in der Planungsphase mit innovativen Bauweisen möglichst einen Plus-Energie-Standard zu erreichen, um unter anderem jahres- und tageszeitliche Lastgänge bei Gebäuden zu optimieren (siehe David et al. 2023). Auf Basis von Modellen kann der Energieverbrauch (Strom, Kälte und Wärme) von Gebäuden prognostiziert

werden. Für erste Abschätzungen reichen oftmals schon Regressionsmodelle, um eine Abschätzung zu treffen (siehe Endbericht Smart Airport City). Sobald nähere Details (z.B. das Wohn-, Mobilitäts- und Konsum-verhalten der Nutzer:innen, die Lage, ...) bekannt sind, sollten diese ersten Grobabschätzungen durch detailliertere Modelle ersetzt werden.

Gebäudeauslastungen haben ebenfalls Einfluss auf die verbundenen Netzwerke (z.B. Strom). Ebenso muss dieser Einfluss geplant und modelliert werden. Hierzu kann ein multiskalares, energie- und infrastrukturübergreifende Gesamtmodell genutzt und Netzausbauvarianten und Überlastungen analysiert werden (Kaufmann, 2016).

3.3.2. Verkehrsmodellierung

Für die Bestandsanalyse und Prognose der Wirkungen von verkehrlichen Maßnahmen sind Verkehrsmodelle ein adäquates Werkzeug der Planungspraxis.

Eine Kategorisierung der Verkehrsmodelle kann zunächst hinsichtlich des Betrachtungsgegenstandes erfolgen. So bilden z. B. Verkehrsflussmodelle den Verkehrsablauf von Fahrzeugen oder Fahrer-Fahrzeug-Einheiten detailliert ab, verzichten aber auf die Nachbildung anderer Aspekte, wie z. B. die Verkehrsmittelwahl. Nachfolgende Beschreibungen beziehen sich auf Verkehrsfragemodelle, in deren Mittelpunkt die modellhafte Nachbildung der Verkehrserzeugung, der Ziel-, der Verkehrsmittel- und der Routenwahl, ggf. auch Zeitwahl stehen, wohingegen die Modellierung des Fahrzeugflusses i. d. R. nur grob erfolgt. Dieser Modelltypus eignet sich besonders für unser Forschungsvorhaben.

Verkehrsfragemodelle bilden dabei komplexe Entscheidungsprozesse der Menschen ab, die letztlich zu Ortsveränderung führen. Ergebnis von Verkehrsfragemodellen ist die Verkehrsfrage, die u.a. in Form von Streckenbelastungen aber auch als Verkehrsleistungen nach Verkehrsmittel mit Relevanz für zukünftige Treibhausgasemissionen und Energieverbräuche darstellbar ist (Ritz, 2019).

Die Verkehrsplanungspraxis nutzt derzeit überwiegend makroskopische Verkehrsfragemodelle („4-Stufen-Algorithmus“) auf der Basis von Wegeketten (z. B. VISEM, vgl. Fellendorf et al. 1997) oder Ausschnitten von Wegeketten (z.B. VISEVA). Aktuelle Entwicklungen modellieren die verhaltenshomogenen Gruppen disaggregiert und arbeiten die ersten drei Stufen (Erzeugung, Verteilung, Verkehrsmittelwahl) sukzessive ab. Durch iterative Berechnungen berücksichtigen marktgängige Softwareprogramme (z.B. VISEM/VISUM) Rückkopplungen des Verkehrsangebotes, wie Fahrzeiten des MIV im belasteten Netz oder Takte im Öffentlichen Verkehr, auf die Verkehrsfrage (Marauli, A. et al., 2011).

Hingegen simulieren mikroskopische Verkehrsfragemodelle einzelne Personen anstatt verhaltenshomogener Gruppen, wobei Prozesse der Aktivitätenplanung reproduziert werden. So existieren Ansätze, welche die Verkehrsfrage durch Agenten modellieren (z.B. MATSim, vgl. Axhausen 2006) oder regelbasierte Modelle (ALBATROSS, vgl. Timmermans, H. et al., 2011), wobei ein Aktivitätenprogramm aus einem vordefinierten Set ausgewählt wird. Wesentlicher Vorteil dieser Ansätze ist, dass Eigenschaften von Menschen und deren Verhaltensänderungen differenzierter abgebildet werden. Als Nachteile gelten der Mangel an verbreiteter Software, das Fehlen notwendiger Daten und auch heute noch die immensen Rechenzeiten (Hilgert, 2019).

Aus einem Vergleich unterschiedlicher Modellierungsansätze (Schmaus, 2019) anhand von Kriterien wie u.a. Datenverfügbarkeit, Bilanzierungsmöglichkeit, Maßnahmensensitivität geht hervor, dass sich die Qualitäten makroskopischer und mikroskopischer Verkehrsnachfragemodelle für den Anwendungszweck der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen und Energieverbräuchen kaum unterscheiden. Welche neuen und innovativen Modellierungsvarianten existieren, um mit Verkehrsnachfragemodellen auf dem Stand der Technik elementare Maßnahmen der Verkehrsplanung zu modellieren, zeigt die Arbeit von Ritz (2019) auf. Hierbei wird aber wenig Bezug auf Maßnahmen der Siedlungsstruktur (z.B. Nutzungsmischung) und aktiven Mobilität genommen.

Makroskopische Verkehrsmodelle sind aufgrund der oben beschriebenen Vor- und Nachteile in der Planungspraxis deutlich häufiger anzutreffen und aufgrund vergleichbarer Ergebnisse (zu mikroskopischen Ansätzen) auch für diesen Untersuchungsgegenstand das geeignete Mittel. Dies liegt nicht zuletzt auch an den deutlich geringeren Anforderungen an Daten und Rechenzeiten.

3.3.3. Überblick: Stadtsimulationsmodelle in der Praxis

Digitale Zwillinge (engl. "digital twins") wurden ursprünglich entwickelt, um Herstellungsprozesse mithilfe von Simulationen zu verbessern, die über hochpräzise Modelle einzelner Komponenten verfügen. Da die digitale Infrastruktur immer stärker in unsere Industrien, Städte und Gemeinden integriert wird und aufgrund technischer Entwicklungen, z.B. größere und genauere Gebäudeinformationsmodelle (BIM) in Kombination mit Big Data aus IoT-Sensoren (Internet of Things), werden digitale Zwillinge in letzter Zeit immer häufiger als Stadtplanungs-/Visualisierungstool eingesetzt.

Es gibt einen Unterschied zwischen digitalen Zwillingen, die in Echtzeit arbeiten und nahezu in Echtzeit Feedback und Visualisierungen erzeugen, um den reibungslosen Alltagsbetrieb der Stadt zu verbessern, und digitalen Zwillingen, die prädiktiv sind und genaue Eingabedaten verwenden, um die längerfristige Planung zu verbessern. Im zweiten Fall ermöglichen Digitale Zwillingssäte die Berechnung und Veranschaulichung von konkreten Auswirkungen hervorgerufen durch Interventionen und Maßnahmen. Sie erlauben dadurch einen simulierten Entscheidungsprozess, die Erprobung städtebaulicher Strategien und die Möglichkeit, mit der Öffentlichkeit besser zu kommunizieren und sie in den Prozess einzubeziehen. Eine der Aufgaben bei der Stadtmodellierung besteht darin, soziale und wirtschaftliche Prozesse mit der gebauten Umwelt zu verschmelzen und funktionale und physische Prozesse mit sozioökonomischen Darstellungen zu verknüpfen (Batty, 2018).

Daten können aus einer Vielzahl von Aktivitäten in der Stadt generiert werden, wie z. B. Verkehr und Mobilität, Stromerzeugung und -verbrauch, Wasserversorgung und Abfallwirtschaft. Smart Cities können diese Daten nutzen, um verschiedene Aspekte der Stadt zu untersuchen und zu verbessern, wie die Mobilität, das Energienetz, die Umwelt, den Lebensstandard und die Verwaltung der Stadt (White et al., 2021).

Die Auseinandersetzung mit Forschungsprojekten, die digitale Zwillinge für die Stadtplanung nutzen, zeigt, dass es Stadtmodelle verschiedener Detaillierungsgrade für Städte wie Zürich, Helsinki, Rotterdam und viele mehr gibt. In den meisten Fällen liegt der Fokus vor allem auf der Erstellung eines detaillierten 3D-Modells. Beispielsweise werden im Forschungsprojekt Zürich virtuell (Stadt Zürich, o.J.) die Gebäude (Detailgrad LoD2 (Level of Detail) (Biljecki et al., 2016)), Straßen, Bäume und

das Gelände modelliert. Der/die Betrachter:in verfügt außerdem über eine Straßenansichtsoption, kann Flächen und Linien im Modell messen und verschiedene Sonnenlichteinstellungen einrichten. Das digitale Stadtmodell konzentriert sich hauptsächlich auf die Gebäude und der/die Betrachter:in kann auf die Objekte klicken, um grundlegende Informationen wie die Adresse, das Baujahr, die Anzahl der Stockwerke, die Nutzung und die Höhe zu erhalten. Der digitale Zwilling der Stadt Rotterdam (Rotterdam, o.J.) verfügt über ein noch detaillierteres 3D-Modell, da die Gebäude (Detailgrad LoD2) sogar texturierte Fassaden haben und zusätzlich zu den Bäumen auch Straßenlampen, Fahrradabstellplätze, Ladestationen und Müllheimer modelliert sind. Es gibt auch einen Versorgungsabschnitt, in dem man die Netzwerkanschlüsse z.B. für Gas, Heizung, Trinkwasser, Telekommunikation, Strom einblenden kann. Aber zu all diesen modellierten Elementen gibt es nur sehr wenige Daten, die mit den einzelnen Objekten verknüpft werden.

Es gibt einige Projekte, die über die Erstellung eines detaillierten 3D-Stadtmodells und von Gebäudeinformationen hinausgehen und einen spezifischen Forschungsschwerpunkt bei der Nutzung der digitalen Zwillinge haben. Der Energie- und Klimaatlas Helsinki (City of Helsinki, o.J.) legt seinen Schwerpunkt auf Energiedaten von Gebäuden und hat im Vergleich zu den zuvor genannten Beispielen ein weniger detailliertes 3D-Modell, welches sich nur auf Gebäude beschränkt. Der/die Betrachter:in kann zwischen Energie- und Sanierungsstatus von Gebäuden oder den Verbrauchsdaten von Gebäuden (mit Optionen der Verbrauchsdaten von Gebäuden in den Jahren 2015 und 2016 (Fernwärme, Kaltwasser, Stromverbrauch und deren Veränderung)), berechnetem Energieverbrauch nach Gebäudenutzung und Einrichtungsjahr sowie Einsparpotenzialen von Gebäuden wählen. Doch selbst wenn die Daten im Modell als unterschiedliche Farben auf die Gebäude projiziert werden, gibt es für den/die Betrachter:in keinen erkennbaren Ursache-Wirkungs-Zusammenhang, der die Änderungen im Verbrauch nachvollziehen könnte.

Zudem wurden von verschiedenen Universitäten und Forschungseinrichtungen Stadtplanungs- und Simulationstools entwickelt, die den Mobilitätsaspekt in Verknüpfung mit Energiesimulationen nicht oder nur eingeschränkt abbilden können (MIT, o. J.; ETH Zurich, o. J.; AIT, 2022). Dabei werden auch nur Stadtteile und keine ganzen Städte abgebildet: Das Aspern Urban Lab basiert auf dem Stadtmodell des City Intelligence Lab des AIT (Austrian Institute of Technology) und zeigt die kleinräumigen Auswirkungen des Klimas, der Mobilität sowie wirtschaftliche Kennzahlen für die Seestadt Aspern auf Block- und Gebäudeebene.

The DUET Project (DUET, o. J.) nutzt digitale Zwillinge der drei Städte Athen (GR), Flenders (BEL) und Pilsen (CZ), um verschiedene Mobilitätsinterventionen zu simulieren und deren Auswirkungen vorherzusagen. Das 3D-Modell verfügt über LoD2-Gebäude, Bäume und optionale Gelände-, Lärm- und Luftverschmutzungsmodelle. Das Verkehrsmodell besteht aus Verkehrssegmenten/Strecken, die entsprechend ihrer Verkehrsstärke Zuwächse/Rückgänge nach den ausgewählten Eingriffen gefärbt sind. Die drei Teststädte unterscheiden sich in den Visualisierungen. Für die Stadt Athen verfügt das Projekt zum Beispiel über eine Dashboard-Option, bei der der Betrachter Sensoren auf einer 2D-Karte auswählen und Daten wie die durchschnittliche Anzahl von Autos pro Stunde am Tag für ausgewählte Zeitfenster anzeigen kann.

Dieser knappe Blick auf den Stand der Technik digitaler Zwillinge in Forschungsprojekten zeigt die großen Potenziale für die Stadtplanung. In den meisten Fällen fehlt jedoch die Verknüpfung unterschiedlicher Disziplinen. Die Inhalte der domänenspezifischen Modelle werden lediglich "nebeneinander" dargestellt.

3.3.4. Szenarien und Datenvisualisierung zur Planungs- und Entscheidungsunterstützung

In der Raum- und Verkehrsplanung aber auch der Stadtentwicklung stehen generell eine Vielzahl von Lösungswegen einer komplexen Problemstellung gegenüber, die in der Regel in einem kooperativen, kommunikativen Prozess unter Einbeziehung unterschiedlicher Expert:innen und Akteur:innen erörtert und evaluiert werden. Zukünftige Entwicklungen können dabei nur eingeschränkt bzw. nur mit dafür geeigneten Methoden prognostiziert werden.

Die Szenarientechnik stellt eine bewährte Methode dar, um mögliche zukünftige Entwicklungen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Planfälle, Trends und Rahmenbedingungen abzubilden und zu beschreiben. Mit Ursprüngen in militärischer Planung, aber auch Volkswirtschaft, kommt die Technik mittlerweile auch in der Raumplanung zum Einsatz. So wurden Szenarien in der Stadt- und Raumplanung zum Beispiel in den Bereichen der Flächenentwicklung (Waddel, 2007), der nachhaltigen Stadtentwicklung (Kurz et al. 2015), der Mobilitätsforschung (Mitteregger et al., 2020) und der Technologiefolgeabschätzung (Duinker & Greig, 2007) eingesetzt und gelten als etabliertes Mittel Entwicklungshorizonte (teils partizipativ) für Städte und Regionen aufzuzeigen (z.B. Szenario-Prozesse in München, Hamburg, Zürich oder Wien in den vergangenen Jahren). Im vorliegenden Forschungsprojekt werden mit dieser Technik mögliche Zukunftsszenarien für Bruck an der Leitha – im Zusammenspiel zwischen Zielen und Strategien der Planung und den zu erwartenden äußeren Bedingungen (Trends) – beschrieben, um daraus konkrete Fragestellungen und Anforderungen an die Entwicklung der Prognosemodelle abzuleiten.

Strategische Visualisierungstools zur Planungs- und Entscheidungsunterstützung erlauben einen interaktiven Vergleich unterschiedlicher Aspekte, Varianten und Ausgänge einer Themenstellung und können somit effizient in kommunikative Planungsprozesse mit eingebunden werden. Wie in 1.2. dargestellt, wurden im Konsortium bereits an unterschiedlichen Ansätzen zur strategischen Visualisierung geforscht. Innerhalb des Doktoratskolleg URBEM (Urbanes Energie und Mobilitätssystem) entwickelte Forster (vgl. Forster, 2016) einen web-basierten Visualisierungsprototyp zur transdisziplinären Planungs- und Entscheidungsunterstützung.

Der Prototyp ermöglicht eine räumliche Informationsverortung und erlaubt domänenspezifische Berechnungsergebnisse zu verknüpfen. Innerhalb des transdisziplinären Projektes URBEM konnte gezeigt werden, wie diese Visualisierung Planungsbeteiligten und Entscheidungstragenden erlaubt, Aus- und Wechselwirkungen unterschiedlichster Entwicklungen und Maßnahmen abzuschätzen (Bednar et al., 2016).

Datenaustausch über geometrietragende Datenschnittstellen (BIM, CAD, GIS): Während in den ausführenden Planungsdisziplinen wie Architektur, Tragwerksplanung, HKLS-Planung und Bauphysik sich BIM (Building Information Modeling) Technologien zunehmend als neue Arbeitsplattform für die interdisziplinäre Zusammenarbeit etablieren, werden in der Raum- und Verkehrsplanung vorrangig GIS-Technologien (Geoinformationssystem) für räumliche Analysen und räumliche Darstellung angewandt. Dabei werden in beiden Fällen geometrische Informationen mit Attributinformationen (alphanumerische Metadaten) verknüpft. Während BIM mit dreidimensionalen CAD (Computer Aided Design) basierten Objekten agieren kann, werden in GIS-Informationen mit zweidimensionalen Vektordaten (Punkt, Linien oder Polylinien) verknüpft. Verschiedene Tools erlauben das Generieren von 3D CAD-Modellen aus GIS Daten (z.B. ESRI CityEngine - <https://desktop.arcgis.com/de/cityengine/>). Ein interdisziplinärer Austausch dieser

dreidimensionalen CAD-Modelle mit Attributinformationen (Metadaten) ist nicht möglich. Mittlerweile bietet die Firma Cityzenith eine Softwarelösung am kommerziellen Markt an, um GIS basierte Analysen (von Cityzenith City Information Model genannt) mit CAD-Austauschformaten anzureichern (Cityzenith, 2021). Ein Austausch der mit der Cityzenith-Software generierten Modelldatensets mit anderen Disziplinen und mittels zertifizierter Schnittstellen wie openBIM und IFC wird nicht dargelegt. Eine direkte Anbindung mit energetischen Simulations- und Berechnungsmodellen über offene Datenschnittstellen ist aber zielführend. Die Anbindung von GIS-Daten an genannte Simulations- und Berechnungsmodelle wurde bereits erfolgreich innerhalb des Projektes SIMULTAN (FFG-Projektnummer 845164) erprobt.

3.3.5. Wissenschaftliche Vorarbeiten

MDAB2

Ergebnis: Digital gestütztes, belastbare M-DABs Modell der Materialintensität bei der Beurteilung von Innenentwicklungspotenzialen und eine interaktive Ergebnisvisualisierung, welche diese Potenziale sowohl aus Entwicklersicht, aber auch aus gesamtstädtischer Sicht bewertbar machen

Synergien: Know-how Datenbank und GUI-Entwicklung

Abgrenzung: andere Daten, andere Schnittstellenanforderungen, andere Anforderung an Visualisierung und Interaktion

Förderstelle: FFG

MDAB

Ergebnis: 3D Visualisierung von Materialressourcen der Stadt Wien zur strategischen Entscheidungsunterstützung

Synergien: Know-how Datenbank und GUI-Entwicklung

Abgrenzung: andere Daten, andere Schnittstellenanforderungen, andere Anforderung an Visualisierung und Interaktion

Förderstelle: FFG

Simultan

Ergebnis: Entwicklung einer Softwareumgebung zur Visualisierung von Energie- und Mobilitätsbezogenen Informationen; offenes Datenmodell

Synergien: Schnittstellen zu Dateiformaten (DXF, CSV und GeoJson) für Visualisierung vorhanden

Abgrenzung: Andere Daten, andere Schnittstellenanforderungen, andere Anforderung an Visualisierung und Interaktion

Förderstelle: FFG

Virtuelle Flughafenstadt

Ergebnis: 3D Visualisierung des Energieverbrauchs der Flughafenstadt zur strategischen Entscheidungsunterstützung; offenes Datenmodell

Synergien: Know-how Datenbank und GUI-Entwicklung

Abgrenzung: Andere Daten, andere Schnittstellenanforderungen, andere Anforderung an Visualisierung

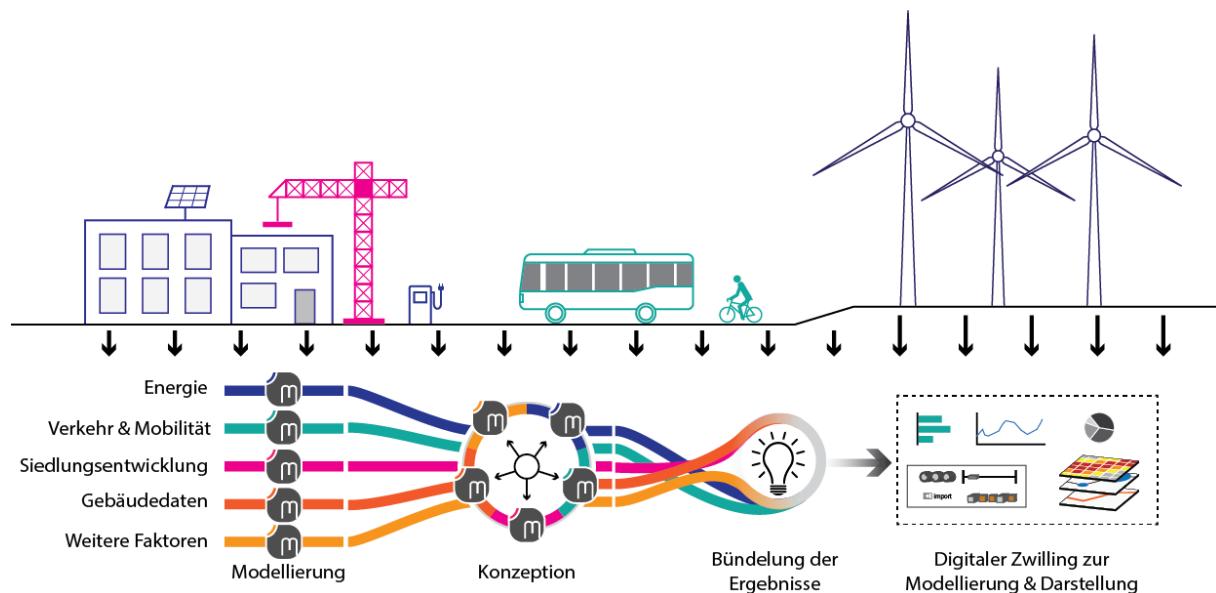
Förderstelle: Auftragsforschung Vienna International Airport

4 Projektinhalt

4.1. Überblick

In AP2 werden im Austausch mit externen Expert:innen aus Forschung, Planung und Verwaltung die Anforderungen an die Prognosemodelle, ihre Evaluierung und die Datenvisualisierung erarbeitet. AP3 und AP4 sind methodisch eng miteinander verknüpft, da sie anhand der Anforderungen die Prognosemodelle konzeptionieren und aufbauen. AP5 ist über die Daten- und Ergebnisvisualisierung mit den anderen APs verbunden und in AP6 werden die entwickelten Modelle und ihre Ergebnisse wieder unter Einbeziehung externen Feedbacks evaluiert.

Abbildung 1: Schematische Projektskizze SmartQ+ Bruck/Leitha (eigene Darstellung)



Das Projekt zeichnet sich durch folgende methodische Innovationen aus:

(1) Interaktive Visualisierung als Kommunikationsgrundlage

In Abgrenzung zu den statischen Energieraumplänen, wie sie für NÖ und Ö erstellt wurden (BOKU, 2022), erlaubt der hier vorgestellte methodische Ansatz, mit interaktiver Visualisierung als Kommunikationsgrundlage, eine kooperative interdisziplinäre Auseinandersetzung mit den Modellergebnissen, die auf Basis von Entwicklungsszenarien und -varianten erstellt werden. Zudem werden die eingesetzten Prognosemodelle für konkrete Planungen auf Gemeindeebene konzeptioniert (AP2, AP3). Gerade für Mobilitätsnachfragemodelle sind hierbei hochauflösende Daten erforderlich, um einzelne Maßnahmen und Interventionen auf Gemeindeebene in Szenarien und Varianten abzubilden. Wie Abbildung 1 zeigt, wird für die Methodenentwicklung ein digitaler Zwilling für die Testgemeinde Bruck/Leitha aufgebaut, um eine Verknüpfung von Verkehrsnachfragemodellen mit Energiesimulation auf kommunaler Ebene zu schaffen.

(2) Verknüpfung von Verkehrsnachfragemodellen mit Energiesimulation

Im Gegensatz zu gängigen verkehrlichen Wirkungsanalysen, in denen der Fokus auf Schadstoff- und Lärmemissionen liegt, wird in diesem interdisziplinären Vorhaben die Energiebilanz betrachtet. Erst in der Überlagerung von Energiebilanz, der Art und Form des Wohnens und der Verkehrswirkungen ergibt sich ein aussagekräftiges Gesamtbild. Zudem wird aufgezeigt, welche Anteile beide Teilbereiche an der Energiebilanz haben und somit die Sektorenkopplung schon im Planungsstadium berücksichtigt.

(3) Entwicklung von kleinräumigen Verkehrsnachfragemodellen

Grenzen der Aussagekraft von in der Praxis zur Anwendung kommenden Verkehrsnachfragemodellen (vgl. Schmaus, 2019; Ritz, 2019) ergeben sich meist aus einer groben räumlichen Auflösung, welche die Modellierbarkeit des Rad- und Fußgängerverkehrs erschwert oder verunmöglicht.

Aufgrund des Fortschritts auf Seite von Hard- und auch Software und in Verbindung mit räumlich detailliert aufgelösten Grundlagendaten soll im Rahmen des Forschungsprojektes im Vergleich zur Planungspraxis eine sehr kleinräumige Modellierung (= kleine Verkehrsbezirke) vorgenommen werden, wodurch erst eine adäquate Abbildung von aktiver Mobilität ermöglicht wird.

Eine Verkehrsverlagerung vom motorisierten Verkehr zum Rad- und Fußgängerverkehr bietet ein erhebliches Verlagerungspotenzial bezüglich des Energieverbrauchs, da immerhin ca. 40 % der werktäglichen Kfz-Fahrten kürzer als 5 Kilometer sind (vgl. BMVIT, 2016: 91). Hier spielt insbesondere auch die kleinräumige Verteilung der Nutzungen (Ausbildung, Arbeitsplätze, Freizeitgelegenheiten usw.) eine entscheidende Rolle, welche dem kommunalen Aufgabenbereich unterliegt. Die Projektergebnisse liefern somit eine holistische und empirisch fundierte Entscheidungsfindungsgrundlage für die kommunale Verkehrsplanung und Siedlungsentwicklung.

(4) Flexible Simulationsmodelle und iterative Verbesserung der Analysedaten

Das im FFG-Projekt „SIMULTAN“ entwickelte IT-Ökosystem mit seinem offenen Datenmodell bietet bereits die Möglichkeit, Gebäude mit spezifischen Parametern (Nutzungsinformationen, Geometrie, Bautechnik und Gebäudetechnik) als Gebäudemodell zu halten. Aufbauend darauf werden nun für den Gebäudeverband Daten für Energieverbrauchssimulationen und Prognosen bereitgestellt und der Einfluss auf die Netzwerke analysiert. Dafür müssen zuerst die Konzepte, Gebäudemodelle, Netzwerkmodelle erstellt, sowie die Gebäude- und Netzdaten erhoben werden. Darauf aufbauend kann dann eine gekoppelte Netz- und Gebäudesimulation durchgeführt und der Einfluss der Mobilität anhand von Szenarien analysiert werden. Mit Hilfe des offenen Datenmodells ist es möglich, die Daten zu halten und dann an die Proof-of-Concept Visualisierung weiterzuleiten.

(5) Evaluation der entwickelten Teilsysteme/Modelle anhand einer Proof-of-Concept Datenvizualisierung

Bei der Entwicklung der Methode und der Datenvizualisierung müssen, wie in Raum- und Verkehrsplanung üblich, unterschiedliche Akteur:innen und Problemsichten berücksichtigt werden. Die aussagekräftige Datenvizualisierung hilft die Modellergebnisse in kooperativen und kommunikativen Prozessen unter Einbeziehung unterschiedlicher Expert:innen und Akteur:innen zu erörtern und zu evaluieren. Deswegen werden über große Teile der Projektbearbeitung immer wieder Stakeholder und Zielgruppen/Nutzer:innen einer zukünftigen Methodenanwendung

einbezogen, um unterschiedliche Sichten zu berücksichtigen und sicherzustellen, dass die relevanten Fragestellungen und Ergebnisse durch die Visualisierung verständlich abgebildet werden.

4.2. Anforderungsanalyse Modellanwendung

4.2.1. Methodik

Mehrere Workshops wurden mit der Stadtgemeinde Bruck an der Leitha abgewickelt, um die zentralen Herausforderungen in der Stadt aus Sicht der Stadtgemeinde zu verifizieren. Damit wurden aus der Vielzahl der möglichen Maßnahmen und Projekte der kommenden Jahre und Jahrzehnte die projektrelevantesten herausgefiltert und im Detail besprochen, die in der Folge auch nach internen Workshops im Konsortium die Entwicklungsvarianten und Prognoseszenarien bilden (siehe Kapitel 4.2.3).

4.2.2. Ausgangssituation in der Testgemeinde für die Modellanwendung

Die Stadtgemeinde Bruck/Leitha befindet sich im Osten Niederösterreichs und damit im Spannungsfeld zwischen den Großstädten Wien und Bratislava. Bruck/Leitha ist auch Bezirkshauptstadt und trägt damit eine zusätzliche Verantwortung und Vorbildwirkung für die Region Römerland-Carnuntum (30 Gemeinden, 100.000 Bürger:innen – Tendenz stark steigend). Bereits vor mehr als 20 Jahren hat sich die Stadtgemeinde u.a. zum Ziel gesetzt, Energieautarkie auf Basis erneuerbarer Energie zu erreichen. Im Strombereich wurde dieses Ziel bereits in den 2000er Jahren erreicht. In den um vieles komplexeren, mehrschichtigeren und von vielen Faktoren außerhalb des Bezirkes abhängigen Bereichen der Mobilität sowie der Wärmeversorgung liegen die Ergebnisse im ein- bzw. zweistelligen Bereich. Hier liegt der Fokus zur Veränderung in den kommenden Jahrzehnten und die Stadtverwaltung ist zuversichtlich, dass auch dieses Ziel erreicht wird.

Bedingt durch den hohen Druck auf die Fläche (starke Nachfrage und Zuzug in der Gesamt-Region aufgrund hoher Lebensqualität) in Kombination mit der Fokussierung auf eine nachhaltige Weiterentwicklung besteht hoher Bedarf an verbesserten Planungstools. Diese sollen der Stadtgemeinde die tägliche Planungsarbeit dahingehend ermöglichen, dass unterschiedliche Optionen der Weiterentwicklung vergleichbar vorliegen. Aktuell besteht die Problematik darin, dass die Planungsverantwortlichen singuläre Betrachtungen (einzelne Parzellen, Siedlungen) autonom und für sich sowie für einen relativ kurzen Zeitraum bewerten. Eine gemeindeübergreifende Betrachtung mit unterschiedlichen mittel- und langfristigen Szenarien und deren konkrete (visuell betrachtete) Auswirkungen fehlt bislang. Dadurch können auch nur singuläre Bewertungen ohne Reflexion von Alternativen auf dem Gemeindegebiet – und vor allem – deren unterschiedlichen Auswirkungen im Kontext Klimaneutralität vorgenommen werden.

Die Stadtgemeinde bekennt sich mit einer Vielzahl an Gemeinderatsbeschlüssen klar zur Energiewende als auch zu einer nachhaltigen Entwicklung. Dies zeigt sich u.a. in deren Umsetzung in einer Klima- und Energiemodellregion. Darüber hinaus ist die Stadtgemeinde aktiver Partner in der Initiative „Club of Rome Carnuntum“, welche als einzige Region vom Club of Rome International und deren Entscheidungsgremium in Winterthur als eigenständige Region anerkannt wurde.

Einschränkungen aufgrund der Dynamik des Stromnetzes

Beim Thema Energienetze und deren Ausbau hat die Netz NÖ vorrangige Kompetenzen in Bruck/Leitha. Laut Netz NÖ ändern sich die Schaltzustände des vorhandenen Ringnetzes und die Zugehörigkeit der Verbraucher und Erzeuger zu den jeweiligen Trafostationen laufend und können deshalb für dieses Projekt nicht bereitgestellt werden. Aufgrund dieser hohen Dynamik in der Netzentwicklung (Ausbau PV, Wärmepumpen, Siedlungstätigkeit) wird die Netzsimulation weggelassen und der Fokus auf die erwarteten Zuwächse der Verbräuche in den verschiedenen Siedlungsteilen (Trafobezirke) gelegt. Somit kann anhand der Fragestellungen im Stadtgebiet prognostiziert werden, in welchen Stadtteilen welche zusätzlichen Verbräuche und Leistungsspitzen zu erwarten sind. Die detaillierte Modellierung wird im Kapitel 4.3.3 näher erläutert.

4.2.3. Entwicklung von Simulationsvarianten und Prognoseszenarien

Klimaschutzziele des Landes NÖ bis 2030

Die Klimaziele des Landes, die auf Gemeindeebene heruntergebrochen wurden, sind relevant für die Entwicklung von Prognoseszenarien. Die sechs Ziele sind:

- 50 % der PKW-Neuanmeldung sind E-Fahrzeuge
- Den Wärmeverbrauch öffentlicher Gebäude auf <50 kWh/m²a zu senken
- Photovoltaik: Für Gemeinden mit weniger als 10.000 Einwohner:innen: 2.000 W/EW; für Gemeinden mit mehr als 10.000 Einwohner:innen: 1.000 W/EW
- „Raus aus Öl und Gas“: Mehr als 70 % weniger Öl-Heizungen bezogen auf den Bestand im Gemeindegebiet bezogen auf das Basisjahr 2020
- Straßenbeleuchtung zu 100 % auf LED umstellen
- Biodiversitätsflächen auf 10 % der Gesamtfläche der gemeindeeigenen Flächen erhöhen

(vgl. Amt der NÖ Landesregierung, 2019)

Szenarien

Zwei Prognoseszenarien, *Szenario 0 (Business as Usual)* und *Szenario 1 (NÖ Klima Plus)*, beschreiben die künftigen Rahmenbedingungen für die Gemeindeentwicklung in den Prognosejahren 2030 und 2040. Zu den relevanten Parametern zählen die Bevölkerungsentwicklung bis 2040, der Motorisierungsgrad in der Bevölkerung, der Anteil der E-Autos, die Anzahl/ der Zuwachs der Leistung von Photovoltaik-Anlagen, der Anteil fossiler Heizsysteme (Öl, Gas, Direktheizung) und der Anteil saniertener Gebäude (siehe Tabelle 1). Die konkreten Werte beruhen zum Teil auf Klimaschutzz Zielen des Landes Niederösterreichs, rechtlichen Vorgaben (z.B. in Baugesetzen und -verordnungen) und aktuellen Entwicklungen und wurden in Abstimmung mit der Gemeinde für die Simulationsmodelle festgelegt. Die Sanierungsrate 2023 betrug 1,4 % und wurde im IST-Zustand 2023 der Stadt Bruck an der Leitha erfasst. Sie ist daher nicht direkt sichtbar, floss jedoch in die Erhebung der Daten mit ein.

Tabelle 1: Simulationsszenarien

	IST-Zustand	Szenario 0: Business as Usual		Szenario 1: NÖ Klima Plus	
Jahr	2023	2030	2040	2030	2040
Attribute					
Bevölkerung	8.543	10.000	10.400	10.000	10.400
Motorisierungsgrad (PKW/1000EW)	670	600	600	600	600
E-Fahrzeuge Anteil	1,59%	10%	20%	25%	50%
Installierte Photovoltaik in MWp	9.3	18.9	21.7	20.9	26.9
Heizungssystemwechsel Öl	432 Heizungen	100%	100%	100%	100%
Heizungssystemwechsel Gas	1659 Heizungen	30%	60%	40%	80%
Heizungssystemwechsel Direktheizung	400 Heizungen	0%	0%	100%	100%
Anteil der sanierten Gebäude seit 2023	0	14%	34%	21%	51%

Varianten

Mit der Gemeinde besprochene Planungsmaßnahmen wurden zu Maßnahmenbündel und in Simulationsvarianten zusammengefasst, die unter den Szenarien simuliert werden. Zu den Maßnahmen zählen verschiedene (private) Bauprojekte (Wohnen, Gewerbe), aber auch die Errichtung einer neuen Schule, sowie neuer Radwege und Straßen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Simluationsvarianten

	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Jahr	2030	2040	2030	2040	2030	2040
Maßnahmenbündel						
Wohnbau Projekte	7/7 fertig	7/7 fertig	7/7 fertig	7/7 fertig	7/7 fertig	7/7 fertig
Gewerbliche Entwicklung	3/9 fertig	8/9 fertig	4/9 fertig	9/9 fertig	3/9 fertig	8/9 fertig
Innenstadtentwicklung	50% fertig	100% fertig	50% fertig	100% fertig	50% fertig	100% fertig

Bildungseinrichtungen	1/2 fertig	2/2 fertig	1/2 fertig	2/2 fertig	1/2 fertig	2/2 fertig
Radverkehrsinfrastruktur	100% fertig					
Zufahrt Autobahn	-	-	-	100% fertig	-	100% fertig
Bahnhof Bruck-West	-	-	-	100% fertig	-	100% fertig

Abbildung 2: Verortung der Maßnahmen (eigene Darstellung)



4.3. Konzept und Aufbau modellübergreifender Basisdaten

In Anlehnung an die abgestimmten Anforderungen der Modellanwendung aus AP2 wurden in AP3 das Verkehrsnachfragemodell, gekoppelte Gebäude- und Energiemodelle und ihre Schnittstellen zur Open-Data Plattform für den Datenaustausch konzipiert. Dabei wurden die räumliche, zeitliche und inhaltliche Modellabgrenzung definiert und für die Analyse- und Prognosemodelle notwendigen Daten aufbereitet. Als Analysezeitpunkt wurde das Jahr 2023 und für die Prognosezeitpunkte die Jahre 2030 und 2040 herangezogen.

4.3.1. Verkehrsnachfragemodell

Das Verkehrsnachfragemodell bildet die Teilschritte Verkehrserzeugung, -verteilung, -aufteilung und -umlegung inklusive Rückkopplungen ab. Der Modellaufbau ermöglicht es, verkehrliche Wirkungen der erarbeiteten Szenarien und Maßnahmen für den Analyse- als auch Prognosefall zu modellieren

und zu bewerten. Das Modell- bzw. Untersuchungsgebiet umfasst neben dem Planungsgebiet (Stadt Bruck an der Leitha) auch eine Reihe von Umlandgemeinden. Wechselwirkungen zwischen Untersuchungsgebiet und Umland werden durch die Implementierung von Nachfragedaten des Verkehrsmodells Ostregion (VOR) berücksichtigt. Für das Planungsgebiet sowie Bruckneudorf erfolgte eine kleinräumige Einteilung der Verkehrsbezirke. Im Umland sind die Verkehrsbezirke größer aufgelöst. Der Aggregationsgrad steigt mit zunehmender Entfernung von Planungsgebiet (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Systemgrenze des Verkehrs nachfragemodells: Große Verkehrsbezirke im Umland links, kleine Verkehrsbezirke in Bruck/Leitha rechts (eigene Darstellung)



Der Datenaustausch mit den anderen Teilmodellen erfolgt auf Ebene der Verkehrsbezirke und der Strecken. Eine Verknüpfung weitere für die Verkehrs nachfrageberechnung erforderliche Objekte, wie z. B. Knoten, Abbieger, Anbindungen, Fahrpläne, mit den anderen Teilmodellen war nicht erforderlich. Das Referenzieren der Verkehrsbezirke erfolgt über einen einheitlichen Schlüssel, die Nummer des Verkehrsbezirkes. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Verkehrsbezirk Attribute.

Tabelle 3: Verkehrsbezirk Attribute

Attribut	Beschreibung
Einwohner:innenzahl nach verhaltenshomogenen Gruppen	Differenzierung der Personen hinsichtlich Alter, der Stellung im Erwerbsleben, der Pkw-Verfügbarkeit
Anzahl der Arbeitsplätze	Arbeitsplätze nach Branchen
Kundenpotenzial	Kunden nach Branchen
Schulplätze	unterschieden nach Schularten
Parkraumnachfrage Kfz	Parkraumbelegung je Zeitintervall
Anzahl vom VBZ ausgehenden bzw. eingehenden Wege	Anzahl der vom Verkehrsbezirk ausgehenden bzw. eingehenden Wege, differenziert nach Verkehrsmitteln (Radverkehr/ Fußverkehr/ Öffentlicher Verkehr/ PKW/ LKW/ KFZ) und Zeitintervallen

Das Verkehrsnetz basiert auf einem routingfähigen Graphen und hat unterschiedliche Detaillierungsgrade bezüglich Haupt- und Nebennetze in der Simulation. Für die Ergebnisvisualisierung ist vor allem das Verkehrsnetz in und um Bruck an der Leitha relevant. Dabei wird das Nebennetz innerhalb der Gemeindegrenzen von Bruck an der Leitha bzw. des geschlossenen Siedlungsverbunds mit Bruckneudorf dargestellt. Darüber hinaus wird nur mehr das Hauptnetz bestehend aus Landesstraßen L+B und dem Bundesstraßennetz dargestellt. Das Schienennetz und das (virtuelle) ÖV-Netz wird nicht visualisiert, da die mit dem ÖV zurückgelegten Wege in den Modalsplit der Verkehrsbezirke einfließen und die „Verkehrsbelastung“ durch Busse und Züge im Verkehrsnetz für die formulierten Fragestellungen vernachlässigbar sind.

Das gesamte Verkehrsnetz ist in Strecken aufgeteilt. Jede Strecke hat eine ID-Nummer und verfügt für alle simulierten Kombinationen (Jahr, Szenario, Variante) über die Daten in der Tabelle 4. Das Referenzieren der Streckendaten erfolgt über einen zusammengesetzten Schlüssel (Streckennummer, von Knoten-Nummer, nach Knotennummer).

