



Master Thesis

im Rahmen des

Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für Geoinformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

Vergleich von GIS-basierten Methoden zur Kartierung von Wärmebedarfen Grundlagen räumlicher Energieplanung am Beispiel der Stadtgemeinde Gleisdorf

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Franz Mauthner

104747, UNIGIS MSc Jahrgang 2018

Betreuer:

Dr. rer.-nat. Markus Biberacher

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Graz, 30.09.2019

Synopsis

Gegenstand der Thesis ist es, unterschiedliche GIS-basierte Methoden (Top-Down und Bottom-Up) zur Modellierung der Wärmenachfrage (Wärmebedarf) und in weiterer Folge zur Ermittlung flächenbezogener Wärmebedarfsdichten im Wohn- und Dienstleistungssektor systematisch miteinander zu vergleichen und die Eignung der jeweiligen Ansätze hinsichtlich der Ausweisung von Zonen für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung (Nah- und Fernwärme) auf Gemeindeebene zu evaluieren. Untersuchungen zum Kühlenergiebedarf sowie zum industriellen Wärme- und Kälteenergiebedarf (Prozesswärme und -kälte) sind nicht Gegenstand der Arbeit.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen inländischen oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Danksagung

Die Master Thesis wurde bei AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC) in Gleisdorf im Rahmen des Projektes S/E/P - *Spatial Energy Planning for Heat Transition* der Programmlinie Vorzeigeregion Energie (FFG Projekt NR 868850) verfasst und aus dem Klima- und Energiefonds, der aus Mitteln des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) und des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) dotiert ist, kofinanziert. Besonderer Dank gilt an dieser Stelle meinem Arbeitgeber AEE INTEC, meinem Betreuer Dr. Markus Biberacher (Research Studios Austria iSPACE) sowie dem gesamten Team des UNIGIS Lehrganges für die Unterstützung, den Ansprechpartnern zu den EU-Projekten Heat Roadmap Europe (Prof. Dr. Bernd Möller, Europa Universität Flensburg) und Hotmaps (Dr. Andreas Müller, TU Wien) für die Zusammenarbeit sowie meinem Umfeld, insbesondere Freunden und der Familie, für den Rückhalt.



Franz Mauthner, Graz am 30. September 2019

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	4
Abstract	6
1. Einleitung.....	8
1.1. Hintergrund und Motivation	8
1.2. Status quo zur Modellierung und Kartierung von Wärmebedarfen	8
1.3. Forschungsleitziel und operative Teilaufgaben.....	10
1.4. Methodischer Ansatz und Datengrundlagen	11
1.5. Kapitelübersicht.....	14
2. Grundlagen.....	15
2.1. Grundlagen Energieraumplanung / räumliche Energieplanung.....	15
2.2. Grundlagen zur Modellierung und Kartierung von Wärmebedarfen.....	18
2.3. Grundlagen zur Modellierung von Eignungsgebieten für Fernwärme.....	21
3. Methodenvergleich	23
3.1. Methode 1: Projekt S/E/P.....	23
3.2. Methode 2: Projekt Heat Roadmap Europe	46
3.3. Methode 3: Projekt Hotmaps	49
3.4. Fazit zum Methodenvergleich	53
4. Validierung am Beispiel des Fernwärmenetzes in Gleisdorf	59
4.1. Fazit zur Validierung	64
5. Diskussion.....	65
6. Fazit und Ausblick.....	68
7. Verzeichnisse	70
7.1. Glossar	70
7.2. Literaturverzeichnis.....	72
7.3. Abbildungsverzeichnis.....	74
7.4. Tabellenverzeichnis	76
8. Anhang.....	78
8.1. Attributtabelle und Attributdomänen.....	78
8.2. Gebäudetypologie-Matrix	81
8.3. Heizungstypologie-Matrix	86
8.4. Umrechnungsfaktoren	90

8.5. Modellierter Wärmebedarf vs. gemessener Wärmeverbrauch.....	91
--	----

Kurzfassung

Hintergrund und Relevanz im Kontext der Geoinformatik

Mit der zunehmenden Verstädterung kommt Gemeinden und Städten eine immer wichtigere Rolle bei der Erreichung von Klimazielen und der Dekarbonisierung unseres Energiesystems zu (Stichwort *Energiewende*). Insbesondere der Wärmesektor zeichnet in Österreich für einen hohen Verbrauch an fossilen Energieträgern und damit in Verbindung auch für hohe Treibhausgasemissionen verantwortlich. Für eine erfolgreiche Energiewende ist in der Konsequenz eine erfolgreiche Wärmewende auf Ebene von Gemeinden und Städten erforderlich wofür verstärkt ganzheitliche Planungsansätze mit Raumbezug (Stichwort *Energieraumplanung, räumliche Energieplanung*) benötigt werden.

Moderne Geoinformationssysteme können in diesem Kontext einen wichtigen Beitrag leisten: Die räumlich differenzierte Modellierung, Darstellung und Analyse von lokalen Wärme- und Kälteenergiebedarfen im Gebäudesektor ist Basis für eine fundierte strategische Wärmeversorgungsplanung und ermöglicht beispielsweise Aussagen zu Einsparungspotenzialen im Gebäudesektor sowie zur Verortung von Gebieten (Zonen), die sich für eine klimafreundliche Wärmeversorgung mittels Nah- und Fernwärme eignen.

Zielsetzung und Methode

Ziel der Thesis ist es vor diesem Hintergrund, drei unterschiedliche GIS-basierte Methoden (Top-Down und Bottom-Up) zur Modellierung von Gebäudeenergiebedarfen und in weiterer Folge zur Ermittlung flächenbezogener Wärmebedarfsdichten im Gebäudesektor systematisch miteinander zu vergleichen und die Eignung der jeweiligen Ansätze hinsichtlich der Ausweisung von Zonen für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung auf Gemeindeebene zu evaluieren.

Für den Methodenvergleich werden hektargenaue Daten zum Wärmebedarf für ein konkretes Untersuchungsgebiet (Stadtgemeinde Gleisdorf) aus zwei aktuellen EU-Forschungsprojekten akquiriert und aufbereitet. Ein dritter Modellierungsansatz inkl. Datenkonzept zur gebäudegenauen Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung basierend auf einem Bottom-Up Typologie Ansatz wird im Rahmen der Thesis erarbeitet, beschrieben und für das Untersuchungsgebiet umgesetzt. Auf Ebene regionalstatistischer 100 Meter Rastereinheiten erfolgt eine vergleichende quantitative und qualitative (visuelle) Bewertung und Analyse der drei resultierenden Wärmedichtekarten. Für den Bottom-Up Typologie Ansatz erfolgt darüber hinaus eine (Teil-) Validierung der Modellergebnisse mit Realdaten vom bestehenden Fernwärmeversorgungsgebiet. Die Ergebnisse aus Methodenvergleich und Validierung werden kritisch reflektiert und Erkenntnisse für eine konkrete Anwendung in der räumlichen Energieplanung sowie mögliche Optimierungen am vorgestellten Typologie Ansatz werden diskutiert.