Tabelle 4: Verkehrsnetz Attribute

Attribut	Beschreibung
Lage	definiert durch von Knotennummer bis Knotennummer
Länge	in Kilometer
Typ-Nummer	Typen kategorisiert in Haupt- und Nebennetz
Verkehrssysteme	zugelassene Verkehrsmittel Verkehrsmitteln Bus, Fußgänger, Radfahrer, Lkw, Pkw und ÖV-Fußweg
Verkehrsstärke	pro Stunde, differenziert nach Verkehrsmitteln (Radverkehr/ Fußverkehr/ Öffentlicher Verkehr/ PKW/ LKW/ KFZ), unterschieden in Hin- und Rückrichtung

4.3.2. Gebäude im gekoppelten Gebäude- und Energiemodell

Ein eigene Gebäudedatenbank wird erstellt, die über spezifisch für die Simulation relevante Attribute verfügt (siehe Tabelle 5). Bei den meisten Attributen wird der endgültige Wert durch schrittweise, regelbasierte, (halb-)automatisierte Zuordnungen und manuelle Verbesserungen erreicht.

Tabelle 5: Gebäude Attribute

Attribut	Beschreibung
Adresse	zusammengefasst durch die Katastralgemeinde- und Grundstücksnummer
Haupt- oder Nebengebäude	Hauptgebäude sind „Energieverbraucher-Gebäude“ (z.B. Wohngebäude, Bürogebäude, ...) während Nebengebäude über keine nennenswerten Energieverbraucher (z.B. Heizung, Produktionsgeräte, Bürogeräte, ...) verfügen und diese vermutlich den Strom für nicht permanente Verbraucher vom Hauptgebäude beziehen.
Fläche	Gebäudegrundfläche
Geschossanzahl	Geschossanzahl des Gebäudes
Höhe	Gebäudehöhe
Denkmalschutz	Denkmalgeschützte Gebäude
Eigenschaft	Eigenschaft/Nutzung des Gebäudes
Solarenergie Bestand	aktueller PV-Anlagenbestand
Solarenergie Potenzial	Dachflächen mit PV-Potenzial
Bauperiode	Bauperiode des Gebäudes
Heizungssystem	Heizungssystem des Gebäudes

Für die Gebäudehöhe werden mögliche Werte anhand von Gebäudegrundrissen aus dem digitalen Höhenmodell und dem digitalen Geländemodell getestet und nach manueller Überprüfung erweist sich der Wert „maximale Höhe aus Höhenmodell – durchschnittliche Höhe des Geländemodells“ als richtiger. Anschließend werden die Werte in den als fraglich festgestellten Fällen manuell überprüft und anhand von Google Earth und lokalen Fotos verbessert. Die Stockwerkanzahl leitet sich dann bei meisten Fällen aus dieser Höhe (angenommen, dass ein Stockwerk 3m hoch ist) ab und bei Gewerbe und Industriebauten wie z.B. Lagerhallen wird der Wert manuell überprüft.

Für die Eigenschaft der Gebäude wird die BEV Adresse-Relationale Tabellen Stichtagsdaten 2022 (Adressen Relationale Tabellen – Stichtagsdaten Datensatz – data.gv.at, 2023 – siehe Abschnitt 0) als Referenz genommen und mit den Gebäuden anhand der nächstliegenden Adresse verknüpft. Anschließend werden die Eigenschaften in mehreren Schritten manuell und automatisiert überprüft, verbessert und am Ende eine eigene Eigenschaftskategorisierung für das Forschungsprojekt erstellt. Bei dieser Kategorisierung wird insbesondere darauf geachtet, welche Eigenschaften für den Energieverbrauch von Bedeutung sind.

Daten zum aktuellen PV-Anlagenbestand und manuelle Auswertungen zu Dachflächen mit PV-Potenzial (erstellt vom Projektpartner Energiepark Bruck/Leitha (EPBL)) werden ebenso den Gebäudedaten angehängt.

Ergänzung der Datenlücken im Gebäudedatenbank

Ein wichtiges Projektziel war die Identifizierung und Ergänzung der Datenlücken. Die größten Datenlücken waren Bauperiode und Heizungssysteme, wofür der Verwaltungsbericht Gebäude der Gemeinde Bruck an der Leitha (Gemeinde Bruck an der Leitha, 2020 – siehe Abschnitt 0) als Referenz genommen wird. Zur Vervollständigung der Daten wird angenommen, dass Bauperiode bzw. Heizungssysteme der Hauptgebäude auf demselben Grundstück gleich sind. Hinsichtlich der Bauperiode werden die Daten dann auf Basis der Angaben des Projektpartners EPBL und durch den Vergleich mit Luftbildern manuell jahresweise ergänzt und die Gebäude mit unbekannter Bauperiode (Startwert ca. 46%) auf bis zu unter 5 % reduziert.

Eine weitere Annahme für Heizungssysteme ist, dass alle Nebengebäude nicht beheizt sind. Als nächster Schritt werden die Daten auf Basis der Angaben des Projektpartners EPBL und durch den Vergleich mit der Fernwärmekarte der Gemeinde manuell ergänzt und die Gebäude mit unbekanntem Heizungssystem (Startwert ca. 53%) auf unter 19 % reduziert.

Um die Datenlücken besser visualisieren und sie im Konsortium effizienter besprechen zu können, wurden *Übersichtskarten für Bauperiode und Heizungssysteme* erstellt (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Diese Karten basierten zuerst auf dem Verwaltungsbericht Gebäude der Gemeinde Bruck/Leitha und wurden dann im Laufe des AP3s ständig aktualisiert.

Trotz der entsprechenden Bemühungen alle Lücken im Datenmaterial zu schließen, bleiben bestimmte Prozentanteile bei Heizungssystem, Baualter und Geschoßzahl offen. Für die Prognosemodelle und Simulation müssen diese mit weiteren Annahmen geschlossen werden:

Bei unbekannten Heizsystemen wird jenes Heizsystem gewählt, das am häufigsten in der betreffenden Nutzungskategorie auftritt. So wird beispielsweise Einfamilienhäuser mit unbekanntem Heizsystem als erdgasbeheizt angenommen, während für Sportstätten die direkte Stromheizung das häufigste Heizsystem ist. Eine Ausnahme hierzu bildet Fernwärme – wenn dies das häufigste

Heizsystem war, so wird das zweithäufigste gewählt, da Fernwärme nur in bestimmten Gebieten verfügbar ist.

Bei unbekannter Bauperiode wird die häufigste Bauperiode innerhalb des Trafobezirks angenommen.

Bei unbekannter Geschossanzahl wurde das abgerundete Drittel der Gebäudehöhe $n = \left\lfloor \frac{h}{3m} \right\rfloor$ als Geschoßzahl herangezogen.

Abbildung 4: Übersichtskarte Bauperiode (eigene Darstellung)

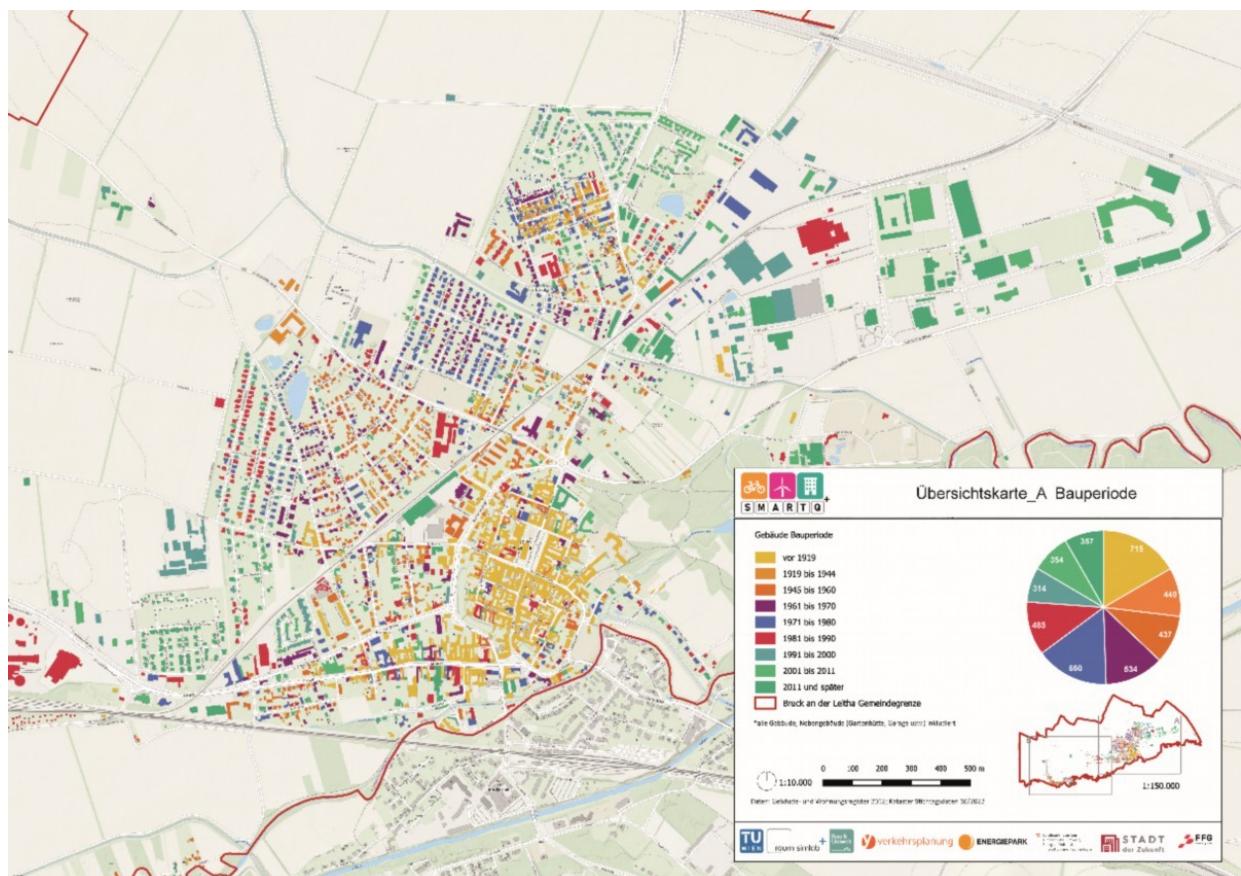
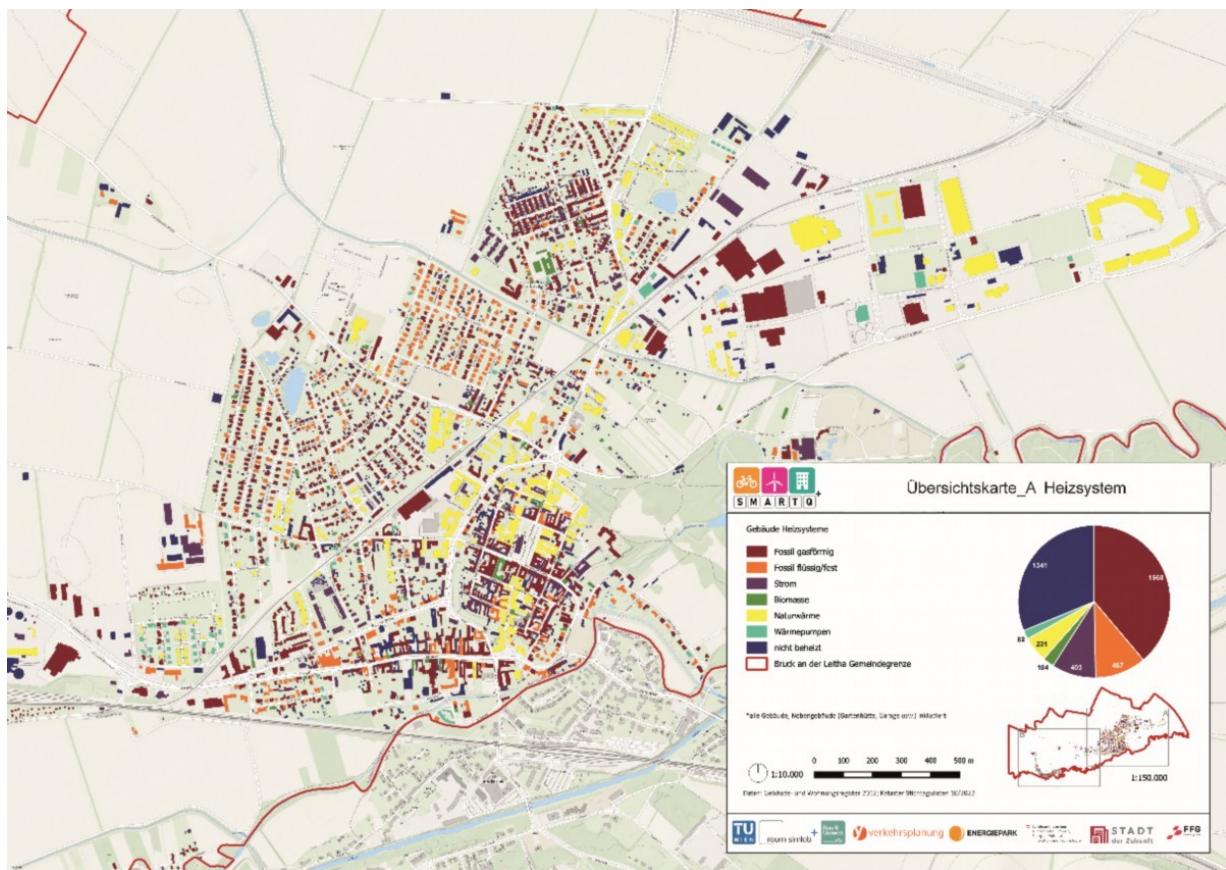


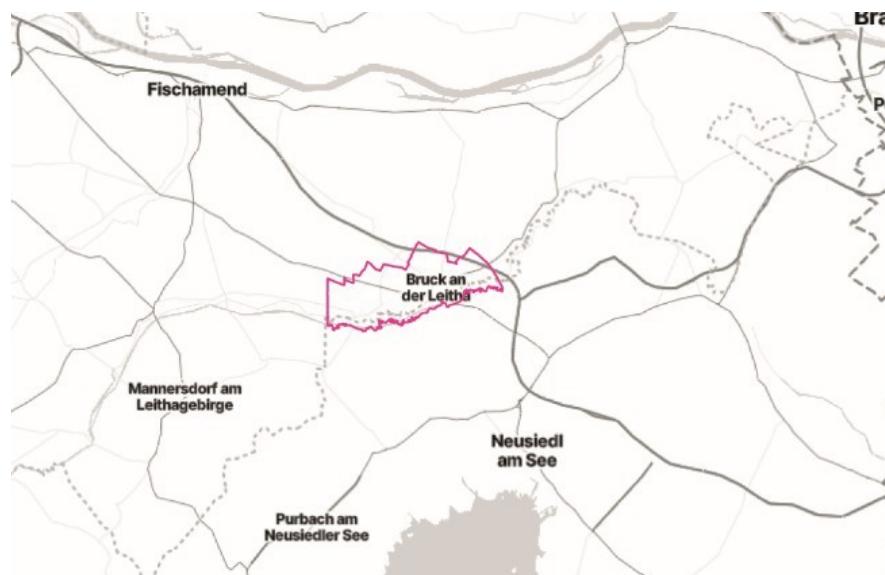
Abbildung 5: Übersichtskarte Heizungssystem (eigene Darstellung)



4.3.3. Trafostationen im gekoppelten Gebäude- und Energiemodell

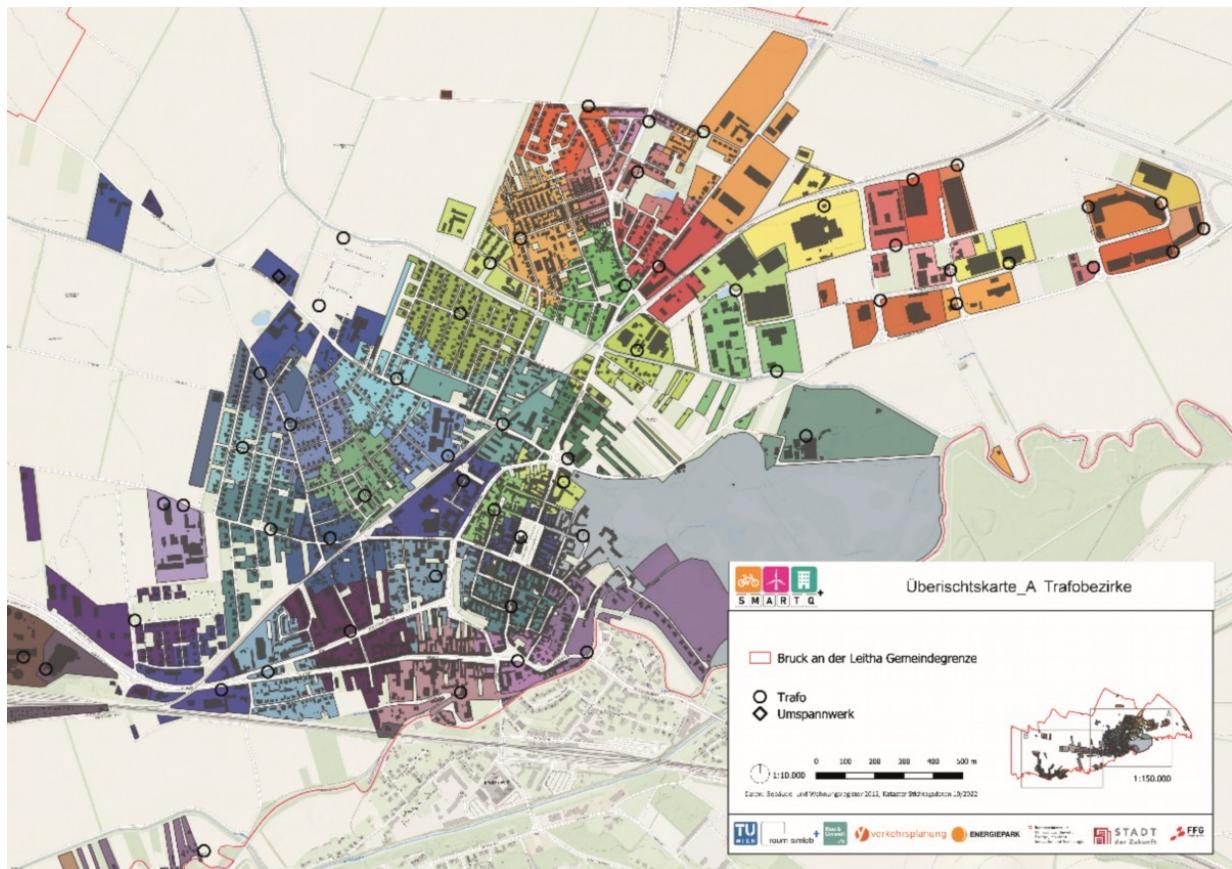
Im Gegensatz zum Verkehrsnachfragemodell begrenzt sich die Systemgrenze des gekoppelten Gebäude- und Energiemodells auf die Gemeindegrenzen (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Systemgrenze des gekoppelten Gebäude- und Energiemodells (eigene Darstellung)



Wie bereits in 4.2.2 erläutert, wird das Stromnetz nicht simuliert, sondern die Gebäude werden den Trafostationen (ohne genaue Informationen zu den verbauten Trafos) anhand der räumlichen Nähe zugeordnet. Die Trafostationen werden später verwendet, um die Trafobezirke (siehe Abbildung 7) zu lokalisieren und ihnen die Gebäude zuzuordnen. Anschließend werden die energiebezogenen Daten nach Jahr, Szenario und Variante an den Trafostationen angehängt.

Abbildung 7: Übersichtskarte Trafobezirke (eigene Darstellung)



4.3.4. Datenschnittstellen zur Open-Data-Plattform

Die Zuordnung der Gebäude an Trafostationen erlaubt eine Verortung und Simulation des Energieverbrauchs und der Energieproduktion im Gemeindegebiet, die mit dem Mobilitätsverhalten in der Gemeinde zusammengeführt werden können. Die Zusammenführung der Modelle in der Open-Data-Plattform SIMULTAN erfolgt dann in AP4 und wird im Kapitel 4.4.3 detaillierter erklärt.

4.4. Modellaufbau, -anpassung und -synthese

4.4.1. Aufbau Verkehrsnachfragemodell

Modelleigenschaften und Modellstruktur

Die grundlegende Form des Verkehrsnachfragemodells mit den modellübergreifend nutzbaren Daten der Verkehrsbezirke und des Verkehrsnetzes wurde bereits in Abschnitt 4.3.1 vorgestellt. In diesem Abschnitt soll näher auf die Struktur des genutzten Modellansatzes sowie den Aufbau der Analyse- und Prognosemodelle eingegangen werden.

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage mit dem Verkehrsnachfragemodell sollte für alle in Tabelle 2 dargestellten Varianten und Bezugsjahre unter Beachtung der jeweiligen Maßnahmenbündel erfolgen. Grundlage hierfür stellte der Aufbau der grundlegenden Modellstruktur mit den variantenabhängigen Annahmen.

Es wurden sowohl Binnen- als auch Durchgangs-, Quell- und Zielverkehr des Modellgebietes in der Modellierung berücksichtigt. Die Beachtung der Durchgangs-, Quell- und Zielverkehre ist insbesondere aufgrund der räumlichen Nähe zu den Städten Wien und Bratislava relevant. Die Anzahl modellübergreifender Verkehre wurden dabei jedoch nicht innerhalb des Modells berechnet, sondern vom überregionalen Verkehrsmodell des Verkehrsverbunds Ostregion (VOR) übernommen. Hierzu gehörten neben dem Kfz-Verkehr auch modellübergreifende ÖV-Verkehre.

In dem Verkehrsnachfragemodell werden folgende Verkehrsmodi modelliert:

- Fußverkehr,
- Radverkehr,
- Öffentlicher Verkehr,
- Pkw-Selbstfahrer,
- Pkw-Mitfahrer,
- Lkw/Schwerverkehr.

Der Wirtschaftsverkehr wird im Modell unter Nutzung eines vereinfachten Ansatzes abgebildet.

Die Ermittlung der Verkehrsnachfrage des Binnenverkehrs erfolgte mittels des VISEM-Ansatzes. In diesem wird das Verkehrsverhalten von Personen im Modellgebiet anhand von Wegeketten modelliert. Innerhalb des Modells und der zu modellieren Wegeketten werden dabei folgende Wegezwecke bzw. Aktivitäten im Personenverkehr beachtet:

- Wohnen,
- Arbeit, Fortbildung,
- Begleitung, Sport, Unterricht,
- Dienstlich, Geschäftlich,
- Einkauf (unterschieden nach täglicher Bedarf/Sonstige/Nicht spezifiziert),
- Freizeit (unterschieden nach Spaziergang/Sport/Restaurant/Freunde oder nicht spezifiziert),
- Kita/ Kindergarten,
- Private Erledigung, Bringen/ Holen, Arzt, Sonstige,
- Berufsschulen, sonstige Schulen,
- Sekundärschule,
- Grundschule,

- Hochschule/ Uni.

Die Zuordnung von Wegeketten zu Personen im Modellgebiet erfolgt dabei auf einer Segmentierung dieser Personen in verhaltenshomogene Gruppen. Die im Modell betrachteten verhaltenshomogenen Gruppen sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Verhaltenshomogene Gruppen des Verkehrsnachfragemodells

Kürzel	Beschreibung
AzmP	Azubis mit Pkw
AzOP	Azubis ohne Pkw
E0mP	Erwerbstätige ohne Kinder mit Pkw
E0oP	Erwerbstätige ohne Kinder ohne Pkw
E1mP	Erwerbstätige mit Kindern mit Pkw
E1oP	Erwerbstätige mit Kindern ohne Pkw
JRmP	Rentner unter 75 Jahre mit Pkw
JRoP	Rentner unter 75 Jahre ohne Pkw
ARmP	Rentner über 75 Jahre mit Pkw
ARoP	Rentner über 75 Jahre ohne Pkw
JN0mP	Nicht Erwerbstätige unter 45 Jahre ohne Kinder mit Pkw
AN0mP	Nicht Erwerbstätige über 45 Jahre ohne Kinder mit Pkw
N1mP	Nicht Erwerbstätige mit Kindern mit Pkw
NoP	Nicht Erwerbstätige ohne Pkw
Ki	Kinder
G	Grundschüler
S	Schüler
St	Studenten

Schritte des Modelaufbaus

Als Basis für die Modellrechnungen der zu betrachtenden Varianten und Prognosejahre wurde zunächst das Verkehrsnachfragemodell für das Analysejahr 2023 aufgebaut und kalibriert.

Generierung Verkehrsbezirke

In einem ersten Schritt wurde die Ausdehnung des Modellgebietes definiert und dieses anschließend in Verkehrsbezirke unterteilt. Die grundlegende Struktur und Granularität dieser Verkehrsbezirke

wurden dabei bereits in Kapitel 4.3.1 erläutert. Basis für die Abgrenzung der Verkehrsbezirke waren dabei die im Modellgebiet enthaltenen Gemeinden. Anhand der Gemeindegrenzen wurde diese weiter in die Verkehrsbezirke unterteilt, so dass jeder Verkehrsbezirk eindeutig einer Gemeinde zugeordnet ist. Dieses Vorgehen erleichtert die Nutzung gemeindebezogener Datengrundlagen für die Generierung von Strukturgrößen des Verkehrsmodells. Für die Einspeisung modellübergreifender Verkehre wurden an Verkehrs wegen, die den Rand des Modellgebietes kreuzen zudem Kordonbezirke definiert.

Generierung Modellbevölkerung auf Basis verhaltenshomogener Gruppen

Als Grundlage für den Modellschritt der Verkehrserzeugung wurde die Anzahl an Personen jeder verhaltenshomogenen Gruppe je Verkehrsbezirk generiert. Die Zwischenschritte dieser Generierung beinhalteten die Ausweisung der Personenanzahl untergliedert nach relevanten Altersgruppen und eine weitere Aufteilung auf Basis von Haushaltzusammensetzung, der Erwerbstätigkeit und der Pkw-Verfügbarkeit. Die Anzahl an Personen je Altersgruppe je Verkehrsbezirk ergab sich für Bruck an der Leitha und Bruckneudorf aus einem Verschnitt aus gebäudefeinen Einwohner:innenzahlen und Rasterdaten mit Informationen zur Alterszusammensetzung. Für das restliche Modellgebiet konnte ausschließlich auf die Rasterdaten zurückgegriffen werden.

Die Prognosebevölkerungszahlen nach verhaltenshomogenen Gruppen wurden für jedes Prognosejahr jeder Modellvariante separat erzeugt. Sie ergaben sich aus einer Kombination und Verschnittes der Annahmen zur zukünftigen Bevölkerungszielgröße und der fertiggestellten Wohnbauprojekte je Prognosejahr und Variante (siehe Tabelle 2) und der allgemeinen Bevölkerungsprognose auf Bezirksebene. Für Bruck an der Leitha konnte die Prognosebevölkerung anhand der Wohnbauprojekte verkehrsbezirksfein untergliedert modelliert werden. Für das restliche Modellgebiet konnte einzig auf die allgemeine Bevölkerungsprognose zurückgegriffen werden.

Generierung Zielpotenziale

Zielpotenziale beschreiben die Gewichte für den Schritt der Verkehrsverteilung bzw. Zielwahl innerhalb der Wegeketten. Sie bilden dabei einen Teil der Konkurrenz zwischen den Verkehrsbezirken bei Zielwahlscheidungen von Personen ab. Für unterschiedliche Wegezwecke bzw. Aktivitäten werden unterschiedliche Zielpotenziale genutzt. Alle Zielpotenziale liegen jeweils auf Verkehrsbezirksebene aggregiert vor.

In folgender Liste sind alle für das Modell generierten Zielpotenziale aufgelistet:

- Kundenpotenzial von Zielen (dienstlich/Arbeit),
- Kundenpotenzial von Zielen (Freizeit),
- Kundenpotenzial von Zielen (private Erledigungen),
- Kundenpotenzial von Einzelhandelseinrichtungen (werktaglicher Bedarf),
- Kundenpotenzial von Einzelhandelseinrichtungen (nichtwerktaglicher Bedarf),
- Lkw-Potenzial,
- Gewicht Freizeitpotenzial (Parks, Wälder u.a.),
- Anzahl Ärzte,
- Anzahl Freizeitgelegenheiten Indoor,
- Anzahl Freizeitgelegenheiten Outdoor,
- Anzahl Restaurants,
- Anzahl Arbeitsplätze,
- Anzahl Kindergartenplätze,
- Anzahl Berufsschulplätze,

- Anzahl Grundschulplätze,
- Anzahl Hochschulplätze,
- Anzahl Sekundärschulplätze.

Für die Generierung wurde auf eine Vielzahl verschiedener Quellen zurückgegriffen. Die Anzahl an Arbeitsplätzen wurde aus Rasterdaten und der abgestimmten Erwerbsstatistik, die Anzahl an Schulplätzen je Schularbeit aus dem Schulatlas und die Anzahl an Kindergartenplätzen anhand eigener Annahmen ermittelt. Für sonstige Zielpotenziale, die beispielsweise das Besucher- und Kundenpotenzial (Einzelhandel, Freizeit) oder die Anzahl von Zielgelegenheiten abbilden sollten, wurden eigene Daten generiert. Hierbei wurden relevante Zielgelegenheiten aus OpenStreetMap extrahiert und klassifiziert. Das Potenzial von Kunden- oder Besucheraufkommen wurde mittels des Berechnungsansatzes nach FGSV (2006) berechnet. Als Eingangsdaten waren hierfür noch Informationen zur Nutzfläche oder der Anzahl an Arbeitsplätzen notwendig. Für die Anzahl an Arbeitsplätzen wurden eigene Annahmen je Einrichtung getroffen und die Fläche wurde, falls möglich, aus OpenStreetMap generiert.

Für die Prognosevarianten wurden die Zielpotenziale gemäß der Variante Baumaßnahmen innerhalb der betroffenen Verkehrsbezirke angepasst. Unabhängig dieser bekannten und konkret verorteten Maßnahmen wurden keine Änderungen an den Zielpotenzialen im Vergleich zum Analysefall durchgeführt.

Generierung Verkehrsnetz

Der nächste Schritt umfasste die Generierung des Verkehrsnetzes. Dieses beinhaltet neben der baulichen Infrastruktur, also allen öffentlich nutzbaren Verkehrswegen, auch das ÖV-Angebot mit Haltestellen, ÖV-Linien und Fahrplänen mit Abfahrtszeiten. Für die Schaffung eines für die Verkehrsumlegung nutzbaren Netzmodells mussten hierbei beide Teilmodelle miteinander verknüpft werden.

Die Generierung des grundlegenden Netzgraphen erfolgte auf Basis der frei zugänglichen OpenStreetMap-Daten. Diese zeichnen sich insbesondere durch ihren hohen Detaillierungsgrad aus. Hierbei liegen Verkehrswege auf öffentlichen und auch teils privaten Flächen als Kantengraph vor, teilweise auch mit modellrelevanten Informationen zu den einzelnen Kanten, wie die zulässigen Verkehrsmittel, die zulässige Geschwindigkeit oder die Anzahl an Fahrspuren.

Das ÖV-Angebot wurde aus den ebenfalls frei zugänglichen GTFS-Daten des Verkehrsverbunds Ostregion und der ÖBB entnommen. Sowohl für OpenStreetMap-Daten als auch für GTFS-Daten wurden Importschnittstellen in der Modellierungssoftware genutzt bzw. adaptiert. Der Import und Verschnitt beider Datenquellen erfolgte gestaffelt in Teilschritten, da jeweils manuelle Korrekturen bei der Verknüpfung beider Teile notwendig waren.

Das gesamte Verkehrsangebot bzw. Verkehrsnetz wurde anschließend händisch geprüft und manuell verfeinert. Für eine detailgetreue Modellierung betraf dies insbesondere die korrekte Abbildung von Vorfahrtsregelungen an Knotenpunkten im Netz und die sich hieraus ergebenden Abbiegewiderständen auf Basis des Knotenpunkttyps (Vorfahrtsknoten, Rechts-vor-Links, Lichtsignalanlage). Eine Nachbesserung fand ebenfalls bei streckenbezogenen Attributen des Verkehrsnetzes, z. B. der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, statt.

Für die Einspeisung der zwischen den Verkehrsbezirken generierten Wege in das Verkehrsnetz und den anschließenden Modellschritt der Verkehrsumlegung bzw. Routensuche erfolgte eine Verknüpfung des Verkehrsnetzes und der Verkehrsbezirke mittels Anbindungen.

Kalibrierung, Validierung und Plausibilitätskontrolle

Mit dem Vorliegen aller modellrelevanter Eingangsgrößen konnte eine initiale Berechnung des Analysemodells erfolgen. Dieses wurde anschließend in einer Vielzahl an Kalibrierungsschritten geprüft und angepasst. Orientierungspunkte boten dabei die Ergebnisse von Verkehrszählungen im Modellgebiet. Dabei konnte auf Daten von temporären Zählstellen und Dauerzählstellen auf Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen zurückgegriffen werden. Auch die Daten lokaler Verkehrszählungen in Bruck an der Leitha konnten zur Kalibrierung herangezogen werden.

Zwischenschritte der Kalibrierung umfassten dabei beispielsweise die Anpassung von Abbiegewiderständen oder der Geschwindigkeit auf Strecken.

Aufbau und Berechnung Prognosefälle

Nach abgeschlossener Kalibrierung und Validierung des Analyseverkehrsmodells erfolgte der Aufbau der Prognoseverkehrsmodelle für die Jahre 2030 und 2040 der drei Varianten. Insgesamt wurden 7 Prognosemodelle berechnet. Zusätzlich zu den in Tabelle 2 dargestellten Varianten wurde dabei je Prognosejahr ein Modell für den Prognosenullfall berechnet. Innerhalb dieser Prognosenullfälle werden nur Maßnahmen bzw. Teilabschnitte von Maßnahmen eingebunden, welche sich im Analysejahr bereits in Realisierung befanden. Dies betrifft einen Teil der Wohn- und Gewerbeansiedlungen.

Je Prognosemodell wurden die jeweils relevanten Änderungen an den Strukturgrößen und dem Verkehrsnetz implementiert. Im Anschluss erfolgte die Berechnung der Modelle und ein Export der in Tabelle 3 und Tabelle 4 aufgelisteten Kenngrößen für die weitere Verarbeitung und den Verschnitt mit den Gebäude- und Energiemodellen.

4.4.2. Aufbau gekoppelte Gebäude- und Energiemodelle

Am Forschungsbereich Bauphysik der TU Wien wurde das Gebäudesimulationstool „HyRiCoLoS“ (Hygrothermal Risks, Comfort and Load Simulation) für Prognosemodelle für den Energieverbrauch entwickelt. Dabei werden Verbräuche von Gebäuden und Elektromobilität sowie die Stromerzeugung durch Photovoltaik behandelt. Ebenso werden repräsentative Wetterdaten für die Region in der Simulation berücksichtigt. Ein besonderer Fokus liegt auf Elektrizität, da hier die Netzbelastrung durch Zuordnung der Netzteilnehmer:innen zu Trafostationen erfolgt. Bei anderen Energieträgern (Fernwärme, Erdgas, Biomasse, ...) werden nur die Gesamtsummen auf Gemeindeebene gebildet, sodass diese für die Berechnung von Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen herangezogen werden können. Die genaue Beschreibung der Elektromobilität erfolgt in Abschnitt 4.4.3.

Um die energetischen Simulationen durchführen zu können, werden gewisse Angaben benötigt. Diese Anforderungen umfassen die nachfolgenden Inputdaten:

Gebäude

- Geometrie der Außenhülle mit Geschoßzahl
- Schichtaufbau der Außenbauteile
- Fensteranteile der Außenbauteile
- Fensterdaten (Daten zu Rahmen, Verglasung, Verschattung)
- Heizsystem (Energieträger und Wirkungsgrade)
- Kühlsystem mit Wirkungsgraden

Nutzer:in

- Nutzungszeiten
- Innere thermische Gewinne
- Warmwasserbedarf
- Energiebedarf für Geräte
- Lüftungsverhalten
- Solltemperatur
- Im Fall von Industrie: Energiebedarf für Produktion

Andere

- Photovoltaik: Daten zu bestehenden Anlagen
- Photovoltaik: Verteilungsschlüssel der zu installierenden Leistung auf Nutzungsarten
- Wetterdaten (Außentemperatur und Strahlungsdaten)

Der Großteil dieser Daten konnte im Vorfeld erhoben werden. Der Rest wurde durch Annahmen ergänzt, die in den nachfolgenden Abschnitten näher beschrieben werden.

Wetterdaten

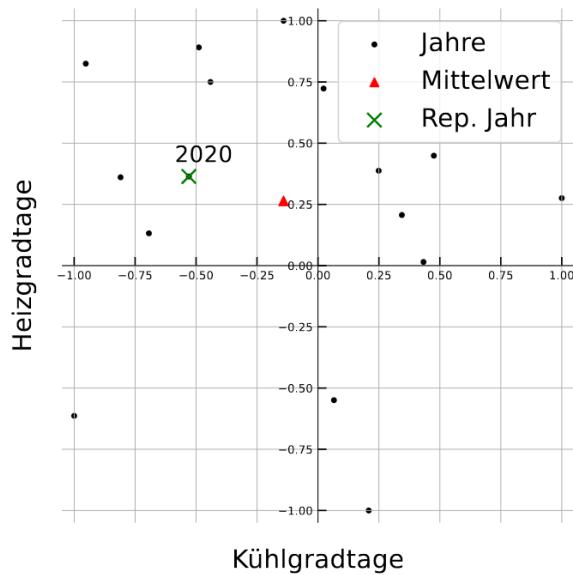
Die Wetterdaten werden von Geosphere Austria bezogen (GeoSphere Austria, o. J.). Es wurden Wetterdaten von der Station Bruckneudorf aufgrund der räumlichen Nähe ausgewählt. Da bei dieser Station nicht die Diffusstrahlung gemessen wird, diese jedoch für solare Gewinne und Photovoltaik benötigt wird, werden Strahlungsdaten von der Station Wien Hohe Warte herangezogen.

Um ein repräsentatives Jahr auszuwählen, wurde aus den Jahren 2008-2023 jenes Jahr ausgewählt, das einen guten Kompromiss in Bezug auf Durchschnittlichkeit bei Heizbedarf und Kühlbedarf darstellt. Dazu wurden für alle Jahre die Heizgradtage $HGT_{20/12}$ und die Kühlgradtage $KGT_{26/28}$ ermittelt. Dann wird jenes Jahr als repräsentativ ausgewählt, das den geringsten normalisierten Abstand f_l aufweist.

$$f_l = \sqrt{(HGT_n - \overline{HGT_n})^2 + (KGT_n - \overline{KGT_n})^2} \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet HGT_n den normalisierten HGT bei dem die auftretenden HGT Werte linear auf das Intervall $[-1, 1]$ abgebildet wurden. $\overline{HGT_n}$ bezeichnet den Mittelwert der normalisierten Werte. In Abbildung 8 ist dargestellt wie im Zuge dieses Verfahrens ein Jahr ausgewählt wird, das sowohl in Bezug auf Heiz- als auch Kühlbedarf repräsentativ ist. Die Normalisierung dient dazu, dass Heizung und Kühlung gleich stark ins Gewicht fallen. Ohne Normalisierung würden Heizgradtage dominieren, da $HGT_{20/12}$ typischerweise ein weitaus größerer Wert ist als $KGT_{26/28}$.

Abbildung 8: Auswahl eines repräsentativen Jahres für Wetterdaten



Gebäude

In den nachfolgenden Abschnitten (Gebäudekategorien, Gebäudehülle und -geometrie, Elektrischer Lastgang von Gebäuden, Standardlastprofil) werden grundlegende Informationen zu Gebäuden als Energieverbraucher sowie die Formel für den Verbrauch angeführt. In den folgenden Abschnitten (Heizung und Kühlung, Warmwasser und Elektrogeräte) werden die in der Formel auftretenden Summanden behandelt.

Gebäudekategorien

Für rund 4000 Gebäude ist der elektrische Lastgang in Stundenauflösung zu ermitteln. Diese Gebäude haben Eigenschaften (vgl. Tabelle 5) sogenannte Kategorien, die in Tabelle 7 näher aufgeschlüsselt sind. Aus diesen Kategorien ergeben sich Nutzungszeiten, Verbrauch von Elektrogeräten, Warmwasserbedarf, innere Lasten und, ob das Gebäude als gekühlt angenommen wird. Zur Heiztechnik wurden Daten erhoben, die auch das Heizsystem umfassen, sodass hier keine Annahmen getroffen werden müssen. Im Fall einer gemischten Nutzung, wird das betreffende Gebäude mit jeder der Nutzungen einzeln simuliert und der Mittelwert der Ergebnisse herangezogen.

Um nicht unnötig viele Gebäudemodelle erstellen zu müssen, werden Nutzungen für die verschiedenen genannten Aspekten wie Nutzungszeiten etc. gruppiert. So werden beispielsweise die Kategorien 1, 2, 20 und 32 (in Tabelle 7) in Bezug auf Nutzungszeiten gleichgesetzt. Gleichsam werden die Kategorien 15 und 16 in Bezug auf innere Lasten gleichgesetzt, da hierzu Angaben aus ÖNORM B 8110-5 Tabelle 2 (ÖNORM B 8110-5, 2024) herangezogen werden, wo eine gemeinsame Kategorie für „Höhere Schulen und Hochschulen“ vorgesehen ist.

Tabelle 7: Auflistung der Gebäudekategorien

1 Einfamilienhaus	13 Verkaufsstätte	28 Stadttürme und Stadtbefestigung
2 Mehrfamilienhaus	14 Hallenbad	29 Ruine
3 Bürogebäude	15 Pflichtschule	30 Trafos
4 Kindergarten	16 Hochschule	31 Museum
5 Höhere Schule	20 Wohngebäude für Gemeinschaften	32 Kleingartensiedlung (mit Wohnnutzung)
6 Krankenhaus	21 Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens	33 Tierhaltung / Ställe
7 Pflegeheim	22 Industrie und Lagergebäude	34 Maschinenhalle / Lagergebäude
8 Pension	23 Garage / Gartenhütte	35 Technikgebäude (z.B. Pumpwerk)
9 Hotel	24 Kirche	
10 Gaststätte	25 Kapelle	
11 Veranstaltungsstätte	26 Friedhofsbauten	

Gebäudehülle und -geometrie

Die Gebäudegeometrie wird erzeugt, indem die Grundrisspolygone entsprechend der Gebäudehöhe extrudiert werden. Bei dieser vereinfachten Geometrie wird stets ein Flachdach angenommen. Dadurch ergeben sich die Flächen der Außenbauteile (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9: Geometrischen Modelle der Gebäude eines Trafobezirks



Die thermische Qualität der Gebäudehülle wird aus der Studie von Heidenthaler et al. (2022) bezogen. Diese verknüpft Errichtungsjahre mit U-Werten. Mit der Annahme, dass die Bauteile einen Aufbau aus Stahlbeton, Dämmwolle und Putzschichten aufweisen, lassen sich die Schichtdicken berechnen, wodurch die Bauteile definiert sind.

Elektrischer Lastgang von Gebäuden

Die für den Betrieb erforderliche elektrische Leistung eines Gebäudes P_{el} errechnet sich als Summe der Leistungen für Heizung, Kühlung, Warmwasser und elektrischen Geräten. Im Fall von Industrieanlagen ist in der Energie für elektrische Geräte auch die elektrische Energie für industrielle Prozesse inbegriffen.

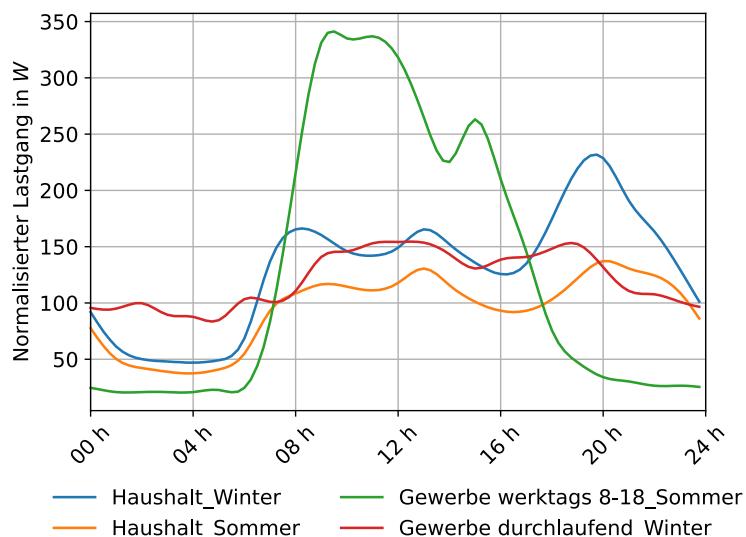
$$P_{el} = P_{Heizung} + P_{Kühlung} + P_{Warmwasser} + P_{Geräte} \quad (2)$$

Zur Berechnung werden Gebäude in Minutenschritten über ein Jahr hinweg (01.01. – 31.12.) in einem Euler-Verfahren simuliert. Um das Gebäude in einen repräsentativen Anfangszustand zu bringen, werden vor dem Jahresbeginn noch 30 Tage Vorlaufzeit simuliert.

Standardlastprofil

Für manche Vorgänge wird das Standardlastprofil für die abgenommene elektrische Leistung, wie er vom deutschen Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (o. J.) veröffentlicht wird, herangezogen (siehe Abbildung 10). So werden Verbrauchsdaten wie beispielsweise der Warmwasserverbrauch, für die nur Jahresangaben recherchiert werden konnten, proportional zu diesem Verbrauchsprofil auf die Stunden des Jahres aufgeteilt, sodass ein Lastgang entsteht. Um Vergleichbarkeit zwischen den Kategorien zu schaffen, werden alle Lastgänge auf einen Jahresverbrauch von 1000 kWh normalisiert.

Abbildung 10: Lastgang nach Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (o. J.)



Um alle Gebäude einem Lastprofil zuordnen zu können, werden die Kategorien, die in Tabelle 7 dargestellt werden geeignet gruppiert, sodass sie den BDEW-Kategorien (nach Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (o. J.)) entsprechen. So werden der BDEW-Kategorie „Haushalt“ beispielsweise die Kategorien 1, 2, 20 und 32 zugeordnet.

Heizung und Kühlung

Die Energie, die für die Temperierung erforderlich ist, ergibt sich aus den Wärmeströmen zu und von dem Gebäude infolge von Transmission durch die Gebäudehülle, Lüftung und Infiltration, inneren

Lasten und solaren Gewinnen. Diese Wärmeströme verändern die Temperaturen der Raumluft und der Bauteile. Für die Bauteile wird dabei eine thermische Ersatzkapazität nach ÖNORM EN ISO 13786 (2019) für periodische Temperaturschwankungen mit einer Periodendauer von 24 h angewendet. Bei der thermischen Kapazität der Luft wird eine perfekte Durchmischung im gesamten Gebäude angenommen.

Die Wärmeflüsse werden auf den folgenden Grundlagen berechnet:

- In Bezug auf Lüftung wird während der Nutzungszeiten ein konstanter Luftwechsel von 0,4/h angenommen. Es wird keine Wärmerückgewinnung angenommen.
- Wärmeaustausch zwischen Luft und Bauteilen: Es wird ein Wärmeübergangskoeffizient von 0,13 W/m²K angenommen.
- Der Transmissionsfluss erfolgt zwischen Luft und Ersatzkapazität der Komponenten mit einem Wärmeübergangskoeffizient von 0,13 W/(m²K) und zwischen Komponente und Außenluft bzw. Erdreich mit einem reduzierten U-Wert, der sich aus Schichtaufbau der Komponente und im Fall von Außenluft einem Übergangswiderstand von 0,04 W/(m²K).
- Wärmeflüsse infolge von Transmission und Lüftung werden gemäß ÖNORM B 8110-6 (2014) um Infiltration und einen Wärmebrückenzuschlag erhöht.
- Für solare Gewinne werden gewisse Annahmen über Fenster gemacht. Die Fensterfläche wird in Abhängigkeit der Bauperiode gemäß Heidenthaler et al. (2022) ermittelt. Für den g-Wert wird 0,65 bzw. 0,4 angenommen. Letzterer Wert wird angewendet, wenn angenommen wird, dass ein Sonnenschutz zur Anwendung kommt, was bei einer operativen Temperatur von über 26°C der Fall ist. Darüber hinaus wird ein Verglasungsanteil von 0,7 angenommen. Mit diesen Annahmen werden über den Sonnenstand nach ÖNORM EN ISO 52010-1 (2018) und der direkten und diffusen Strahlungsleistung die solaren Gewinne berechnet.
- Innere Gewinne werden gemäß ÖNORM B 8110-5 Tabelle 2 (ÖNORM B 8110-5, 2024) bestimmt.

Heiz- und Kühlssystem sorgen dafür, dass bei den gegebenen Wärmeflüssen die operative Temperatur des Gebäudes stets die Nutzungskriterien erfüllt. Diese Kriterien sehen für alle beheizten Gebäude eine Mindesttemperatur von 22°C vor. Für gekühlte Gebäude gilt außerdem eine Maximaltemperatur von 26°C.

Wirkungsgrade von Heiz- und Kühlssystemen

Für unterschiedliche Heizsysteme werden unterschiedliche Wirkungsgrade angenommen:

- Gas, Öl, Kohle und Biomasse: 0,9
- Fernwärme: 0,95
- Wärmepumpen: in Abhängigkeit von Außentemperatur und Wärmequelle werden COPs und Annahmen zu Quellentemperaturen der DIN V 18599-5 (2016) entnommen.

Für Kühlssysteme wird pauschal ein COP von 2,9 angenommen. Dieser Wert wird in einem informativen Anhang in ÖNORM EN 16798-13:2017 Tabelle B.3 für Anlagen unter 12 kW (ÖNORM EN 16798-13, 2017) vorgeschlagen.

Warmwasser und Elektrogeräte

Der jährliche Warmwasserbedarf wird nach DIN V 18599-10 (2016) für die verschiedenen Nutzungsarten angenommen. Die Gesamtenergie für Elektrogeräte wurde aus den Resultaten des Projektes Energiemosaike Austria (Abart-Heriszt et al, 2020) entnommen.

Sowohl für Warmwasser als auch für den Bedarf für Elektrogeräte wurde, um den elektrischen Lastgang zu ermitteln, der Gesamtbedarf proportional zum Standardlastgang gemäß Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (o. J.) über die Stunden des Jahres verteilt.

Photovoltaik

In den Szenarien werden für die Prognosejahre die gesamte installierte Peakleistung von Photovoltaikanlagen angenommen. Diese sind nochmals in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Installierte PV-Leistung in MWp in den verschiedenen Szenarien

	Business as Usual	NÖ Klima Plus
2023	9.28	9.28
2030	18.86	20.86
2040	21.69	26.89

Um den zeitlichen Verlauf der installierten Photovoltaik (PV) für jeden Trafobezirk zu simulieren, ist es erforderlich, Annahmen darüber zu treffen, wie sich die installierte Gesamtleistung auf Trafobezirke verteilt und welche Azimut- und Elevationswinkel die Anlagen aufweisen. Dazu werden die fünf größten Anlagen, die 2023 bestehen, erfasst und die restliche Leistung wird zufällig nach einem Schlüssel auf Gebäude verteilt. Die fünf größten Anlagen sind in diesem Zusammenhang: Sonnenfeld (3 MWp), ÖBB (1 MWp), Landgarten (300 kWp) und Biogas Bruck (200 kWp). Bei der Verteilung der restlichen Leistung entfallen 30% auf Einfamilienhäuser, 20% auf Verkaufsstätten und 50% auf Industrie und Lagergebäude. Diese angenommene Aufteilung ist motiviert durch die Verteilung von PV-Anlagenleistung, wie sie 2023 in Bruck an der Leitha besteht. Für Anlagen auf Einfamilienhäusern wird Montage auf einem Steildach mit 45° Elevationswinkel angenommen. Der Azimutwinkel ergibt sich aus dem Normalvektor der längsten Gebäudekante, die dem südlichen Halbkreis zugewandt ist. Diese Annahmen wurden gewählt, um ohne GIS-Informationen über die Dächer in Bruck eine statistische Verteilung von PV-Leistung zu erzielen. Für die anderen Anlagen wird eine Montage am Flachdach mit 0° Elevation angenommen.

Die Zuweisung von Anlagen zu Gebäuden erfolgt zwar zufällig, jedoch wird unterbunden, dass einzelne Trafos dadurch zu stark belastet werden. Einem Trafo kann höchstens eine PV-Peakleistung zugeordnet werden, die der Summe aus der größten Verbrauchsleistung an diesem Trafo infolge von Gebäudeversorgung und der Peak-Leistung bestehender PV-Anlagen entspricht.

Die stündliche Leistung einer Anlage P_{out} wird aus der wirksamen Einstrahlungsleistung, die sich als Summe der direkten P_{direkt} und diffusen Strahlung P_{diffus} ergibt, und der Peakleistung der Anlage P_{peak} errechnet.

$$P_{out} = \frac{(P_{direkt} + P_{diffus})}{1000 W} \cdot P_{peak} \quad (3)$$

Die diffuse Einstrahlung ergibt sich aus der Fläche der Anlage A , der diffusen Strahlungsleistung R_{diffus} und dem Sky-Factor f_{sky} .

$$P_{diffus} = R_{diffus} \cdot A \cdot f_{sky} \quad (4)$$

Die direkte Einstrahlung errechnet sich aus dem Winkel zwischen Sonneneinstrahlung und Normalvektor der Anlage α , der Direktstrahlung R_{direkt} und der Fläche der Anlage A .

$$P_{direkt} = \cos \alpha \cdot A \cdot R_{direkt} \quad (5)$$

Der Vektor der Sonneneinstrahlung ergibt sich aus dem Sonnenstand, welcher nach (ISO 52010-1, 2017) ermittelt wird.

Es wird keine Modellierung von anderen Anlagenteilen wie Wechselrichtern vorgenommen. Infolgedessen kann es sein, dass die PV-Leistung überschätzt wird. Darüber hinaus werden Verschattung und Albedo nicht berücksichtigt.

Umsetzung HyRiCoLoS

Die Simulation wurde in einem Python Projekt umgesetzt.

Für die Gebäudesimulation werden dabei zunächst sämtliche Gebäude, die zu diesem Zeitpunkt als Python Dictionaries vorliegen, einem Preprocessing zugeführt, bei dem alle Datentypen vereinheitlicht werden und die letzten verbleibenden Datenlücken durch Annahmen gefüllt werden. Dabei werden auch Dictionary Einträge erstellt, die definieren, ob und wann ein Gebäude sein Heizsystem auf Wärmepumpe umstellt bzw. eine Renovierung erfährt.

In weiterer Folge werden für jedes Szenario und jede Variante alle Gebäude für sich einzeln simuliert. Dies erfolgt über ein Skript, das die Gebäudeindizes verwaltet und auf eine Anzahl von Python Prozesse aufteilt, die parallel den erforderlichen Rechenaufwand abarbeiten. Dabei wird für jedes Gebäude das repräsentierende Dictionary aus dem Preprocessing verwendet, um ein Gebäudeobjekt zu erzeugen, das mittels einer implementierten Simulationsmethode seine Lastgänge errechnen kann. Im Postprocessing werden aus den Resultaten schließlich die Daten für den Import in die zugehörige Datenbank der Open-Data Plattform zusammengestellt.

Bei der Photovoltaik wird zunächst die zu installierende Leistung zufällig auf die Gebäude verteilt, wobei gewisse Restriktionen gewahrt bleiben (Verteilungsschlüssel auf Nutzungsarten, Maximale Peak Leistung an Trafostationen, etc.). Im Zuge dessen werden auch wichtige Parameter über die PV-Anlagen bestimmt, wie Normalvektor der Module und welchem Trafobezirk sie zuzuordnen sind. Schließlich wird der Sonnengang eines Jahres in Minutenstufen durchgearbeitet, und für jeden Zeitschritt wird eine PV-Leistung in Abhängigkeit von Sonnenstand und Strahlungsdaten errechnet. Im Postprocessing werden diese Leistungen auf Trafoebene aufsummiert.

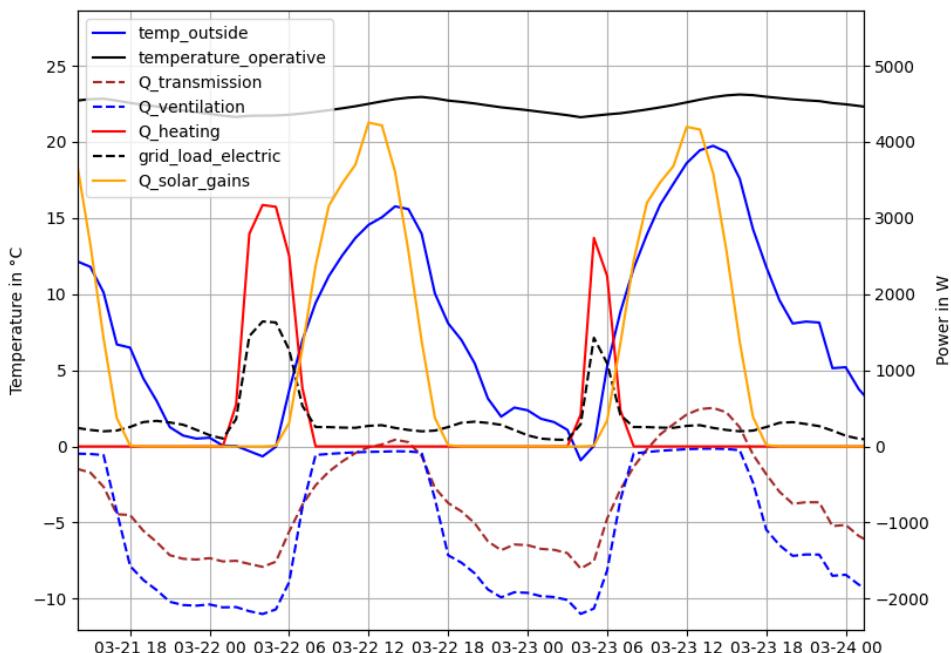
Bei der Elektromobilität ist die in Proportion gesetzte Fahrleistung der jeweiligen Variante im jeweiligen Szenario auf den Parkraumbedarf innerhalb eines Trafobezirks zu verteilen, um den Ladeenergiebedarf zeitlich und räumlich zuzuordnen. Da sich die Parkraumnachfrage aus der

Verkehrssimulation auf Verkehrsbezirke bezieht, werden diese auf die Trafobezirke verteilt, wobei Verkehrsbezirke, die sich teilweise in mehreren Trafobezirken befinden zu gleichen Teilen auf diese aufgeteilt werden.

Plausibilitätskontrollen

Während der Implementierung des Modells wurden zahlreiche Plausibilitätskontrollen durchgeführt. Jede zusätzlich implementierte Funktionalität wurde gesondert geprüft. Das wichtigste Werkzeug diesbezüglich war das Plotten der zeitlichen Verläufe von Größen wie Transmissionsverluste, Heizleistung, Temperaturen (Lufttemperaturen innen und außen, Oberflächentemperaturen von Bauteilen), Elektrische Leistungen (Geräte, Gesamtbelaustung des Netzes, ...) und ähnlichem. Ein derartiges geplottetes Diagramm ist in Abbildung 11 zu sehen.

Abbildung 11: Plot zur Plausibilitätsprüfung



Nachdem sämtliche Funktionalität implementiert war und die Simulationen durchgeführt wurden, wurde ein Logfile geschrieben, das unter anderem von allen Gebäuden den jährlichen spezifischen Heizwärmebedarf auswies. Dadurch konnte verglichen werden, ob diese Größe für ein Gebäude der betreffenden Bauperiode plausibel ist.

Für die Berechnung der thermischen Kapazität von Bauteilen wurden die Werte mit jenen aus Tools verglichen, die an der TU Wien seit Jahren in Forschung und Lehre verwendet werden.

Bei der Photovoltaik wurde als eine erste Einschätzung überprüft, ob eine nach Süden ausgerichtete Anlage in etwa einen Jahresertrag von 1000 kWh pro kWp aufweist. Diese Größe ist eine typische Faustregel in der Praxis (E.ON, 2024; TECHMASTER, 2024; Dachgold e.U, 2024). Darüber hinaus wurden Vergleiche mit typischen Ertragstabellen, die Abminderungsfaktoren nach Anlagenausrichtung angeben, durchgeführt.

Bei der Elektromobilität ist Plausibilitätsprüfung ein spezielles Thema, da die Entwicklungen für alle Gemeinden neu sind und in den Szenarien Anteile von elektrifizierten Fahrzeugen angenommen

werden, wie sie in der Realität zum Zeitpunkt der Forschungsarbeit nicht beobachtet werden können. Lediglich der Verbrauch von Elektroautos konnte auf Plausibilität geprüft werden. So wurden die diesbezüglichen Angaben aus einer Publikation (Nijenhuis et al., 2022) nachträglich nochmals mit Testergebnissen einer Zeitschrift (Autobild, 2024) verglichen.

4.4.3. Verknüpfung der Simulationsmodelle

Elektromobilität

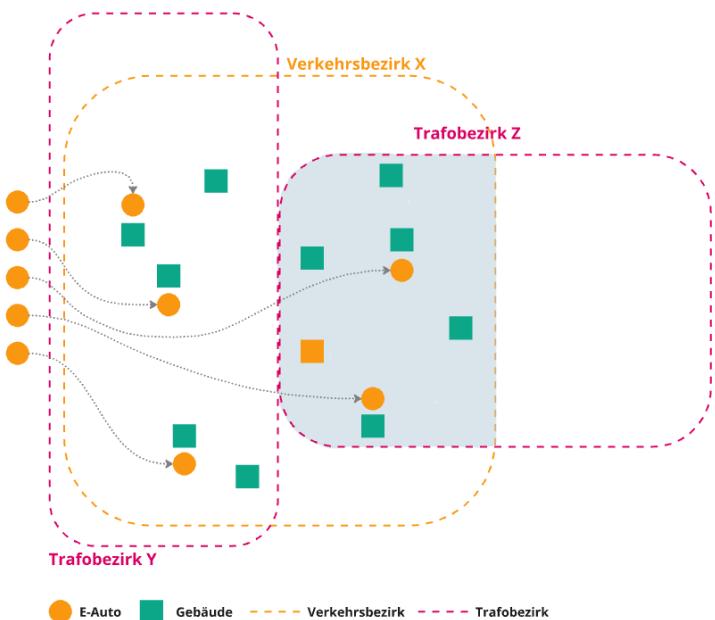
Bei der Verknüpfung von Energieverbrauchssimulation mit der Mobilitätsnachfragesimulation sind es die *Elektrofahrzeuge*, die eine unmittelbare Verknüpfung dieser beiden Simulationen ermöglichen.

Die Schlüsselfragen zur Verknüpfung der Simulationsmodelle lauten: „*Wann befinden sich wo wie viele Elektroautos?*“ und „*Wo werden sie wann geladen?*“.

Im Verkehrsnachfragemodell (siehe 4.4.1.) wird die Parkraumnachfrage pro VBZ simuliert (siehe Tabelle 3). Basierend auf dem Szenario abhängigen Attribut E-Fahrzeuge Anteil (siehe Tabelle 1) wird die Anzahl der Elektrofahrzeuge pro VBZ stundengenau berechnet.

Über die Nutzung der Gebäude, der verfügbaren Stellplätze und Ladeinfrastrukturen kann die Haltestadt angenähert werden (siehe Abbildung 12). Die Ladeinfrastruktur kann dem Gebäude zugeordnet werden und über das unterschiedliche Mobilitätsverhalten unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen (das in der Verkehrsnachfragesimulation abgebildet ist) kann abgeschätzt werden, wo wie viele KFZ parken bzw. laden.

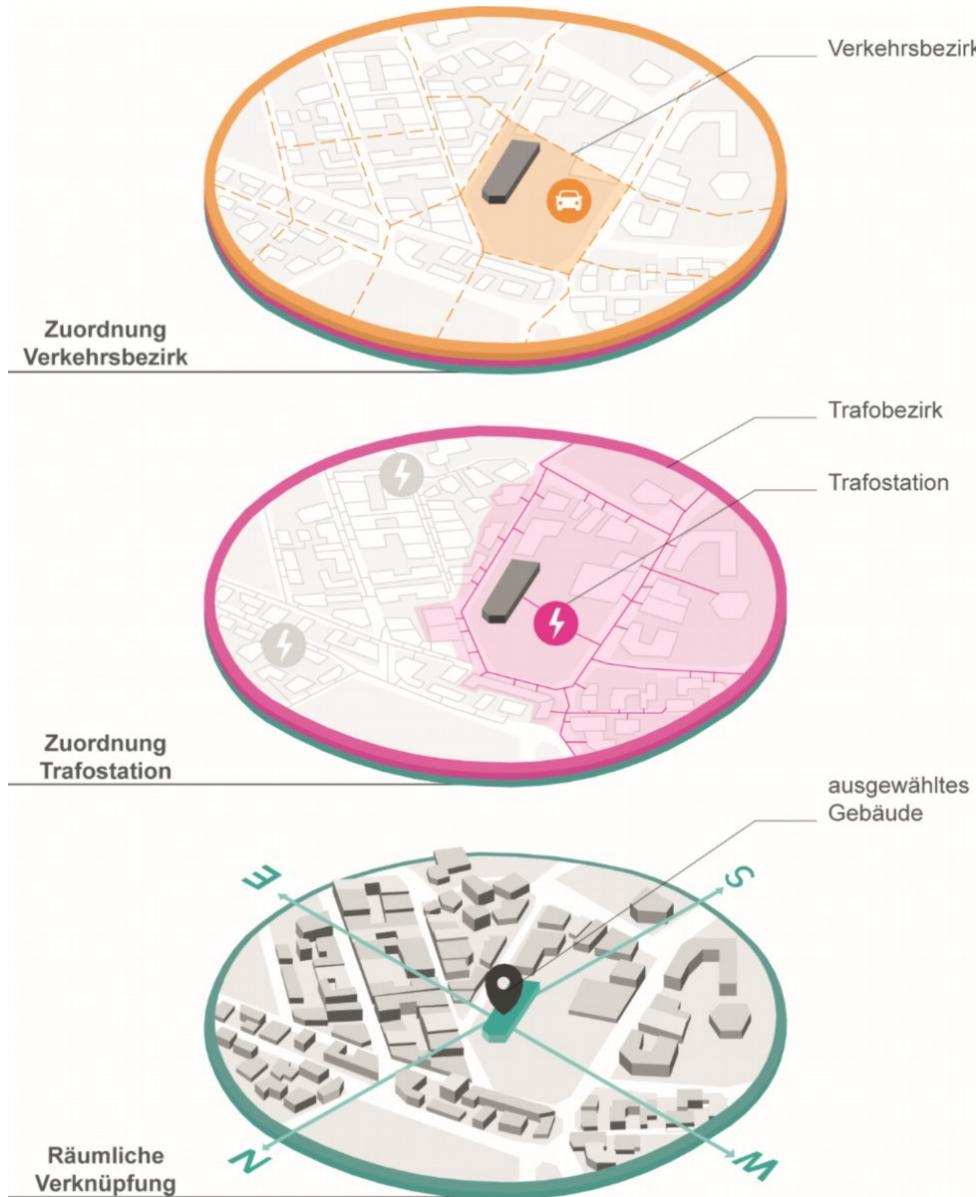
Abbildung 12: Zuordnung E-Fahrzeuge Gebäude (eigene Darstellung)



Die Gebäude spielen somit bei der Verknüpfung der Simulationsmodelle eine zentrale Rolle, da sie das „verbindende“ Element zwischen den „Verkehrsbezirken“ und den „Trafobezirken“, die sich in Lage und Form nicht gleichen, sind (siehe Abbildung 13). Ein Gebäude ist eindeutig jeweils nur einem Verkehrsbezirk und einem Trafobezirk zugeordnet. Die Ausstattung der Gebäude (Nutzung, Baualter,

Heizsystem, PV-Anlage, Speicher, Ladeinfrastruktur) hat großen Einfluss auf die Verbräuche und Leistungen, die von den Trafos in den Trafostationen bewältigt werden müssen.

Abbildung 13: Das Gebäude als Schnittstelle zwischen Verkehrsbezirk und Trafobezirk (eigene Darstellung)



Um nun den Energiebedarf der Elektromobilität zu berechnen, ergeben sich also folgende Inputdaten:

- Elektromobilität: Fahrleistungen in den Varianten und Szenarien
- Elektromobilität: Zeitliche und räumliche Zuordnung parkender Fahrzeuge

Der Ansatz der Berechnung inkludiert die Verwendung von Daten des FFG geförderten Projektes Energiemosaike Austria (Abart-Heriszt et al., 2020). Diese Daten wurden anstelle der Gesamtfahrleistung der Verkehrssimulation herangezogen, da letztere einen Werktag simuliert. Die Extrapolation dieses Tages auf ein ganzes Jahr würde das spezielle Mobilitätsverhalten des Werktages an Tagen des Wochenendes ebenfalls annehmen. Darüber hinaus wird im Projekt

Energiemosaik Austria Energieverbrauch verschiedenen Gemeinden zugeordnet, was eine Problematisierung der Systemgrenze voraussetzt, während in der Verkehrssimulation der Fokus auf die Belastung von Streckenabschnitten liegt und die Systemgrenze zur Zuordnung des Energieverbrauchs bei Verkehrsaufkommen zwischen Gemeinden erst gezogen werden müsste. Nachteilig an diesem Zugang sind einerseits die Vernachlässigung der Unterschiede zwischen den Jahren 2023, welches das Basisjahr im Projekt SmartQ+ Bruck/Leitha darstellt und 2019, worauf sich Energiemosaik Austria bezieht.

Der jährliche Gesamtverbrauch für Personenmobilität beträgt demnach c_{total} 66.000 MWh/a. Daraus wird mittels Energiedichte ρ_e von Benzin und Diesel und einem Durchschnittsverbrauch c_f von fossilen KFZ (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2023) die jährliche Gesamtfahrleistung F für das Basisjahr 2023 in Fahrzeugkilometern berechnet.

$$F = \frac{c_{total}}{\rho_e \cdot c_f} \quad (6)$$

Aus den errechneten Fahrleistungen der Verkehrssimulationen in der Basisvariante $F_{SIM,basis}$ und den Prognosevarianten $F_{SIM,i}$ wird ein Proportionalitätsfaktor berechnet, der auf F aufgeschlagen wird, um die Verkehrsleistung F_i in der Prognosevariante i zu berechnen.

$$F_i = F \cdot \frac{F_{SIM,i}}{F_{SIM,basis}} \quad (7)$$

Mit der Fahrleistung in den Szenarios, dem Anteil der Elektroautos an PKW $p_{el,i}$ im jeweiligen Szenario i , den Verbrauchsdaten von Elektroautos c_{el} laut Nijenhuis et al. (2022) und dem Wirkungsgrad des Ladevorgangs ε_l laut Sears et al. (2014) wird der Gesamtenergiebedarf E_i für die personenbezogene Elektromobilität in der jeweiligen Variante i berechnet.

$$E_i = F_i \cdot p_{el,i} \cdot c_{el} \cdot \varepsilon_l \quad (8)$$

Der Anteil der Elektromobilität $p_{el,i}$ ist nochmals in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Anteil der Elektromobilität am Personenverkehr in den verschiedenen Szenarien

	Business as Usual	NÖ Klima Plus
2023	1.59%	1.59%
2030	10%	25%
2040	20%	50%

Nachteile an dieser Art der Berechnung sind zum einen die Vernachlässigung der Elektromobilität, die zu einem (geringen) Anteil in den Daten von Energiemosaik Austria bereits vorhanden ist und mit den Verbrauchsfaktoren für fossile Mobilität mit gewisser Verfälschung in Fahrleistung konvertiert wird. Zum anderen wird hier angenommen, dass ausschließlich Personenverkehr elektrifiziert wird. Allerdings sind die Entwicklungen der Elektromobilität im Güterverkehr außerhalb des Betrachtungsrahmens dieses Projekts.

Die ermittelte jährliche Gesamtenergie wird in weiterer Folge auf Trafobezirke und die Stunden des Jahres aufgeteilt.

Zuordnung der Verkehrsbezirke zu Trafobezirken und Stunden des Jahres

Aus der Verkehrssimulation ergibt sich eine Parkraumnachfrage zu jedem Verkehrsbezirk und zu jeder Stunde. Verkehrsbezirke können gänzlich innerhalb eines Trafobezirks sein, oder sie teilen sich auf mehrere Trafobezirken auf. Im ersten Fall ist die Zuordnung trivial, im zweiten wird der Energiebedarf zu gleichen Teilen auf die betreffenden Trafobezirke aufgeteilt. Dies kann eine Verzerrung zur Folge haben, wenn sich ein Verkehrsbezirk überwiegend in einem Trafobezirk befindet. Die Auswirkungen dieser Vergrößerung werden als gering eingeschätzt.

Die zeitliche Aufteilung erfolgt gemäß der zeitlichen Entwicklung der Parkraumnachfrage. Hierbei ist zu beachten, dass die Verkehrssimulation einen einzelnen Werktag simuliert. Entsprechend ist der Energiebedarf für Elektromobilität an den 365 Tagen des Jahres gleich. Etwaige Unterschiede wie sie sich beispielsweise aufgrund des unterschiedlichen Mobilitätsverhaltens an Werktagen und Wochentagen ergeben, werden nicht beachtet, was Lastspitzen abmindern kann. Die Gesamtenergie ist durch diese Unterscheidung jedoch nicht beeinträchtigt, da in den Daten von Energiemosaik Austria der Gesamtverbrauch übers Jahr hinweg erhoben wurde.

Schnittstellenlösung und Zusammenspiel der Daten

Vorab wurden Datenschnittstellen und -formate festgelegt, um Ergebnisse der Analyse- und Prognosemodelle auszutauschen und letztlich integrierte Ergebnisse abzubilden.

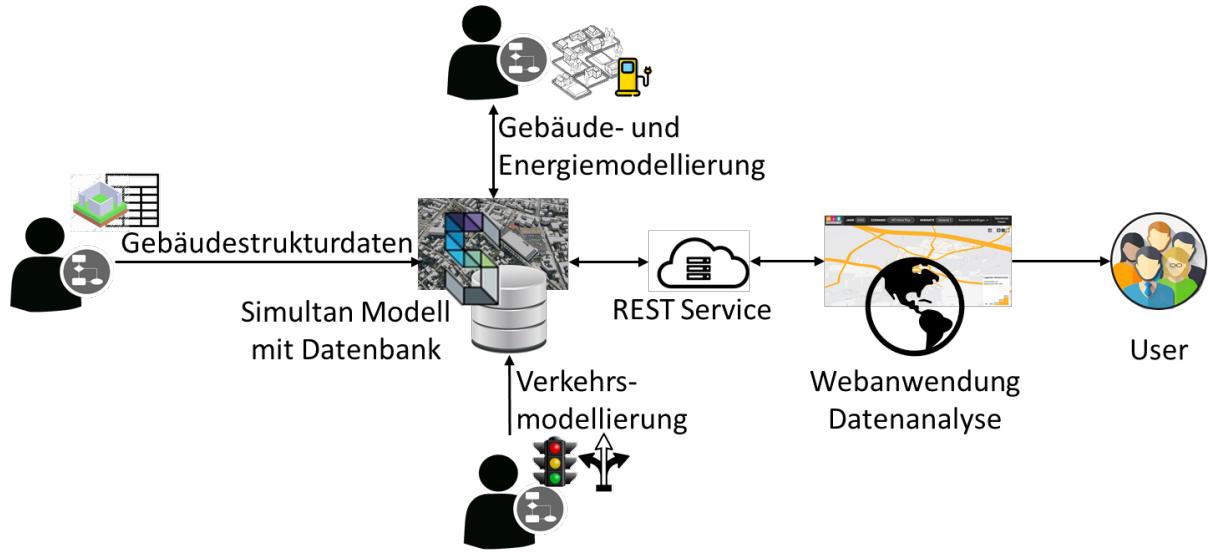
Die Datenstrukturen sind recht unterschiedlich und die Datenformate umfassen die folgenden:

- geojson (Verortung der Gebäude & Gebäudeinformation)
- shp (Ergebnisse der Verkehrsmodellierung)
- csv (Ergebnisse der HyRiCoLoS Berechnungen)

Um diese Ergebnisse in einer Plattform nutzen zu können, wurden diese in die Open-Data Plattform importiert und die in einer Datenbankstruktur abgelegt. Dadurch kann mit dem Webuserinterface, welches zur Visualisierung genutzt wird, auf die Daten in einer einheitlichen Struktur zugegriffen werden.

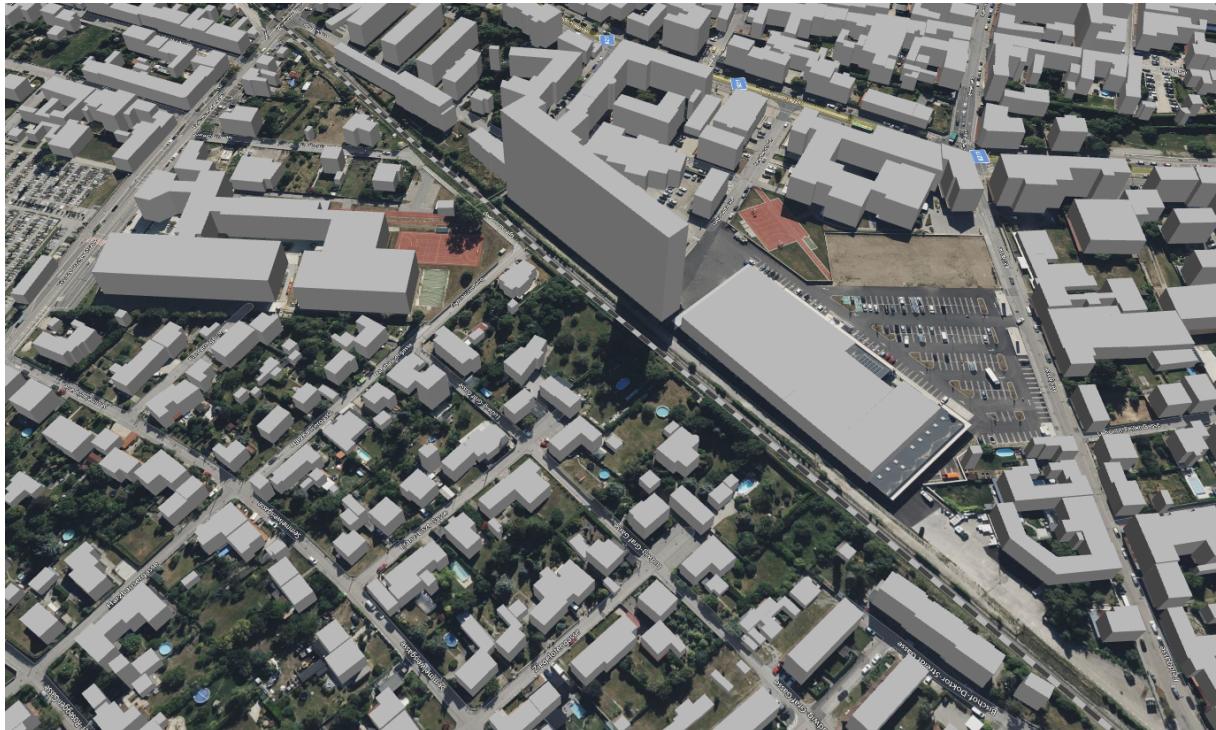
In Abbildung 14 ist die Architektur abgebildet, die den Import und das Zusammenspiel der einzelnen Modelle schematisch darstellt. Gebäudestrukturdaten werden zusammen mit den Verkehrsmodellinformationen und den Gebäude- und Energiemodellinformationen in der Open-Data Plattform Simultan importiert und in einer Datenbank gespeichert. Mittels eines Rest Services wird auf diese Information von der Webanwendung zugegriffen und aggregierte Darstellungen den Usern zur Verfügung gestellt.

Abbildung 14: Daten Management Architektur



Um diese Interaktionen zu ermöglichen, wurden Imports entwickelt, die die Informationen aus den geojson, shp und csv Files extrahieren und in Simultan zur Verfügung stellen, wobei die Daten in einer zentralen Datenbank gehalten werden.

Abbildung 15: Blick auf das digitale Modell von Bruck an der Leitha in Simultan



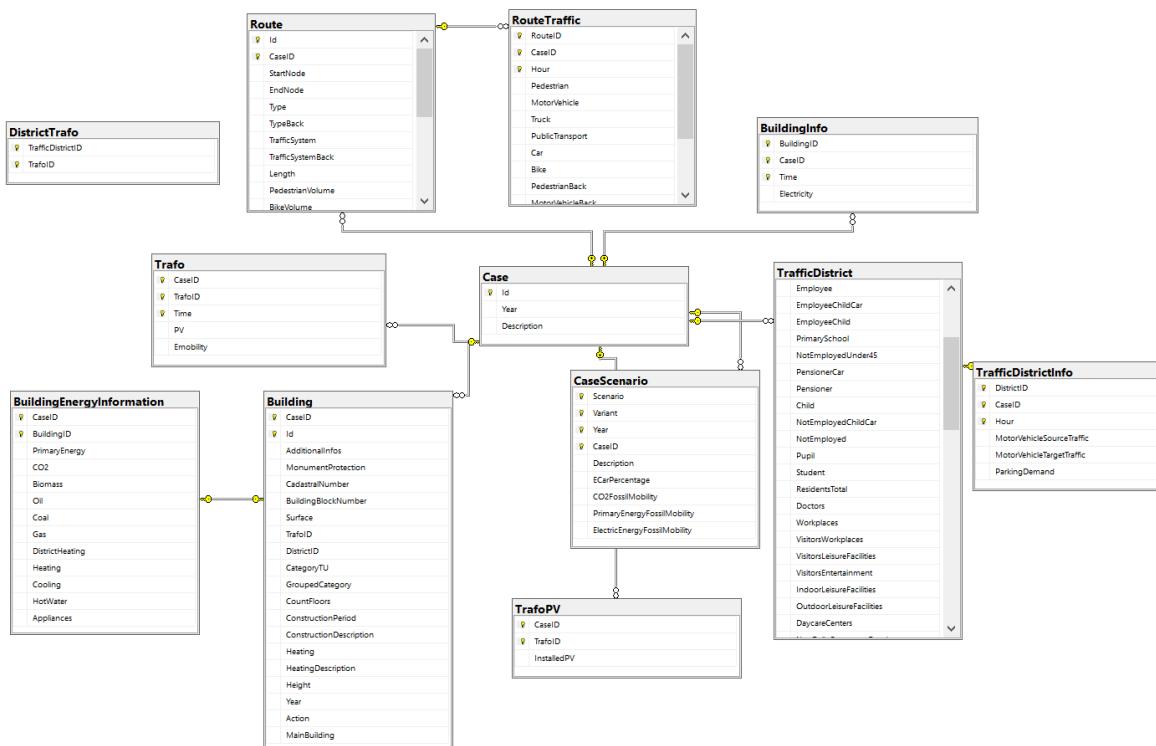
Der für die Gebäudestrukturdaten entwickelte GeoJSON Importer lädt die Grundrisse aller Gebäude und extrudiert diese anhand der gegebenen Bauhöhe (siehe Abbildung 15). Die Gebäude werden zusätzlich mit den importierten Koordinaten geoverortet. Für die Interaktion mit der Gebäude- und Energiemodellierung HyRiCoLoS werden alle angrenzenden Flächen von direkt nebeneinanderstehenden Gebäuden automatisch errechnet und als *GeometricRelations* Information

in dem digitalen Modell in Simultan gespeichert. Darüber hinaus enthalten alle Gebäudekomponenten neben den graphischen Informationen auch alle Attribute der Gebäudestrukturdaten als alphanumerische Metadaten. Zudem werden auch E-Ladestationen und Freiflächen als eigene digitalen Komponenten im Modell abgelegt.