Ergebnisse

Ein wesentliches Ergebnis der Arbeit ist die Beschreibung und Umsetzung einer Methodik für die Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung zur objektgenauen Abschätzung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfes sowie der CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung im Gebäudesektor (ohne Prozesswärme). Die Methodik umfasst ein Datenkonzept (Attributliste und Attributdomänen) sowie die Definition von Gebäude- und Heizungstypologien für die Modellierung der Gebäudeenergiekennzahlen. Die Methode wurde am Untersuchungsgebiet Gleisdorf angewendet und anhand von verfügbaren Messdaten validiert bzw. auch geringfügig kalibriert. Der vorgestellte Typologie-Ansatz ist auf wenige Eingabeparameter reduziert, baut überwiegend auf bundes- und landesweit verfügbare Daten auf und ist somit auf andere kommunale Untersuchungsgebiete übertragbar. Die Validierung der

Modellergebnisse am Beispiel des bestehenden Fernwärmenetzes hat ergeben, dass die klassifizierten Wärmebedarfsdichten aus dem Modell (Wärmedichtekarte und Zonenkarte) sehr gut mit der räumlichen Ausprägung des realen Fernwärmenetzes übereinstimmen, die modellierten Wärmebedarfe den tatsächlichen Verbrauch allerdings tendenziell überschätzen (durchschnittlich um 37%).

Zweites wesentliches Ergebnis der Arbeit ist der Vergleich des Bottom-Up Typologie Ansatzes mit Top-Down Ansätzen zur Wärmebedarfsmodellierung aus zwei aktuellen EU-Projekten (Heat Roadmap Europe und Hotmaps). Ein Vergleich der resultierenden Heizenergiebedarfe für das gesamte Gemeindegebiet ergibt angesichts der grundlegend verschiedenen methodischen Ansätze ein doch sehr homogenes Ergebnis: Die Abweichung der modellierten Heizenergiebedarfe für die Sektoren Wohn- und Nichtwohngebäude zwischen den drei Methoden beträgt nur rund $\pm 10\%$. Bei der weiterführenden Analyse der klassifizierten Wärmebedarfsdichten verorten alle drei Methoden die Gebiete mit dem höchsten Wärmebedarf korrekt im dicht besiedelten Stadtkern von Gleisdorf, im Detail zeigen sich insbesondere für das Projekt Hotmaps größere räumliche Differenzen auf Hektarrasterebene.

Diskussion

Im Diskussionsteil werden alle Eingangs- und Modellparameter des vorgestellten Bottom-Up Ansatzes kritisch reflektiert. Verbesserungspotenzial birgt insbesondere die korrekte Bestimmung von Gebäude-Geometrien (v.a. die Bruttogrundfläche) basierend auf Fernerkundungsdaten sowie eine weiterführende Kalibrierung der Gebäudeenergiekennzahlen in den Typologie Tabellen, insbesondere für den Nichtwohngebäudesektor, mittels Realdaten.

Fazit und Ausblick

Die untersuchten Top-Down Modellierungsansätze liefern mit guter Genauigkeit eine erste Indikation zum Heizenergieverbrauch bis auf 100 Meter Rasterebene. Die Ergebnisse aus dem Projekt Heat Roadmap Europe zeigen im Vergleich zum gebäudegenauen Bottom-Up Ansatz eine bessere Übereinstimmung für das Untersuchungsgebiet als die entsprechenden Ergebnisse aus Hotmaps. Für eine abschließende (repräsentative) Beurteilung müsste der Methodenvergleich noch anhand weiterer Untersuchungsgebiete durchgeführt werden.

Der vorgestellte Bottom-Up Typologie Ansatz ist auf wenige Eingabeparameter reduziert und basiert überwiegend auf bundes- und landesweit verfügbare Daten. Die Anwendung auf das Untersuchungsgebiet liefert gute Resultate im Vergleich mit gemessenen Realdaten und sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der räumlichen Verortung von Eignungsgebieten für Nah- und Fernwärme. Den Nachteilen einer aufwändigeren Datenbeschaffung stehen die Vorteile einer gebäudegenauen Charakterisierung und Energiebilanzierung des Gebäudebestandes gegenüber, die für eine adäquate räumliche Energieplanung unerlässlich sind. Die Prozessierung wichtiger Eingangs- und Modellparameter kann und sollte noch weiter verbessert und kalibriert werden. Der Typologie Ansatz selbst kann für eine Gesamt-Energie Bilanzierung von Gebäuden analog zur Vorgehensweise bei der Wärmebedarfsmodellierung um den Kühlbedarf sowie um den Haushaltsstrombedarf erweitert werden. Darüber hinaus sind Szenarioberechnungen basierend auf Kennzahlen für unterschiedliche Sanierungsvarianten Gegenstand laufender Erweiterungen der Methode.

Abstract

Background and Relevance in the Context of Geoinformatics

With increasing urbanization, municipalities and cities are playing an increasingly important role in achieving climate targets and decarbonizing our energy system (keyword: energy transition). In particular, the heating sector in Austria is responsible for a high consumption of fossil fuels and, in connection with this, also for high greenhouse gas emissions. Consequently, for a successful energy transition, a successful heat transition at the level of municipalities and cities is required and to this end, holistic spatial planning approaches (keywords: spatial energy planning) are increasingly needed.

Modern geo-information systems can make an important contribution in this context: The spatially differentiated modelling, representation and analysis of local heating and cooling energy demands in the building sector is the basis for a well-founded strategic heat planning and enables, for example, statements to be made on energy-saving potentials in the building sector and on the location of areas that are suitable for climate-friendly heat supply by means of community heating systems.

Objectives and methods

In the light of the above, the aim of the thesis is to systematically compare three different GIS-based methods (top-down and bottom-up) for the modelling of building energy demands and subsequently for the determination of heat demand densities in the building sector and to evaluate the suitability of the respective approaches with regard to the designation of zones for district heating at community level.

For the method comparison, data on heat demands on hectare-level for a specific study area (municipality of Gleisdorf, Austria) from two current EU research projects will be acquired and processed. A third modelling approach including data concept for building stock analysis and heat demand mapping based on a bottom-up typology approach will be developed, described and implemented for the study area. On the level of regional statistical 100-meter grid units a comparative quantitative and qualitative (visual) evaluation and analysis of the three resulting heat density maps is carried out. For the bottom-up typology approach, a (partial) validation of the model results with empirical data from the existing district heating supply area is made. The results from method comparison and validation are critically reflected and findings for a concrete application in spatial energy planning as well as possible improvements of the presented typology approach are discussed.

Results

An essential result of the work is the description and implementation of a methodology for building stock analysis and heat demand mapping for the well-founded estimation of the useful, final and primary energy demands as well as the CO₂ emissions of the building sector (without process heat). The methodology comprises a data concept (attribute list and attribute domains) as well as the definition of building and heating typologies for the modelling of building energy indicators. The method was applied to the Gleisdorf study area and validated as well as slightly calibrated on the basis of available empirical data from the local district heating operator. The presented typology approach is reduced to a few input parameters based on nationwide and statewide available data and is therefore transferable to other municipal areas of interest. The validation of the model results with data from the local district heating system showed that the classified heat demand densities from the model (heat density map and district heating zoning map) correspond very well with the location of the real

district heating network trench, but that the modelled heat demand tends to overestimate the actual consumption (by 37% on average).

The second important result of the work is the comparison of the bottom-up typology approach with top-down approaches to heat demand modelling from two current EU projects (Heat Roadmap Europe and Hotmaps). A comparison of the resulting thermal energy demands for the entire municipal area yields a surprisingly homogeneous result: The deviation of the modelled heating demands for the residential and non-residential building sectors between the three methods is only about $\pm 10\%$. In the further analysis of the classified heat demand densities, all three methods correctly locate the areas with the highest heat demand in the densely populated city center of Gleisdorf; in detail, the Hotmaps project in particular shows larger spatial differences at hectare grid level.

Discussion

In the discussion part, all input and model parameters of the presented Bottom-Up approach are critically reflected. There is potential for improvement in particular in the correct determination of building geometries (above all the heated gross floor area) based on remote sensing data as well as a further calibration of the building energy indicators in the typology tables, especially for the non-residential building sector, using empirical data.

Conclusion and outlook

The investigated top-down modelling approaches provide with good accuracy a first indication of the heating energy consumption up to 100 meters grid level. The results from the Heat Roadmap Europe project show a better agreement for the study area than the corresponding results from Hotmaps compared to the bottom-up approach. For a final (representative) assessment, the method comparison would have to be carried out on the basis of further investigation areas.

The presented bottom-up typology approach is reduced to a minimum set of input parameters and mainly relies on nationwide and statewide available data. The findings for the study area show good results in comparison with empirical data and very good results regarding the spatial location of suitable areas for local and district heating. Overall, the disadvantages of a more complex data acquisition are contrasted by the advantages of precise characterization and mapping of the building stock, which is indispensable for adequate spatial energy planning. However, the processing of important input and model parameters can and should be further improved and calibrated. Moreover, the typology approach itself can be extended for a total energy balancing of buildings analogous to the procedure for heat demand modelling by the cooling demand as well as the household electricity demand. In addition, scenario calculations based on energy indicators for different refurbishment states are subject of ongoing method developments.

1. Einleitung

1.1. Hintergrund und Motivation

Mit der zunehmenden Verstädterung (UN, 2018) kommt Gemeinden und Städten eine immer wichtigere Rolle bei der Erreichung von Klimazielen und der Dekarbonisierung unseres Energiesystems zu. Um den drohenden Klimawandel noch abzuwenden soll gemäß dem Pariser Klimaschutzabkommen die globale Erwärmung langfristig auf deutlich unter 2°C gegenüber dem vorindustriellen Stand begrenzt werden, was mit der Forderung nach einer drastischen Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen gleichzusetzen ist. Als Reaktion auf das Abkommen avisiert die Europäische Kommission ein klimaneutrales Europa bis 2050 (EC, 2018), was nur mit einer umfassenden Transformation des Energiesystems von heute realisierbar ist (Stichwort *Energiewende*).

Der weitgehend in der Wissenschaft und Technik anerkannte Lösungsansatz für eine klimafreundliche Energieversorgung der Zukunft liegt in der Kombination aus einer Steigerung der Energieeffizienz (verbraucher- und erzeugerseitig) und dem Einsatz erneuerbarer Energieträger (Lund, 2007). Der Wärmesektor nimmt hierbei eine zentrale Rolle ein: In Österreich wird heute mehr als die Hälfte des gesamten Endenergieverbrauchs zur Bereitstellung von Raumwärme und Klimatisierung (31%) sowie zur Bereitstellung von Prozesswärme (20%) benötigt, wobei überwiegend fossile Energieträger (57%) zur Bedarfsdeckung aufgewendet werden (Günsberg et al., 2018). Anders als beim Stromsektor oder der Mobilität erfolgt die Bereitstellung von Wärmeenergie vorwiegend lokal und dezentral. Für eine erfolgreiche Energiewende ist in der Konsequenz eine erfolgreiche Wärmewende auf Ebene von Gemeinden und Städten erforderlich. Eine strategische Wärmeplanung mit Raumbezug, in der vorliegenden Thesis synonym auch als Energieraumplanung oder räumliche Energieplanung bezeichnet, ist in diesem Zusammenhang wesentlich.

1.2. Status quo zur Modellierung und Kartierung von Wärmebedarfen

Die Kenntnis über die räumliche Ausprägung von Wärme- und Kälteenergiebedarfen im Gebäudesektor (Wärme-/Kältebedarfsmapping) ist neben der Verortung und Quantifizierung von lokalen Energiepotenzialen essenziell für eine fundierte strategische Wärmeversorgungsplanung in Gemeinden und Städten. Problematisch ist, dass aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit aber auch aufgrund von datenschutzrechtlichen Einschränkungen gebäudescharfe Informationen zum Energieverbrauch oft nicht oder nur lückenhaft verfügbar sind. Als Lösung finden sich in der Literatur eine Reihe unterschiedlicher Methoden zur Modellierung der Gebäudeenergiebedarfe, die auf zum Teil gänzlich unterschiedlichen methodischen Ansätzen basieren. Eine grundsätzliche Einteilung kann nach Li et al. (2017) in *Top-Down* und *Bottom-Up* Modelle vorgenommen werden (siehe auch Abbildung 1):

Top-Down Modellierungsansätze sind dadurch charakterisiert, dass statistische Kennzahlen zum Energiebedarf, dem Energieträgereinsatz oder den korrespondierenden Emissionen des nationalen Gebäudebestandes mit verfügbaren räumlichen Daten zu Bevölkerungsdichte, Landnutzung, Siedlungsstruktur, Bebauung und Wirtschaftsleistung mittels Methoden der (räumlichen) Statistik auf kleinere Raumeinheiten (üblicherweise ha bis km² Raster) disaggregiert werden (Geiß et al., 2011, Persson et al., 2017, Möller et al., 2018, Pezzutto et al., 2019b). Die zeitliche Auflösung der geschätzten Gebäudeenergiebedarfe ist üblicherweise gering (Jahr). *Top-Down* Ansätze profitieren von der flächendeckenden Verfügbarkeit sowohl von nationalen Energiestatistiken, Zensusdaten und Gebäuderegistern als auch von freien Fernerkundungsdaten und den entsprechenden Derivaten wie beispielsweise für

Bodenbedeckung (*Land.copernicus.eu, 2019a*), Siedlungen (*Land.copernicus.eu, 2019c*) sowie für Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten für funktionale Stadtgebiete (*Land.copernicus.eu, 2019d*) oder digitalen Höhenmodellen (*Land.copernicus.eu, 2019b*).

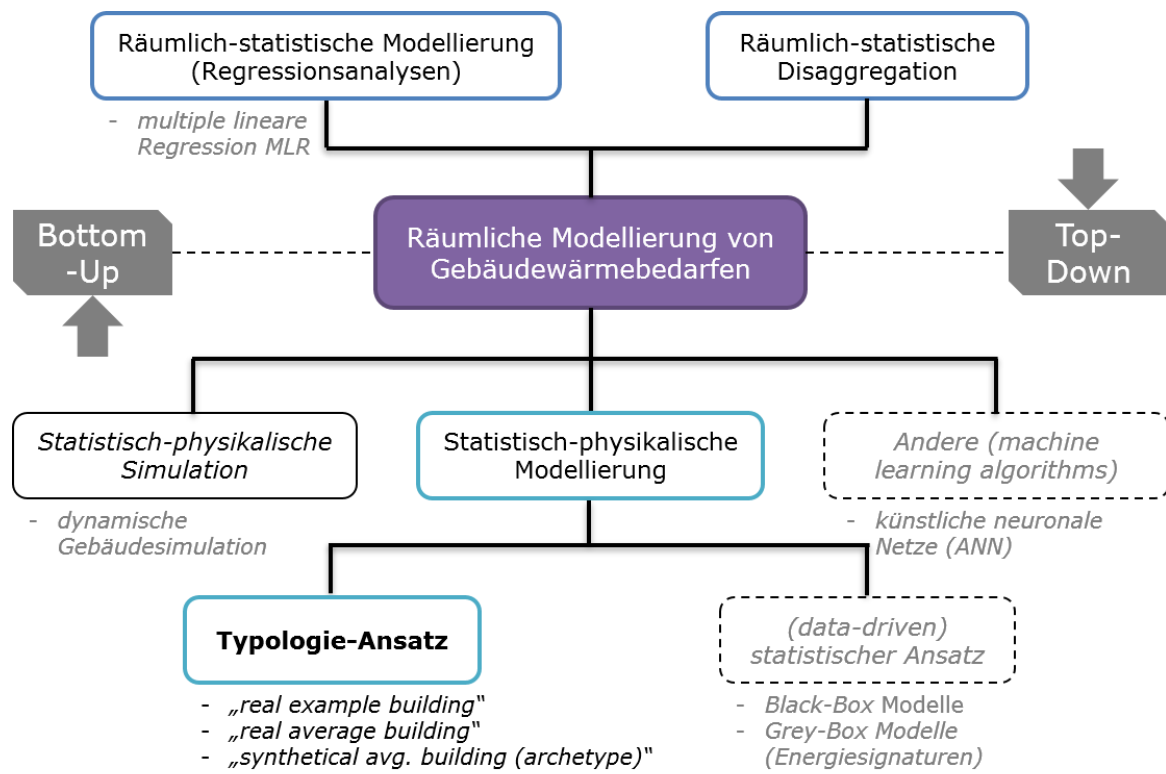


Abbildung 1: Übersicht über methodische Ansätze zur Modellierung von Gebäudewärmebedarfen; eigene Darstellung abgeleitet aus (Ferrari et al., 2019, Nageler et al., 2018, Brøgger and Wittchen, 2018, Li et al., 2017, Ballarini et al., 2014)