Mittels weiterer Importschnittstellen werden die Ergebnisse der Verkehrsmodellierung (shp) und der HyRiCoLoS Simulation (csv) für die zugehörigen Komponenten von Simultan in der Datenbank abgelegt, um einen schnellen effizienten Zugriff auf die großen Datenmengen zu ermöglichen und darüber hinaus bedarfsgerechten Darstellungsformen für User und Anwendungsprogramme mittels REST bereitzustellen.

In Abbildung 16 ist das relationale Datenbankschema dargestellt, indem die Ergebnisse der verschiedenen Modelle zusammengehalten werden. Neben den Informationen über Szenario und Varianten werden Streckeninformationen, Verkehrsbezirke, Gebäudedaten, Trafoinformationen und die Zusammenhänge zwischen den Tabellen gehalten. Eine Auflistung der einzelnen gespeicherten Informationen findet sich im Anhang 8.3. Die Aufschlüsselung der einzelnen Tabellen findet sich im Konkreten in Tabelle 21.

Abbildung 16: Relationales Datenbankschema



Umsetzung

Das REST-Service wird über einen Internet Information Services (IIS) Server an der TU Wien gehostet. Die Datenbank ist eine MSSQL Datenbank, welche ebenfalls an der TU Wien gehostet wird.

Um das Service zur Verfügung zu stellen, benötigt es folgende Komponenten:

- Open-Data Plattform zum Verwalten der Daten (Änderungen, Anpassungen, ...)
Für die Anzeige der Evaluierungsdaten von 2023, 2030, 2040 kann das Visualisierungsservice auch ohne die Plattform betrieben werden, da diese in der Datenbank schon hinterlegt sind
- Datenbankserver, auf dem die Daten gehostet werden.
Die Umsetzung im Projekt war mittels MSSQL Datenbank; ist aber nicht darauf beschränkt. Andere Datenbankserver gehen ebenfalls, wobei dann die Syntax der Tabellen auf den jeweiligen Dialekt des Servers angepasst werden muss.
- Internet Server zur Bereitstellung eines REST Services
Die Umsetzung im Projekt nutzte einen IIS Server, da die REST Schnittstelle mittels C# in Visual Studio entwickelt wurde. Auch hier kann auf einen anderen Server gewechselt werden, wobei aber die Anpassungen in Code und Service berücksichtigt werden müssen und der Aufwand nicht unerheblich ist.

4.4.4. Kumulierte Simulationsdaten auf Gemeindeebene

Bestimmung des Trafolastgangs

Es werden für die rund 70 Trafostationen in Bruck an der Leitha der Jahresverlauf des Lastganges in Stundenauflösung ermittelt. Für jede Trafostation setzt sich der Lastgang zusammen aus den Lastgängen der dem Trafo zugewiesenen Gebäuden und Photovoltaik-Anlagen, sowie der Last infolge von Elektromobilität. Die Prognosemodelle beinhalten die Ermittlung dieser notwendigen Lastgänge.

Gemeindedaten

Zusätzlich zu den Trafodata werden noch Primärenergiebedarf, Strombedarf und Treibhausgasemissionen auf Gemeindeebene berechnet. Zur Berechnung von Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen werden die Verbräuche von den verschiedenen Energieträgern aufsummiert und mit Konversionsfaktoren beaufschlagt. Für den Strombedarf werden die elektrischen Verbräuche aufsummiert. Die Konversionsfaktoren werden der OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2007) entnommen. Für Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen von fossiler Mobilität werden die Konversionsfaktoren von Heizöl angewendet.

4.5. Datenvizualisierung

4.5.1. Konzept und Mockups

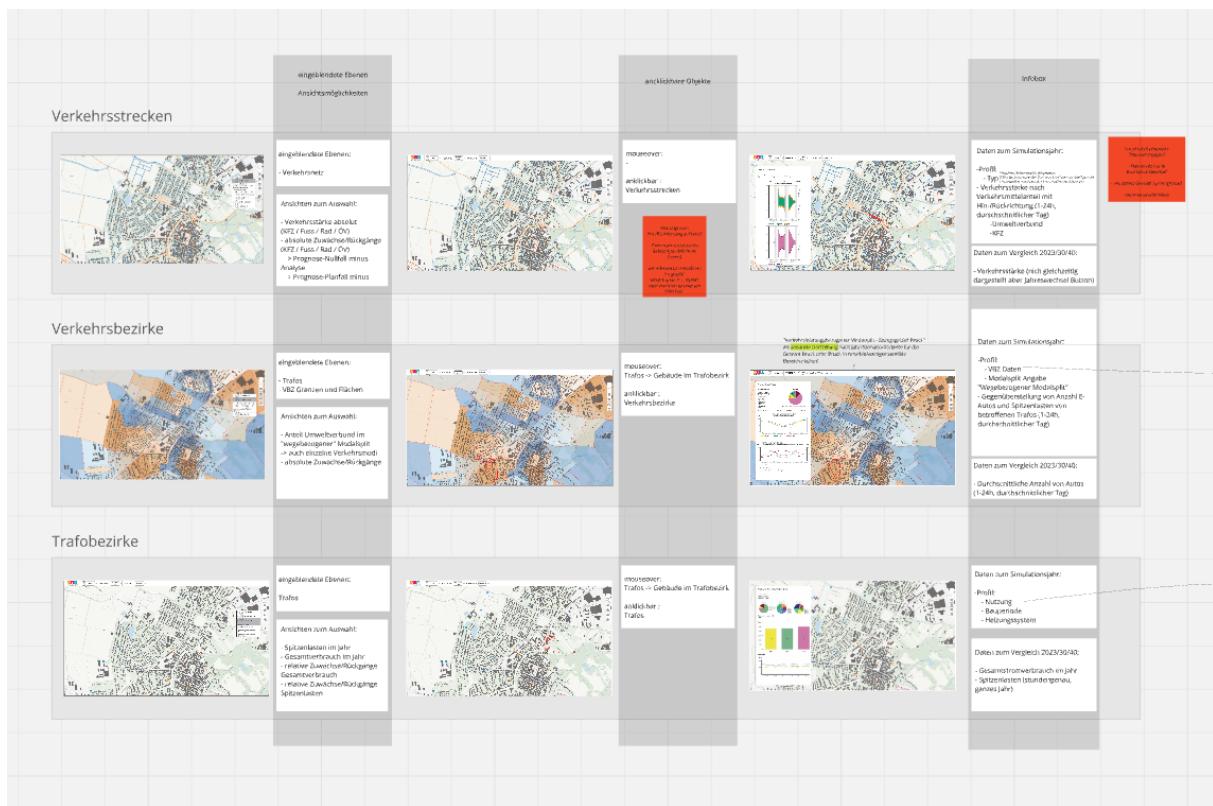
Basierend auf den Ergebnissen aus AP2 (Anforderungsanalyse Modellanwendung) wurde frühzeitig begonnen „Mockups“ der interaktiven Datenvizualisierung zu erstellen, um im Konsortium eine gemeinsame Vorstellung von der interaktiven Datenvizualisierung, vom Funktionsumfang und möglichen Darstellungen zu bilden. Inhaltliche Schwerpunkte bei der Entwicklung der Mockups waren die Visualisierung von Szenarien und Varianten, Gebäuden, Trafostationen und Trafobezirke, Verkehrsbezirke und dem Verkehrsnetz, sowie energie- und verkehrsbezogene Daten. Ein Interface-Konzept wurde parallel zur Visualisierung dieser einzelnen Aspekte entwickelt, um einen sinnvollen und möglichst interaktiven Rahmen (durch unterschiedliche Grundkarten, Zeitperioden, Darstellungsebenen usw.) für das Tool zu entwickeln.

Basierend auf den Ergebnissen mehrerer Workshops (siehe Abbildung 17) im Konsortium wurden *drei Anzeige-Modi* definiert, um die unterschiedlichen Aspekte der Modelldaten bestmöglich darstellen zu können:

- Trafostationen und Trafobezirke (Fokus: Elektrische Energie).
- Verkehrsnetz (Fokus: Mobilität).
- Verkehrsbezirke (Fokus: Sektorenkopplung von Energie und Mobilität).

Die Datenvisualisierung besteht für alle Anzeige-Modi aus zwei Ebenen: Die räumliche Übersicht und Verortung ausgewählter Kennzahlen für das gesamte Gemeindegebiet via Choroplethenkarte für Trafo- und Verkehrsbezirke, bzw. das graduell gefärbte Verkehrs-netz und detaillierte Diagramme und Zeitreihen für angeklickte Einzelobjekte.

Abbildung 17: Mockup - Miro Board für UX Workshop, Screenshot



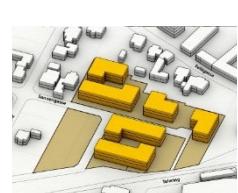
Visualisierung der Maßnahmen und Interventionen

Die mit der Gemeinde vereinbarten Simulationsmaßnahmen (aufbauend auf AP2) wurden aufgearbeitet, visualisiert und in Varianten dargestellt.

Im Maßnahmenbündel Wohnen sind einige bauliche Maßnahmen bereits in Umsetzung (Maßnahmen M1.2 Fischamender Straße, M1.3 Höfleiner Straße und M1.4 Höfleiner Straße Nord) und werden dementsprechend dargestellt. Für die Visualisierung der restlichen baulichen Maßnahmen (M1.1 Robert-Ederer-Straße, M1.5 Franz Lengenfelder - Gasse, M1.6 Sonnengasse, M1.7 Lagerstraße) werden jeweils drei bis vier Möglichkeiten für unterschiedliche Typologien (wie Einfamilienhaus, Reihenhaus, Hofhaus usw.) entworfen, um zu untersuchen, wie eine Maßnahme aussehen kann und welche Attribute diese (wie Einwohner:innenanzahl, Dichte usw.) besitzen würde.

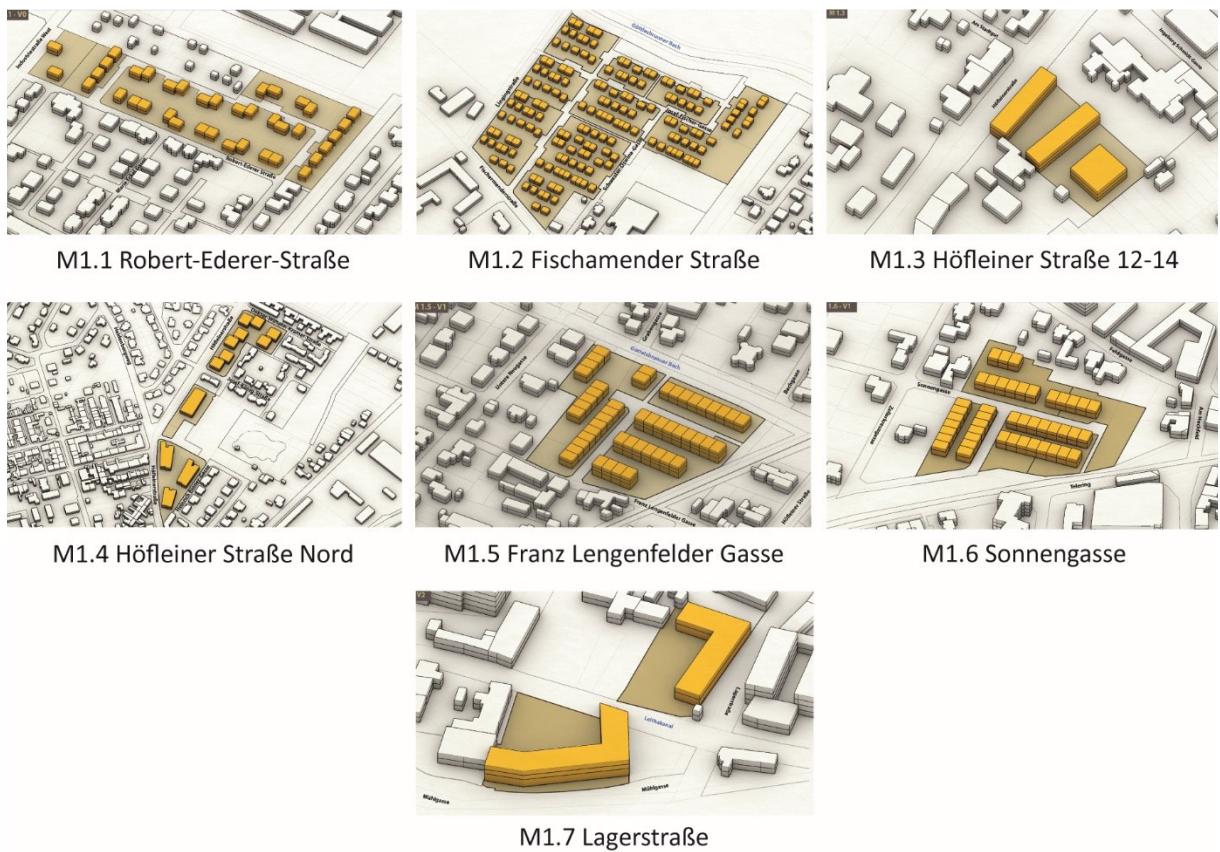
In Tabelle 10 sieht man beispielsweise die Variantenvergleich für M1.6 Sonnengasse. Jede Tabelle wurde im Konsortium besprochen und jeweils eine Typologie ausgewählt, die die den Erwartungen der Gemeinde am besten entspricht.

Tabelle 10: Variantenvergleich für Maßnahme 1.6

M1.6 Sonnengasse	Variante 0 Einzel- Doppelhaus	Variante 1 Reihenhaus	Variante 2 Hofhaus	Variante 3 Wohnhausanlage
Abbildung				
Grundstücks -größe	12.740 m ²	12.740 m ²	12.740 m ²	12.740 m ²
Grundfläche	1.350 m ²	3.870 m ²	4.310 m ²	3.900 m ²
Dichte	10	30	34	38
Bauklasse	I, II	I, II	I, II	III, III
GFZ	0,21	0,61	0,50	0,92
BGF	2.700 m ²	7.740 m ²	6.336 m ²	11.700 m ²
EW	31	96	96	315
Wohneinheit	14	44	44	144
PKW- Plätze	14	44	44	144

Als Ergebnis sind im AP5 konkrete Darstellungen für Maßnahmen im Maßnahmenbündel Wohnen (siehe Abbildung 18) und Betriebe/Industrie entstanden und ihre Geometrien wurden in der in AP4 erstellten Gebäudedatenbank für Prognosejahren 2030 und 2040 implementiert.

Abbildung 18: Maßnahmenbündel Wohnen (eigene Darstellung)



4.5.2. Umsetzung Proof-of-Concept Visualisierung

Die Proof-of-Concept Umsetzung der interaktiven, webbasierten Visualisierung zur Darstellung der Prognoseergebnisse verschiedener Maßnahmen und Interventionen im Siedlungs- und Verkehrssystem der Modellanwendung Bruck/Leitha, basiert auf einem digitalen 3D-Modell. Die Visualisierung ist an die Open-Data-Plattform SIMULTAN angebunden und ermöglicht eine detaillierte Analyse der Auswirkungen geplanter Maßnahmen. Die interaktiven Kartenelemente der drei Anzeige-Modi werden mithilfe der CesiumJS-Library im Angular-Framework realisiert. Für die geometrische Darstellung der Kartenelemente, wie Verkehrssegmente/Strecken, Verkehrsbezirke und Trafobezirke, werden spezifische GIS-Daten aufbereitet und integriert. Eine individuell angepasste Mapbox-Basemap gewährleistet eine klare und benutzerfreundliche Kartendarstellung, auf der die interaktiven Kartenelemente gut ersichtlich sind. Zur besseren Verständlichkeit der Kartenansichten gibt es eine dynamische Legende, die detaillierte Informationen zu den visualisierten Kartenelementen liefert. Zusätzlich werden interaktive Diagramme integriert, um die vielfältigen Simulationsdaten übersichtlich darzustellen.

5 Ergebnisse

Zu den Projektzielen zählte die Entwicklung eines methodischen Ansatzes, der die *Simulation der Auswirkung von Planungsmaßnahmen und der Vergleich von Entwicklungsvarianten und Szenarien* ermöglicht. Dabei soll auf Basis eines offenen Datenmodells erstmals die Entwicklung einer *Verknüpfung von Verkehrsnachfrage- und Energiesimulationsmodellen für die kommunale Planung*: entstehen. Dieser Prozess wurde bereits im Kapitel 4 ausführlich dargestellt.

Die Ergebnisse werden nun in diesem Abschnitt anhand der *interaktiven Visualisierung, die (Energie-) Einsparungspotenziale in der Siedlungsentwicklung, bzw. die Auswirkungen von Planungsvorhaben auf die Mobilität, die Gebäude und das Energienetz einer Gemeinde sichtbar machen kann* erläutert. Die interaktive Datenvisualisierung bietet eine *verständliche, visuelle Aufbereitung von Daten und Wirkungszusammenhängen von Maßnahmen der kommunalen Planung* für Akteur:innen der Planung und Verwaltung, um die Sektorenkopplung (zwischen Gebäude, Energie und Verkehr) schon in der Quartiersplanung zu befördern.

5.1. Interaktive Datenvisualisierung

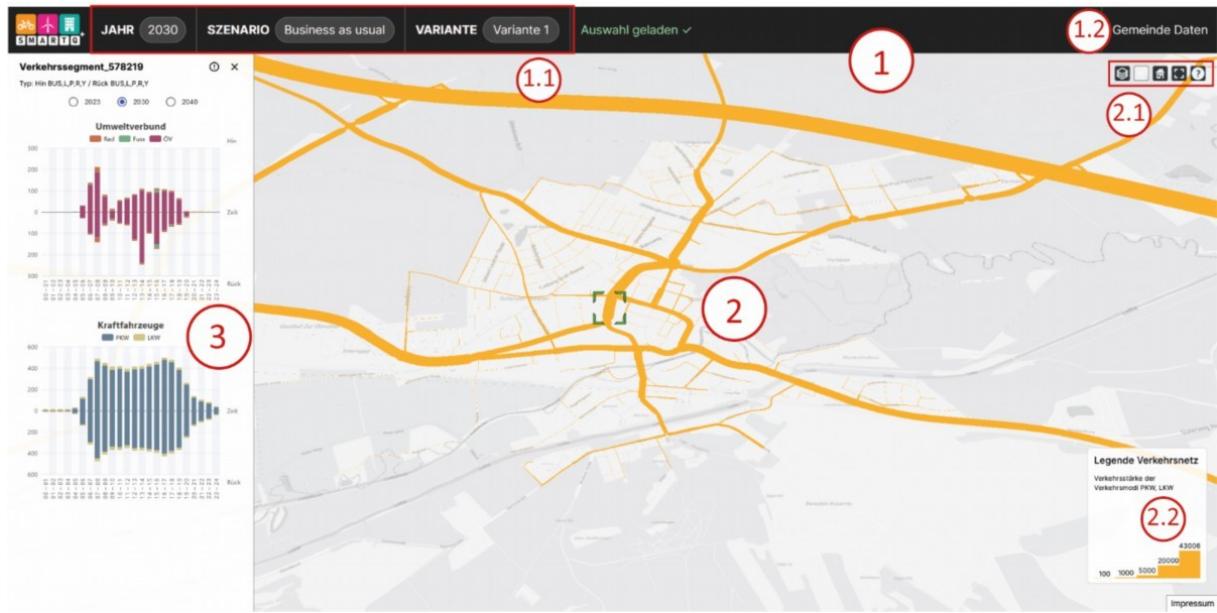
Zur Betrachtung der Web-App ist folgende Webseite aufzurufen: <http://128.131.21.198/smart-q/>. Der Zugang ist mit einem Passwort geschützt – die Zugangsdaten können angefragt werden (Kontakt: stefan.bindreiter@tuwien.ac.at).

Visualisierungen, Berechnungen und statistische Diagramme basieren auf den Auswahlen, welche Benutzer:innen in der Web-App treffen.

Abbildung 19 zeigt die wesentlichen grafischen Elemente (wie Buttons und Auswahlmenüs) der interaktiven Datenvisualisierung und ihre Funktionen:

- 1 Auswahl-Schaltfläche (Toolbar)
 - 1.1 Menü zur Auswahl von Jahr, Szenario und Variante
 - 1.2 Button zum Öffnen der Gemeindedatenansicht
- 2 Kartenansicht
 - 2.1 Kartenmenü (Visualisierungsmodus-Auswahlmenü, Basemap-Auswahlmenü, Home-Button, Vollbildmodus-Button, Navigationsinformationen)
 - 2.2 Legende
- 3 Objektinformationsansicht für interaktive Kartenelemente

Abbildung 19: SmartQ+ Interaktive Datenvisualisierung als Web-App, Screenshot



5.1.1. Aufbau

Die in Abbildung 19 unter Punkt 1.1 dargestellten Auswahlmöglichkeiten definieren die Rahmenbedingungen für die Projektergebnisse. Das Visualisierungsmodus-Auswahlmenü unter Punkt 2.1 dient der intuitiven Konfiguration und Filterung der Projektergebnisse je nach unterschiedlichen Fokusse wie im Kapitel 4.5.1 erläutert. Sämtliche Darstellungen in der interaktiven Karte bzw. in den statistischen Diagrammen für interaktive Kartenelemente beziehen sich auf die aktuell getroffene Auswahl.

Auswahl Jahr-Szenario-Variante

Durch das Anklicken des Jahr-Button, Szenario-Button und Variante-Button kann man entsprechende Bedingungen auswählen. Bei den Auswahlmenüs für Szenarien und Varianten werden die jeweiligen Auswahlmöglichkeiten und deren Kennzahlen visualisiert. Beim Varianten-Auswahlmenü (siehe Abbildung 20) werden die drei Varianten und jeweils der Fertigstellungsgrad der Maßnahmenbündel angezeigt. Somit bestimmt die Auswahl der Variante (in Kombination mit dem Jahr), welche Maßnahmenbündel in die Berechnungen hineinfließen. Die Icons der einzelnen Maßnahmenbündel (z.B. Wohnbauprojekte) können in diesem Menü ebenfalls ausgewählt werden, um nähere Informationen zu den Maßnahmenbündeln (siehe Abbildung 21) und den einzelnen Maßnahmen (siehe Abbildung 22) in diesen zu erhalten.

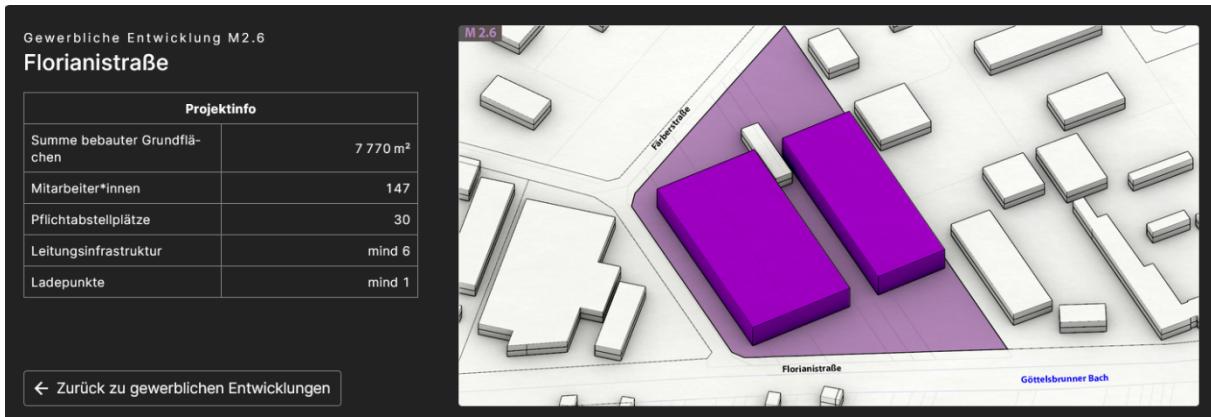
Abbildung 20: Varianten-Auswahlmenü, Screenshot

	Wohnbau- projekte	Gewerbliche Entwicklung	Innenstadt- entwicklung	Bildungs- einrichtungen	Radverkehrs- infrastruktur	Zufahrt Autobahn	Bahnhof Bruck-West
Variante 1	2040 2030	7/7 fertig 8/9 fertig	3/9 fertig 100 % fertig	50 % fertig 100 % fertig	1/2 fertig 2/2 fertig	fertig	
Variante 2	2040 2030	7/7 fertig 9/9 fertig	4/9 fertig 100 % fertig	50 % fertig 100 % fertig	1/2 fertig 2/2 fertig	fertig	fertig
Variante 3	2040 2030						fertig

Abbildung 21: Informationsansicht von Maßnahmenbündel gewerbliche Entwicklung, Screenshot



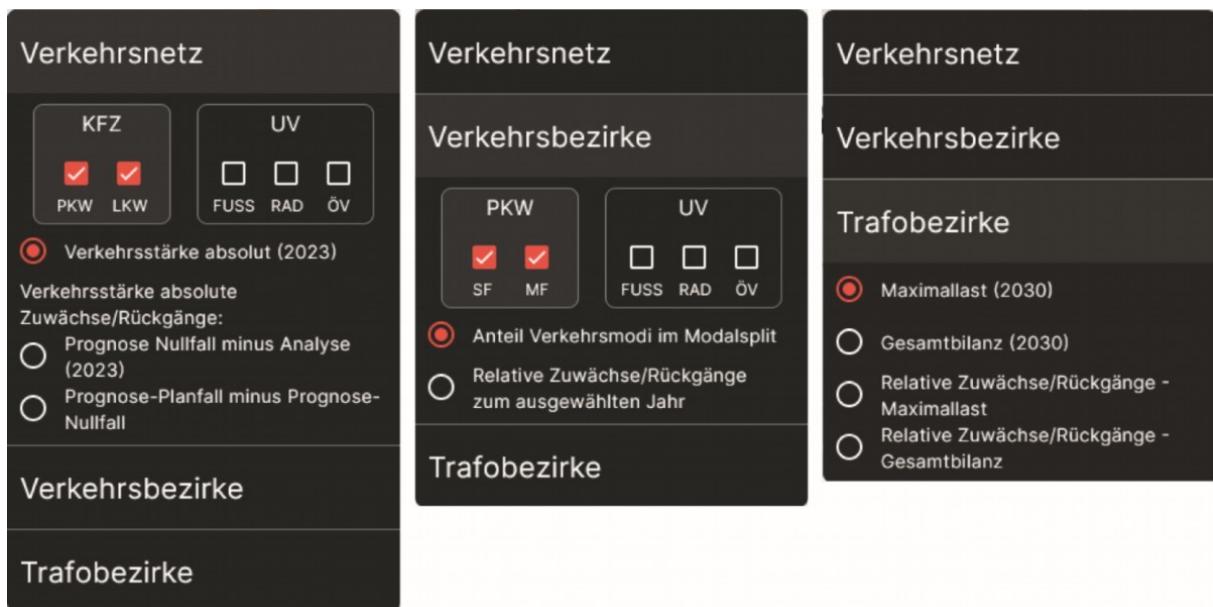
Abbildung 22: Detailansicht Maßnahme gewerbliche Entwicklung Projekt M2.6, Screenshot



Auswahl Visualisierungsmodi

In der Kartenansicht kann zwischen drei verschiedenen Visualisierungsmodi (Verkehrsnetz, Verkehrsbezirke und Trafobezirke) und jeweils unterschiedlichen Ansichten (z.B.: Verkehrsstärke absolut, Anteil Verkehrsmodi im Modalsplit usw.) ausgewählt werden.

Abbildung 23: Visualisierungsmodus-Menüs, Screenshot



Untermenü Visualisierungsmodus Verkehrsnetz

Die erste Spalte in Abbildung 23 zeigt das Visualisierungsmodus-Menü mit dem aktiven Modus Verkehrsnetz. Zum einen kann in diesem Menü die aktive Kategorie (KFZ oder Umweltverbund) durch Anklicken der entsprechenden Schaltflächen, im oberen Teil des Menüs, ausgewählt werden. Ebenfalls ist es möglich die einzelnen Untertypen der Kategorien mit Hilfe der Checkboxen zu inkludieren beziehungsweise zu exkludieren.

Anhand der Radio-Buttons kann die Darstellungsart des Verkehrsnetzes gewählt werden. Dabei kann entweder die Verkehrsstärke absolut für das ausgewählte Jahr (in Abbildung 23 beispielsweise 2023) oder einer der Prognosefälle Nullfall minus Analyse beziehungsweise Planfall minus Prognose-Nullfall dargestellt werden.

Untermenü Visualisierungsmodus Verkehrsbezirke

Auch in diesem Modus kann die gewünschte Kategorie mittels der entsprechenden Schaltfläche (siehe Abbildung 23, zweite Spalte) im oberen Teil des Untermenüs ausgewählt werden.

Ebenfalls nach dem gleichen Prinzip funktionieren die Radio-Buttons für die Auswahl des Darstellungsmodus, wobei hier zwischen der Anzeige der Anteile der ausgewählten Verkehrsmodi im Modalsplit, relativer Zuwächse/Rückgänge zum ausgewählten Jahr oder der Zuwächse/Rückgänge zum Jahr 2023 (dieser Punkt ist für das Jahr 2023 nicht verfügbar) ausgewählt werden kann.

Untermenü Visualisierungsmodus Trafobezirke

Wie in Abbildung 23 (dritte Spalte) zu sehen ist, kann in dem Untermenü für Trafobezirke mit Hilfe von Radio-Buttons zwischen vier Darstellungsarten ausgewählt werden: Maximallast, Gesamtbilanz, relative Zuwächse/Rückgänge der Maximallast und der Gesamtbilanz. Für die ersten beiden Optionen wird jeweils das Jahr, welches aktuell ausgewählt ist, angezeigt.

Interaktive Kartendarstellung

Als zentrales Darstellungsmittel dient die Kartenansicht zur Orientierung und Visualisierung von Datenbankabfragen oder Berechnungsergebnissen, die als Folge der getroffenen Auswahl zustande

kommen. In Abschnitt 5.1.2 Funktionen sind einige Abbildungen enthalten, die exemplarisch die Visualisierungsmöglichkeiten der Kartenansicht darstellen.

Objektinformation der interaktiven Kartenelemente

Neben der räumlichen Betrachtungsmöglichkeit der interaktiven Karte werden in der Web-App auch Statistiken zu den ausgewählten Objekten (Verkehrssegmente, Verkehrsbezirke, Trafobezirke) ausgegeben. Die Kartenansicht der Applikation weist für jeden Visualisierungsmodus Objekte auf, mit denen interagiert werden kann. Durch das Anklicken dieser Kartenelemente werden beispielsweise Daten in der Legende zu dem Objekt angezeigt sowie eine Objektinformations-Ansicht für das ausgewählte Objekt geöffnet.

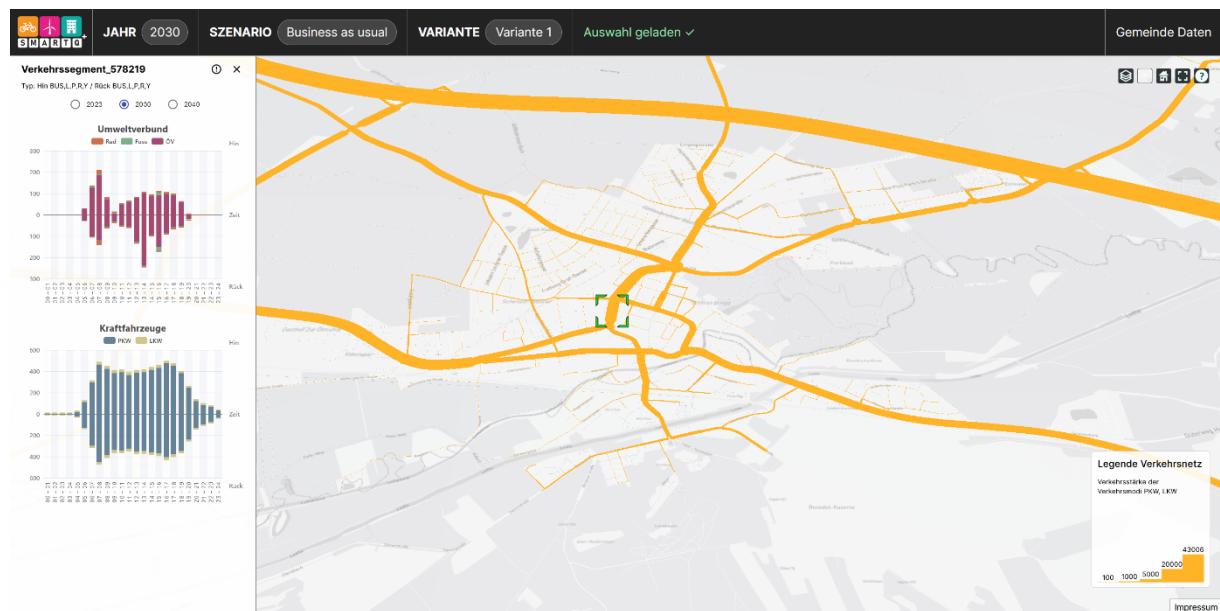
Kontextbezogene Disclaimer

Jede Objektinformations-Ansicht verfügt neben dem Close-Icon über ein Rufzeichen-Icon, welches durch Mouseover Informationen zu den dargestellten Daten, kurz zusammengefasst, anzeigt, sodass Nutzer:innen eine Interpretationshilfe der visualisierten Ergebnisse erhalten.

5.1.2. Funktionen

Visualisierungsmodus Verkehrsnetz

Abbildung 24: Web-App Visualisierungsmodus Verkehrssegmente/Strecken (Ansicht: Verkehrsstärke absolut), Screenshot



Interaktive Karte

Im Modus Verkehrsnetz werden die Verkehrssegmente/Strecken dargestellt, wobei die Breite der Elemente der Verkehrsstärke entspricht – stärker befahrene Straßen werden dadurch breiter dargestellt als jene, mit weniger Verkehrsaufkommen (siehe Abbildung 24). Das Verkehrsnetz kann entweder für die Kategorie KFZ oder Umweltverbund (UV) dargestellt werden.

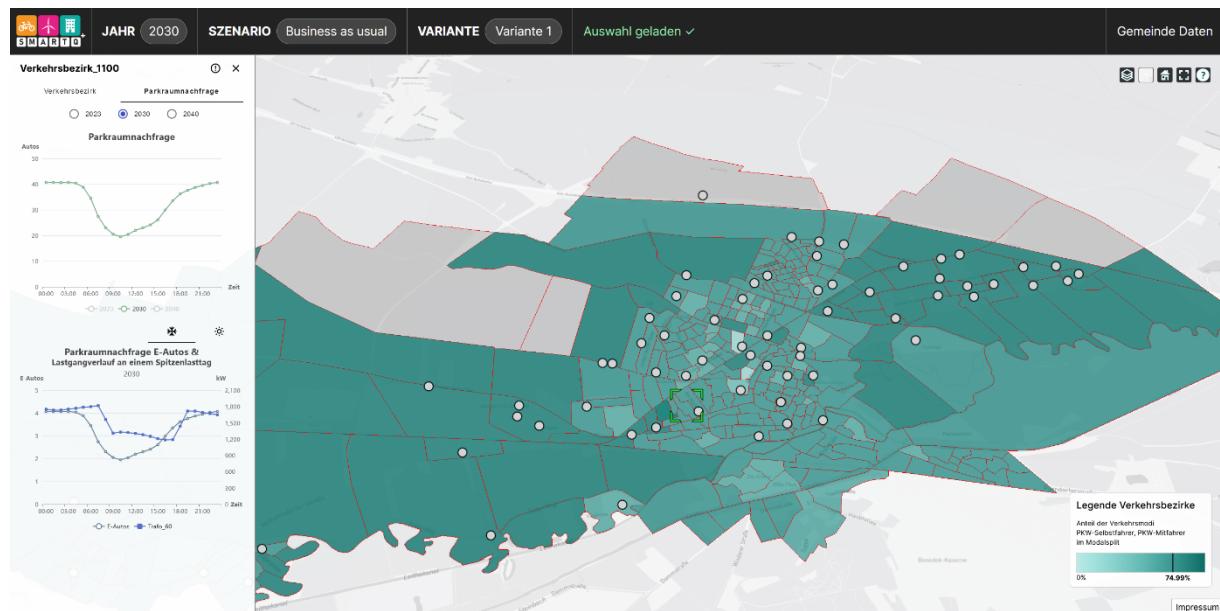
In den Darstellungen der Prognosen werden zusätzlich zur Verkehrsstärke (grau) auch noch die Zuwächse (rot) bzw. Rückgänge (blau) visualisiert.

Interaktive Kartenelemente

Wenn man auf ein Verkehrssegment klickt, erhält man detaillierte Informationen zu dem Objekt. Die Objektinformation-Ansicht enthält zwei Diagramme, je eines für die Kategorien Umweltverbund und Kraftfahrzeug. Die Verkehrsstärke nach Verkehrsmittelanteil wird in Hin- und Rückrichtung über 24h eines durchschnittlichen Verkehrstages im Untersuchungsjahr angezeigt (siehe Abbildung 24).

Visualisierungsmodus Verkehrsbezirke

Abbildung 25: Web-App Visualisierungsmodus Verkehrsbezirke (Ansicht: Anteil Verkehrsmodi im Modalsplit), Screenshot



Interaktive Karte

Im Modus Verkehrsbezirke werden die Verkehrsbezirke und der Anteil der ausgewählten Verkehrsmodi (PKW-Selbstfahrer, PKW-Mitfahrer, Fuß, Rad, ÖV) im Modalsplit dargestellt, wobei der prozentuelle Anteil mit Hilfe eines Gradienten in der Farbe Cyan visualisiert wird (siehe Abbildung 25). Dabei entspricht ein dunklerer Farbton einem höheren Anteil.

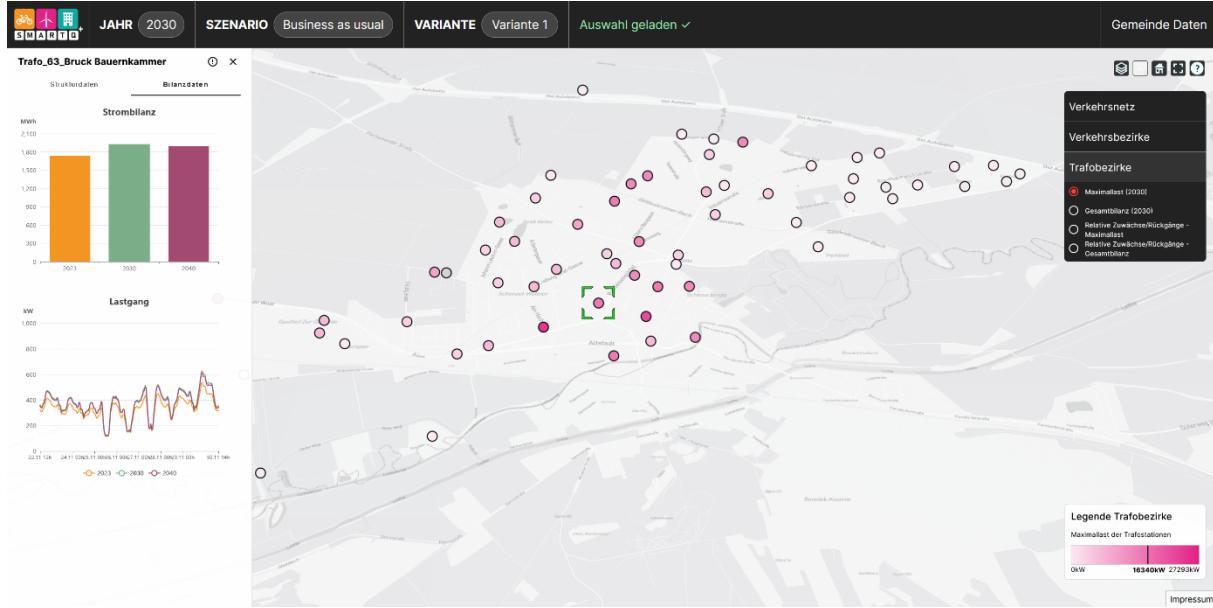
Neben dem Modalsplit können auch die relativen Zuwächse (rot) bzw. Rückgänge (blau) dargestellt werden, welche in einem Rot-Blau Gradient visualisiert werden.

Interaktive Kartenelemente

In der detaillierten Objektinformation zum Verkehrsbezirk gibt es zwei Tabs. Unter *Verkehrsbezirk* wird ein Überblick der Strukturdaten (z.B. Anzahl der Gebäude/ Einwohner/ Arbeitsplätze, Schulplätze usw.) und Anteil der Verkehrsmodi (PKW-Selbstfahrer, PKW-Mitfahrer, Fuß, Rad, ÖV) im wegbezogenen Modalsplit dargestellt. Unter dem zweiten Tab *Parkraumnachfrage* (siehe Abbildung 25) werden zwei Liniengraphen dargestellt: erstens die stundengenaue Parkraumnachfrage im ausgewählten VBZ an einem durchschnittlichen Tag des ausgewählten Prognosejahres und zweitens eine Gegenüberstellung der Parkraumnachfrage E-Autos und Lastgangverlauf an einem Spitzenlastgang jeweils im Winter und Sommer. Die Lastgangverläufe in dem zweiten Diagramm beziehen sich auf alle Trafos, die sich im VBZ befinden.