Bottom-Up Modellierungsansätze hingegen zeichnen sich durch einen höheren räumlichen (Einzelgebäude, Gebäudeblock) und zeitlichen (Jahr, Monat, Tag, Stunden) Detaillierungsgrad aus. Gebäudeenergiebedarfe werden entweder aus empirischen Realdaten abgeleitet („real example building“) oder mittels statistischer und / oder physikalischer Methoden basierend auf repräsentativen (realen oder synthetischen) Gebäudecharakteristiken („real average building“ bzw. „synthetical average building“) berechnet, wofür i.d.R. umfassende Informationen zu Nutzung, Geometrie, Alter, Bauphysik, Gebäudetechnik und Klima erforderlich sind (Ballarini et al., 2014, Reinhart and Cerezo Davila, 2016, Ferrari et al., 2019). Da die erforderlichen Informationen für Einzelgebäude zumeist nicht (vollständig) verfügbar sind, wird der Gebäudebestand eines Untersuchungsgebietes häufig nach sogenannten Gebäudetypen klassifiziert (Loga et al., 2016, Ballarini et al., 2014) und die Gebäudemodelle mit den bekannten Charakteristiken dieser Typen parametrisiert (Nageler et al., 2017, Streicher et al., 2019, Schiefelbein et al., 2019). Vorteile der Bottom-Up Ansätze liegen in der höheren raum-zeitlichen Detaillierung. Einschränkungen betreffen u.a. die hohe Datenintensität sowie die Unsicherheiten aufgrund der zugrunde liegenden Gebäude-Typologisierung (Brøgger and Wittchen, 2018).

Zur Darstellung und Analyse der räumlichen Ausprägung von Wärme- und Kältebedarfen haben sich sogenannte Wärmebedarfsdichtekarten etabliert, mit deren Hilfe Gebiete mit hohem bzw. geringem flächenbezogenen Wärmebedarf (=Wärmedichte) einfach identifiziert werden können (Abbildung 2).

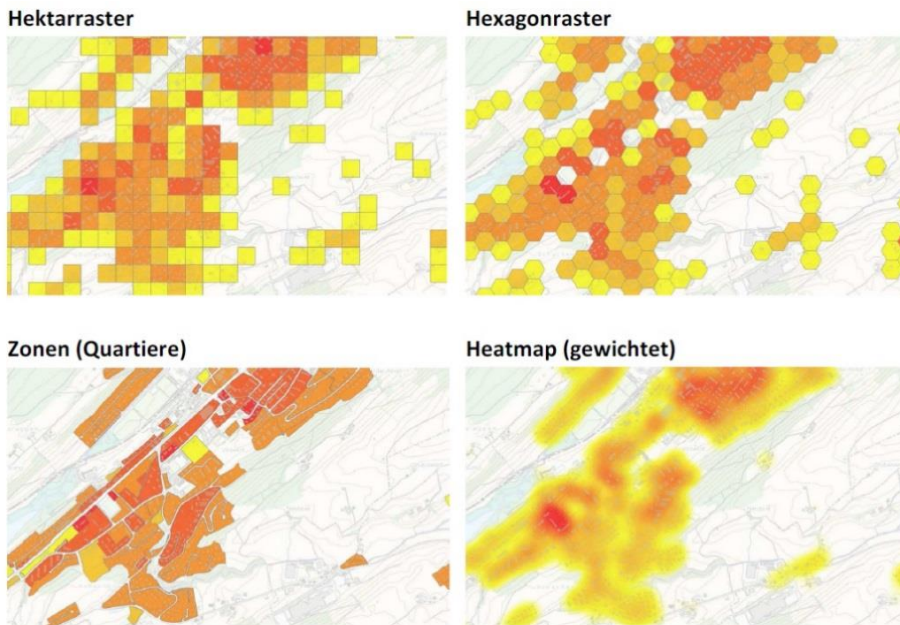


Abbildung 2: Darstellungsmöglichkeiten zur Kartierung von Wärmebedarfen (Brunner, 2017)

Konkrete Anwendung finden Wärmebedarfsdichtekarten beispielsweise bei der Verortung von Energieeinsparungspotenzialen im Gebäudesektor, die durch Renovierungsmaßnahmen ausgeschöpft werden können (z.B. Buffat et al., 2017, Abart-Heriszt and Stoeglehner, 2019). Bei der Ausweisung von Zonen für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung (Nah- und Fernwärme) kann die Wärmedichte darüber hinaus als Indikator für den technisch oder technisch-wirtschaftlich sinnvollen (Aus-)Bau und Betrieb von Fernwärmenetzen herangezogen werden. Für die Zonierung wird dabei je nach verwendetem Ansatz ausschließlich die Wärmebedarfsdichte berücksichtigt (Dochev et al., 2018, Abart-Heriszt and Stoeglehner, 2019) oder auch die korrespondierenden Kosten (Geiß et al., 2011, Nielsen and Möller, 2013, Gils et al., 2013, Möller et al., 2018, Pezzutto et al., 2019b, Möller et al., 2019).

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass moderne Geoinformationssysteme einen wichtigen Beitrag zur räumlichen Energieplanung in Städten und Gemeinden leisten können. Die räumliche differenzierte Modellierung, Darstellung und Analyse von lokalen Wärme- und Kälteenergiebedarfen im Gebäudesektor ist Basis für eine fundierte strategische Wärmeversorgungsplanung und ermöglicht Aussagen zu Einsparungspotenzialen im Gebäudesektor sowie zur Verortung von Nah- und Fernwärmeausbauzonen. Die Güte der zugrunde liegenden Bedarfsmodellierung sowie die Interpretation der Wärmebedarfsdichteanalysen ist somit in hohem Maße relevant für die Aussagekraft und Verwendbarkeit der ausgewiesenen Potenziale bzw. Potenzialflächen.

1.3. Forschungsleitziel und operative Teilaufgaben

Leitziel der Thesis ist es vor diesem Hintergrund, unterschiedliche GIS-basierte Methoden (Top-Down und Bottom-Up) zur Modellierung von Gebäudeenergiebedarfen und in weiterer Folge zur Ermittlung flächenbezogener Wärmebedarfsdichten im Gebäudesektor systematisch miteinander zu vergleichen. Konkret wird die Eignung von drei unterschiedlichen Methoden hinsichtlich der Ausweisung von Zonen für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung auf Gemeindeebene am Beispiel eines konkreten Untersuchungsgebietes untersucht, evaluiert und kritisch reflektiert.