Visualisierungsmodus Trafobezirke

Abbildung 26: Web-App Visualisierungsmodus Trafobezirke (Ansicht: Maximallast), Screenshot



Interaktive Karte

In diesem Modus werden Trafobezirke visualisiert, indem Trafostationen und deren zugehörige Gebäude dargestellt werden. Für diese Trafobezirke kann die Maximallast und die Gesamtbilanz dargestellt werden, wobei der jeweilige Wert mit Hilfe eines Gradienten in der Farbe Magenta visualisiert wird (siehe Abbildung 26). Je dunkler der Farbton, desto höher ist der Wert, wobei der dunkelste Farbton des Gradienten dem Maximum der berechneten Werte entspricht.

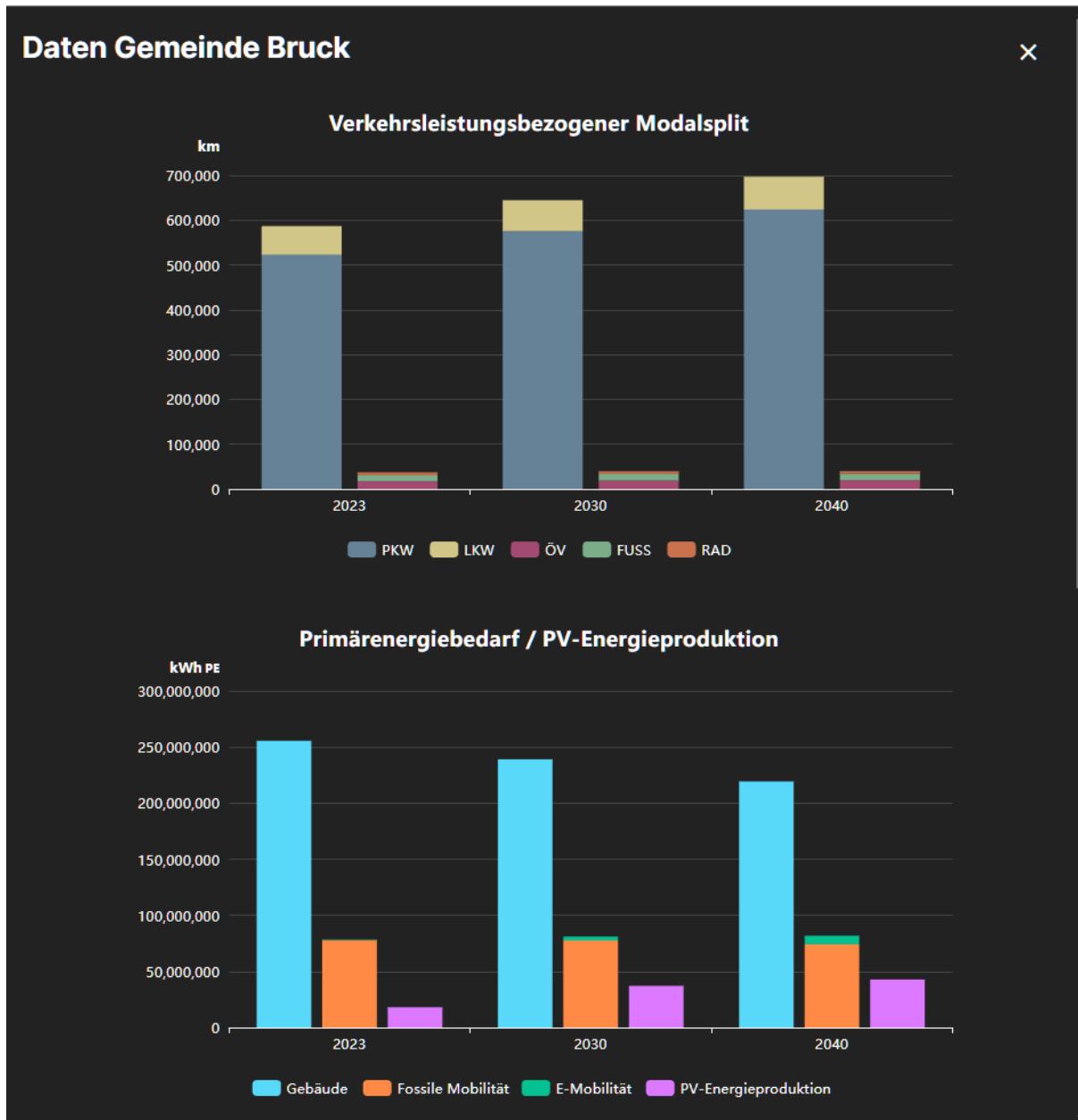
Zusätzliche können auch in diesem Modus für beide Darstellungen die relativen Zuwächse (rot) bzw. Rückgänge (blau) dargestellt werden, welche in einem Rot-Blau Gradient visualisiert werden.

Interaktive Kartenelemente

In der detaillierten Objektinformation zum Trafobezirk gibt es auch zwei Tabs. Unter *Strukturdaten* sind Infos zu Gebäuden im Trafobezirk erfasst: Anzahl der Gebäude und installierte PV, unterschiedliche Nutzungen (Kategorisierung analog zur Realnutzungskartierung in Wien), die Bauperioden und Heizungssysteme. So können die Verbräuche im Kontext der Siedlung besser verstanden werden. Unter *Bilanzdaten* werden Strombilanz im Jahr als Balkendiagramm und Lastgang der Trafostation als Liniengraph dargestellt. Beide Darstellungen visualisieren eine Gegenüberstellung der Prognosejahre 2023, 2030 und 2040 (siehe Abbildung 26).

Vergleich der Entwicklungsvarianten

Abbildung 27: Gemeindedaten Ansicht (Ansicht: Szenario Business as usual, Variante 1), Screenshot



In der Detailansicht für Gemeindedaten werden vier Balkendiagramme dargestellt, welche (1) den verkehrsleistungsbezogenen Modalsplit, (2) den Primärenergiebedarf (inkl. PV-Energieproduktion), (3) den Strombedarf (inkl. PV-Energieproduktion) und (4) die Treibhausgasemissionen auf Gemeindegrenze visualisieren (siehe Abbildung 27, welche die ersten beiden Diagramme zeigt). Die Daten beziehen sich jeweils auf die aktuelle Auswahl von Szenario und Variante und werden für die drei Jahre 2023, 2030 und 2040 dargestellt.

Das verkehrsleistungsbezogene Modalsplit stellt die Kilometeranzahl für die Verkehrstypen PKW, LKW, Fußgänger, Radfahrer und ÖV dar, wobei diese im Diagramm für jedes Jahr in Stapel für Kraftfahrzeuge und Umweltverbund unterteilt sind. Die Diagramme für den Primärenergiebedarf,

Strombedarf und die Treibhausgasemissionen enthalten pro Jahr jeweils drei gestapelte Balken. Diese sind auf Gebäude, Mobilität (kombiniert aus fossiler und elektrischer Mobilität) sowie der PV-Energieproduktion aufgeschlüsselt. Für den Primärenergiebedarf und Strombedarf werden die kWh angegeben, während die Treibhausgasemissionen in kg dargestellt werden. Durch Auswahl eines Jahres in den Balkendiagrammen für den Primärenergiebedarf und Strombedarf beziehungsweise die Treibhausgasemissionen wird zusätzlich die respektive Gebäudenutzung für das ausgewählte Jahr dargestellt. Tabelle 11 - Tabelle 14 zeigen die Ergebnisse für Bruck an der Leitha für die jeweiligen Szenarien und Varianten, wobei die Einheiten der Ergebnisse in km, MWh und t sind.

Tabelle 11: Verkehrsleistung (in km)

Szenario	Szenario 0: Business as usual			Szenario 1: NÖ Klima Plus			
	Jahr	2023	2030	2040	2023	2030	2040
Variante 1		623 999	684 337	736 806	623 999	684 337	736 806
Variante 2		623 999	688 618	735 411	623 999	688 618	735 411
Variante 3		623 999		715 570	623 999		715 570

Tabelle 12: Primärenergiebedarf (in MWh)

Szenario	Szenario 0: Business as usual			Szenario 1: NÖ Klima Plus			
	Jahr	2023	2030	2040	2023	2030	2040
Variante 1		333 977	320 164	301 149	333 977	283 925	258 523
Variante 2		333 977	324 862	308 169	333 977	288 616	265 528
Variante 3		333 977		300 497	333 977		258 003

Tabelle 13: Strombedarf (in MWh)

Szenario	Szenario 0: Business as usual			Szenario 1: NÖ Klima Plus		
Jahr	2023	2030	2040	2023	2030	2040
Variante 1	55 230	72 211	77 803	55 230	64 695	73 720
Variante 2	55 230	74 581	81 366	55 230	67 068	77 289
Variante 3	55 230		77 772	55 230		73 643

Tabelle 14: Treibhausgasemissionen (in t COeq)

Szenario	Szenario 0: Business as usual			Szenario 1: NÖ Klima Plus		
Jahr	2023	2030	2040	2023	2030	2040
Variante 1	59 612	52 276	47 303	59 612	45 519	38 068
Variante 2	59 612	52 833	48 130	59 612	46 075	38 890
Variante 3	59 612		47 143	59 612		37 955

5.2. Modellanwendung und Szenarien-Evaluierung

5.2.1. Anwendungsmöglichkeiten des Modells

Das Modell/Web-Tool und seine im Kapitel 5.1. erläuterten interaktiven Datenvisualisierungen kann angewendet werden, um einerseits die Veränderungen zum IST-Stand (2023) für die Prognosejahre 2030 und 2040 zu visualisieren und andererseits einen Überblick der Simulationsvarianten für die Gemeinde darzustellen. Zusammengefasst entstehen für die Veränderungen zum IST-Stand bezogen auf unterschiedliche Modellbauteile folgende Anwendungsmöglichkeiten:

Verkehr:

- Simulation der Varianten und Vergleich zum „NULL-Fall“
- Verkehrsstärke nach Verkehrsträger für einzelne Straßenabschnitte
- Wegebezogener Modalsplit (ausgehend) aus Verkehrsbezirken

E-Mobilität:

- Auswirkungen auf Trafostationen
- Parkraumbedarf

Trafos:

- Vorhersage von Energieverbräuchen je Trafostation
- Einschätzung Energieeffizienz nach Trafobezirken
- Auswirkung PV-Anlagen

Evaluierung und Empfehlungen Bruck/Leitha

Um ausführliches Feedback zur Plausibilität von Simulationsergebnissen und der interaktiven Datenvizualisierung zu erhalten, fanden am 21.03. und 20.06.2024 Zwischenpräsentationen und Workshops im Rathaus der Stadtgemeinde Bruck an der Leitha statt. Eine Abschlusspräsentation in der Gemeinde mit den finalen Ergebnissen fand am 03.09.2024 statt (siehe Abbildung 28).

Abbildung 28: Projektpräsentation Stadtgemeinde Bruck an der Leitha



Die Simulationsergebnisse wurden von den Gemeindevorsteher:innen wohlwollend aufgenommen und regten zu inhaltlich intensiven Diskussionen an. Insbesondere kam die übersichtliche und allgemeinverständliche Visualisierung der Ergebnisse in den unterschiedlichen Szenarien gut an. Die

Auswirkungen von Betriebsansiedlungen, Straßenbauprojekten oder Siedlungserweiterungen auf das Strom- und Straßennetz konnten überzeugend dargestellt und kommuniziert werden. Die entwickelte Benutzeroberfläche regte zum Ausprobieren und Vergleichen der vorgegebenen Szenarien an. Der Lerneffekt war für jeden der Anwesenden deutlich zu spüren, weil die Darstellung der Ergebnisse Wert auf Größenordnungen im Kontext von bereits bekannten Entwicklungstrends und Kennzahlen legt. Da die Gemeindevorsteher:innen bei der Festlegung der Szenarien von Projektstart an mitdiskutieren und mitbestimmen konnten, war die inhaltliche Identifikation mit dem Projekt sehr hoch. Eine Aussage des Bauamtsleiters blieb in Erinnerung: „*Mit diesem Planungstool kann die Stadt Bruck jetzt genauere Aussagen zum Auslastungsgrad der Ortstrafos treffen als der Netzbetreiber selbst, was für die zukünftige Entwicklung von Siedlungs- und Gewerbegebieten ein großer Vorteil für uns ist*“.

Natürlich gab es auch Wünsche zur Weiterentwicklung des Tools. So soll in Zukunft etwa die benutzerfreundliche und selbstständige Festlegung neuer Entwicklungsszenarien für die Gemeinde möglich sein. Außerdem sollen die zugrundeliegenden Datensätze einfach zu aktualisieren sein. Idealerweise können sich die Daten über eine Schnittstelle und mit Hilfe von KI selbst aktualisieren. Bestehenden Datenbanken sollen über geeignete Schnittstellen eingebunden werden.

Eine Einbindung der Netz NÖ war im Projektantrag nicht vorgesehen. Trotzdem wurden zu Projektbeginn und erneut auch in der zweiten Projekthälfte Gespräche geführt und die Zwischenergebnisse am 06.08.2024 in einem Zoom-Call präsentiert. Leider wurden aufgrund angeblicher Sicherheitsbedenken keine genauen Werte über den tatsächlichen Zustand der Trafos bekanntgegeben. Allerdings wurde dem Projektteam seitens der Netz-NÖ attestiert, dass die Simulationsergebnisse zum Auslastungsgrad der Trafos sich größtenteils mit ihren Erfahrungswerten decken und auch die getroffenen Annahmen und Ergebnisse aus den Zukunftsszenarien plausibel sind.

5.2.2. Limitationen bei Daten und Darstellung

Verkehrsnachfragemodell

Das Verkehrsmodell ist ein vereinfachtes Abbild der Realität. Verkehrsbezirke stellen die kleinste räumliche (Flächen-)Einheit im Verkehrsnachfragemodell dar, für die die Verkehrsnachfrage berechnet wird. Einwohner- und Strukturmerkmale innerhalb dieser Flächeneinheit werden zusammengefasst. Dies führt dazu, dass eine räumliche Verteilung der Verkehrsströme innerhalb eines Verkehrsbezirkes und damit auch Zellinnenverkehre nicht bzw. nur sehr eingeschränkt abgebildet werden können. Für das Stadtgebiet von Bruck an der Leitha wurde eine sehr kleinräumige Verkehrsstruktur gewählt, um diesen Effekt zu minimieren und so auch belastbare Aussagen zum Rad- und Fußgägerverkehr zu ermöglichen.

Die zugrunde liegenden Strukturdaten liegen teilweise nur für größere räumliche Aggregationsebenen vor und mussten durch plausible Annahmen heruntergebrochen werden.

Da Pkw-Mitfahrer nicht auf das Verkehrsnetz umgelegt werden, ist eine Ermittlung der Verkehrsleistung nur in vereinfachter Form möglich.

Eine weitere allgemeine Einschränkung bei der Aussagefähigkeit der Modellergebnisse ergibt sich aus dem Fehlen von exakt verorteten Zielpotenzialen wie Arbeitsstätten, Freizeiteinrichtungen und Einkaufsgelegenheiten mit dazugehörigen Mengenangaben, wie z. B. m² Verkaufsraumflächen. Für

die Arbeitsstätten konnte hierbei nur auf großräumige aggregierte Daten zurückgegriffen werden, für die restlichen Zielpotenziale mussten eigene Annahmen zur Einrichtung auf Basis von OpenStreetMap getroffen werden.

In Bezug auf die Prognosemodelle liegen speziell für die Maßnahme des Bahnhofes Bruck-West nur wenige Informationen zur späteren Einbindung in das bestehende ÖV-Netz vor. Die getroffenen Annahmen zur zukünftigen Gestaltung des Fahrplans dieses Bahnhofes stützen sich dabei hauptsächlich auf Medienberichte. Es wurde angenommen, dass der Bahnhof nur von S-Bahnen angefahren wird und der bestehende Bahnhof Bruck mit unveränderter Häufigkeit bedient wird.

Gekoppeltes Gebäude- und Energiemodell

Da im Projekt keine konkreten Messdaten bzw. Smartmeter-Daten über die Verbräuche und das Nutzungsverhalten der Gebäudenutzer:innen zur Verfügung stehen, mussten auch hier Abstriche bei der Darstellung konkreter Verbrauchs- und Leistungsdaten von einzelnen Gebäuden gemacht werden. Um die Datenlücken zu schließen, wurde die Verbrauchssimulation nur nachfragebasiert und mit Standardlastkurven gerechnet. Das hängt mit der schlechten Datenlage zur tatsächlichen Gebäudenutzung und den fehlenden Daten des Netzbetreibers zusammen: Dazu mussten Annahmen zur Nutzung (auf Basis von Kennwerten und Standard-Lastgängen) für die einzelnen Gebäude getroffen werden. Ebenso fehlen belastbare Daten zu den eingesetzten Heizsystemen. Dieser Datensatz wird gerade erst flächendeckend erhoben. Die konkrete Nutzung ist abhängig von den Bewohner:innen/Nutzer:innen und hängt in überaus großem Maß vom individuellen Verhalten ab. Eine Hochrechnung erfolgte auf Basis statistischer Werte, die aufgrund der Nutzflächen, Anzahl der Wohneinheiten, Verkaufsflächen, Büro und Lagerflächen, etc. und damit verbundenen Durchschnittswerten (Belagzahl, Familien, Singles, Paare) ermittelt wurden. Dies führt dazu, dass Aussagen auf Gebäudeebene unzulässig sind und auch die Darstellung dieser Werte in der Visualisierung für Bürger:innen und Politik nicht belastbar wäre.

Somit blieb auch hier nur eine Abstrahierung der Darstellung durch *Aggregation der Daten auf Trafobezirk*, um potenzielle Konflikte in der Darstellung und in der Kommunikation zu vermeiden.

Es wurde versucht, Gebäude möglichst realitätsgerecht abzubilden, jedoch ist es jeder Modellierung inhärent, dass sie einen gewissen der Anwendung angepassten Detailgrad aufweist. So ist es der Anwendung der thermischen Simulation von über viertausend Einzelobjekten geschuldet, dass gewisse Einschränkungen in der Genauigkeit des Modells angewendet wurden.

Die Geometrie wurde vereinfacht als eine Extrusion des Gebäudegrundrisses angenommen. Damit einher geht eine Modellierung des Daches als Flachdach. Im Vergleich dazu kann ein Steildach mit unbeheiztem Dachraum insbesondere bei älteren Gebäuden ohne nennenswerte thermische Dämmung einen besseren Schutz gegen Wärmeverluste darstellen. Es kann daher sein, dass aufgrund dieser Vereinfachung die Transmissionsverluste mancher Gebäude überschätzt werden.

Bei den vereinfachten Geometrien werden außerdem Unterkellerungen nicht berücksichtigt. Die Temperatur in einem unbeheizten Keller kann von der Jahresmitteltemperatur von etwa 13°C, mit der das Erdreich zum Zweck der Transmissionsberechnung angenommen wurde, abweichen. Das kann zu Abweichungen bei den Wärmeströmen führen. Darüber hinaus schwankt die Erdreichtemperatur im Jahresverlauf, was auch nicht berücksichtigt wurde.

Für alle Gebäude wurde Stahlbeton mit Wärmedämmverbundsystem als Bauweise angenommen. Die Dämmstärke ist dabei so gewählt, dass sich der passende Transmissionskoeffizient je nach Bauperiode einstellt. Dies führt zwar zu korrekten Transmissionsströmen, wirkt sich jedoch auch auf die thermische Speicherfähigkeit der Konstruktion aus und kann insbesondere bei Gebäuden, die in der Realität als Leichtbau ausgeführt sind, die thermische Trägheit des Gebäudes überschätzen. Das führt insbesondere bei gekühlten Gebäuden dazu, dass in der Simulation die Kühlung zu einer späteren Tageszeit in Betrieb genommen wird, als das in der Realität der Fall wäre, da die angenommene schwere Konstruktion ein rasches Ansteigen der operativen Temperatur untertags verhindert.

Bei der Sonneneinstrahlung wurde keine Verschattung durch andere Gebäude berücksichtigt. Dies wirkt sich auf Solar Gains aus, weshalb diese insbesondere in dicht besiedeltem Gebiet überschätzt werden. Dadurch können Erträge aus Photovoltaik bei flachem Strahlungseinfall (in den Morgen und Abendstunden oder auch im Winter) überschätzt werden. Darüber hinaus wurden keine Erträge aus dem an Oberflächen reflektierten Licht berücksichtigt. Weiters wurde der Einfluss der Dämmstärke vernachlässigt, die zu einer höheren Leibungstiefe von Fenstern und einer damit einhergehenden Verminderung der Solar Gains führt.

In Bezug auf Behaglichkeit wurde zwar ein Temperaturbereich von 22 bis 26°C definiert, jedoch wurde die Luftfeuchte nicht berücksichtigt. Das kann im Sommer zu einer Unterschätzung von Kühlenergiebedarf führen, wenn die zu kühlende Zuluft entfeuchtet werden muss, da sonst eine Überschreitung der maximal zulässigen Luftfeuchte erfolgen würde. Ebenso wird dadurch im Winter eine etwaige Befeuchtung der Luft ausgeklammert, mit der auch ein Energieaufwand verbunden wäre.

Verknüpfung der Modelle

Die Verknüpfung der Modelle in der Visualisierung erfolgt auf Objektebene über die Darstellung im Verkehrsbezirk. Durch die statistische Verteilung der Elektroautos in den Verkehrsbezirken und die Zuordnung der Elektroautos zu konkreten Gebäuden (siehe Abbildung 12) können Ladevorgänge bei der Simulation der Gebäudeverbräuche berücksichtigt werden. Diese Ergebnisse werden auf Trafostation-Ebene aggregiert. Somit können auf Verkehrsbezirksebene lediglich die Anzahl der Elektroautos und die Lastgänge der Trafostationen (aus den Trafobezirken, welche den Verkehrsbezirk überlappen) gegenübergestellt werden. Eine weitere statistische Zuordnung (anhand der enthaltenen Gebäude, bzw. Ladepunkte) ist auf Basis der verfügbaren Daten und der großen Anzahl von bereits getroffenen Annahmen nicht belastbar.

5.3. Erkenntnisse aus Simulationsdaten

5.3.1. Verkehrsnachfragemodell

In den Prognosevarianten 1 und 2 zeigt sich allgemein ein Anstieg der Kfz-Belastung innerhalb von Bruck an der Leitha im Vergleich zum Analysejahr. Als Ursache ist hier hauptsächlich der starke Bevölkerungsanstieg von ca. 20% bis zum Prognosejahr 2040 anzusehen. Gleichzeitig können sich auch Änderungen im Verkehrsverhalten aufgrund demografischer Aspekte ergeben. Deren nähere Betrachtung war jedoch nicht Ziel des Forschungsprojektes.

In Variante 2 (Prognosejahr 2040) zeigt sich im Vergleich zum Prognosenullfall 2040 beim Neubau des Autobahnzubringers im Norden von Bruck an der Leitha nur eine geringe Verkehrsentlastung der Höfleiner Straße. Als Grund hierfür ist die simulierte Ansiedlung des Pharmabetriebes „Böhringer Ingelheim“ in unmittelbarer Nähe der Höfleiner Straße anzusehen, da hierdurch neu entstehende Kfz-Verkehre eine mögliche Entlastung wieder ausgleichen. Wird wie in Variante 3 jedoch lediglich der Autobahnzubringer als einzige Maßnahme im Vergleich zum Prognosenullfall umgesetzt, so sind deutliche Rückgänge des Kfz-Verkehrs auf der Höfleiner und Fischamender Straße zu verzeichnen.

Für die Verbesserung der Verbindungsqualität des Radverkehrs wurde der Ausbau der ungenutzten Bahnstrecke zu einem durchgängig nutzbaren Radweg als zu betrachtende Maßnahme in Variante 2 implementiert. Die Ergebnisse der Prognosemodelle zeigen, dass der Radweg genutzt wird. Aufgrund der teilweise schon bestehenden nutzbaren Wege für den Radverkehr parallel zur neuen Verbindung ist das mögliche Verlagerungspotenzial von Kfz-Wegen zugunsten des Radverkehrs in Folge dieser Maßnahme jedoch nur als gering anzusehen.

Für den neu entstehenden Haltepunkt Bruck-West in Variante 2 zeigt sich nur eine geringe Anzahl an Ein- und Aussteigern. Aufgrund der innenstadtfernen Lage erfolgt eine Nutzung fast ausschließlich durch Beschäftigte, die in unmittelbarer Nähe arbeiten. Aufgrund des frühen Planungsstadions des Haltepunktes und den damit fehlenden Detailinformationen zum Fahrplan und zur zukünftigen Einbindung in das ÖPNV-Netz ist eine Bewertung jedoch nur begrenzt möglich.

Die innovative Ableitung der Parkraumnachfrage aus der Verkehrsmodellierung zeigt plausible Ergebnisse, die für verschiedene Gebietstypen (Gewerbegebiet, Einfamilienhausgebiet, Innenstadt) überprüft wurden.

Der wegebezogene Modal Split, bezogen auf die ein- bzw. ausgehenden Wege je Verkehrsbezirke, zeigt durchweg plausible Werte. Die niedrigsten Pkw-Selbstfahrer-Anteile ergeben sich erwartungsgemäß im Bereich der Schulen. Die ÖV-Anteile sind durchweg relativ gering. Erwartungsgemäß sind sie im Umfeld guter ÖV-Angebote deutlich höher als in peripheren Bereichen ohne ÖV-Anschluss.

5.3.2. Gekoppeltes Gebäude- und Energiemodell

In diesem Abschnitt werden Verbrauch und Erzeugung elektrischer Energie auf Trafobezirksebene diskutiert. Besonderer Fokus wird auf Steigerungsraten gelegt, die beim elektrischen Energieverbrauch in den verschiedenen Szenarien zu erwarten sind. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Angaben in den Abschnitten Struktur und Bilanzdaten der Visualisierungsoberfläche als „Anzahl betreffender Gebäude in % der Gesamtzahl der Gebäude“ zu verstehen sind. Nachfolgend werden teilweise Aussagen in % des umbauten Volumens gemacht. Daher kann es hier zu vermeintlichen Diskrepanzen kommen. Tatsächlich beziehen sich die Angaben auf dasselbe Datenmaterial.

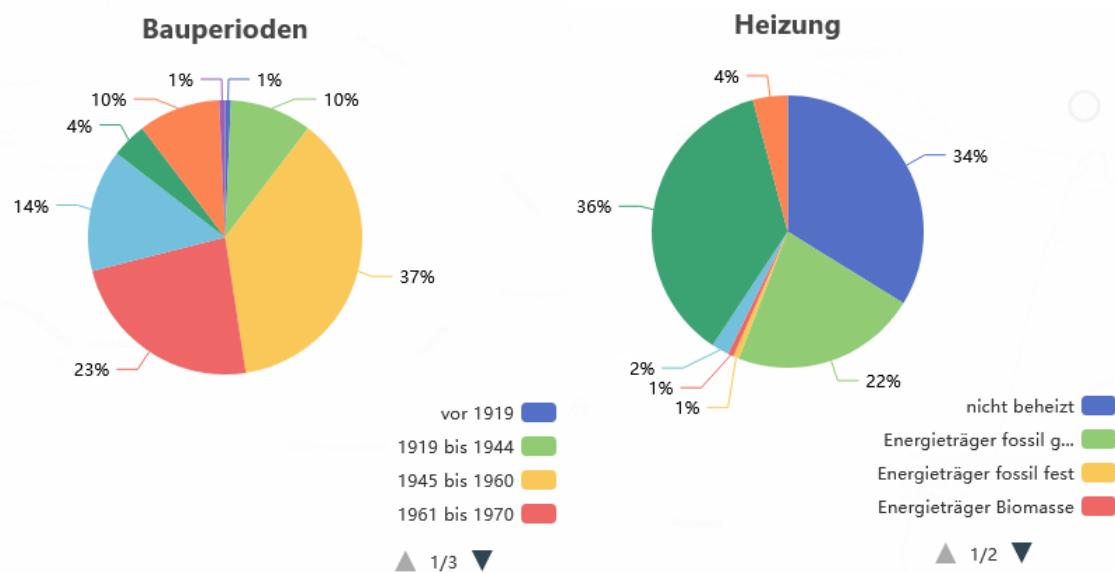
Strombedarf aufgrund von Umstellung auf Wärmepumpe

Die Umstellung von fossilen Energieträgern für Heizung und Warmwasser auf Wärmepumpe führt zu signifikanter Erhöhung des Stromverbrauchs. Dieses Phänomen ist prägend für einige Trafobezirke.

Insbesondere im Trafobezirk 17 (Bruck Fischamenderstraße) ergeben sich dadurch die höchsten Steigerungsraten im Stromverbrauch (abgesehen von neuen Stadtentwicklungsgebieten siehe weiter

unten). Dies erklärt sich aus der Kombination von hohem Anteil an Öl- und Gasheizungen kombiniert mit altem Baubestand (siehe Abbildung 29). Ein Anteil von dem umbauten Volumen wird hier im Jahr 2023 zu 54 % mit Gas und zu 31 % mit Öl geheizt. Dieser hohe Anteil von fossilen Heizsystemen führt zu großem Umstellungspotenzial auf Wärmepumpe, welche zur Steigerung des Verbrauchs an elektrischer Energie führt. Weiters wurden 91 % des umbauten Volumens bis 1980 errichtet, was einen hohen Heizenergiebedarf aufgrund der mangelhaften Qualität der thermischen Gebäudehülle erwarten lässt (Heidenthaler et al., 2022).

Abbildung 29: Strukturdaten Trafobezirk Fischamenderstraße – Bauperioden (links) Heizungssysteme (rechts)



Ein weiterer erschwerender Faktor in diesem Trafobezirk ist, dass ein erheblicher Teil der Gebäude Einfamilienhäuser sind, die aufgrund ihres ungünstigen Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen einen vergleichsweise hohen spezifischen Heizenergiebedarf aufweisen (siehe Abbildung 30).

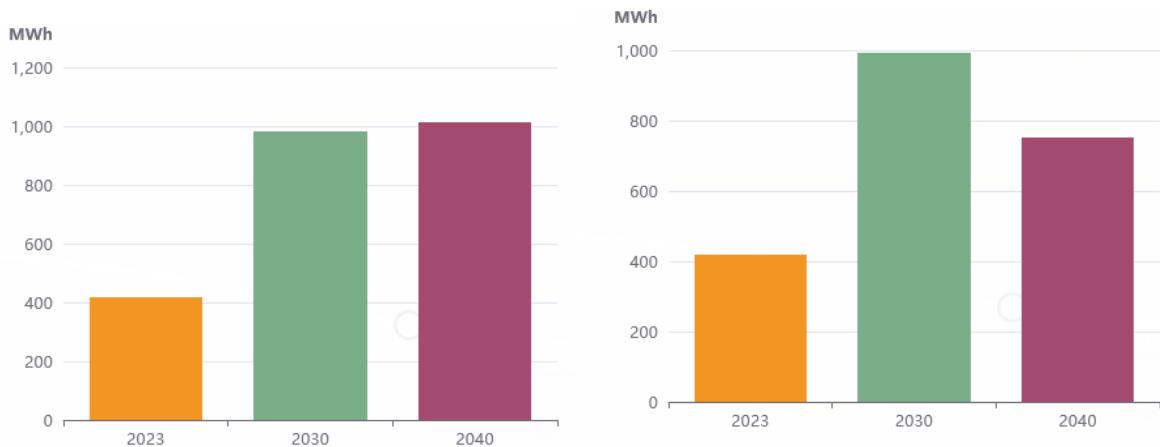
Abbildung 30: Trafobezirk Fischamenderstraße – Kartenansicht



Die erwähnten Einflussfaktoren führen in den verschiedenen Szenarien zu starken Steigerungen des Energieverbrauchs. So ist, wie in Abbildung 31 zu sehen, im Szenario „Business as Usual“ der Energieverbrauch 2030 ca. 2,5-mal so hoch wie 2023. Zwischen 2030 und 2040 ist keine weitere

signifikante Steigerung zu verzeichnen. Es kommt in diesem Zeitraum zwar zu weiteren Umstellungen von Gasheizungen zu Wärmepumpenheizungen, jedoch sind die Einsparungen infolge von Gebäudesanierungen ausreichend, um die entsprechende Steigerung des Stromverbrauchs auszugleichen. Im Szenario NÖ Klima Plus ist eine ähnliche Erhöhung zu erkennen, jedoch führt die höhere Sanierungsrate zu einer Reduktion des Stromverbrauchs im Zeitraum 2030 bis 2040. Ein Teil dieser Reduktion ist allerdings auch auf den stärkeren Ausbau von Photovoltaik in diesem Szenario zurückzuführen.

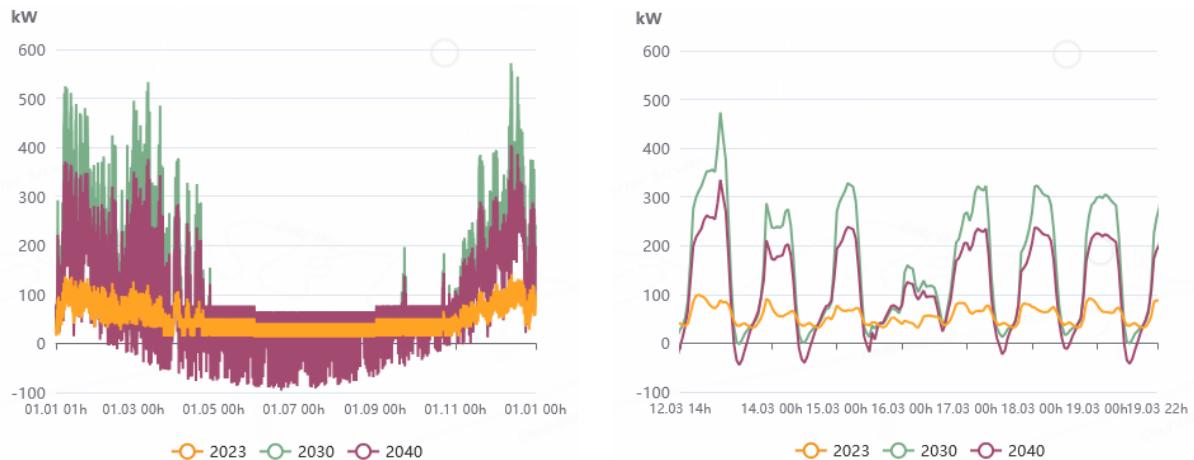
Abbildung 31: Trafobezirk Fischamenderstraße – Szenario Business as Usual (links) Szenario NÖ Klima Plus (rechts)



Es mag widersinnig erscheinen, dass die Sanierung von Gebäuden im Zeitraum 2023-2030 in keinem der Szenarios zu einer Eindämmung der Steigerung oder gar einer Senkung des Stromverbrauchs führt, dies aber teilweise im Zeitraum 2030-2040 zu beobachten ist. Dies liegt daran, dass die Gebäude im Trafobezirk Fischamenderstraße im Jahr 2023 nicht mit elektrischer Energie heizen. Daher spart die Sanierung keinen Strom ein. Im Jahr 2030 sind jedoch bereits eine nennenswerte Anzahl von Gebäuden mit Wärmepumpen ausgestattet, wodurch eine Gebäudesanierung hier zu Einsparungen führt.

Die Auswirkung von Wärmepumpen wird auch bei der Betrachtung des Lastgangs (Abbildung 32) deutlich. Das kalte Wetter im Winter führt hier zu hohen Verbrauchszahlen.

Abbildung 32: Trafobezirk Fischamenderstraße Lastgang im Szenario NÖ Klima Plus – Jahreslastgang (links) Zoom-In zu Mitte März (rechts).



Darüber hinaus ist die Wirkung von Photovoltaik zu erkennen. Die annähernd 180 kWp, die im Trafobezirk im Szenario NÖ Klima Plus 2040 installiert sind, führen zu einem regelmäßigen Stromüberschuss im Sommer (erkennbar durch negative Werte im Lastgang).

Der Trafobezirk Fischamenderstraße weist die höchste Steigerung des elektrischen Energieverbrauchs auf. Er steht damit exemplarisch für eine Gruppe von Trafobezirken, bei denen die genannten Phänomene (Umstellung von fossil auf Wärmepumpe, Thematik um Baubestand und Sanierung) zu beobachten sind. Andere Trafobezirke, die diesbezüglich eine ähnliche Charakteristik zeigen sind nachfolgend beispielhaft aufgelistet:

- Trafobezirk 16 - Teichgasse. Steigerungsraten des jährlichen Stromverbrauchs zwischen 50 % und 97 % je nach Szenario. Die geringeren Steigerungsraten im Vergleich zu Trafobezirk 17 sind auf den geringeren Anteil an altem Baubestand zurückzuführen.
- Trafobezirk 21 - Sturmsiedlung. Steigerungsraten zwischen 48 % und 100 % je nach Szenario. In absoluten Zahlen eine höhere Steigerung als Trafobezirk 17, die größere Anzahl von elektrischen Direktheizern führt jedoch zu einem höheren Verbrauch 2023, wodurch die Steigerung prozentuell weniger dramatisch erscheint.
- Trafobezirk 11 - Kralgasse. Steigerungsraten zwischen 85 % und 100 % je nach Szenario. In diesem Bezirk ist der Baubestand zwar etwas neuer, aber dafür ist der Anteil an fossilen Energieträgern beim Heizen besonders hoch, was zusätzliches Umstellungspotenzial für Wärmepumpen mit sich bringt.

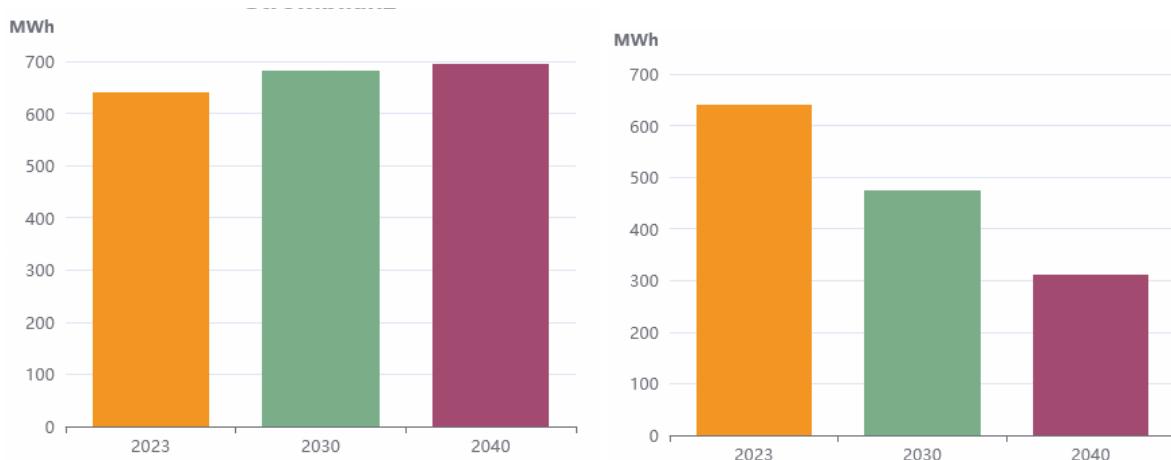
Verbrauchsreduktion durch Umrüstung bei elektrischen Direktheizungen

Elektrische Direktheizungen (Stromwiderstandsheizungen) sind im Vergleich zu Wärmepumpen äußerst ineffizient. Wie in Tabelle 1 dargestellt, wird antizipiert, dass bis 2030 im Szenario NÖ Klima Plus alle elektrischen Direktheizungen auf Wärmepumpen umgerüstet werden. Im Szenario Business as Usual wird davon ausgegangen, dass Direktheizungen weiterbetrieben werden, sodass die Auswirkung dieser Maßnahme isoliert betrachtet werden kann.

Ein Trafobezirk, bei dem dies in starker Ausprägung beobachtet werden kann, ist der Bezirk 15 (Siedlung Teichgasse). Hier ist der Anteil von Direktheizern mit ca. 41 % ausgesprochen hoch. Noch höher ist der Anteil in Bezirken, die von industrieller Nutzung geprägt sind. In diesen ist jedoch der

Verbrauch für Heizenergie meist nicht maßgeblich für den Gesamtverbrauch. Vergleicht man in Trafobezirk 15 die Entwicklung des Energieverbrauchs zwischen den Szenarien, so wird deutlich, dass im Szenario NÖ Klima Plus, wo eine Umrüstung aller Direktheizer bis 2030 vorgesehen wird, eine deutliche Einsparung erzielt werden kann (siehe Abbildung 33).

Abbildung 33: Trafobezirk 15 (Siedlung Teichgasse). Elektrische Energiebilanz Business as Usual (links) und NÖ Klima Plus (rechts)



Es ist allerdings anzumerken, dass ein Teil dieser Einsparung auch auf den verstärkten Ausbau von Photovoltaik im Szenario NÖ Klima Plus zurückzuführen ist. Eine ähnliche Charakteristik weisen unter anderem die Trafobezirke 56 (Bruck Kirchengasse), 60 (Bruck Alte Wienerstraße) und 63 (Bruck Bauernkammer) auf.

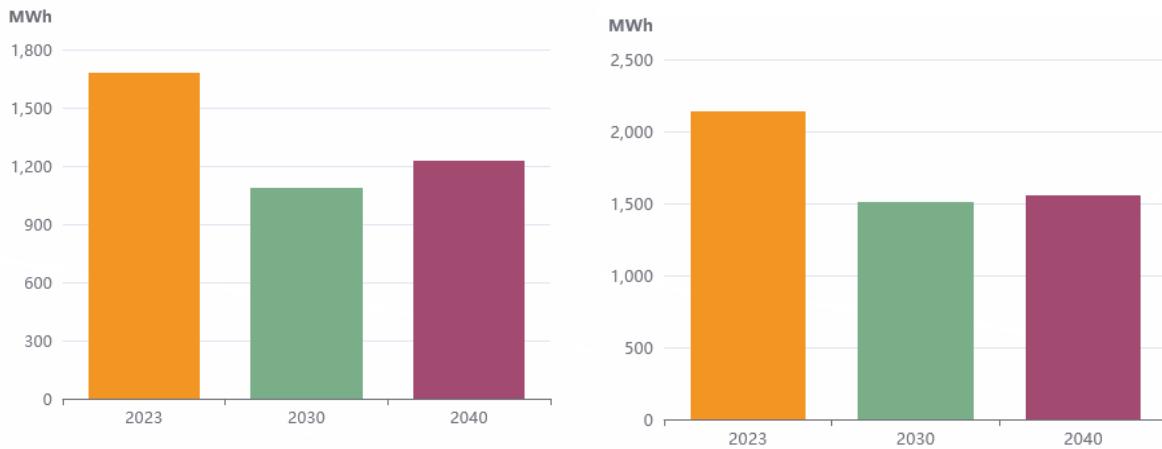
Verbrauch bei industriedominanten Trafobezirken

Einige der verbrauchsstärksten Trafobezirke sind von Industrie dominiert. Hier zeichnen sich keine einheitlichen Tendenzen ab, wie die nachfolgenden Beispiele verdeutlichen.

So zeigen beispielsweise Trafobezirk 6 (Bruck Ölmühle) und 54 (Bruck Schule) eine Strombilanz, bei der eine anfängliche Reduktion des Verbrauchs im Zeitraum 2023 bis 2030 zu verzeichnen ist, die sich allerdings nicht im Zeitraum 2030 bis 2040 fortsetzt. Diese Reduktion ist vor allem auf einen starken Ausbau von Photovoltaik zurückzuführen (siehe Abbildung 34).

Bei Trafobezirk 9 (Bruck Saatbau) und 26 (Bruck Alter Hainburgerweg) zeigt sich im Szenario NÖ Klima Plus eine signifikante Reduktion des Strombedarfs, der einerseits auf Umrüster von Direktheizung auf Wärmepumpe und andererseits auf starken Ausbau von Photovoltaik zurückzuführen ist. Im Szenario Business as Usual hingegen bleibt der Stromverbrauch weitgehend konstant.

Abbildung 34: links – Trafobezirk 6 (Bruck Ölmühle); rechts – Trafobezirk 54 (Bruck Schule) im Szenario NÖ Klima Plus



Bei Trafobezirk 9 (Bruck Saatbau) kommt es im Szenario Business as Usual zu einem gleichbleibenden Energieverbrauch. Im Szenario NÖ Klima Plus hingegen kommt es zu einer massiven Reduktion infolge der Umrüstung von Strom Direktheizungen und dem Photovoltaik Ausbau.

Bei Trafobezirk 44 (Bruck Weindel) hingegen kommt es zu einer starken Erhöhung des Energieverbrauchs in beiden Szenarien infolge der Umstellung von fossilen Heizsystemen. Ein nennenswerter Photovoltaikausbau ist hier nicht zu verzeichnen, da 2023 bereits 1,3 MWp installiert sind.

Diese Beispiele zeigen, dass aufgrund der individuellen Situationen bei industriedominierten Trafobezirken Augenmaß gefordert ist und keine einfachen Rückschlüsse möglich sind.

Verbrauchssteigerungen aufgrund der Stadtentwicklungsprojekte

In den vorhergehenden Abschnitten wurden Trafos ausgeklammert, welche die Gebiete für Stadtentwicklungsprojekte erschließen und im Jahr 2023 kaum Verbraucher haben. Bei diesen Trafobezirken kommt es im Zuge der Errichtung der neuen Verbraucher daher zu einer Vervielfachung des Energiebedarfs. Es handelt sich dabei um folgende Bezirke:

- Trafobezirk 19 (Bruck Göttelsbrunnerbach): Verbrauchssteigerung von über 4000 % bis 2030. Anteil von neuen Bauprojekten (2030/2040) in Prozent des umbauten Volumens: 94 %.
- Trafobezirk 36 (Bruck ECO Plus McDonalds): Steigerungen von 490 % bis 2030 und 850 % bis 2040. Anteil von neuen Bauprojekten (2030/2040) in Prozent des umbauten Volumens: 44 % bis 2030 bzw. 88 % bis 2040.
- Trafobezirk 1 (Bruck Budapesterstraße): Steigerungen zwischen 490 % und 600 % zu erwarten. Anteil von neuen Bauprojekten (2030/2040) in Prozent des umbauten Volumens: 80 % 2030 bzw. 88 % 2040.
- Trafobezirk 30 (Bruck Tschibo): Steigerungen zwischen 0 % und 480 %. Hier wirkt sich wesentlich aus, ob ein bestimmtes Industrieentwicklungsprojekt stattfinden wird oder nicht.

5.3.3. Kumulierten Gemeindedaten

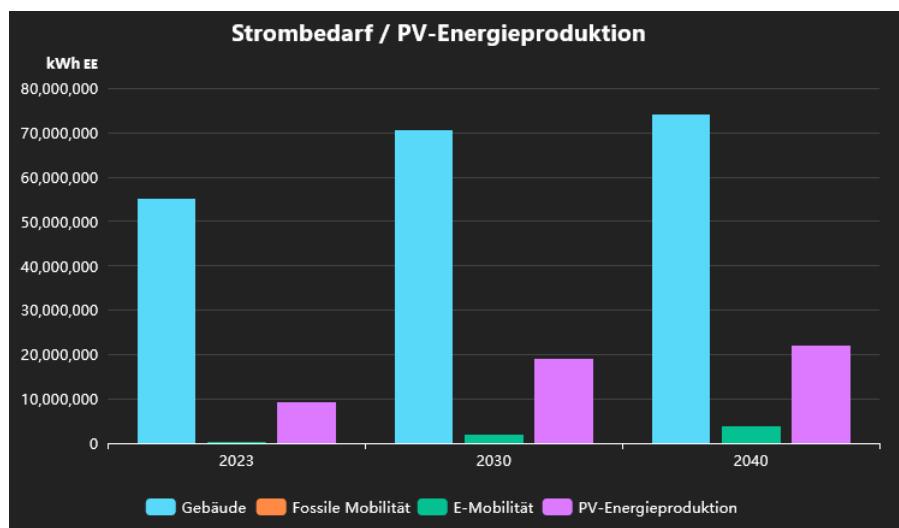
Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, die für die Gesamtgemeinde relevant sind. Dabei wird zwischen den beiden untersuchten Szenarien unterschieden.

Elektrischer Energiebedarf und Produktion

Für den elektrischen Energiebedarf und die Produktion wird auf Gemeindeebene der Gesamtbedarf an elektrischer Energie dargestellt, wobei zwischen den Kategorien Gebäude, Photovoltaik, fossiler- und elektrischer Mobilität unterschieden wird.

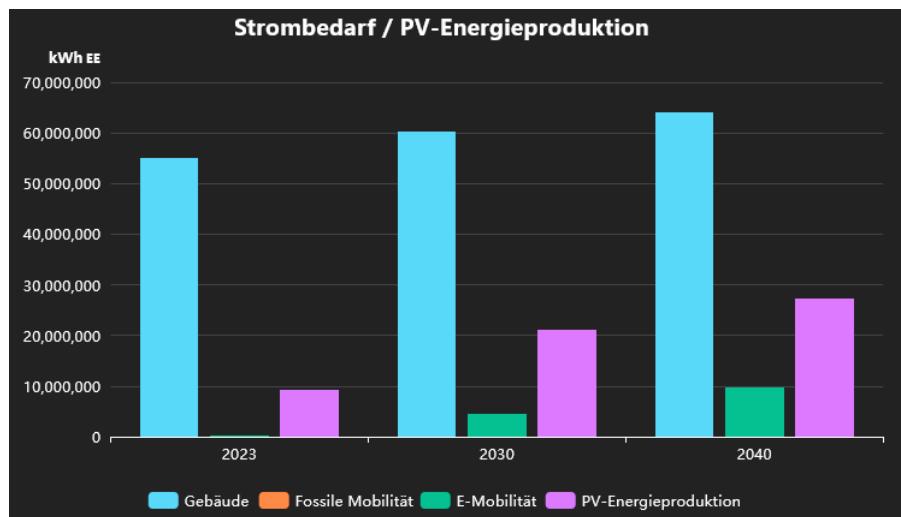
In Abbildung 35 sind die Ergebnisse für das Szenario „Business as Usual“ dargestellt. Es ist erkennbar, dass Gebäude gefolgt von Photovoltaik den größten Anteil haben, während Elektromobilität eine untergeordnete Rolle spielt. In diesem Diagramm ist auch die fossile Mobilität angeführt, obwohl sie keinen Beitrag leistet. Dies dient dazu, die Analogie zu den anderen Diagrammen der Gemeindesicht zu den Themen Primärenergie und Treibhausgasemissionen zu betonen, wo fossile Mobilität naturgemäß eine signifikante Rolle spielt.

Abbildung 35: Strombedarf und -produktion im Szenario Business as Usual



Betrachtet man in Abbildung 36 das ambitioniertere Szenario NÖ Klima Plus, so sind zwar Photovoltaik und Elektromobilität bedeutsamer im Vergleich zum Szenario Business as Usual, jedoch ändern sich die qualitativen Aussagen nicht. Allerdings ist zu beobachten, dass die Steigerung des Stromverbrauchs von Gebäuden (welche nun aufgrund der höheren Sanierungsrate reduziert ist) sich in der gleichen Größenordnung befindet, wie der Bedarf für Elektromobilität.

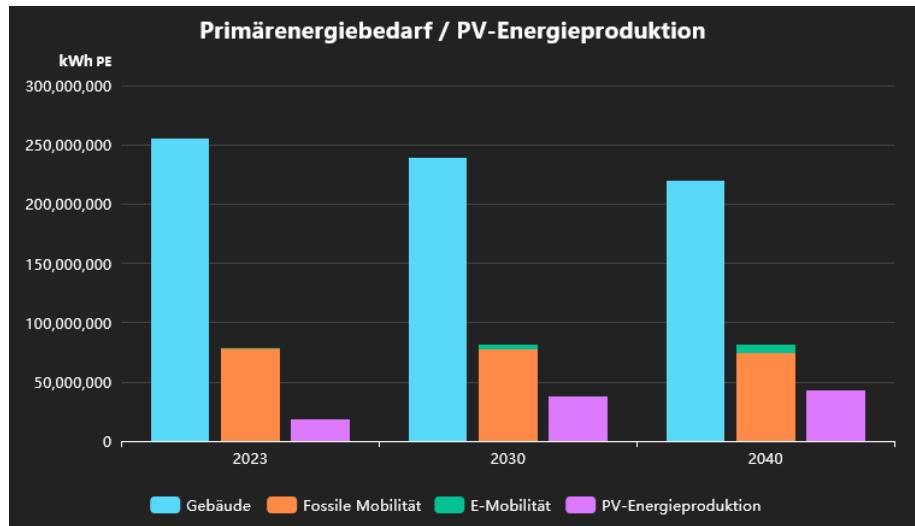
Abbildung 36: Strombedarf und -produktion im Szenario NÖ Klima Plus



Primärenergiebedarf und -produktion

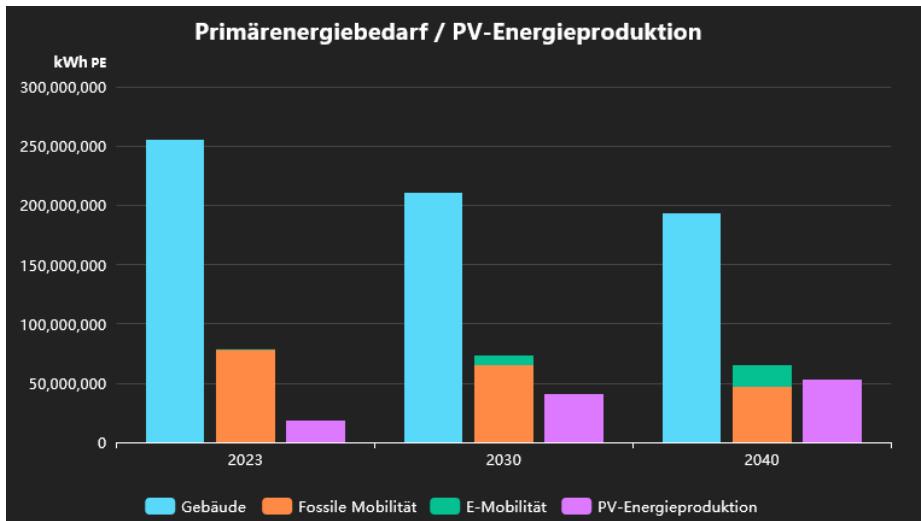
Das Diagramm zu Primärenergiebedarf und -produktion stellt alle Energieträger dar. Diese werden über Konversionsfaktoren (siehe OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2007)) zu Primärenergie umgerechnet und dadurch vergleichbar gemacht. Das heißt, dass auch der Treibstoffverbrauch von fossiler Mobilität und der Verbrauch von Gasheizungen erfasst wird (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38).

Abbildung 37: Primärenergiebedarf im Szenario Business as Usual



Während der elektrische Energiebedarf von Gebäuden in beiden Szenarien steigt, zeigen Abbildung 37 und Abbildung 38, dass der Primärenergiebedarf in beiden Szenarien sinkt. Im ambitionierteren Szenario NÖ Klima Plus sinkt er dabei signifikant stärker. Darüber hinaus erlaubt diese Darstellung den energetischen Vergleich zwischen fossiler und elektrischer Mobilität und zeigt den klaren Rückgang bei der fossilen Mobilität im ambitionierten Szenario (Abbildung 38).

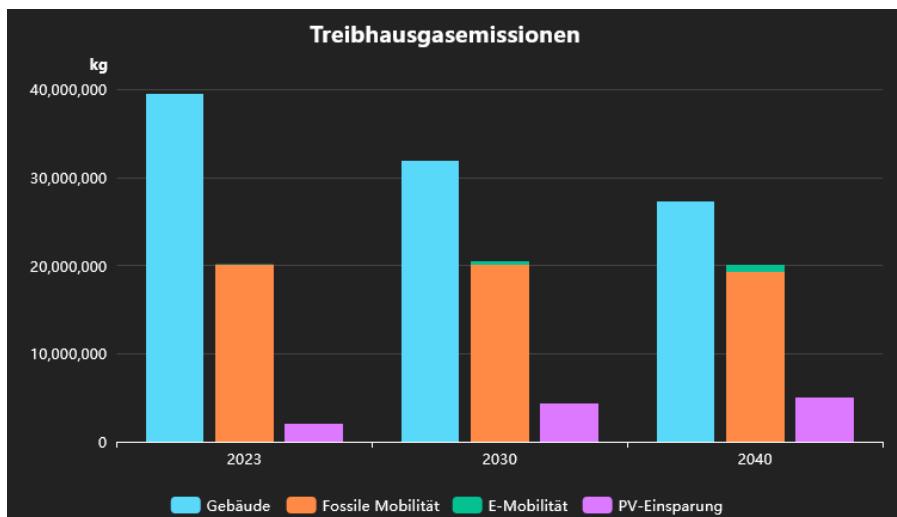
Abbildung 38: Primärenergiebedarf im Szenario NÖ Klima Plus



Treibhausgasemissionen

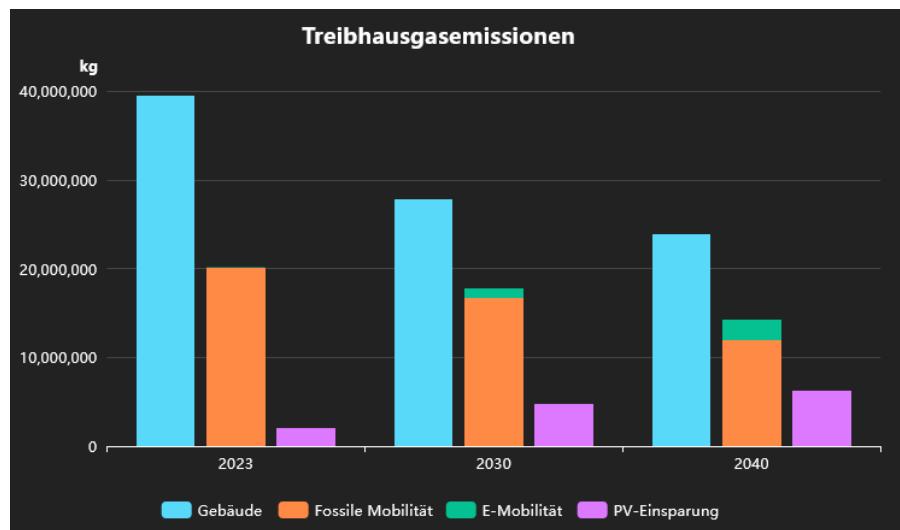
Ähnlich wie beim Primärenergiebedarf kann jedem Energieträger über Konversionsfaktoren ein Ausmaß an Treibhausgasemissionen in Kilogramm CO₂-Äquivalent zugeordnet werden (siehe OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2007)). Es zeigen sich bei beiden Szenarien starke Reduktionen der Treibhausgasemissionen (siehe Abbildung 39 und Abbildung 40).

Abbildung 39: Treibhausgasemissionen im Szenario Business as Usual



Die Angabe zur Photovoltaik ist in diesen Diagrammen zu lesen als eingesparte Treibhausgasemissionen infolge von klimafreundlicher Stromproduktion. Das heißt, hier wird eine produzierte Kilowattstunde so gerechnet, als würde sie ansonsten aus dem Netz bezogen. Es wird davon ausgegangen, dass nicht im Ort genutzte Energie ins Netz nutzbringend eingespeist wird.

Abbildung 40: Treibhausgasemissionen im Szenario NÖ Klima Plus



5.4. SmartQ+ Projekt im „Stadt der Zukunft“ Programm

Programmziele (nach Ausschreibungsleitfaden 9. Ausschreibung)		The logo consists of three square icons arranged horizontally: an orange bicycle icon, a pink wind turbine icon, and a teal building icon. Below the icons, the word "SMARTQ+" is written in a bold, sans-serif font, with each letter in its own separate box. A small plus sign is located at the end of the word.
<p>Ziel 1: Beitrag zur Entwicklung klimaneutraler, resilenter Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität</p>		SmartQ+ bereitet die Grundlage für die Simulation der Wechselwirkungen von Siedlungsstrukturen, Verkehrsnachfrage und Energieversorgung und Gesamtverbrauch. Es stellt damit einen wesentlichen Schritt in Richtung Sektorenkopplung von Verkehr und Siedlung dar. Die behandelten planerischen Fragestellungen wurden im engen Austausch mit lokalen und regionalen Stakeholdern erarbeitet.
<p>Ziel 2: Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz</p>		SmartQ+ hilft bei der Identifizierung und Gestaltung von Optimierungen (nicht nur auf Gebäude-, sondern auch) auf Netz- und Quartiersebene. Damit können die Realisierung klimaneutraler Quartiere in frühen Planungsphasen, aber auch gezielte Verbesserungen in bestehenden Siedlungsstrukturen erprobt werden. Für die Energieplanung klimaneutraler Quartiere & Kommunen werden vice versa Erkenntnisse zu spezifischen Fragestellungen über die Wirksamkeit von Veränderungen der Siedlungsstruktur (Nutzungsmischung, Mobilität, ...) hinsichtlich der Energiebilanz von Quartieren und szenarienbasierter Gegenüberstellung von komplexen Wirkungszusammenhängen geliefert.
<p>Ziel3: Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet intelligenter Energiesolutions für Gebäude und Städte</p>		SmartQ+ liefert Methoden und Lösungen zur Verknüpfung domänenspezifischer Modelle für kleinräumige Prognosen, welche für die strategische Planung durch Raumplaner*innen, aber auch für Energieplaner*innen von klimaneutralen Quartieren und Kommunen hilfreich sind. Diese bilden Grundlagen für die Realisierung integrierter Energiekonzepte in Bestand, Neubau und auf Quartiers-Ebene auf dem Weg zu klimaneutralen Städten.

6 Schlussfolgerungen

6.1. Erkenntnisse des Projektteams

Es wurde gezeigt, dass das Visualisierungstool geeignet ist, relevante Daten sowohl überblicksartig auf Gemeindeebene als auch mit feinerer Granularität auf Trafo- und Verkehrsbezirksebene darzustellen. Es können dadurch die beiden formulierten Szenarien verglichen werden, was Schlussfolgerungen über die darin enthaltenen Maßnahmen zulässt. Auf diese Art und Weise können unter anderem folgende Erkenntnisse gewonnen werden, welche sich in Bezug auf Klimaziele mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf vergleichbare Gemeinden übertragen lassen.

Mobilität und Verkehr

Eine Herausforderung stellte die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes dar. Durch die Nähe zu Wien und Bratislava wäre eine Einbeziehung der beiden Städte im Bereich der Mobilität zwar sinnvoll, im Hinblick auf die Projektressourcen aber nicht praktikabel (Aufwand Modellerstellung, Rechenzeit etc.). Eine Beschränkung auf die Stadt Bruck an der Leitha wäre inhaltlich nicht sinnvoll gewesen, da der Anteil des Binnenverkehrs am Gesamtverkehr äußerst gering gewesen wäre. Da der Anteil der überregionalen Verkehre (die aus dem überregionalen Modell statisch in das Verkehrsmodell Bruck eingebunden sind) zu groß wäre, wäre keine ausreichende Modellsensitivität erreichbar gewesen. Aus diesem Grund wurde ein praktikabler Kompromiss bei der Abgrenzung des Untersuchungsgebietes entwickelt, so dass neben der Stadt Bruck eine ganze Reihe angrenzender Gemeinden Bestandteil des Untersuchungsgebietes sind (siehe Abschnitt 4.3.1).

Beim Aufbau des Verkehrsmodells ergaben sich folgende Erkenntnisse, die sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf vergleichbare Städte übertragen lassen:

- Die Verfügbarkeit bewohnerbezogener Informationen ist gut.
- Eine räumliche Verortung der Beschäftigtendaten ist zwar gegeben, erschwerend ist jedoch die Tatsache, dass eine genaue Branchenzuordnung fehlt.
- Besonders lückenhaft war die Verfügbarkeit von Informationen zu Handelsflächen, die jedoch aufwendig einzeln recherchiert werden konnten (Abschätzung der Fläche aus Luftbildern usw.). Dies betrifft insbesondere kleine Handelseinrichtungen.
- Erwartungsgemäß schwierig war eine Quantifizierung von Zielpotenzialen für Freizeitaktivitäten, für die Annahmen entwickelt werden mussten.

Die gewählte, sehr kleinräumige Bezirksstruktur ermöglichte eine realitätsnahe Abbildung des Rad- und Fußverkehrs. Bewährt hat sich (trotz der höheren Rechenzeit) die feine zeitliche Granularität der Modellierung. Diese ermöglichte zudem eine innovative Ableitung der Parkraumnachfrage aus den Ergebnissen der Verkehrsnachfrageberechnung in Überlagerung mit dem räumlich verorteten Pkw-Bestand.

Energie und Gebäude

Bei Betrachtung der Gesamtgemeinde ist zu beobachten, dass sich der elektrische Energieverbrauch in beiden Szenarien erhöht, was vor allem auf die Umstellung auf Wärmepumpen zurückzuführen ist. Der bislang nicht nennenswerte Verbrauchsposten infolge von Elektromobilität wird im Zeitraum bis 2040 unter den gegebenen Annahmen zu einer relevanten Größe werden.

Trotz dieses Zuwachses an Stromverbrauch zeigt sich sowohl bei der Betrachtung von Primärenergie als auch Treibhausgasemissionen ein signifikanter Rückgang in beiden Szenarien.

Im Bereich Primärenergieverbrauch zeigt sich in beiden Szenarien eine signifikante Reduktion. Im Gebäudebereich ist dies vor allem auf die thermische Sanierung des Baubestandes und im Szenario NÖ Klima Plus auf die Umrüstung von Direktheizern auf Wärmepumpen zurückzuführen. Die Umstellung von fossilen Energieträgern auf Wärmepumpe dürfte hier eine untergeordnete Rolle spielen. Bei der Mobilität ist diesbezüglich nur im Szenario NÖ Klima Plus eine nennenswerte Reduktion zu beobachten, welche durch den Wirkungsgradvorteil von Elektromotoren gegenüber Verbrennern erklärbar ist.

Bei den Treibhausgasemissionen werden in beiden Szenarien massive Reduktionen beobachtet. Dies ist aus der Kombination der Verbesserung der Energieeffizienz und der Umrüstung von fossilen Energieträgern zu elektrischer Energie zurückzuführen.

Bei Betrachtung der Trafobezirke ist zu erkennen, dass die Erhöhung des Verbrauchs an elektrischer Energie keineswegs gleichmäßig auf das Gemeindegebiet verteilt ist.

So zeigen Trafobezirke mit einer Kombination von hohem Anteil von fossilen Heizsystemen und altem Baubestand eine Erhöhung des Stromverbrauchs von teilweise 100 % und mehr. Hinzu kommt, dass diese Erhöhung sich nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt, sondern vor allem auf den Verbrauch in den kalten Monaten zurückzuführen ist, wo entsprechend eine Vervielfachung der maximalen elektrischen Last am Trafo zu erwarten ist.

Andere Trafobezirke, die einen nennenswerten Anteil von elektrischen Direktheizern aufweisen, zeigen infolge der Umstellung auf Wärmepumpen im Szenario NÖ Klima Plus aber auch infolge von thermischer Sanierung eine Reduktion des Gesamtstromverbrauchs.

Trafobezirke, die von industrieller Nutzung dominiert sind, zeigen hingegen höchst unterschiedliches Verhalten, sodass hier in Ermangelung durchgängiger Muster eine individuelle Betrachtung erforderlich ist.

Insgesamt kündigen sich Herausforderungen für das Stromnetz an, die vor allem von der enormen Erhöhung der elektrischen Last in der kalten Jahreszeit aber von der Einspeisung elektrischer Energie durch Photovoltaik geprägt sind.

6.2. Relevanz für Zielgruppen

Als Zielgruppen konnten neben Gemeinden auch Raumplaner:innen, Regionalentwicklungsverbände und Klima- und Energiemodellregionen identifiziert werden, also Institutionen, die laufend mit Energie- und Raumplanung zu tun haben.

Am 8.10.2024 fand deshalb ein Austausch mit DI Andreas Hacker, Leiter vom Stadt-Umland-Management Wien / Niederösterreich statt. Er lieferte durch seine Expertise im Bereich Stadt- und Regionalentwicklung wertvolle Einblicke in die Herausforderungen und Chancen der Energie-Raumplanung. Hacker bestätigt die beschriebenen Probleme, wie die mangelnde Koordination zwischen Energie- und Raumplanung und die Herausforderungen des Gebäudebestandes. Seine

Aussagen unterstreichen die Relevanz des Projekts SmartQ+ für die kommunale Planungspraxis, da es in ihrer Gesamtheit bisher keine vergleichbaren Ansätze gibt.

Hacker verweist auf konkrete Raumplanungstools, die als Anknüpfungspunkte für SmartQ+ dienen könnten, so zum Beispiel Ortsentwicklungskonzepte für strategische Überlegungen oder in der Vertragsraumordnung. Das innerhalb von SmartQ+ entwickelte Simulationstool kann die Komplexität aus der Raumplanung durch visuelle, allgemeinverständliche Darstellungsformen zum Teil herausnehmen und somit die Akzeptanz der Raumordnung erhöhen. Die Chancen, die sich aus den Ergebnissen und weiteren Anwendungsmöglichkeiten von SmartQ+ ergeben, sollen genutzt werden. Vor allem die Möglichkeiten des im Projekt entwickelten digitalen Zwillings für die Planung und Simulation von energieeffizienten Stadtquartieren ist für Hacker als zukunftsweisend einzustufen.

Zuletzt gab es am 9.10.2024 auch noch einen Austausch mit Frau Ing. Gabriele J. Preisinger, MA, BEd, ihrerseits Geschäftsführerin & Leadermanagerin von RÖMERLAND Carnuntum.

Einleitend betonte Preisinger, dass die Energieraumplanung in Niederösterreich im Spannungsfeld zwischen ambitionierten Klimazielen und den Herausforderungen einer dezentralen Siedlungsstruktur steht. Eine Vielzahl an Tools und Förderprogrammen unterstützen Gemeinden bei der Integration von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien in die Raumplanung. Jedoch sind aus ihrer Sicht zahlreiche Hürden zu überwinden.

Niederösterreich stellt Gemeinden schon ein breites Spektrum an Instrumenten zur Verfügung: Initiativen wie "Energiezukunft Niederösterreich" liefern Planungshilfen und der "NÖ Energie- und Klimafahrplan" setzt langfristige Ziele. GIS-basierte Anwendungen, wie der NÖ Atlas, ermöglichen die Visualisierung von Energiepotenzialen und die Energie- und Umweltagentur (eNu) steht beratend und mit konkreten Werkzeugen zur Seite. Allerdings sieht Preisinger trotz all dieser Unterstützungsformen, wie schon zuvor Hacker, die Energieraumplanung als herausfordernd und komplex. Die Koordination zwischen Raum- und Energieplanung ist oft unzureichend. Die Zersiedelung erschwert energieeffiziente Infrastrukturen und die Nutzung erneuerbarer Energien stößt oft auf Widerstand in der Bevölkerung. Mangelnde Ressourcen und Fachwissen in kleineren Gemeinden bremsen die Umsetzung aus. Hinzu kommen die Herausforderungen des Bestandsbaus und die Anpassung an den Klimawandel.

Um die Energieraumplanung in Niederösterreich voranzutreiben, sind für Preisinger klare Vorgaben und Anreize notwendig. Die verpflichtende Integration von Energieberatungen und Energieausweisen für Neubauten und Sanierungen ist ein wichtiger Schritt. Kompakte Siedlungsstrukturen müssen gefördert und die Genehmigungsverfahren für erneuerbare Energien vereinfacht werden. Öffentlichkeitsarbeit und Bildung spielen eine entscheidende Rolle bei der Akzeptanzsteigerung. Mit einer klaren Vision, den richtigen Werkzeugen und einer engagierten Beteiligung der Bürger:innen können Gemeinden einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende leisten. Das im Rahmen von SmartQ+ entwickelte Planungstool kann hier den entscheidenden Input liefern. Solche Tools sind essenziell, um komplexe Inhalte allgemeinverständlich zu transportieren.

Anknüpfungspunkte ergeben sich auch in der Regionalarbeit. Konkret in der Klima- und Energie Modellregion (KEM) Energie³ und der KEM Carnuntum (Modellregionsmanager DI Philip Loitsch, MSc). Spannend findet er die Möglichkeit mit dem Simulationstool Siedlungen, die nicht an der Fernwärme angeschlossen sind, in der Umstellung simulieren zu können, um Energieeinsparungen auf Siedlungsebene darzustellen. Genauso ist die Möglichkeit die Auswirkung des Heizungsumstieges

auf Wärmepumpen, die Einführung von E-Autos oder die Kälteversorgung in zukünftigen Szenarien mitsimulieren zu können relevant (Stichwort Sektorkopplung). Auch das Thema Überschussenergie aus Photovoltaik und das Thema Speicher und Energiegemeinschaften kann mitberücksichtigt werden. Bruck ist eine eindeutige Zuzugsgemeinde und auf Basis der Ergebnisse aus SmartQ+ können wichtige Aspekte bei der Infrastrukturplanung (Kindergarten bis Kanalnetz) analysiert werden.

6.3. Bisherige Verwertung, Anwendungs- und Marktpotenziale

Das Projektteam war während der Projektumsetzung laufend im Austausch mit Forschungspartner:innen, Planer:innen und Zielgruppen.

Im Zusammenhang mit dem Projekt wurde unter anderem bei der International Building Physics Conference (IBPC) 2024 von Maximilian Bühler und Thomas Bednar die Publikation „Automated model generation for digital twins“ vorgetragen. Digitale Zwillinge können zur Energieeinsparung und zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen beitragen, indem sie eine detaillierte Analyse und Optimierung von Energieflüssen und Betriebsstrategien ermöglichen. Aufgrund ihrer dynamischen Natur, insbesondere in der Entwurfsphase und beim Übergang zu realen Betriebsbedingungen, erfordert die Erstellung und Aktualisierung von Simulationsmodellen einen effizienten und anpassungsfähigen Ansatz. Der Ansatz stellt eine Methode zur automatisierten Erstellung von Simulationsmodellen für digitale Zwillinge vor, die den Entwicklungsaufwand erheblich reduziert und gleichzeitig die Konsistenz und Aktualität des digitalen Zwilling gewährleistet, indem das SIMULTAN-Metadatenmodell für die Gewährleistung der Konsistenz und Aktualität in verschiedenen Prozessphasen genutzt wird.

Die auf Basis der Methodik entstandene Visualisierung wird bereits in der Lehre an der TU Wien, konkret in der Lehrveranstaltung „Introduction to Digital Twins for Buildings and Cities“ eingesetzt, um Studierenden einen praxisnahen Zugang zu digitalen Zwillingen zu ermöglichen. Durch den Einsatz der Webvisualisierung können die Studierenden die Konzepte und Vorteile digitaler Zwillinge anschaulich erleben und deren Potenzial in verschiedenen Anwendungsbereichen verstehen. Insbesondere wird den Studierenden aufgezeigt, wie digitale Zwillinge zur Optimierung von Prozessen, der Analyse von Systemverhalten und der Simulation von realen Szenarien eingesetzt werden können. Sie können somit eine Art von digitalen Zwillingen praktisch erproben.

Zur Datenvisualisierung und den erarbeiteten Lösungen wurde ein Konferenzpaper für die eCAADe-Konferenz 2024 in erarbeitet (Bindreiter, Sisman, Forster, 2024) und ein Buchbeitrag im „Jahrbuch Raumplanung 2024“ erstellt (Bindreiter, Forster, Sisman, inprint). Projektzwischenergebnisse wurden einem breiten Planer:innen-Publikum bereits am 23.05.2024 im Zuge des Planer:innentag der ZT-Kammer und der TU Wien präsentiert (Bindreiter, Roggenbauer, 2024). Eine weitere Projektpräsentation erfolgte im Zuge der Stadtumland-Konferenz am 18.11.2024 in Laxenburg. Ein Beitrag in der Zeitschrift „Kommunal“ ist in Vorbereitung, um das Projekt zahlreichen weiteren Gemeinden in Österreich vorzustellen.

SmartQ+ Publikationen

Bindreiter, S.; Forster, J.; Şişman, Y.: Strategische Visualisierungen intersektoraler Energiemodelle. In: Jahrbuch Raumplanung. Biodiversität und Bodenschutz in der Klima-, Energie- und Mobilitätswende (inPrint), TU Wien Academic Press, Wien 2024

Bindreiter, S., Sisman, Y., & Forster, J. (2024). Visualise Energy Saving Potentials in Settlement Development: By linking transport and energy simulation models for municipal planning. In: Data-Driven Intelligence. Proceedings of the 42nd Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Volume 2 (pp. 79–88). eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe). 2024.

<https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2024.2.079>

Bühler, M.; Bednar, T.: Automated model generation for digital twins. In: Proceedings of the 9th International Building Physics Conference (IBPC), Toronto 2024.

SmartQ+ Präsentationen

Bednar, T.: Round table 3: Improving building assessment through data integration. IPBC – International Building Physics Conference. Toronto 25-27. Juli 2024.

Bindreiter, S., Roggenbauer, R., Sint, S.: SmartQ+ Bruck/Leitha. Stadtkonferenz Laxenburg. 18.11.2024

Forster, J., & Bindreiter, S.: Spatial Simulation Lab – Digital City Science and Planning Support. Digital Landscape Architecture Conference DLA 2024, Wien, 05.06.2024.

Roggenbauer, R., & Bindreiter, S.: Werkzeuge für eine smarte Quartiersplanung – Forschung und Lehre im Austausch mit der Praxis. Transformation und Erneuerung im Bestand: Den Wandel gestalten. Planer:innentag 2024: 50 Jahre Örtliche Raumplanung TU Wien, Wien 23.05.2024.

6.4. Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Ein deutliches Verbesserungspotenzial ergibt sich bei der Erfassung von Strukturdaten. Diese lagen nur eingeschränkt vor. Insbesondere bei Handels- und Freizeiteinrichtungen entsteht dadurch ein großer Zeitbedarf in der Erfassung und Aufbereitung von Daten, sowie der Entwicklung plausibler Annahmen für nicht verfügbare Daten.

Die Datenlage auf Gemeindeebene stellt dabei ein zentrales Thema für die zukunftsfähige Planung und Entwicklung von Quartieren dar. Eine verbesserte Datenbasis ermöglicht es, fundierte Entscheidungen zu treffen, die zur Erreichung von Klimazielen und Energieeffizienz beitragen. Dabei geht es nicht nur um die Erhebung neuer Daten, sondern vor allem auch um das sinnvolle Zusammenführen bestehender Datenquellen. Neben den Strukturdaten ist auch die Datensammlung zum Gebäudebestand besonders relevant. Hier kann die Integration unterschiedlicher Datenquellen, wie zum Beispiel der Informationen von Rauchfangkehrer:innen, in Zukunft eine wertvolle Quelle darstellen. Diese Daten ermöglichen präzisere Aussagen über den energetischen Zustand von Gebäuden, Heizsystemen und sonstige relevante Merkmale. Durch das Zusammenführen solcher Quellen könnten nicht nur umfassendere Analysen erfolgen, sondern auch die Effizienz der Gebäudebewirtschaftung und Sanierung gesteigert werden.

Durch die Verbesserung der Datenlage und Integration verschiedener Quellen könnte Gemeinden künftig ermöglicht werden, eigene Szenarien und Varianten zu erstellen, um etwa Energieeinsparungen und Infrastrukturentscheidungen besser abschätzen zu können.

Eine Übertragbarkeit der grundsätzlichen Modellierungsansätze für vergleichbare Städte ist zwar gegeben, der Aufwand für die Implementierung des jeweiligen Verkehrsmodells ist jedoch relativ groß. Dieser Aufwand würde bei vergleichbaren Untersuchungsgebieten erneut anfallen. Vor diesem Hintergrund wird die Evaluierung alternativer Verfahren empfohlen, die – ggf. auch unter Inkaufnahme einer geringeren Aussagetiefe bzw. Aussageschärfe – leichter übertragbar sind. Basis hierfür können u. U. die geocodierten Wegedaten von „Österreich unterwegs“ sein.

Im Gebäudebereich kann der Aufwand für Gemeinden beim Modellaufbau reduziert werden, in dem Modelle für generalisierte Raumtypen in der Ex-ante-Evaluierung verwendet werden. Diese generalisierten Modelle sind auf unterschiedliche, häufig auftretende Strukturen in Gemeinden anwendbar und können so eine Vielzahl von Planungsprozessen unterstützen. Zu diesem Zweck wurde das Forschungsprojekt „DataScience4SmartQuarters“ eingereicht, was auf den Erkenntnissen des hier vorgestellten Projekts aufbaut. Ziel dabei ist die Erforschung einer innovativen Methode zur schnellen und effizienten Evaluierung von Simulationsszenarien (Gebäude/Energie, Mobilität) für Gemeinden. In Kombination mit den hochauflösenden Simulationsdaten und Daten großräumiger Studien werden übertragbare Testdaten und Modelle für unterschiedliche Raumtypen durch unterschiedlichen Data Science Modelle (z. B. ML, Regressionsanalysen, ...) geschaffen.

6.5. Potenzial für Demonstrationsvorhaben

Aus den Simulationsergebnissen und Erkenntnissen lassen sich zahlreiche konkrete Verbesserungsmaßnahmen für den Gebäudebestand und die Siedlungsstruktur ableiten.

In den simulierten Szenarios ergeben sich erhebliche Einsparpotenziale hinsichtlich Energieverbrauch und Reduktionspotenziale bei Treibhausgasemissionen. Der größte Anteil entfällt dabei auf Maßnahmen bei Gebäuden gefolgt vom Ausbau der Photovoltaik und in geringerem Ausmaß bei der Elektrifizierung der Mobilität.

Bei Gebäuden werden diese Potenziale über die Effizienzsteigerung der Heizungstechnik einerseits und die Verringerung des Heizenergiebedarfs der Gebäude andererseits erschlossen. Idealerweise erfolgt beides. Wird jedoch nur eine Maßnahme ergriffen, so ist die thermische Sanierung vorzuziehen, da die Umstellung auf Wärmepumpe ansonsten eine unnötig hohe Belastung des elektrischen Netzes zur Folge hat. Darüber hinaus ist in diesem Fall eine Wärmepumpe zu wählen, die die Heizlast des unsanierten Gebäudes bewältigen muss. Im Fall einer nachträglichen Sanierung führt das zu einer überdimensionierten Wärmepumpe, was einen getakteten Betrieb zur Folge hat, was für die Lebensdauer des Kompressors ungünstig ist (Glaesmann, 2022). Eine thermische Sanierung führt darüber hinaus dann zu hohen Einsparungen, wenn das Heizsystem sehr ineffizient ist, wie es bei direkter elektrischer Heizung (Stromwiderstandsheizung) der Fall ist.

Der Ausbau der Photovoltaik hat in der Jahresbilanz einen nennenswerten Anteil an der Bewältigung der energetischen Herausforderungen. Bei dem angenommenen Ausmaß in den Szenarien ist es anzunehmen, dass Trafostationen an die Grenzen dessen stoßen, was sie aufnehmen können. Sollte also ein Umfeld geschaffen werden, das einen derartigen Ausbau zur Folge hat (sei es durch

hinreichend hohe Investitionsförderung, Einspeisevergütung oder andere begünstigende Faktoren), so ist zu berücksichtigen, dass die Limitierungen durch Netzkomponenten wie Trafos sich hemmend auf den PV-Ausbau auswirken.