Die Arbeit umfasst folgende operative Teilaufgaben:

- Review von Fachliteratur zur Modellierung und Kartierung von Gebäudeenergiebedarfen (Stichworte *Urban Building Energy Modelling*, *Heat Demand Mapping*) und zur Fernwärmezonierung (Stichwort *District Heating Zoning*)
- Entwicklung und Beschreibung eines Bottom-Up Modellierungsansatzes zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung und Anwendung auf das Untersuchungsgebiet
- Akquise und Aufbereitung von Datengrundlagen aus zwei aktuellen EU-Forschungsprojekten zur hektargenauen Top-Down Wärmebedarfsabschätzung für das Untersuchungsgebiet
- Vergleich und Analyse der drei Ansätze hinsichtlich der hektargenauen Wärmebedarfsabschätzung am Beispiel des Untersuchungsgebietes sowie hinsichtlich der Eignung der resultierenden Wärmedichtekarten für die Ausweisung von Eignungszonen für Nah- und Fernwärme
- (teilweise) Validierung und Kalibrierung des erarbeiteten Bottom-Up Modellierungsansatzes mittels Realdaten der tatsächlich fernwärmeversorgten Gebäude im Untersuchungsgebiet
- Reflexion der Ergebnisse und Erkenntnisse

1.4. Methodischer Ansatz und Datengrundlagen

Inhaltlich baut die Thesis auf dem Literatur-Review zur Wärmebedarfsmodellierung und Fernwärmezonierung für den Anwendungsfall räumlichen Energieplanung auf (vgl. Kapitel 1.2). Das Screening hat zur Erkenntnis geführt, dass es sehr unterschiedliche methodische Ansätze gibt (Top-Down und Bottom-Up Modellierungen) die grundsätzlich als Basis für eine kommunale Planung geeignet scheinen, eine Gegenüberstellung am Beispiel eines konkreten Untersuchungsgebietes allerdings eine Forschungslücke darstellt. Im Rahmen der Thesis wird diese Forschungslücke adressiert und am Beispiel von drei unterschiedlichen methodischen Ansätzen für ein konkretes Untersuchungsgebiet analysiert.

1.4.1. Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Der Untersuchungsgegenstand fokussiert auf die Heizenergiebedarfe im Wohn- und Nichtwohngebäudebestand, industrieller Wärme- und Kältebedarf ist nicht Gegenstand der Untersuchungen. Als Untersuchungs- und Testgebiet für den Methodenvergleich wird die Stadtgemeinde Gleisdorf (GKZ 61760) herangezogen. Das Untersuchungsgebiet umfasst mit AGWR-Datenstand Juli 2019 3.428 aktive Gebäude bei einer ausgewiesenen Gemeindefläche von 38,4 km² und einer Einwohnerzahl von 10.777 (vgl. Kapitel 3.1.3). Eine Ausweitung des Vergleiches auf größere räumliche Einheiten (z.B. Bundesland) oder die Gegenüberstellung mehrerer Gemeinden ist aufgrund der verfügbaren Daten nicht möglich.

1.4.2. Methodischer Ansatz

Für den Methodenvergleich werden hektargenaue Daten zum Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet aus zwei aktuellen EU-Forschungsprojekten akquiriert und aufbereitet. Ein dritter Modellierungsansatz zur gebäudegenauen Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung basierend auf einem Bottom-Up Typologie Ansatz (vgl. Abbildung 1) wird im Rahmen der Thesis erarbeitet, beschrieben und für das Untersuchungsgebiet umgesetzt. Für die drei resultierenden Wärmedichtekarten wird eine einheitliche Vergleichsgrundlage basierend auf 100 Meter Rasterzellen geschaffen, die eine quantitative und qualitative (visuelle) Analyse und vergleichende Bewertung der einzelnen Methoden ermöglicht.

Eine Validierung der Ergebnisse basierend auf Realdaten erfolgt nur für den Bereich des bestehenden Fernwärmeversorgungsgebietes innerhalb des Untersuchungsgebietes. Aufgrund fehlender Realdaten für das gesamte Untersuchungsgebiet erfolgt der Methodenvergleich mit einem relativen Bezug der einzelnen Ansätze zueinander.

Für den gegenständlichen Bottom-Up Modellierungsansatz wird im Rahmen der Thesis ein Datenkonzept (Attributliste und Attributdomänen) zur gebäudegenauen Verortung und Charakterisierung des Gebäudebestandes erarbeitet und darauf aufbauend eine Gebäude- und Heizungstypologie für die Wärmebedarfsmodellierung entwickelt und in einem GIS (ArcGIS Pro v. 2.2.4 und QGIS v. 2.18 bzw. v. 3.6) umgesetzt. Das Datenkonzept ist in der Anwendbarkeit nicht auf das Gemeindegebiet beschränkt, sondern ist auf andere Gemeinden übertragbar.

1.4.3. Datengrundlagen

Die Datengrundlagen für das Untersuchungsgebiet aus den beiden EU-Projekten Heat Roadmap Europe (*Heatroadmap.eu., 2016-2019*) und Hotmaps (*Hotmaps-project.eu, 2016-2020*) wurden freundlicherweise von den jeweiligen Projektverantwortlichen zur Verfügung gestellt und der Methodenvergleich selbst auch konstruktiv unterstützt.

Datengrundlage Projekt Heat Roadmap Europe

Die Rohdaten für den hektargenauen Wärmebedarf aus dem Projekt Heat Roadmap Europe wurden als ganzzahlige ESRI Grids und in der Projektion ETRS89 / LAEA Europe (EPSG:3035) von Prof. Dr. Bernd Möller, Europa Universität Flensburg, übermittelt. Das Projekt wurde Anfang 2019 abgeschlossen, die verwendeten Daten waren somit die finalen Ergebnisse aus dem Projekt mit Stand 22.02.2019.

Datengrundlage Projekt Heat Hotmaps

Die entsprechenden Daten aus dem Projekt Hotmaps können grundsätzlich über ein open source *gitlab repository* im TIFF-Rasterformat (*floating point raster*) und ebenfalls in der Projektion EPSG:3035 bezogen werden. Hilfestellung bei Fragen zur Datenbasis und der Methodik in Hotmaps kam freundlicherweise von Dr. Andreas Müller, TU Wien – Energy Economics Group. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Thesis war das Projekt Hotmaps noch nicht abgeschlossen und bis zur Finalisierung im Oktober 2020 sind Adaptionen der Methodik und damit der Datengrundlage noch möglich. Die verwendeten Daten aus dem Projekt entsprechen dem Bearbeitungsstand vom 03.06.2019.

Datengrundlage Bottom-Up Typologie Ansatz für das Projekt S/E/P

Die Entwicklung des Typologie-Ansatzes im Rahmen dieser Thesis stellt einen Beitrag zum nationalen Projekt S/E/P – Spatial Energy Planning for Heat Transition dar und basiert auf einer umfassenden Charakterisierung des Gebäudebestands (Gebäudekartierung) und weiteren Infrastrukturdaten, wofür eine Reihe von unterschiedlichen Quellen herangezogen wurden (Erläuterungen im Methodenteil Kapitel 3.1). In Tabelle 1 sind die verwendeten Datengrundlagen und relevante Informationen angeführt.

Tabelle 1: Datengrundlagen

Datengrundlage	Quelle / Host	Inhalte	Restriktionen	Datenstand
Verwaltungsgrenzen (VGD) Steiermark des BEV	Q: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV)	Stichtagsdaten der Verwaltungsgrenzen für die Gemeinde Gleisdorf und Katastralgemeinden	öffentlich (CC BY-SA 2.0) Bezug via data.gv.at ; Link	01.10.2018
Regionalstatistische 100 Meter Rastereinheiten	Q: Statistik Austria	Regionalstatistische Rastereinheiten 100 Meter LAEA Raster	öffentlich (CC BY 3.0) Bezug via data.gv.at ; Link	07.04.2017

Adress-, Gebäude- und Wohnungsregister (AGWR)	Q: Statistik Austria	Adressen und Gebäude inkl. eindeutige Kennung (ID), Verortung (Standortkoordinaten) und Gebäudemerkmal	nicht öffentlich Bezug über Gemeinde (Bauamt) vom Land Steiermark	30.04.2019 (vollständiger Auszug) / 16.07.2019 (Aktualisierung)
Digitale Katastermappe (DKM) des Landes Steiermark	Q: Land Steiermark	Festpunkte, Grundstücke, Grundstücksnummern, Nutzungs- und Rechtssymbole, Nutzungsflächen, Nutzungsgrenzen, Grundstücksgrenzen	nicht öffentlich; Bezug über Bauamt bzw. Raumplaner vom Land Steiermark	23.06.2017
Basiskarten und Bilder (Orthofotos) des Landes Steiermark	Q: Land Steiermark	Digitale Farb-Orthofotos 20 cm Bodenauflösung für das Untersuchungsgebiet	nicht öffentlich; Bezug über Bauamt bzw. Raumplaner vom Land Steiermark	11.04.2016
Heizungs-Datenbank Steiermark – Online-Plattform für Heizanlagen	Q: Land Steiermark H: Energie Agentur Steiermark bzw. gizmcraft.com	Verwaltung von Heizungs-Anlagen und Prüfberichten; DB in Betrieb seit 09/2016 Registrierung von Anlagen gemäß steiermärkischem Feuerungsanlagengesetz 2016 (§ 32)	nicht öffentlich Bezug über Bauamt via Energie Agentur Steiermark gGmbH	16.04.2019
ZEUS Steiermark - Online-Plattform für Energieausweise	Q: Land Steiermark H: Energie Agentur Steiermark bzw. gizmcraft.com	Online-DB zur Verwaltung von Energieausweisen; DB in Betrieb seit 01/2009 Befüllung verstärkt seit Inkrafttreten des Energieausweis-Vorlage Gesetzes – EAVG am 01.12.2012	nicht öffentlich Bezug über Bauamt via Energie Agentur Steiermark gGmbH	16.04.2019
Heizungsanlagen Erhebung der Energie-region Weiz-Gleisdorf GmbH	Q: Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH Die Daten wurden an die Statistik Austria gemeldet und in das AGWR eingespielt.	gebäudegenaue Primärdatenerhebung zu Gebäudeheizungssystemen für alle im AGWR registrierten aktiven Gebäude	nicht öffentlich Bezug über Gemeinde (Bauamt)	25.07.2019
HEROLD - Plattform für Firmendaten	Q: HEROLD Business Data GmbH	Marketing und Umsatzdaten von Unternehmen; Firmenadressen, Kontaktdaten, Branchenbezeichnung, UID-Nummer	nicht öffentlich Datenauszug für das Untersuchungsgebiet käuflich erworben	01.03.2017
Leitungsnetz Erdgas	Q: Energienetze Steiermark GmbH	GIS-Datenauszug der Leitungsinfrastruktur Erdgas für das Untersuchungsgebiet vom Netzbetreiber	nicht öffentlich Bezug via Raumplaner vom Netzbetreiber mit Datenschutzrestriktionen	05.04.2017
Leitungsnetz Fernwärme	Q: Stadtwerke Gleisdorf GmbH	DWG-Netzplan der Leitungsinfrastruktur Fernwärme vom Netzbetreiber	nicht öffentlich Bezug vom Netzbetreiber	17.08.2017

OpenStreetMap - Gebäudepolygone	Q: OpenStreetMap Project	Polygon-Featureclass der Gebäudeumrisse für das Untersuchungsgebiet	öffentlich (ODbL) Bezug via Geofabrik Download Server; Link	29.05.2019
---------------------------------	--------------------------	---	---	------------

Datengrundlage Validierung

Rund 80 Gebäude im Gleisdorfer Stadtgebiet werden über ein Fernwärmenetz versorgt. Als Datengrundlage für die Validierung liegen die Wärmeverbrauchsabrechnungen dieser Fernwärmekunden für das Jahr 2017 als Jahressummenwerte vor sowie der digitale Netzplan im dwg-Format, der für die weitere Bearbeitung in das Dateiformat Shapefile konvertiert und lagerichtig verortet wurde. Die Daten werden ausschließlich für Validierungszwecke von den Stadtwerken Gleisdorf zur Verfügung gestellt und werden aus Datenschutzgründen anonymisiert bzw. in aggregierter Form publiziert.

1.5. Kapitelübersicht

Kapitel 1: Einleitung

In Kapitel 1 wird nach einer Einführung das gegenständliche Forschungsleitziel aus einem umfassenden Literatur-Review zum Thema Gebäudekartierung, Wärmebedarfsmodellierung und Fernwärmezonierung abgeleitet. Die operativen Teilziele werden spezifiziert, ebenso wie der methodische Ansatz und die verwendeten Datengrundlagen.

Kapitel 2: Grundlagen

In Kapitel 2 erfolgt eine Einführung zum Thema Energieraumplanung bzw. räumliche Energieplanung. Daran anschließend werden inhaltliche Grundlagen, Begriffskonventionen und Berechnungsgrundlagen zu den Themen Modellierung und Kartierung von Gebäude-Wärmebedarfen sowie Nah- und Fernwärmezonierung detailliert eingeführt.

Kapitel 3: Methodenvergleich

In Kapitel 3 erfolgt die Entwicklung, inhaltliche Beschreibung und Umsetzung eines Bottom-Up Typologie-Ansatzes sowie die Beschreibung der beiden Top-Down Modellierungsansätze inkl. Aufbereitung der akquirierten Rohdaten. Die Ergebnisse aller drei Methoden zur Wärmebedarfsmodellierung und Fernwärmezonierung werden am Beispiel der Stadtgemeinde Gleisdorf vergleichend gegenübergestellt und analysiert. Am Beispiel des Bottom-Up Typologie Ansatzes erfolgt darüber hinaus eine umfassende räumlich-energetische Bestandsanalyse des Untersuchungsgebietes.

Kapitel 4: Validierung

In Kapitel 4 erfolgt die (Teil-)Validierung und Kalibrierung des erarbeiteten Bottom-Up Modellierungsansatzes mittels Realdaten der tatsächlich fernwärmeversorgten Gebäude im Untersuchungsgebiet.

Kapitel 5: Diskussion

In Kapitel 5 werden die erarbeiteten Inhalte und Ergebnisse kritisch reflektiert. Mit Fokus auf den Bottom-Up Typologie Ansatz werden Einschränkungen betreffend Datengrundlagen und Methodik angeführt sowie mögliche zukünftige Verbesserungen und Erweiterungsmöglichkeiten diskutiert.

Kapitel 6: Fazit und Ausblick

Im abschließenden Kapitel 6 wird die gesamte Arbeit resümiert und als Ausblick wird die Einbettung der vorliegenden Arbeit im Gesamtkontext räumlicher Energieplanung angeführt.

2. Grundlagen

2.1. Grundlagen Energieraumplanung / räumliche Energieplanung

2.1.1. Definition

Die Begriffe *räumliche Energieplanung* und *Energieraumplanung* werden in der vorliegenden Thesis weitestgehend synonym verwendet. Der Begriff *räumliche Energieplanung* ist vor allem durch die fortschrittlichen Aktivitäten zu diesem Thema in der Schweiz geprägt¹. In Österreich ist eher der Begriff *Energieraumplanung* etabliert, der bereits vor mehr als 40 Jahren mit den Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren eingeführt wurde (ÖROK, 2015) und vor allem eng in Verbindung mit der Entwicklung von energieeffizienten Raum- und Siedlungsstrukturen diskutiert wird.