Mit der Elektrifizierung der Mobilität geht aufgrund der niedrigeren THG-Emissionen infolge des Stromkonsums im Vergleich zur Verbrennung fossiler Kraftstoffe eine nennenswerte Senkung der THG-Emissionen einher. Die Senkung des Primärenergiebedarfs ist im Vergleich dazu nicht signifikant, da die hohe Effizienz von Elektromotoren von dem höheren Konversionsfaktor von elektrischem Strom ausgeglichen wird. Ein Fokus auf Elektromobilität ist daher für eine Fördermaßnahme je nach Zielsetzung entsprechend zu bewerten.

7 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Projektskizze SmartQ+ Bruck/Leitha (eigene Darstellung)	19
Abbildung 2: Verortung der Maßnahmen (eigene Darstellung)	24
Abbildung 3: Systemgrenze des Verkehrsnachfragermodells: Große Verkehrsbezirke im Umland links, kleine Verkehrsbezirke in Bruck/Leitha rechts (eigene Darstellung)	25
Abbildung 4: Übersichtskarte Bauperiode (eigene Darstellung).....	29
Abbildung 5: Übersichtskarte Heizungssystem (eigene Darstellung)	30
Abbildung 6: Systemgrenze des gekoppelten Gebäude- und Energiemodells (eigene Darstellung)....	30
Abbildung 7: Übersichtskarte Trafobezirke (eigene Darstellung)	31
Abbildung 8: Auswahl eines repräsentativen Jahres für Wetterdaten	38
Abbildung 9: Geometrischen Modelle der Gebäude eines Trafobezirks	39
Abbildung 10: Lastgang nach Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (o. J.).....	40
Abbildung 11: Plot zur Plausibilitätsprüfung	44
Abbildung 12: Zuordnung E-Fahrzeuge Gebäude (eigene Darstellung).....	45
Abbildung 13: Das Gebäude als Schnittstelle zwischen Verkehrsbezirk und Trafobezirk (eigene Darstellung)	46
Abbildung 14: Daten Management Architektur.....	49
Abbildung 15: Blick auf das digitale Modell von Bruck an der Leitha in Simultan	49
Abbildung 16: Relationales Datenbankschema.....	50
Abbildung 17: Mockup - Miro Board für UX Workshop, Screenshot	52
Abbildung 18: Maßnahmenbündel Wohnen (eigene Darstellung)	54
Abbildung 19: SmartQ+ Interaktive Datenvizualisierung als Web-App, Screenshot.....	56
Abbildung 20: Varianten-Auswahlmenü, Screenshot	57
Abbildung 21: Informationsansicht von Maßnahmenbündel gewerbliche Entwicklung, Screenshot ..	57
Abbildung 22: Detailansicht Maßnahme gewerbliche Entwicklung Projekt M2.6, Screenshot.....	57
Abbildung 23: Visualisierungsmodus-Menüs, Screenshot	58
Abbildung 24: Web-App Visualisierungsmodus Verkehrssegmente/Strecken (Ansicht: Verkehrsstärke absolut), Screenshot.....	59
Abbildung 25: Web-App Visualisierungsmodus Verkehrsbezirke (Ansicht: Anteil Verkehrsmodi im Modalsplit), Screenshot	60
Abbildung 26: Web-App Visualisierungsmodus Trafobezirke (Ansicht: Maximallast), Screenshot.....	61
Abbildung 27: Gemeindedaten Ansicht (Ansicht: Szenario Business as usual, Variante 1), Screenshot	62
Abbildung 28: Projektpräsentation Stadtgemeinde Bruck an der Leitha	65
Abbildung 29: Strukturdaten Trafobezirk Fischamenderstraße – Bauperioden (links) Heizungssysteme (rechts)	70
Abbildung 30: Trafobezirk Fischamenderstraße – Kartenansicht	70

Abbildung 31: Trafobezirk Fischamenderstraße – Szenario Business as Usual (links) Szenario NÖ Klima Plus (rechts).....	71
Abbildung 32: Trafobezirk Fischamenderstraße Lastgang im Szenario NÖ Klima Plus – Jahreslastgang (links) Zoom-In zu Mitte März (rechts).....	72
Abbildung 33: Trafobezirk 15 (Siedlung Teichgasse). Elektrische Energiebilanz Business as Usual (links) und NÖ Klima Plus (rechts).....	73
Abbildung 34: links – Trafobezirk 6 (Bruck Ölmühle); rechts – Trafobezirk 54 (Bruck Schule) im Szenario NÖ Klima Plus.....	74
Abbildung 35: Strombedarf und -produktion im Szenario Business as Usual.....	75
Abbildung 36: Strombedarf und -produktion im Szenario NÖ Klima Plus	76
Abbildung 37: Primärenergiebedarf im Szenario Business as Usual.....	76
Abbildung 38: Primärenergiebedarf im Szenario NÖ Klima Plus	77
Abbildung 39: Treibhausgasemissionen im Szenario Business as Usual	77
Abbildung 40: Treibhausgasemissionen im Szenario NÖ Klima Plus.....	78
Abbildung 41: Anzahl der Gebäude je Bauperiode in Bruck/Leitha im Jahr 2023	118
Abbildung 42: Anzahl der Gebäude je Heizungssystem in Bruck/Leitha im Jahr 2023	118
Abbildung 43: Anzahl der Gebäude nach Nutzung in Bruck/Leitha im Jahr 2023	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Simulationsszenarien	23
Tabelle 2: Simluationsvarianten	23
Tabelle 3: Verkehrsbezirk Attribute	26
Tabelle 4: Verkehrsnetz Attribute	27
Tabelle 5: Gebäude Attribute	27
Tabelle 6: Verhaltenshomogene Gruppen des Verkehrsnachfragemodells	33
Tabelle 7: Auflistung der Gebäudekategorien	39
Tabelle 8: Installierte PV-Leistung in MWp in den verschiedenen Szenarien	42
Tabelle 9: Anteil der Elektromobilität am Personenverkehr in den verschiedenen Szenarien	47
Tabelle 10: Variantenvergleich für Maßnahme 1.6.....	53
Tabelle 11: Verkehrsleistung (in km).....	63
Tabelle 12: Primärenergiebedarf (in MWh)	63
Tabelle 13: Strombedarf (in MWh)	64
Tabelle 14: Treibhausgasemissionen (in t COeq)	64
Tabelle 15: Beschreibung der Quelldatensätze.....	102
Tabelle 16: Datensätze, die im Verkehrsmodell generiert werden.....	106
Tabelle 17: Metadaten Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell (Strecken).....	107
Tabelle 18: Metadaten Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell (Polygone).....	108
Tabelle 19: Metadaten Gebäude.....	111
Tabelle 20: Metadaten Ergebnisse Gebäudesimulation	112
Tabelle 21: Datenbanktabellen inkl. Attributbeschreibungen	112
Tabelle 22: Zuordnungstabelle Gebäudenutzung	120

Literaturverzeichnis

Abart-Heriszt L., Erker, S., Reichel, S., Schöndorfer, H., Weinke E., Lang, S. Energiemosaiк Austria - Österreichweite Modellierung und webbasierte Visualisierung von Energieverbrauch und CO2-Emissionen auf Gemeindeebene. In: *Stadt der Zukunft Schriftenreihe 43/2020*, BMK, Wien 2020. (https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/berichte/schriftenreihe-2020-43-energiemosaiк-austria.pdf)

AIT: CIL | City Intelligence Lab, Austrian Institute of Technology, 2022. Online: <https://cities.ait.ac.at/site/> (letzter Zugriff am 07.12.2023)

Amt der NÖ Landesregierung: NÖ Klima- & Energiefahrplan 2020 bis 2030 - Land Niederösterreich. 2019. Online: https://www.noe.gv.at/noe/Energie/Energiefahrplan_2030.html (letzter Zugriff am 21.11.2024).

Autobild: Website der Zeitschrift Autobild, o.J. Online: <https://www.autobild.de/artikel/elektroautos-welches-e-auto-kaufen-20921697.html>, (letzter Zugriff am 28.11.2024)

Axhausen, K.W.: Neue Modellansätze der Verkehrsnachfragesimulation: Entwicklungslinien, Stand der Forschung, Forschungsperspektiven, Stadt Region Land, S. 81, 149-16. 2006.

Batty, M.: Digital twins. In: Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 45(5), S. 817–820. 2018. (<https://doi.org/10.1177/2399808318796416>)

Baunetz_Wissen: Glossar „Anergie“, Berlin o. J. Online: URL: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/a/anergie-664224> (letzter Zugriff am 28.11.2024)

Baunetz_Wissen: Glossar „Exergie“, Berlin o. J. Online: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/e/exergie-664220> (letzter Zugriff am 28.11.2024)

Bednar, T., Haufe, N., Bothe, D., Forster, J., Fritz, S., Kaufmann, T., Eder-Neuhäuser, P., Pfaffenbichler, P., Rab, N., Schleicher, J. M., Weinwurm, G., Winkler, C., & Ziegler, M.: Urbanes Energie- und Mobilitätssystem Doktoratskolleg (URBEM-DK) Ergebnisbericht (No. 1). 2016. (<http://hdl.handle.net/20.500.12708/39149>)

Bednar, T., Bothe, D., Forster, J., Fritz, S., Gladt, M., Handler, C., Haufe, N., Hollaus, M., Jambrich, S., Kaufmann, T., Kranzl, L., Paskaleva, G., Rab, N., Schleicher, J., Schlögl, K., Schöberl, H., Steininger, C., Wolny, S., & Ziegler, M.: Simultane Planungsumgebung für Gebäudecluster in resilienten, ressourcen- und höchst energieeffizienten Stadtteilen. Wien 2020. (https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2020-04-simultan.pdf)

Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J., & Vosselman, G.: The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses. 2016. (<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.003>)

Bindreiter, S., Sisman, Y., & Forster, J. (2024). Visualise Energy Saving Potentials in Settlement Development: By linking transport and energy simulation models for municipal planning. In O. Kontovourkis, M. C. Phocas, & G. Wurzer (Eds.), eCAADe 2024. Data-Driven Intelligence. Proceedings of the 42nd Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Volume 2 (pp. 79–88). eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe). 2024. (<https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2024.2.079>)

BMVIT: Österreich unterwegs 2013/2014. Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), Wien, 2016. Online: https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/statistik/oesterreich_unterwegs/berichte.html (letzter Zugriff am 09.12.2024)

BOKU: Energiemosaik Austria. Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung (IRUB), 2022. Online: <https://www.energiemosaik.at/intro> (letzter Zugriff am 09.12.2024)

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK): Klimaaktiv - Mobilität, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien 2020. Online: <https://www.klimaaktiv.at/mobilitaet.html> (letzter Zugriff am 09.12.2024)

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2023/2024. Online: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/verkehr-in-zahlen23-24-pdf.pdf?blob=publicationFile> (letzter Zugriff am 07.11.2024)

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Repräsentative VDEW-Lastprofile, Online: https://www.bdew.de/media/documents/1999_Repraesentative-VDEW-Lastprofile.pdf (letzter Zugriff am 07.11.2024)

Calthorpe, P.: The Next American Metropolis. New York 1993.

Cervero Robert, Kockelman Kara: Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. In: Transportation Research PartD: Transport and Environment, 2(3), S. 199–219. 1997.

City of Helsinki: Energy and Climate Atlas, o. J. Online: <https://kartta.hel.fi/3d/atlas/#/> (letzter Zugriff am 12.12. 2023)

City of Rotterdam: Rotterdam 3D, o. J. Online: <https://www.3drotterdam.nl/#/> (letzter Zugriff am 12.12.2023)

ETH Zürich: City Energy Analyst (CEA) – Future Cities Laboratory | ETH Zurich, o. J. Online: <https://fcl.ethz.ch/research/fcl-phase2/high-density-cities/multi-scale-energy-systems/cea.html> (letzter Zugriff am 14.12.2023)

Cityzenith: SmartWorldPro – Digital Twin Platform, o. J. Online: <https://cityzenith.com/the-world-of-digital-twins> (letzter Zugriff am 12.02.2021)

Dachgold e.U.: Website von Dachgold e. U., o. J. Online: <https://www.dachgold.at/pv-lexikon/wie-viel-strom-produziert-eine-1-kwp-photovoltaikanlage-pro-tag-2/> (letzter Zugriff am 28.11.2024)

David, A., Bednar, T., Leeb, M., & Schöberl, H.: Planung, Ausführung und Betriebserfahrung eines Plus-Energie-Bürohochhauses. In Nabil. A. Fouad (Ed.), *Bauphysik-Kalender 2023: Schwerpunkt: Nachhaltigkeit* (pp. 551–593). Ernst & Sohn, A Wiley-Brand, 2023. (<https://doi.org/10.1002/9783433611289.ch16>)

DUET: Home | digital urban european twins, o. J. Online: <https://www.digitalurbantwins.com/> (letzter Zugriff 12.12.2023)

Duinker, P. N. & Greig, L. A.: Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future. *Environmental Impact Assessment Review*, 27(3), S. 206–219. 2007. (<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.11.001>)

E.ON: Website von Energie Deutschland GmbH, o. J. Online: <https://www.eon.de/de/pk/solar/kwp-bedeutung-umrechnung.html>, (letzter Zugriff am 28.11.2024)

Fellendorf, M., Haupt, T., Heidel, U. & Scherr, W.: Ptv Vision. Activity-Based Demand Forecasting in Daily Practice. In: Ettema, D. F. & Timmermans, H. J. P. (Eds.): *Activity-based approaches to Travel Analysis*. Pergamon, Oxford, S. 55-72. 1997.

Forster, J.: Strategische raumbezogene Visualisierung im Kontext der Innenentwicklung urbaner Siedlungs-, Energie- und Mobilitätssysteme am Beispiel der Stadt Wien. Dissertation, Wien 2016.

FGSV 2006 (Hrsg.): Hinweise für die Abschätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen. Arbeitsgruppe Verkehrsplanung. Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln 2006

FGSV 2022 (Hrsg.): Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr. Ausgabe 2022. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln 2022

Gaffron, Philine, Huismans, Gé, Skala, Franz: Ecocity Book I a better place to live. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Hamburg, Utrecht, Vienna 2005.

Gaffron, Philine, Hismans, Gé, Skala, Franz, Senternovem, Gé, Stadler, Roland, Menegaldo, Michaela, Meidinger, Christopher: Ecocity Book II How To Make It Happen. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Hamburg, Utrecht, Vienna 2008.

GeoSphere Austria – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie (Hrsg.): Data Hub der GeoSphere Austria, o. J. Online: <https://data.hub.geosphere.at> (letzter Zugriff am 07.11.2024)

Glaesmann, N.: Wärmepumpenheizungen: Planungshilfe und Ratgeber für Neubauten und Bestandsgebäude. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden 2022. (<https://doi.org/10.1007/978-3-658-39031-0>)

Heidenthaler, D., Leeb, M., Reindl, P., Kranzl, L., Bednar, T., Moltinger, M.: Building stock characteristics of residential buildings in Salzburg, Austria based on a structured analysis of energy performance certificates. *Energy and Buildings* 273, 112401, 2022. (<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112401>)

Hilgert, T.: Erstellung von Wochenaktivitätenplänen für Verkehrsnachfragemodelle, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Band 75. 2019.

Huber, J., Nytsch-Geusen, C., Schünemann, T.: Automatische Generierung einfacher und detaillierter Gebäudemodelle aus 3D-Gebäudebeschreibungen für die Verwendung in Modelica-Systemmodellen. IBPSA. 2012.

Jessen, Johann: Leitbilder der Stadtentwicklung, In: Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, S. 1399 bis 1410. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 2018. <https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/HWB%202018/Leitbilder>

Kaufmann, T.: Modellierung und Simulation von urbanen Stromversorgungsnetzen in einem multiskalaren Gesamtmodell. Dissertation TU Wien, Wien 2016.

Kurz, T., Gardner, B., Verplanken, B. & Abraham, C.: Habitual behaviors or patterns of practice? Explaining and changing repetitive climate-relevant actions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. [Online] 6 (1), 113–128. 2015. (<https://doi.org/10.1002/WCC.327>)

Lang W., Auer T., Heissler K. M., Metz J., Nemeth I.: Potenziale von Niedrigtemperaturnetzen zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien in Quartieren, Niedrigtemperaturnetze in Quartieren, Abschlussbericht, S12, TU München, Zentrum für Nachhaltiges Bauen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2017. (<https://www.irbnet.de/daten/rsbw/18019009785.pdf>)

Marauli, A., Fellendorf, M., Berger, M., & Selz, E.: ÖV-Angebotsdaten in einem GIS-basierenden Verkehrsnachfragemodell. In: Agit 2014-Symposium Angewandte Geoinformatik. S. 393-402, Wichmann. 2011.

MIT: MIT Sustainable Design Lab, o. J. Online: <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/index.html> (letzter Zugriff am 12.12.2023)

Mitteregger, M., Bruck, E. Soteropoulos, A., Stickler, A., Berger, M., Dangschat, J., Scheuvens, R., Banerjee, I.: AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa, 2020. (<https://doi.org/10.1007/978-3-662-61283-5>)

Nijenhuis, B., Doumen, S.C., Hönen, J., Hoogsteen, G., 2022. Using mobility data and agent-based models to generate future E-mobility charging demand patterns. Presented at the CIRED Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems, Institution of Engineering and Technology, Hybrid Conference, Porto, Portugal, pp. 214–218.
<https://doi.org/10.1049/icp.2022.0697>

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2007. Online: <https://www.oib.or.at/de/guidelines/oib-richtlinie-6> (letzter Zugriff am 07.11.2024)

Paschotta, R.: Energielexikon „Anergienetz“, 2016. Online: <https://www.energie-lexikon.info/anergienetz.html> (letzter Zugriff am 13.12.2022)

Ritz, C.: Modellierung und Wirkungen von Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung. Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart, Heft 57. 2019.

Schmaus, M.: Quantifizierung der Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs in langfristigen Energieszenarien auf kommunaler Ebene, Heft 58. 2019.

Sears, J., Roberts, D., Glitman, K.: A comparison of electric vehicle Level 1 and Level 2 charging efficiency. Presented at the 2014 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), IEEE, Portland, OR, USA, pp. 255–258, 2014. <https://doi.org/10.1109/SusTech.2014.7046253>

Stadt Zürich: Zürich virtuell o. J. Online: <https://3d.stzh.ch/appl/3d/zuerichvirtuell/> (letzter Zugriff am 12.12.2023)

TECHMASTER: Website der TECHMASTER GmbH, o. J. Online:
<https://www.techmaster.de/2019/10/26/ertrag-einer-photovoltaikanlage-was-bedeutet-kwh-pro-kwp/> (letzter Zugriff am 28.11.2024)

Timmermans, H., Arentze, T. A.: Transport models and urban planning practice: experiences with Albatross. *Transport Reviews*, 31(2), S. 199-207. 2011.

Waddel, P.: UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American planning association*, 68(3), S. 297-314. 2002.

White, G., Zink, A., Codecá, L., & Clarke, S.: A digital twin smart city for citizen feedback. *Cities*, S.110. 2021. (<https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103064>)

Wriek, Arnim: Umfeld- und Systemszenarien für die Entwicklung der Landschaftsnutzung im Kanton Appenzell Ausserrhoden, ETH-UNS Fallstudienbüro, Zürich, 2002

Normen

DIN V 18599-5 2016. Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen

DIN V 18599-10 2016. Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

ÖNORM B 8110-5 2024. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile

ÖNORM B 8110-6 2014. Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf

ÖNORM EN 16798-13 2017. Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden – Teil 13: Berechnung von Kühlsystemen (M4-8 Modul) – Erzeugung

ÖNORM EN ISO 13786 2019. Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren

ÖNORM EN ISO 52010-1 2018 - Energieeffizienz von Gebäuden - Äußere Umweltbedingungen - Teil 1: Umrechnung von Wetterdaten als Eingangsgrößen für Energieberechnungen

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
Azubi	Auszubildende/r
BGF	Bruttogrundfläche
BIM	Building Information Model
CAD	Computer Aided Design
GFZ	Grundflächenzahl
EW	Einwohner:innen
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
GIS	Geoinformationssystem
GTFS	General Transit Feed Specification
HKLS	Heizung/Klima/Lüftung/Sanitär
i. d. R.	in der Regel
Kita	Kindertagesstätte/ Hort
KFZ	Kraftfahrzeug
LKW	Lastkraftwagen
LOD	Level of Detail
MIV	Motorisierter Individualverkehr
o. J.	ohne Jahr
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
ÖV	Öffentlicher (Personen)verkehr
PKW	Personenkraftwagen
TBZ	Trafobezirk
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
VBZ	Verkehrsbezirk
VOR	Verkehrsverbund Ost-Region
z. B.	zum Beispiel

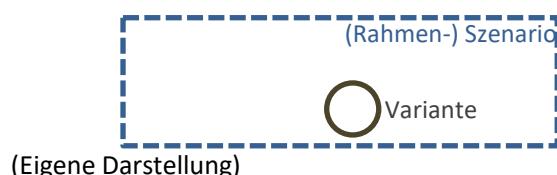
8 Anhang

8.1. Glossar

Abbiegewiderstände	Modellvariable, welche die auftretende Wartezeit von wertepflichtigen Verkehrsteilnehmer:innen an Knotenpunkten abbildet (eigene Definition)
Anbindung	Modellelement mit dem die Verkehrsnachfrage der Verkehrsbezirke mit dem Verkehrsangebot verknüpft bzw. in dieses eingespeist wird.
Analyse (Jahr)	Ausgangsdaten des Bestandsjahres 2023
Anergie	Anergie, auch als Abwärme bezeichnet, ist der Teil der <u>Energie</u> , welcher keine mechanische Arbeit zu leisten vermag. (Anergie + <u>Exergie</u> = Energie) (Baunetz_Wissen, o. J.)
Anergienetz (kaltes Nahwärmenetz)	ein Leitungsnetz für den Transport von Wärme auf niedrigem Temperaturniveau (Paschotta, 2016)
Exergie	Ist ein Ausdruck für Arbeitsvermögen. Exergie bezeichnet den Teil der Energie, welche mechanische Arbeit zu leisten vermag. (Baunetz_Wissen, o. J.)
Fernwärme	Fernwärme ist ein System, bei dem Wärme zentral erzeugt und über ein Netzwerk von Rohrleitungen zu verschiedenen Gebäuden oder Haushalten transportiert wird. Diese Wärme wird häufig in großen Heizkraftwerken produziert, die Strom und Wärme gleichzeitig erzeugen (Kraft-Wärme-Kopplung), oder auch durch industrielle Abwärme. Die Nutzer erhalten die Wärme in Form von heißem Wasser oder Dampf, das in ihren Heizsystemen genutzt wird. Fernwärme ist besonders effizient und umweltfreundlich, da sie den CO ₂ -Ausstoß verringern kann, wenn sie mit erneuerbaren Energien oder Abwärme betrieben wird.
General Transit Feed Specification (GTFS)	Datenformat das detaillierte Daten zum öffentlichen Verkehrsangebot eines spezifizierten Gebietes enthält. Hierzu gehören beispielsweise Informationen zu Fahrplänen oder geografisch verortete Haltestellen und Linienroutenverläufe.
Hauptgebäude	Hauptgebäude sind „Energieverbraucher-Gebäude“ (z.B. Wohngebäude, Bürogebäude, ...) (eigene Definition)
Kordonbezirk	Verkehrsbezirk an der Grenze des Modellgebietes, der zur Abbildung der Verkehrsströme dient, die die Grenze des Modellgebietes überschreiten (eigene Definition)

Ladepunkt	Schnittstelle, mit der zur selben Zeit entweder nur ein Elektrofahrzeug aufgeladen oder nur eine Batterie eines Elektrofahrzeugs ausgetauscht werden kann. (laut NÖ Bauordnung)
Leitungsinfrastruktur	für die spätere Errichtung von Ladepunkten für Elektrofahrzeuge, bestehend aus Leerverrohrungen oder Kabeltassen für Elektrokabel, Platzreserven für Stromzähler und Stromverteiler, ausreichende Dimensionierung der Hausanschlussleitungen und dgl. (NÖ BO § 64 Abs. (3), 2023)
LOD	Level-of-Details Kategorisierung von Gebäudemodellen
	(Eigene Darstellung nach Biljecki, F. et al. (2016))
Maßnahme	Bauliche (z.B.: neue Wohnbauten) oder planerische (z.B.: neue Radwege) Maßnahme, die im Rahmen der Varianten im Jahr 2030 oder 2040 entstehen. (eigene Definition)
Maximale Last	Die maximale Belastung einer Trafostation im Jahr (keine Aussage, ob es eine Überleistung der Trafostation entspricht) (eigene Definition)
Nahwärme	Abgrenzung siehe Fernwärme
Nebengebäude	Nebengebäude verfügen über keine nennenswerten Energieverbraucher (z.B. Heizung, Produktionsgeräte, Bürogeräte, ...) und diese beziehen vermutlich den Strom für nicht permanente Verbraucher vom Hauptgebäude. (eigene Definition)
Öffentlicher (Personen)verkehr (ÖV)	Sammelbezeichnung für die Verkehrsmittel des öffentlichen Personennahverkehrs (z. B. Bus, Tram, S-Bahn auf lokaler Ebene) und des Fernverkehrs (z. B. Überregionale Zugverbindungen)
Parkraumnachfrage	Die Anzahl an parkenden Fahrzeugen zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb eines vordefinierten Bereiches.
Prognose-Nullfall	die Szenario-Fortschreibung des status quo 2023 ohne Maßnahmen und Varianten
Prognose-Planfall	die Szenario-Fortschreibung des status quo 2023 incl. Maßnahmen der gewählten Variante
Strecke	Jede Strecke ist durch einen Start- und Endpunkt definiert. Eine Straße kann aus mehreren aufeinanderfolgenden Strecken bestehen. (eigene Definition)

Systemgrenze	Eine Systemgrenze trennt ein System von seiner Umwelt und bestimmt damit, welche Komponenten betrachtet werden und welche Teile außerhalb des Betrachtungsraums liegen und nicht näher untersucht werden. Lang Werner, Auer Thomas, Heissler M. Karl, Metz Jakob, Nemeth Isabell (2017)
Szenario	Rahmenszenario, die sich um mögliche zukünftige Zustände und Dynamiken eines (komplexen) Systemumfeldes handelt. Obwohl die Konstruktion vom System ausgeht, stellen Umfeldszenarien nicht die (zukünftigen) Systemzustände selber, sondern deren (zukünftige) Einflussfaktoren und ihre Wechselwirkungen dar. (Wiek Arnim, 2002)
Trafo	Transformator ist ein Spannungsumwandler und verbindet in unserem Projekt das hochrangige Stromnetz mit den Endverbrauchern. (eigene Definition)
Trafobezirk (Abkürzung TBZ)	Die Gebäude werden nur den Trafostationen (ohne genaue Informationen zu den verbauten Trafos) zugeordnet und bilden damit Trafobezirke. (eigene Definition)
Trafostation	Bauwerk, das ein oder mehrere Trafos enthält. (eigene Definition)
Variante	Es handelt sich bei Systemvarianten um zukünftige mögliche Zustände und Dynamiken eines Systems selbst. Szenarien, wie sich die Energie/Mobilität/Gebäude im Quartier unter den unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Rahmenszenarien) entwickeln könnte. (Wiek Arnim, 2002) Die Varianten enthalten Bündel von Maßnahmen.
Verhaltenshomogene Gruppen	Nach ausgewählten Merkmalen (z. B. Alter, Erwerbstätigkeit, Pkw-Besitz) segmentierte Bevölkerungsgruppen, mit ähnlichem Mobilitätsverhalten zugeschrieben (eigene Definition)
Verkehre im Modellgebiet:	
Binnenverkehr des Modellgebiets	Verkehr bzw. Wege bei welchem sowohl Start- als auch Zielpunkt innerhalb des Modellgebiets liegen (eigene Definition)
Durchgangsverkehr des Modellgebiets	Verkehr bzw. Wege bei welchem weder Start- noch Zielpunkt innerhalb des Modellgebiets liegen (eigene Definition)



Quellverkehr des Modellgebiets	Verkehr bzw. Wege bei welchem der Startpunkt innerhalb und der Zielpunkt außerhalb des Modellgebiets liegt (eigene Definition)
Zielverkehr des Modellgebiets	Verkehr bzw. Wege bei welchem der Startpunkt außerhalb und der Zielpunkt innerhalb des Modellgebiets liegt (eigene Definition)
Verkehrsaufteilung/Verkehrsmittelwahl	Schritt in der Berechnung des Verkehrs nachfragemodells in welchem den Wegen der genutzte Verkehrsmodus zugeordnet wird (eigene Definition)
Verkehrsbezirk (Abkürzung VBZ)	Kleinste räumliche (Flächen-)Einheit im Verkehrs nachfragemodell, für die die Verkehrs nachfrage berechnet wird. Einwohner- und Strukturmerkmale innerhalb dieser Flächeneinheit werden zusammengefasst. (eigene Definition).
Verkehrserzeugung	Schritt in der Berechnung des Verkehrs nachfragemodells, der die Anzahl startender Wege bzw. Wegeketten je verhaltenshomogener Gruppe je Verkehrsbezirk berechnet wird (eigene Definition)
Verkehrs nachfrage	“Summe aller Ortsveränderungen von Personen und Gütern in einem Gebiet innerhalb eines bestimmten Zeitraumes.” (FGSV 2022, S. 194)
(Personenbezogene) Verkehrsleistung für Verkehrsmodi außer PKW-Mitfahrer	Summe der Produkte aus Streckenlänge x Verkehrsbelastung über alle Strecken (Einheit Personen km)
Verkehrsleistung für PKW-Mitfahrer	Verkehrsleistung Selbstfahrer * 0,2 Vereinfachte Annahme, da Pkw-Mitfahrer nicht umlegt werden (abgeleitet aus mittlerem Besetzungsgrad)
Verkehrsleistungsbezogener Modal Split	Verkehrsleistung Modus X / Summe der Verkehrsleistung aller Modi
Verkehrsnetz	Alle Straßen und Wege, Knoten und Abbiegebeziehungen und Anbindungen, Haltepunkte, Haltestellen und Haltestellbereiche sowie das fahrplanfeine ÖPNV-Angebot in einem routingfähigen Graphen. Die Verkehrs nachfrage wird zwischen Verkehrsbezirken modelliert, die über das Verkehrsnetz verbunden sind (eigene Definition).
Verkehrsumlegung/Routenwahl	Schritt in der Berechnung des Verkehrs nachfragemodells, bei dem die Verkehrs nachfrage auf verschiedene Routen im Verkehrsnetz aufgeteilt wird. (eigene Definition)
Verkehrsverteilung/Zielwahl	Schritt in der Berechnung des Verkehrs nachfragemodells, bei der die Wahl der Ziele modelliert (eigene Definition)

VISEM	Verkehrs nachfragemodellansatz der das Verhalten von Personen im Modellgebiet anhand von Wegeketten abbildet (eigene Definition)
Weg	Ortsveränderung zwischen zwei Aktivitäten, z. B. Wohnen und Arbeiten (Arbeitsweg) (eigene Definition)
Wegezweck/Aktivität	„Maßgeblicher Beweggrund für eine Ortsveränderung“ (FGSV 2022, S. 195)
Wegekette	„Gesamtheit der Wege in chronologischer Reihenfolge, die eine Person innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zurücklegt“ (FGSV 2022, S. 195)
Kalibrierung Verkehrs nachfragemodell	„Einstellung der Modellparameter, so dass die Modellwerte möglichst gut mit den Erhebungswerten übereinstimmen“ (FGSV 2022, S. 185)
Untersuchungs- bzw. Modellgebiet	Gesamtgebiet, für das die Modellberechnungen durchgeführt werden. Das Untersuchungsgebiet ist in Verkehrsbezirke untergliedert. Verkehrsströme, die die Außengrenzen des Untersuchungsgebietes überschreiten, werden statisch über Kordonbezirke eingebunden. (eigene Definition)

8.2. Data Management Plan (DMP)

Das Projekt SmartQ+ baut zu großen Teilen auf frei verfügbarer Open Government Data (OGD) auf, die uneingeschränkt für Dritte zugänglich sind. Folgender Datenmanagement-Plan gibt Auskunft, wie im Projekt auf Basis der „FAIR“-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) mit diesen Daten umgegangen wird und in welcher Form die im Projekt erarbeiteten Forschungsdaten publiziert werden.

1: Datenerstellung und Dokumentation

Das Projekt SmartQ+ verwendet unterschiedliche, großteils öffentlich zugängliche Datenquellen zur Bearbeitung der Fragestellungen. Zu den wichtigsten Datenquellen für das Gebäudemodell zählen die Digitale Katastralmappe (DKM) vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), die Relationalen Tabellen Stichtagsdaten der Adressen (BEV), OpenStreetMap-Daten, die Denkmalliste NÖ des Bundesdenkmalamts, sowie der Verwaltungsbericht Gebäude, bereitgestellt von der Stadtgemeinde Bruck/Leitha.

Die Quellen für Energiemodell umfassen die Lage der Trafostation (bereitgestellt durch Netz NÖ), die im Projekt erstellten Gebäudedaten, die Wetterdaten der GeoSphere-Austria, Datensätze des Energieparks Bruck/Leitha zu PV-Ladestationen, Ladesäulen und PV-Anlagen in Bruck/Leitha.

Die wesentlichsten Quellen für Verkehrsnachfragemodell umfassen Mobilitätsdaten (z.B. Mobilitätserhebung Österreich unterwegs, Niederösterreich, Stadt Bruck/Leitha) und Verkehrskonzepte für Land und Stadt, sowie Daten der Statistik Austria zu Demographie und Arbeitsmarkt.

In Abschnitt 8.3 sind die Metadaten zu Datenquellen (Tabelle 15) und zu im Projekt generierten Daten (Tabelle 16 bis Tabelle 21) aufgelistet.

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Die vorliegenden Daten unterliegen keinen Persönlichkeitsrechten, da sie ausschließlich in aggregierter Form präsentiert werden, wodurch keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich sind. Die Gebäudeinformationen wurden auf Basis zahlreicher Annahmen erstellt, sodass keine unmittelbaren datenschutzrechtlichen Bedenken bestehen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Prognosedaten auf einer Vielzahl von Annahmen beruhen, was bedeutet, dass diese nicht ohne entsprechende Interpretation oder Erläuterung veröffentlicht werden können.

3: Datenspeicherung und -erhalt

Der Datenaustausch zwischen den Projektpartnern erfolgt über eine TU-interne Cloud-Lösung („TU Owncloud“). Die Ergebnisdaten der Simulationen werden in einer MSSQL Datenbank auf einem Microsoft Server am Forschungsbereich Bauphysik an der TU Wien gehostet. Backups erfolgen automatisiert über die IT-Services der TU Wien bzw. direkt am Forschungsbereichs Bauphysik.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Ein Großteil der verwendeten Daten ist öffentlich zugänglich (siehe dazu Abschnitt 9.3). Der Zugriff auf die generierten Daten ist jedoch lediglich über den Visualisierungsprototypen (siehe dazu Abschnitt 5.1) möglich, da hier die Daten durch Aggregation ausreichend abstrahiert wurden. Zudem enthalten die generierten Prognosedaten zahlreiche Annahmen in den Ausgangsdaten, sodass die Interpretation der Daten nur unter Berücksichtigung des vorliegenden Berichts empfohlen wird. Ein

Zugriff auf den Visualisierungsprototypen kann auf Anfrage an das Projektteam gewährt werden (Kontakt: stefan.bindreiter@tuwien.ac.at).