Zwei gängige Definitionen aus der Schweiz bzw. aus Österreich lauten folgendermaßen:

„Die räumliche Energieplanung koordiniert die Energieversorgung mit der strukturellen Entwicklung einer Gemeinde. Sie ist Grundlage, um die rationelle Energienutzung [...] mit vorwiegend erneuerbaren Energien in der Gemeinde zu optimieren und zukunftstauglich auszugestalten.“ (BFE, 2011)

„Energieraumplanung ist jener integrale Bestandteil der Raumplanung, der sich mit den räumlichen Dimensionen von Energieverbrauch und Energieversorgung umfassend beschäftigt.“ (ÖROK, 2015)

In meinem persönlichen Verständnis orientiert sich die Energieraumplanung inhaltlich näher an der Raumplanung während die räumliche Energieplanung inhaltlich und infolge auch in der erforderlichen Datentiefe näher mit der Energietechnik bzw. der energietechnischen Infrastrukturplanung verknüpft ist. Ganz offensichtlich ist die Thematik jedenfalls eine Querschnittsmaterie mit einer Vielzahl an involvierten Fachdisziplinen und AkteurInnen mit teils unterschiedlichen bzw. gegenläufigen Interessen und ist mitunter deswegen schwierig in der gängigen Planungs- und Verwaltungspraxis umzusetzen.

2.1.2. Ziele und Inhalte

Energieraumplanung beschäftigt sich mit der räumlichen Dimension von Energiebedarfen und den lokal vorliegenden (erneuerbaren) Energiepotenzialen auf Ebene von Gebietskörperschaften und mit Fokus auf die Wärmeversorgung. Eine wesentliche Zielsetzung von Energieraumplanung besteht darin, lokale Wärmebedarfe und erneuerbare Energiepotenziale zu quantifizieren und für Planungs- und Monitoring Zwecke räumlich differenziert zur Verfügung zu stellen.

Die erforderliche Datentiefe (räumliche und zeitliche Auflösung) für eine adäquate räumliche Energieplanung wird dabei vom jeweiligen Anwendungsfall bestimmt: Zur Erstellung von kommunalen Energie- und Klimaschutzplänen und zum Monitoring sind beispielsweise jährliche Energie- und Ökobilanzen sowie Potenzial- und Infrastrukturanalysen auf Gemeinde- oder Gebietsebene ausreichend, wohingegen für die Erstellung von Energiekonzepten für konkrete Siedlungs- und Quartiersentwicklungen deutlich detailliertere Daten auf Ebene von Grundstücken, Gebäuden oder Gebäudeverbänden benötigt werden (Abbildung 3).

¹ Ausführliche Hintergrundinformationen zu räumlicher Energieplanung in der Schweiz werden vom Bundesamt für Energie (BFE) auf der [Plattform EnergieSchweiz](#) zur Verfügung gestellt.

Unabhängig von der Datentiefe bzw. der räumlichen und zeitlichen Auflösung umfassen die erforderlichen Datengrundlagen für räumliche Energieplanung immer räumlich verortete Informationen zum Gebäudebestand, der bestehenden Wärmeversorgungsinfrastruktur sowie den lokal verfügbaren Energiepotenzialen, beispielsweise aus Biomasse, solarer Einstrahlung, oberflächennaher Geothermie und Abwärme aus Industrie oder Abwässern. Ergänzt um weitere räumliche und strukturelle Informationen wie beispielsweise zur Bevölkerung und Demografie, der Flächenwidmung, der Bebauungsplanung, der bestehenden leitungsgebundenen Infrastruktur (Nah- und Fernwärme, Erdgas) sowie ggf. lokalen Restriktionen (Schutzzone für Lärm, Grundwasser, Luftreinhaltung, Denkmalschutz, etc.) bilden diese Basisinformationen die Grundlage für eine ganzheitliche räumliche Energieplanung.

Nachfolgende Abbildung 3 zeigt sehr reduziert die wesentlichen räumlich-strukturellen Informationsschichten, die in Form von Datenbanken, thematischen Karten und (Web-) Services (Stichwort Wärmeatlas) die Basis für räumliche Energieplanung in der öffentlichen Verwaltung darstellen (kein Anspruch auf Vollständigkeit).

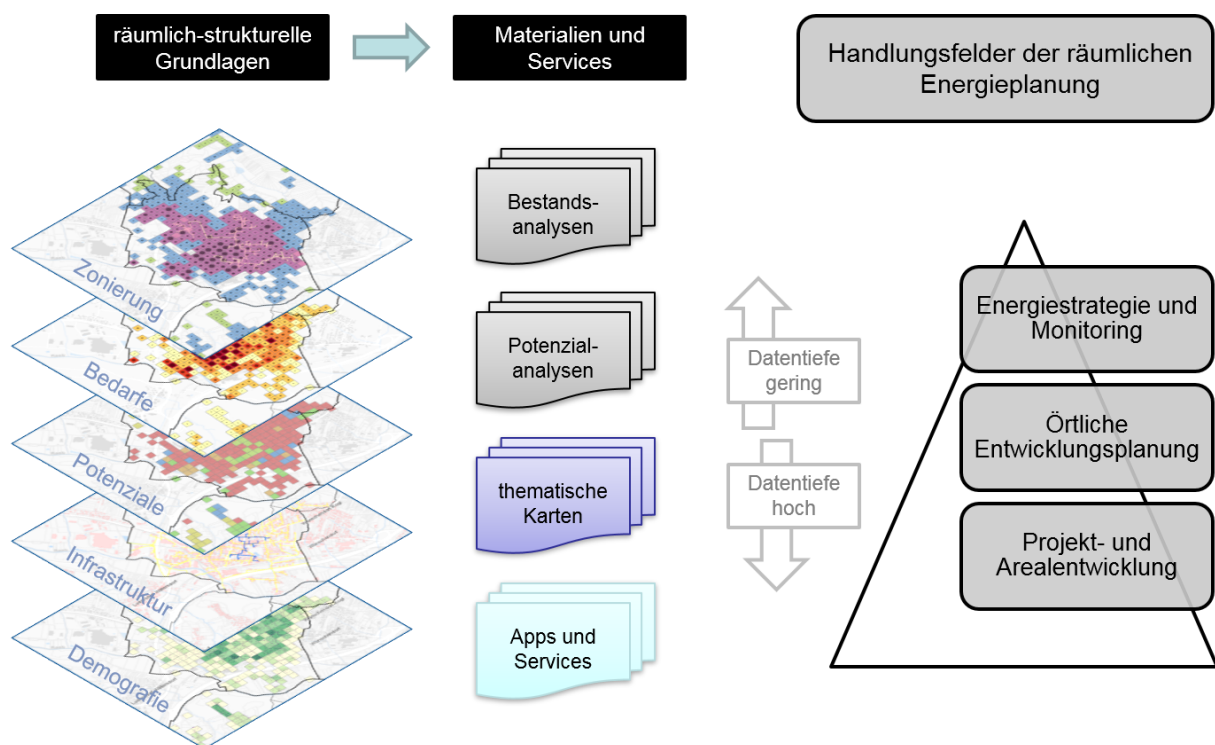


Abbildung 3: Grundlagen räumlicher Energieplanung und relevante Handlungsfelder

Die technische und methodische Herausforderung besteht darin, die entsprechenden Informationsschichten in harmonisierter bzw. standardisierter Form und mit größtmöglichem Nutzen für unterschiedliche energierelevante Handlungsfelder (z.B.: Energie-Masterplanung, Monitoring und Energieberichterlegung, örtliche Entwicklungsplanung, Projekt- und Arealentwicklung, Alternativenprüfung, Bebauungsplanung, etc.) zur Verfügung zu stellen. Geoinformationssysteme sind hier eine Schlüssel- und Brückentechnologie zur Standardisierung, Verwaltung, Prozessierung und Visualisierung der angeführten Informationsschichten bzw. der zugrunde liegenden Daten (Stichwort *Wärmeatlas*, siehe auch Zielsetzungen Projekt S/E/P Kapitel 3.1).