8.3. Metadaten von Quelldatensätzen und generierten Datensätzen

Tabelle 15: Beschreibung der Quelldatensätze

#	Beschreibung	Typ	Quelle und Aktualität	Zugang	Link
1	Abgestimmte Erwerbsstatistik	Numerisch	Statistik Austria 2020	öffentlich	https://www.statistik.at/statistiken/arbeitスマarkt/erwerbsstatus
2	Adresse, Eigenschaft/Nutzung der Gebäude	Text	BEV Adresse Relationale Tabellen-Stichtagsdaten 2022 Schnittstelle 1.5, Stichtagsdaten 03.04.2022	öffentlich	https://data.bev.gv.at/geonetwork/srv/ger/catalog.search#/home
3	Adressenliste der NÖ Landeskindergärten	Text	Amt der NÖ Landesregierung-Abteilung Kindergärten und Schulen	öffentlich	https://www.noe.gv.at/noe/Kindergarten-Schulen/Kindergaerten_in_NOE.html
4	Adressenliste der Privatkindergärten in NÖ	Tabelle	Amt der NÖ Landesregierung-Abteilung Kindergärten und Schulen	öffentlich	https://www.noe.gv.at/noe/Kindergarten-Schulen/Kindergaerten_in_NOE.html
5	Bauperiode, Heizungssystem	Text	Verwaltungsbericht Gebäude Bruck/Leitha 2023 – Auszug vom 18.04.2023	Nicht öffentlich	-
6	Bevölkerung im Jahresdurchschnitt	Numerisch	Statistik Austria Zeitreihe 1995-2021	öffentlich	https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/bevoelkerung-im-jahresdurchschnitt

7	Bevölkerung zu Jahres-/ Quartalsanfang	Numerisch	Statistik Austria Zeitreihe 2002-2023	öffentlich	https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/bevoelkerung-zu-jahres-/-quartalsanfang
8	Bevölkerung zu Jahresbeginn nach Alter, Geschlecht sowie österreichischer/ ausländischer Staatsangehörigkeit seit 2002	Numerisch	Statistik Austria Zeitreihe 2002-2023	öffentlich	https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/bevoelkerung-nach-alter/geschlecht
9	Bruck an der Leitha - Verkehr vor und während Straßensperren wegen Baustelle Fernwärmeleitung	Text	KFV Sicherheit-Service GmbH 2023	Nicht öffentlich	-
10	Ergebnisse der Straßenverkehrszählung im Straßennetz, Dauerzählstellen (JDTV) Niederösterreich	Numerisch	Land Niederösterreich 2019	öffentlich	https://www.noe.gv.at/noe/OGD_Detailsseite.html?id=25be09e4-ed4d-4c26-bcab-8ce0dc97385b
11	Gebäude Geometrien Bruck/Leitha	Geoobjekte (Polygone)	Open Street Map (Download 14.09.2022)	öffentlich	-
12	Gebäude Geometrien (DLM_8000_BAUWERK) Bruck/Leitha	Geoobjekte (Polygone)	BEV, 2022 Stichtagsdaten 03.04.2022	öffentlich	https://data.bev.gv.at/geonetwork/srv/ger/catalogsearch#/home
13	Gesamtenergiebilanz Österreich	Numerisch	Statistik Austria Historische Zeitreihen (historische Daten)	öffentlich	https://pic.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet

					/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html
14	Katastralgemeinde- und Grundstücksnummer	Text	BEV digitale Katastralmappe (DKM) 2021 Schnittstelle V2.7, Stichtagsdaten 03.04.2022	öffentlich	https://data.bev.gv.at/geonetwork/srv/ger/catalogsearch#/home
15	Kfz-Bestand	Numerisch	Statistik Austria 2020/2021	öffentlich	https://www.statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/fahrzeuge/kfz-bestand
16	Kinderbildungs- und -betreuungseinrichtungen im Burgenland	Text	Amt der Burgenländischen Landesregierung	öffentlich	https://www.burgenland.at/themen/bildung/kinderbildung-und-betreuung/kinderbetreuungseinrichtungen-im-burgenland/
17	Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung 2021- Detailtabellen zu ILO-Erwerbsstatus	Numerisch	Statistik Austria 2021	öffentlich	https://www.statistik.at/statistiken/arbeitssmarkt/erwerbsstatus
18	ÖROK-Regionalprognosen 2021 - Bevölkerung	Numerisch	Statistik Austria 2021	öffentlich	https://www.oerok.gv.at/raum/daten-und-grundlagen/oerok-prognosen/oerok-prognose-2021-1
19	Paket Demographie, Erwerbsstatus und Bildung - Raster-LAEA 250m	Rasterdaten	Statistik Austria 2020	Nicht öffentlich	https://www.statistik.at/atlas/reg-datenkatalog/
20	Regionalstatistische Rastereinheiten	Geoobjekte-Flächen	Statistik Austria	öffentlich	https://www.data.gv.at/catalog/dataset/ca996648-ed34-3dcd-a99f-

					68619f680241 #additional- info
21	Schulatlas/Schulstatistik für das Schuljahr 2021/2022	Numerisch	Statistik Austria 2021/2022	öffentlich	https://www.statistik.at/atlas/schulen/
22	Soll-Fahrplandaten ÖBB (GTFS)	GTFS-Datensatz	ÖBB-Personenverkehr AG 2023	öffentlich	https://data.ebb.at/de/daten/ensaetze~soll-fahrplan-gtfs~
23	Soll-Fahrplandaten Verkehrsverbund Ost-Region (GTFS)	GTFS-Datensatz	Mobilitätsverbünde Österreich OG 2023	öffentlich	data.mobilitaetsverbunde.at
24	Statistik Dauerzählstellen auf Autobahnen und Schnellstraßen	Numerisch	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) 2020-2024	öffentlich	https://www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/verkehrszahlung/
25	Studierende in Österreich	Numerisch	Statistik Austria 2020-2022	öffentlich	https://data.statistik.gv.at/web/meta.jsp?dataset=OG_D_unistud5_ext_UNI_STUD_5_1
26	Temporäre Verkehrszählstellen Burgenland	Numerisch	Amt der Burgenländischen Landesregierung 2015-2023	öffentlich	https://geodaten.bgld.gv.at
27	Verkehrskonzept Bruck an der Leitha 2020	Text	KFV Sicherheit-Service GmbH 2020	Nicht öffentlich	-
28	Verkehrsmodell Ostregion	Modelldatei	Verkehrsverbund Ostregion 2019	Nicht öffentlich/ auf Anfrage	-
29	Verkehrswegenetz mit Eigenschaften	Geoobjekte-Linien	Open Street Map	öffentlich	https://www.openstreetmap.org
30	Verkehrszählung-Dauerzählstellen Burgenland	Numerisch	Land Burgenland 2023	öffentlich	https://www.burgenland.at/service/open-government-data/bestandsliste/detail/verkehrszaehlung-dauerzaehlstellen-burgenland/

31	Verortete Zielpotenziale (Einzelhandel, Freizeiteinrichtungen, Dienstleistungen und sonstige verkehrserzeugende Nutzungen)	Geoobjekte	Open Street Map	öffentlich	https://www.openstreetmap.org
----	--	------------	-----------------	------------	---

Tabelle 16: Datensätze, die im Verkehrsmodell generiert werden

IDs	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
V_LINK_2022A ... V_LINK_2040V2	Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell Strecken	Geoobjekt (Linie) + Attribute Numerisch	Attribuierte Strecken im Verkehrsnetz	YVKPL	nicht öffentlich
V_ZONE_2022A ... V_ZONE_2024V3	Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell Verkehrsbezirke	Geoobjekt (Polygone) + Attribute Numerisch	Attribuierte Verkehrsbezirke	YVKPL	nicht öffentlich

Tabelle 17: Metadaten Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell (Strecken)

Attribut	Beschreibung
IDs	V_LINK_2022A, V_LINK_2030V0, V_LINK_2030V1, V_LINK_2030V2 V_LINK_2040V0, V_LINK_2040V1, V_LINK_2040V2, V_LINK_2040V3
Titel	Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell (Strecken)
Zusammenfassung	<p>Je Ergebnisdatei alle Strecken des Verkehrsnetzes mit den Ergebnissen der Prognoserechnungen im Verkehrsnachfragemodell ..._V0: Vergleich zum Analyse Fall A (ohne Maßnahmen der Simulationsvarianten) ..._V1 – ..._V3: Simulationsvariante</p> <p>Räumliche Abgrenzung (extent im WGS84/ESPG): 16.4862068371198269,47.8432171565122175 : 17.1110249435283315,48.2344147831882850</p> <p>Attribute im Shapefile: (Attribut SHP Hinrichtung, Attribut SHP Rückrichtung, Beschreibung);</p> <p>(NO, R_NO, Nummer); (FROMNODENO, R_FROMNODENO~1, von Knoten Nr.); (TONODENO, R_TONODENO, nach Knoten Nr.); (TYPENO, R_TYPENO, Typ-Nummer); (TSYSSET, R_TSYSSET, Verkehrssysteme); (LENGTH, R_LENGTH, Länge (km)); (FUSS_00_24, R_FUSS_0~2, Verkehrsstärke Fußgänger); (RAD_00_24, R_RAD_00~3, Verkehrsstärke Rad); (OEV_00_24, R_OEV_00~4, Verkehrsstärke ÖPNV (inkl. Fußwege)); (PKW_00_24, R_PKW_00~5, Verkehrsstärke Pkw); (LKW_00_24, R_LKW_00~6, Verkehrsstärke Lkw); (KFZ_00_24, R_KFZ_00~7, Verkehrsstärke Kfz); (FUSS_00_01, R_FUSS_0~8, Verkehrsstärke Fußgänger Stunde 00-01); (FUSS_01_02, R_FUSS_0~9, Verkehrsstärke Fußgänger Stunde 01-02); (FUSS_02_03, R_FUSS~10 ...); (FUSS_03_04, R_FUSS~11); (FUSS_04_05, R_FUSS~12); (FUSS_05_06, R_FUSS~13); (FUSS_06_07, R_FUSS~14); (FUSS_07_08, R_FUSS~15); (FUSS_08_09, R_FUSS~16); (FUSS_09_10, R_FUSS~17); (FUSS_10_11, R_FUSS~18); (FUSS_11_12, R_FUSS~19); (FUSS_12_13, R_FUSS~20); (FUSS_13_14, R_FUSS~21); (FUSS_14_15, R_FUSS~22); (FUSS_15_16, R_FUSS~23); (FUSS_16_17, R_FUSS~24); (FUSS_17_18, R_FUSS~25); (FUSS_18_19, R_FUSS~26); (FUSS_19_20, R_FUSS~27); (FUSS_20_21, R_FUSS~28); (FUSS_21_22, R_FUSS~29); (FUSS_22_23, R_FUSS~30); (FUSS_23_24, R_FUSS~31); (KFZ_00_01, KFZ_0~32, Verkehrsstärke Kfz Stunde 00-01); (KFZ_01_02, KFZ_0~33, ...); (KFZ_02_03, KFZ_0~34); (KFZ_03_04, KFZ_0~35); (KFZ_04_05, KFZ_0~36); (KFZ_05_06, KFZ_0~37); (KFZ_06_07, KFZ_0~38); (KFZ_07_08, KFZ_0~39); (KFZ_08_09, KFZ_0~40); (KFZ_09_10, KFZ_0~41); (KFZ_10_11, KFZ_1~42); (KFZ_11_12, KFZ_1~43); (KFZ_12_13, KFZ_1~44); (KFZ_13_14, KFZ_1~45); (KFZ_14_15, KFZ_1~46); (KFZ_15_16, KFZ_1~47); (KFZ_16_17, KFZ_1~48); (KFZ_17_18, KFZ_1~49); (KFZ_18_19, KFZ_1~50); (KFZ_19_20, KFZ_1~51); (KFZ_20_21, KFZ_2~52); (KFZ_21_22, KFZ_2~53); (KFZ_22_23, KFZ_2~54); (KFZ_23_24, KFZ_2~55); (LKW_00_01, LKW_0~56, Verkehrsstärke Lkw Stunde 00-01); (LKW_01_02, LKW_0~57, ...); (LKW_02_03, LKW_0~58); (LKW_03_04, LKW_0~59); (LKW_04_05, LKW_0~60); (LKW_05_06, LKW_0~61); (LKW_06_07, LKW_0~62); (LKW_07_08, LKW_0~63); (LKW_08_09, LKW_0~64); (LKW_09_10, LKW_0~65); (LKW_10_11, LKW_1~66); (LKW_11_12, LKW_1~67); (LKW_12_13, LKW_1~68); (LKW_13_14, LKW_1~69); (LKW_14_15, LKW_1~70); (LKW_15_16, LKW_1~71); (LKW_16_17, LKW_1~72); (LKW_17_18, LKW_1~73); (LKW_18_19, LKW_1~74); (LKW_19_20, LKW_1~75); (LKW_20_21, LKW_2~76); (LKW_21_22, LKW_2~77); (LKW_22_23, LKW_2~78); (LKW_23_24, LKW_2~79); (OEV_00_01, OEV_0~80, Verkehrsstärke ÖPNV (inkl. Fußwege) Stunde 00-01); (OEV_01_02, OEV_0~81, ...); (OEV_02_03, OEV_0~82); (OEV_03_04,</p>

	OEV_0~83); (OEV_04_05, OEV_0~84); (OEV_05_06, OEV_0~85); (OEV_06_07, OEV_0~86); (OEV_07_08, OEV_0~87); (OEV_08_09, OEV_0~88); (OEV_09_10, OEV_0~89); (OEV_10_11, OEV_1~90); (OEV_11_12, OEV_1~91); (OEV_12_13, OEV_1~92); (OEV_13_14, OEV_1~93); (OEV_14_15, OEV_1~94); (OEV_15_16, OEV_1~95); (OEV_16_17, OEV_1~96); (OEV_17_18, OEV_1~97); (OEV_18_19, OEV_1~98); (OEV_19_20, OEV_1~99); (OEV_20_21, OEV_~100); (OEV_21_22, OEV_~101); (OEV_22_23, OEV_~102); (OEV_23_24, OEV_~103); (PKW_00_01, PKW_~104, Verkehrsstärke Pkw Stunde 00-01); (PKW_01_02, PKW_~105, ...); (PKW_02_03, PKW_~106); (PKW_03_04, PKW_~107); (PKW_04_05, PKW_~108); (PKW_05_06, PKW_~109); (PKW_06_07, PKW_~110); (PKW_07_08, PKW_~111); (PKW_08_09, PKW_~112); (PKW_09_10, PKW_~113); (PKW_10_11, PKW_~114); (PKW_11_12, PKW_~115); (PKW_12_13, PKW_~116); (PKW_13_14, PKW_~117); (PKW_14_15, PKW_~118); (PKW_15_16, PKW_~119); (PKW_16_17, PKW_~120); (PKW_17_18, PKW_~121); (PKW_18_19, PKW_~122); (PKW_19_20, PKW_~123); (PKW_20_21, PKW_~124); (PKW_21_22, PKW_~125); (PKW_22_23, PKW_~126); (PKW_23_24, PKW_~127); (RAD_00_01, RAD_~128, Verkehrsstärke Rad Stunde 00-01); (RAD_01_02, RAD_~129, ...); (RAD_02_03, RAD_~130); (RAD_03_04, RAD_~131); (RAD_04_05, RAD_~132); (RAD_05_06, RAD_~133); (RAD_06_07, RAD_~134); (RAD_07_08, RAD_~135); (RAD_08_09, RAD_~136); (RAD_09_10, RAD_~137); (RAD_10_11, RAD_~138); (RAD_11_12, RAD_~139); (RAD_12_13, RAD_~140); (RAD_13_14, RAD_~141); (RAD_14_15, RAD_~142); (RAD_15_16, RAD_~143); (RAD_16_17, RAD_~144); (RAD_17_18, RAD_~145); (RAD_18_19, RAD_~146); (RAD_19_20, RAD_~147); (RAD_20_21, RAD_~148); (RAD_21_22, RAD_~149); (RAD_22_23, RAD_~150); (RAD_23_24, RAD_~151);
Kurzbezeichnung	Verkehrsnachfragemodell Strecken
Einheit	Geoobjekte (Linien)
Zeitintervall	2023, 2030, 2040
Zeitraum und Referenzjahr	2030, 2040 zum Referenzjahr 2023
Institution	yVerkehrsplanung GmbH
Kontakt	emanuel.selz@yverkehrsplanung.de
Mitwirkende und Rolle	Emanuel Selz, Maximilian Reimann, Martin Luck, Mario Platzer (Rolle: Datenaufbereitung GIS, Verkehrsmodellierung)
Methodik	multimodales Verkehrsnachfragemodell (siehe Abschnitt 4.3.1)
Datenvervollständigung	siehe Abschnitt 5.2.2
Quelldaten	alle Zeilen der Tabelle 12 außer Zeile 7, 8, 13
Kommentar	siehe Abschnitt 4.4.1
Erstellungsdatum	Datum der Datenerstellung (2024-07-25)
Datentyp	Geoobjekt (Linie), shp-Datei mit Attributen
Versionsstand	finale Version

Tabelle 18: Metadaten Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell (Polygone)

Attribut	Beschreibung
IDs	V_ZONE_2022A, V_ZONE_2030V0, V_ZONE_2030V1, V_ZONE_2030V2 V_ZONE_2040V0, V_ZONE_2040V1, V_ZONE_2040V2, V_ZONE_2040V3
Titel	Ergebnisse Verkehrsnachfragemodell (Polygone)

Zusammenfassung	<p>Je Ergebnisdatei alle Verkehrsbezirke des Verkehrsnetzes mit den Ergebnissen der Prognoserechnungen im Verkehrsnachfragermodell</p> <p>..._V0: Vergleich zum Analyse Fall A (ohne Maßnahmen der Simulationsvarianten)</p> <p>..._V1 – ..._V3: Simulationsvariante</p> <p>Räumliche Abgrenzung (extent):</p> <p>16.4862068371198269,47.8432171565122175 : 17.1110249435283315,48.2344147831882850</p> <p>Attribute im Shapefile: Bezeichnung (Beschreibung);</p> <p>NUMPERSONS~1 (NUMPERSONS(ANOMP), Einwohner HWS Personengruppe, NichtErwerbstätige > 45 ohne Kinder mit Pkw); NUMPERSONS~2 (NUMPERSONS(ARMP), Einwohner HWS Personengruppe, Rentner >=75 mit Pkw); NUMPERSONS~3 (NUMPERSONS(AROP), Einwohner HWS Personengruppe, Rentner >=75 ohne Pkw); NUMPERSONS~4 (NUMPERSONS(AZMP), Einwohner HWS Personengruppe, Azubis mit Pkw); NUMPERSONS~5 (NUMPERSONS(AZOP), Einwohner HWS Personengruppe, Azubis ohne Pkw); NUMPERSONS~6 (NUMPERSONS(EOMP), Einwohner HWS Personengruppe, Erwerbstätige ohne Kinder mit Pkw); NUMPERSONS~7 (NUMPERSONS(EOOP), Einwohner HWS Personengruppe, Erwerbstätige ohne Kinder ohne Pkw); NUMPERSONS~8 (NUMPERSONS(E1MP), Einwohner HWS Personengruppe, Erwerbstätige mit Kindern mit Pkw); NUMPERSONS~9 (NUMPERSONS(E1OP), Einwohner HWS Personengruppe, Erwerbstätige mit Kindern ohne Pkw); NUMPERSONS~10 (NUMPERSONS(G), Einwohner HWS Personengruppe, Grundschüler); NUMPERSONS~11 (NUMPERSONS(JNOMP), Einwohner HWS Personengruppe, Nichterwerbstätige <=45 ohne Kinder mit Pkw); NUMPERSONS~12 (NUMPERSONS(JRMP), Einwohner HWS Personengruppe, Rentner < 75 mit Pkw); NUMPERSONS~13 (NUMPERSONS(JROP), Einwohner HWS Personengruppe, Rentner < 75 ohne Pkw); NUMPERSONS~14 (NUMPERSONS(KI), Einwohner HWS Personengruppe, Kinder); NUMPERSONS~15 (NUMPERSONS(N1MP), Einwohner HWS Personengruppe, Nichterwerbstätige mit Kindern mit Pkw); NUMPERSONS~16 (NUMPERSONS(NOP), Einwohner HWS Personengruppe, Nichterwerbstätige ohne Pkw); NUMPERSONS~17 (NUMPERSONS(S), Einwohner HWS Personengruppe, Schüler); NUMPERSONS~18 (NUMPERSONS(ST), Einwohner HWS Personengruppe, Student); SG_EW (SG_EW, Einwohner HWS insgesamt); SG_AERZTE (SG_AERZTE, Anzahl Ärzte); SG_AP (SG_AP, Arbeitsplätze); SG_BES_~19 (SG_BES_ARBEIT, Besucher von Arbeitsplätzen); SG_BES_~20 (SG_BES_FREIZEIT, Besucher Freizeiteinrichtungen, nur Potenzialabschätzung für Zielwahl auf Basis FGSV 2006); SG_BES_~21 (SG_FREIZEIT_ATTRAK, Besucher Freizeiteinrichtungen, nur Potenzialabschätzung für Zielwahl auf Basis FGSV 2006); SG_BES_~22 (SG_FREIZEIT_IN, Anzahl Freizeiteinrichtungen Indoor); SG_BES_~23 (SG_FREIZEIT_OUT, Anzahl Freizeiteinrichtungen Outdoor); SG_KI (SG_KI, Plätze in Kindertagesstätten); SG_KU_NWTB (SG_KU_NWTB, Kunden Waren nicht täglicher Bedarf, nur Potenzialabschätzung für Zielwahl auf Basis FGSV 2006); SG_KU_WTB (SG_KU_WTB, Kunden Waren täglicher Bedarf, nur Potenzialabschätzung für Zielwahl auf Basis FGSV 2006); SG_PRV_ERL (SG_PRV_ERL, StrukturGroesse_PrivateErledigung, nur Potenzialabschätzung für Zielwahl auf Basis FGSV 2006); SG_RESTA (SG_RESTA, StrukturGroesse_Anzahl_Restaurant); SG_SCH_BS (SG_SCH_BS, StrukturGroesse_BerufsschulPlaetze); SG_SCH_GS (SG_SCH_GS, StrukturGroesse_GrundschulPlaetze); SG_SCH_HS (SG_SCH_HS, StrukturGroesse_HochschulPlaetze); SG_SCH_SR (SG_SCH_SR, StrukturGroesse_SchulPlaetze_Rest); SG_SCH_SS (SG_SCH_SS, StrukturGroesse_SekundaerschulPlaetze); SG_SCH_VS (SG_SCH_VS, Volksschulplätze = Grundschulplätze); K_QV_00_01 (K_QV_00_01, Kfz-Quellverkehr_Stunde_1, Kfz-Wege, die in der Stunde im Bezirk starten); K_QV_01_02 (K_QV_01_02, Kfz-Quellverkehr_Stunde_2, Kfz-Wege, die in der Stunde im Bezirk starten); ... K_QV_23_24 (K_QV_23_24, Kfz-Quellverkehr_Stunde_3, Kfz-Wege, die in der Stunde im Bezirk starten);</p>
-----------------	--

Quellverkehr_Stunde_24, Kfz-Wege, die in der Stunde im Bezirk starten); K_ZV_00_01 (K_ZV_00_01, Kfz-Zielverkehr_Stunde_1, Kfz-Wege, die in der Stunde im Bezirk enden); K_ZV_01_02 (K_ZV_01_02, Kfz-Zielverkehr_Stunde_2, Kfz-Wege, die in der Stunde im Bezirk enden); ... K_ZV_23_24 (K_ZV_23_24, Kfz-Zielverkehr_Stunde_24, Kfz-Wege, die in der Stunde im Bezirk enden); PRN_00_01 (PRN_00_01, Kfz-Parkraumnachfrage_Stunde_1); PRN_01_02 (PRN_01_02, Kfz-Parkraumnachfrage_Stunde_2); ... PRN_23_24 (PRN_23_24, Kfz-Parkraumnachfrage_Stunde_24); SPLIT24_F (SPLIT24_F, Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Fuß, nur Personenverkehr); SPLIT24_M (SPLIT24_M, Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Pkw-Mitfahrer, nur Personenverkehr); SPLIT24_O (SPLIT24_O, Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, ÖPNV, nur Personenverkehr); SPLIT24_P (SPLIT24_P, Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Pkw-Selbstfahrer, nur Personenverkehr); SPLIT24_R (SPLIT24_R, Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Rad, nur Personenverkehr); MATROWS~24 (MATROWSUM(101), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Fuß, Privatverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~25 (MATROWSUM(102), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer, Privatverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~26 (MATROWSUM(103), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV, Privatverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~27 (MATROWSUM(104), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer, Privatverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~28 (MATROWSUM(105), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad, Privatverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~29 (MATROWSUM(106), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Lkw, Wirtschaftsverkehr); MATROWS~30 (MATROWSUM(107), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer, Wirtschaftsverkehr); MATROWS~31 (MATROWSUM(108), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer, , Quelle oder Ziel außerhalb des Modellgebietes); MATROWS~32 (MATROWSUM(109), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV, , Quelle oder Ziel außerhalb des Modellgebietes); MATROWS~33 (MATROWSUM(110), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV, Wirtschaftsverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~34 (MATROWSUM(111), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw, Wirtschaftsverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~35 (MATROWSUM(112), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad, Wirtschaftsverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~36 (MATROWSUM(113), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer, Wirtschaftsverkehr, Quelle und Ziel innerhalb des Modellgebietes); MATROWS~37 (MATROWSUM(120), ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Alle); MATCOLS~38 (MATCOLSUM(101), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Fuß, Privatverkehr); MATCOLS~39 (MATCOLSUM(102), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer, Privatverkehr); MATCOLS~40 (MATCOLSUM(103), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV, Privatverkehr); MATCOLS~41 (MATCOLSUM(104), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer, Privatverkehr); MATCOLS~42 (MATCOLSUM(105), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad, Privatverkehr); MATCOLS~43 (MATCOLSUM(106), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Lkw, Wirtschaftsverkehr); MATCOLS~44 (MATCOLSUM(107), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer, Wirtschaftsverkehr); MATCOLS~45 (MATCOLSUM(108), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer); MATCOLS~46 (MATCOLSUM(109), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV); MATCOLS~47 (MATCOLSUM(110), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Wirtschaftsverkehr); MATCOLS~48 (MATCOLSUM(111), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw, Wirtschaftsverkehr); MATCOLS~49

	(MATCOLSUM(112), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad, Wirtschaftsverkehr); MATCOLS~50 (MATCOLSUM(113), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer, Wirtschaftsverkehr); MATCOLS~51 (MATCOLSUM(120), eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Alle)
Kurzbezeichnung	Verkehrsnachfragemodell Verkehrsbezirke
Einheit	Geoobjekte (Polygone)
Zeitintervall	2023, 2030, 2040
Zeitraum und Referenzjahr	2030, 2040 zum Referenzjahr 2023
Institution	yVerkehrsplanung GmbH
Kontakt	emanuel.selz@yverkehrsplanung.de
Mitwirkende und Rolle	Emanuel Selz, Maximilian Reimann, Martin Luck, Mario Platzer (Rolle: Datenaufbereitung GIS, Verkehrsmodellierung)
Methodik	multimodales Verkehrsnachfragemodell (siehe Abschnitt 4.3.1)
Datenvervollständigung	siehe Abschnitt 5.2.2
Quelldaten	alle Zeilen der Tabelle 12 außer Zeile 7, 8, 13
Kommentar	siehe Abschnitt 4.4.1
Erstellungsdatum	Datum der Datenerstellung (2024-07-25)
Datentyp	Geoobjekt (Polygon), shp-Datei mit Attributen
Versionsstand	finale Version

Tabelle 19: Metadaten Gebäude

Attribut	Beschreibung
CaselD	Information über Szenario und Variante (Typ: int)
Id	Eindeutige Gebäudeid (Typ: int)
Weiterführende Information	Vgl. Tabelle 5
Trafold	Zugehörige Trafostation (Typ: int)
DistrictID	Zugehöriger Verkehrsbezirk (Typ: int)
Titel	Metainformation Gebäude
Zusammenfassung	Je nach Szenario und Variante sind die Gebäudeinformationen für die jeweiligen Jahre abgelegt, sodass Änderungen im Heizsystem, Sanierungsanteile, ... berücksichtigt werden
Kurzbezeichnung	HyRiCoLoS Gebäudeinformationen
Zeitintervall	2023, 2030, 2040
Institution	Forschungsbereich Bauphysik, TU Wien
Kontakt	sabine.sint@tuwien.ac.at
Mitwirkende und Rolle	Sabine Sint (Datenbank), Simon Hinterseer (HyRiCoLoS Simulation)
Methodik	Gekoppelte Gebäude- und Energiemodelle (siehe Abschnitt 4.3.2 und 4.4.2)
Versionsstand	finale Version abgelegt für Varianten und Szenarien in der TU Wien Datenbank

Tabelle 20: Metadaten Ergebnisse Gebäudesimulation

Attribut	Beschreibung
CaseID	Information über Szenario und Variante (Typ: int)
BuildingID	Eindeutige Gebäudeid (Typ: int)
Time	Zeitstempel für die eindeutige Zuordnung des Stromverbrauchs; Simuliert wird ein ganzes Jahr in Stundenschritten (Typ: datetime)
Electricity	elektrische Last des Gebäudes zum jeweiligen Zeitpunkt in kW (Typ: float)
Titel	Metainformation Gebäudesimulation
Zusammenfassung	Je nach Szenario und Variante werden für die jeweiligen Jahre der Stromverbrauch der einzelnen Gebäude pro Stunde gespeichert
Kurzbezeichnung	HyRiCoLoS Gebäudesimulationsergebnisse
Zeitintervall	2023, 2030, 2040
Institution	Forschungsbereich Bauphysik, TU Wien
Kontakt	sabine.sint@tuwien.ac.at
Mitwirkende und Rolle	Sabine Sint (Datenbank), Simon Hinterseer (HyRiCoLoS Simulation)
Methodik	Gekoppelte Gebäude- und Energiemodelle (siehe Abschnitt 4.3.2 und 4.4.2)
Versionsstand	finale Version abgelegt für Varianten und Szenarien in der TU Wien Datenbank

Tabelle 21: Datenbanktabellen inkl. Attributbeschreibungen

Attribut	Typ	Einheit	Beschreibung
CaseScenario			
Scenario	int		Szenarioid
Variant	int		Variantenid
Year	int		Jahr
Description	nvarchar(50)		Beschreibung des Szenarios
ECarPercentage	float		Anteil der E-Mobilität in Prozent
CO2FossilMobility	float	kg	Jährliche Treibhausgasemissionen durch fossile Mobilität
PrimaryEnergyFossilMobility	float	kWh	Jährlicher Primärenergiebedarf durch fossile Mobilität
ElectricEnergyFossilMobility	float	kWh	Jährlicher elektrischer Energieverbrauch durch fossile Mobilität (0 aber aufgrund Konsistenz vorhanden)
Building			
CaseID	int		einheitige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
Id	int		einheitige Gebäudeid
AdditionalInfos	nvarchar(200)		weiterführende Informationen zu dem Gebäude
MonumentProtection	int		Denkmalgeschützt ja/nein
CadastralNumber	nvarchar(50)		Kadastralgemeindenummer
BuildingBlockNumber	int		Grundstücksnummer
Surface	float		Fläche des Gebäudes
TrafoID	int		Zugehöriger Trafo

DistrictID	int		Zugehöriger Verkehrsbezirk
CategoryTU	int		Gebäudenutzungskategorie als Nummer
GroupedCategory	nvarchar(200)		Nähere Beschreibung zur Gebäudenutzungskategorie
CountFloors	int		Geschoßanzahl
ConstructionPeriod	int		Bauperiode als Nummer
ConstructionDescription	nvarchar(200)		Nähere Beschreibung zur Bauperiode
Heating	int		Heizungssystem als Nummer
HeatingDescription	nvarchar(200)		Nähere Bechreibung des Heizungssystems
Height	int		Höhe des Gebäudes
Year	int		Startjahr Simulation
Action	nvarchar(50)		Maßnahmeninformation
MainBuilding	int		Hauptgebäude ja/nein
BuildingInfo			
BuildingID	int		eindeutige Gebäudeid
CaseID	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
Time	datetime		Zeitstempel
Electricity	float	kW	elektrische Last des Gebäudes zum jeweiligen Zeitpunkt
BuildingEnergyInformation			
CaseID	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
BuildingID	int		eindeutige Gebäudeid
PrimaryEnergy	float	kWh	Jährlicher Primärenergiebedarf
CO2	float	kg	Jährliche Treibhausgasemissionen
Biomass	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Biomasse)
Oil	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Öl)
Coal	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Kohle)
Gas	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Gas)
DistrictHeating	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Fernwärme)
Heating	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Heizen)
Cooling	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Kühlen)
HotWater	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Warmwasser)
Appliances	float	kWh	Jahresenergieverbrauch (Elektrogeräte inkl. Produktion bei Industriegebäuden)
Route			
Id	int		Eindeutige ID der Strecke
CaseID	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
StartNode	int		Id des Startpunkts
EndNode	int		Id des Endpunkts
Type	int		Typinformation Hinrichtung
TypeBack	int		Typinformation Rückrichtung
TrafficSystem	nvarchar(50)		Verkehrssystem Hinrichtung
TrafficSystemBack	nvarchar(50)		Verkehrssystem Rückrichtung
Length	float		Länge der Strecke

PedestrianVolume	float		Fußgängeraufkommen Hinrichtung
BikeVolume	float		Radfahreraufkommen Hinrichtung
PublicTransportVolume	float		Öffentlicher Verkehr Hinrichtung
CarVolume	float		Autoverkehr Hinrichtung
TruckVolume	float		LKW Verkehr Hinrichtung
MotorVehicleVolume	float		Kraftfahrzeugaufkommen Hinrichtung
PedestrianVolumeBack	float		Fußgängeraufkommen Rückrichtung
BikeVolumeBack	float		Radfahreraufkommen Rückrichtung
PublicTransportVolumeBack	float		Öffentlicher Verkehr Rückrichtung
CarVolumeBack	float		Autoverkehr Rückrichtung
TruckVolumeBack	float		LKW Verkehr Rückrichtung
MotorVehicleVolumeBack	float		Kraftfahrzeugaufkommen Rückrichtung
RouteTraffic			
RoutelD	int		Eindeutige ID der Strecke
CaselD	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
Hour	int		Stunde des Tages für die Werte
Pedestrian	float		Fußgänger zur jeweiligen Stunde Hinrichtung
MotorVehicle	float		Kraftfahrzeuge zur jeweiligen Stunde Hinrichtung
Truck	float		LKWs zur jeweiligen Stunde Hinrichtung
PublicTransport	float		Öffentlicher Verkehr zur jeweiligen Stunde Hinrichtung
Car	float		Autoverkehr zur jeweiligen Stunde Hinrichtung
Bike	float		Radfahrverkehr zur jeweiligen Stunde Hinrichtung
PedestrianBack	float		Fußgänger zur jeweiligen Stunde Rückrichtung
MotorVehicleBack	float		Kraftfahrzeuge zur jeweiligen Stunde Rückrichtung
TruckBack	float		LKWs zur jeweiligen Stunde Rückrichtung
PublicTransportBack	float		Öffentlicher Verkehr zur jeweiligen Stunde Rückrichtung
CarBack	float		Autoverkehr zur jeweiligen Stunde Rückrichtung
BikeBack	float		Radfahrverkehr zur jeweiligen Stunde Rückrichtung
TrafficDistrict			
Id	int		Eindeutige ID des Verkehrsbezirks
CaselD	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
Name	nvarchar(50)		Name des Verkehrsbezirks
NotEmployedOver45	float		Nicht Erwerbstätige über 45 ohne Kinder mit Pkw
PensionerCarOver	float		Rentner:innen>=75 mit Pkw
PensionerOver	float		Rentner:innen>=75 ohne Pkw

ApprenticeCar	float	Azubis mit Pkw
Apprentice	float	Azubis ohne Pkw
EmployeeCar	float	Erwerbstätige ohne Kinder mit Pkw
Employee	float	Erwerbstätige ohne Kinder ohne Pkw
EmployeeChildCar	float	Erwerbstätige mit Kinder mit Pkw
EmployeeChild	float	Erwerbstätige mit Kinder ohne Pkw
PrimarySchool	float	Grundschüler:innen
NotEmployedUnder45	float	Nicht Erwerbstätige <= 45 ohne Kinder mit Pkw
PensionerCar	float	Rentner:innen<75 mit Pkw
Pensioner	float	Rentner:innen <75 ohne Pkw
Child	float	Kinder
NotEmployedChildCar	float	Nicht Erwerbstätige mit Kinder mit Pkw
NotEmployed	float	Nicht Erwerbstätige ohne Pkw
Pupil	float	Schüler:innen
Student	float	Studierende
ResidentsTotal	float	Einwohner:innen gesamt
Doctors	int	Anzahl Ärzt:innen
Workplaces	int	Arbeitsplätze
VisitorsWorkplaces	int	Besucher:innenvon Arbeitsplätzen
VisitorsLeisureFacilities	int	Besucher:innenFreizeiteinrichtungen
VisitorsEntertainment	int	Besucher:innenFreizeiteinrichtungen
IndoorLeisureFacilities	int	Anzahl Freizeiteinrichtungen Indoor
OutdoorLeisureFacilities	int	Anzahl Freizeiteinrichtungen Outdoor
DaycareCenters	int	Plätze in Kindertagesstätten
NonDailyConsumerGoods	int	Kund:innen Waren nicht täglicher Bedarf
GoodsDailyNeeds	int	Kund:innen Waren täglicher Bedarf
PrivateOperation	int	StrukturGroesse_PrivateErledigung
Restaurants	int	StrukturGroesse_Anzahl_Restaurant
VocationalSchools	int	StrukturGroesse_BerufsschulPlaetze
PrimarySchools	int	StrukturGroesse_GrundschulPlaetze
Universities	int	StrukturGroesse_HochschulPlaetze
SchoolSeats	int	StrukturGroesse_SchulPlaetze_Rest
SecondarySchools	int	StrukturGroesse_SekundaerschulPlaetze
PrimarySchools2	int	Volksschulplätze = Grundschulplätze
OutgoingTrafficPedestrian	float	Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Fuß; nur Personenverkehr
OutgoingTrafficCarPassenger	float	Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Pkw-Mitfahrer; nur Personenverkehr
OutgoingTrafficPublicTransport	float	Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, ÖPNV; nur Personenverkehr
OutgoingTrafficCarSelf	float	Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Pkw-Selbstfahrer; nur Personenverkehr

OutgoingTrafficBike	float		Anteil der vom Verkehrsbezirk ausgehenden Wege, Rad; nur Personenverkehr
OutPrivatePedestrian	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Fuß; Privatverkehr
OutPrivateCarPassenger	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer; Privatverkehr
OutPrivatePublicTransport	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV; Privatverkehr
OutPrivateCarSelf	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer; Privatverkehr
OutPrivateBike	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad; Privatverkehr
OutCommercialTruck	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Lkw; Wirtschaftsverkehr
OutCommercialCarSelf	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer; Wirtschaftsverkehr
OutCarSelf	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer;
OutPublicTransport	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV;
OutCommercialPublicTransport	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV; Wirtschaftsverkehr
OutCommercialPedestrian	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Fuß; Wirtschaftsverkehr
OutCommercialBike	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad; Wirtschaftsverkehr
OutCommercialCarPassenger	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer; Wirtschaftsverkehr
OutTotal	float		ausgehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Alle;
InPrivatePedestrian	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Fuß; Privatverkehr
InPrivateCarPassenger	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer; Privatverkehr
InPrivatePublicTransport	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV; Privatverkehr
InPrivateCarSelf	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer; Privatverkehr
InPrivateBike	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad; Privatverkehr
InCommercialTruck	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Lkw; Wirtschaftsverkehr
InCommercialCarSelf	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer; Wirtschaftsverkehr

InCarSelf	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Selbstfahrer;
InPublicTransport	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV;
InCommercialPublicTransport	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), ÖPNV; Wirtschaftsverkehr
InCommercialCar	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw; Wirtschaftsverkehr
InCommercialBike	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Rad; Wirtschaftsverkehr
InCommercialCarPassenger	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Pkw-Mitfahrer; Wirtschaftsverkehr
InTotal	float		eingehender Verkehr pro Tag (Anzahl Wege), Alle;
TrafficDistrictInfo			
DistrictID	int		Eindeutige ID des Verkehrsbezirks
CaseID	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
Hour	int		Stunde des Tages für die Werte
MotorVehicleSourceTraffic	float		Kfz Quellverkehr zur jeweiligen Stunde
MotorVehicleTargetTraffic	float		Kfz Zielverkehr zur jeweiligen Stunde
ParkingDemand	float		Parkraumnachfrage zur jeweiligen Stunde
DistrictTrafo			
TrafficDistrictID	int		Verkehrsbezirksid
TrafoID	int		TrafoID
Trafo			
CaseID	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
TrafoID	int		eindeutige ID des jeweiligen Trafos
Time	datetime		Zeitstempel
PV	float	kW	Einspeiseleistung der PV zum jeweiligen Zeitpunkt
Emobility	float	kW	Verbrauch der Elektromobilität zum jeweiligen Zeitpunkt
TrafoPV			
CaseID	int		eindeutige ID zum zugehörigen Szenario und Variante
TrafoID	int		eindeutige ID des jeweiligen Trafos
InstalledPV	float	kWp	Installierte PV Leistung (peak) im Trafobezirk

8.4. Auswertungen zum Gebäudebestand

Abbildung 41: Anzahl der Gebäude je Bauperiode in Bruck/Leitha im Jahr 2023

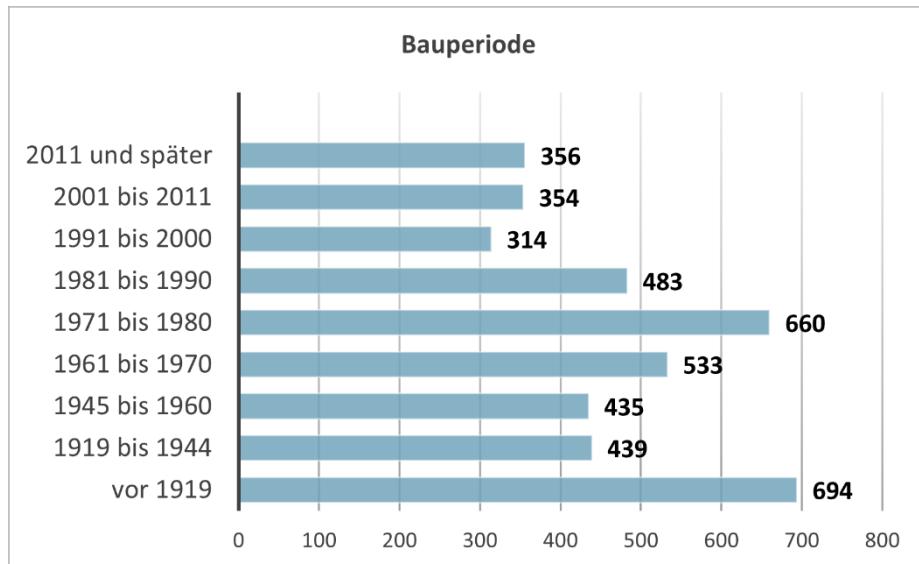


Abbildung 42: Anzahl der Gebäude je Heizungssystem in Bruck/Leitha im Jahr 2023

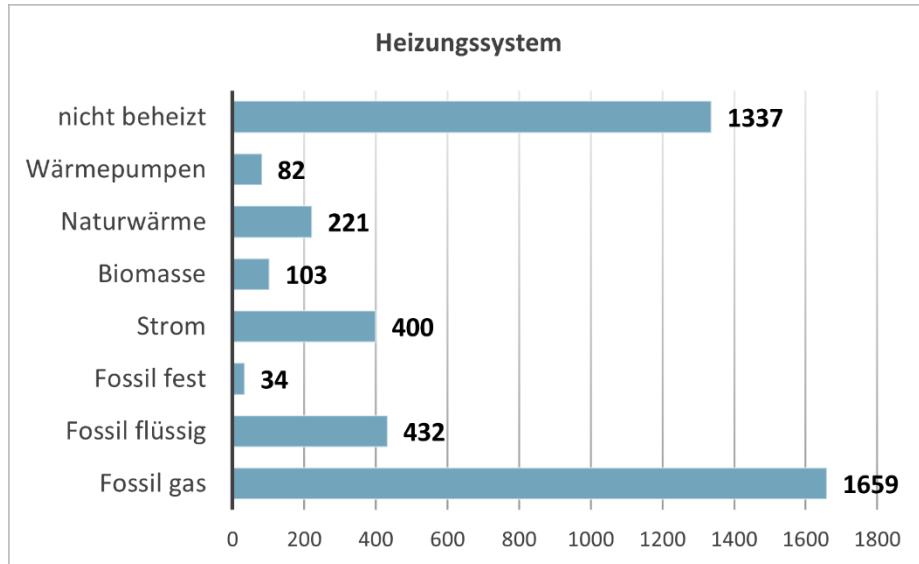


Abbildung 43: Anzahl der Gebäude nach Nutzung in Bruck/Leitha im Jahr 2023

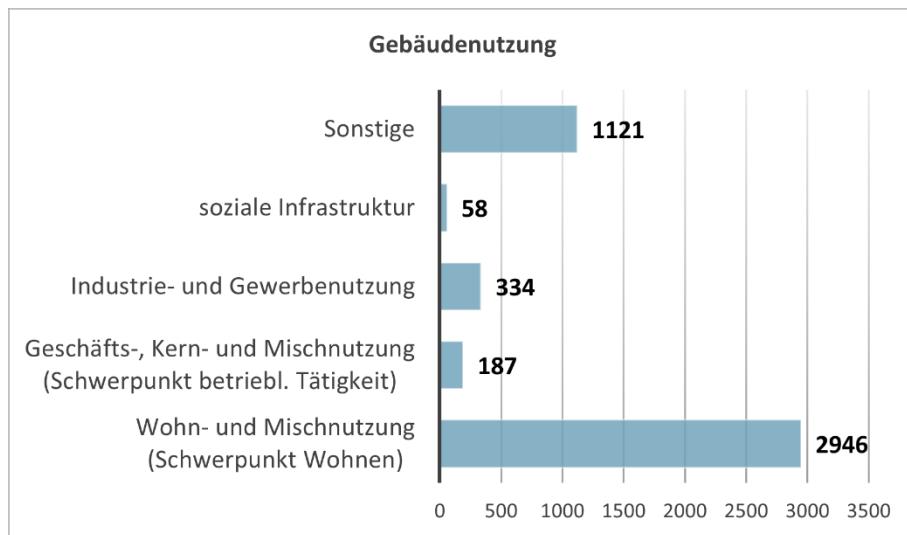


Tabelle 22: Zuordnungstabelle Gebäudenutzung

Gebäudenutzungs-Kategorie	Gebäudenutzung
Wohn- und Mischnutzung (Schwerpunkt Wohnen)	Einfamilienhaus Mehrfamilienhaus Wohngebäude für Gemeinschaften Kleingartensiedlung (mit Wohnnutzung)
Geschäfts-, Kern- und Mischnutzung (Schwerpunkt betriebl. Tätigkeit)	Bürogebäude Pension Hotel Gaststätte Verkaufsstätte
Industrie- und Gewerbenutzung	Industrie und Lagergebäude Tierhaltung/Ställe Maschinenhalle/Lagergebäude
Soziale Infrastruktur	Kindergarten Höhere Schule Krankenhaus Pflegeheim Veranstaltungsstätte Sportstätte Hallenbad Pflichtschule Hochschule Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens Kirche Kapelle Friedhofsbauten Freiwillige Feuerwehr Stadttürme und Stadtbefestigung Museum
Sonstige	Garage/Gartenhütte Ruine Trafos Technikgebäude (z.B. Pumpwerk)