2.1.3. Einbettung der Theses

Die vorliegende Theses liefert einen Beitrag zur Gebäudekartierung und der gebäudegenauen Wärmebedarfsmodellierung basierend auf einem Typologie Ansatz. Im Gesamtkontext der räumlichen Energieplanung für Gebietskörperschaften sind neben der gegenständlichen Analyse und Verortung von energierelevanter Infrastruktur, Gebäuden und den damit assoziierten Wärmebedarfen insbesondere auch lokale erneuerbare Energiepotenziale essenziell (vgl. Abbildung 3). Letztere sind nicht Gegenstand der Theses, werden aber im Forschungsprojekt S/E/P, in das diese Theses eingebettet ist, eingehend bearbeitet.

In nachfolgender Abbildung 4 sind jene Teilaspekte und Handlungsfelder im Kontext der räumlichen Energieplanung bzw. im Kontext des Forschungsprojektes S/E/P hervorgehoben, die mit der gegenständlichen Theses adressiert werden.

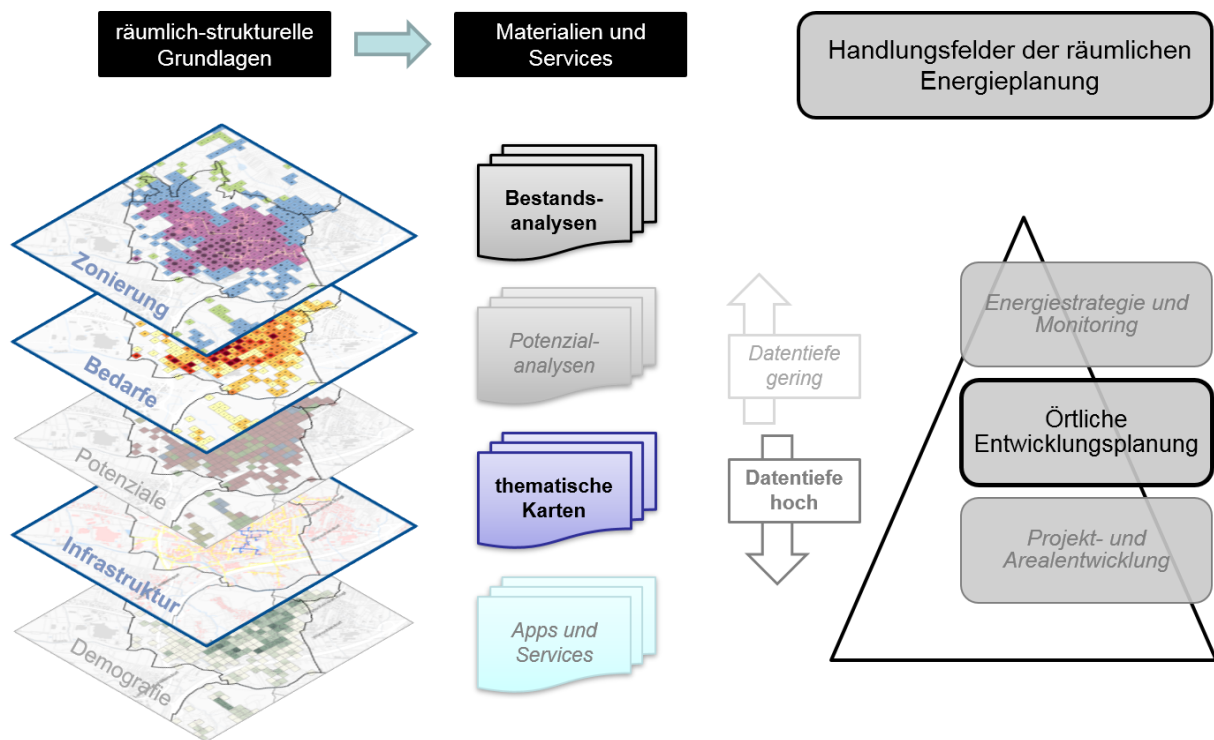


Abbildung 4: Einbettung der Theses im Kontext der räumlichen Energieplanung bzw. im Kontext des Forschungsprojektes S/E/P

2.2. Grundlagen zur Modellierung und Kartierung von Wärmebedarfen

In den nachfolgenden Begriffsdefinitionen sind die verwendeten Konventionen und Berechnungsgrundlagen mit Relevanz für die Modellierung und Kartierung von Wärmebedarfen, insbesondere Begrifflichkeiten in Verbindung mit der Wärmeversorgung in Gebäuden, erläutert.

2.2.1. Begriffsdefinitionen

Essenziell für die Vergleichbarkeit von Energiekennzahlen ist die einheitliche Definition der Begrifflichkeiten und Bezugs-Systemgrenzen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen

- Primärenergie: Energiegehalt von natürlichen, noch nicht weiterbearbeiteten Energieträgern wie Kohle, Erdöl, Erdgas, Biomasse
- Endenergie: Energie, die beim Verbraucher ankommt, etwa in Form von Brennstoffen und Kraftstoffen oder elektrischer Energie und
- Nutzenergie: Energie, wie sie vom Endbenutzer direkt benötigt wird, etwa in Form von Wärme zur Beheizung oder Kälte zur Klimatisierung eines Gebäudes oder um Licht zur Beleuchtung.

Eine weitere wichtige Unterscheidung betrifft die Bezeichnungen *Bedarf* und *Verbrauch* in Verbindung mit Energie. Unter einem Energiebedarf versteht man einen rechnerischen Wert, wohingegen Energieverbrauch einen realen (gemessenen) Wert darstellt.

Für die gegenständliche Arbeit sind die Begrifflichkeiten in Verbindung mit der Wärmeversorgung in Gebäuden von Relevanz (Abbildung 5). Der jährliche Heizenergiebedarf Q_{HEB} umfasst die Endenergie für Raumheizung und Warmwasser und setzt sich aus den Nutzenergiebedarfen für Raumheizung (Heizwärmebedarf Q_{HWP}) und Warmwasser (Warmwasserwärmebedarf Q_{WWWB}) zusammen und berücksichtigt zusätzlich die nicht rückgewinnbaren Verluste des gebäudetechnischen Systems (Heiztechnikenergiebedarf Q_{HTEB}).

Formel 1

$$Q_{HEB} = Q_{HWP} + Q_{WWWB} + Q_{HTEB} \left[\frac{kWh}{a} \right]$$

Der Heiztechnikenergiebedarf Q_{HTEB} umfasst die (Umwandlungs-)Verluste der Wärmebereitstellung ($Q_{HTEB, WB}$), die nicht rückgewinnbaren (Wärme-)Verluste durch Speicherung ($Q_{HTEB, WS}$) und Verteilung ($Q_{HTEB, WV}$) der Wärme im Gebäude, die (Regelungs-)Verluste der Wärmeabgabe ($Q_{HTEB, WA}$) sowie allfällig benötigte Hilfsenergie in Form von Strom z.B. für den Antrieb von Systemkomponenten – Umwälzpumpen, Regelung, etc. ($Q_{HTEB, HE}$). Die Berechnung des HTEB ist in der ÖNORM H 5056-1 (ON, 2019) jeweils getrennt für Raumheizung und Warmwasser geregelt.

Formel 2

$$Q_{HTEB} = Q_{HTEB, WB} + Q_{HTEB, WS} + Q_{HTEB, WV} + Q_{HTEB, WA} + Q_{HTEB, HE} \left[\frac{kWh}{a} \right]$$

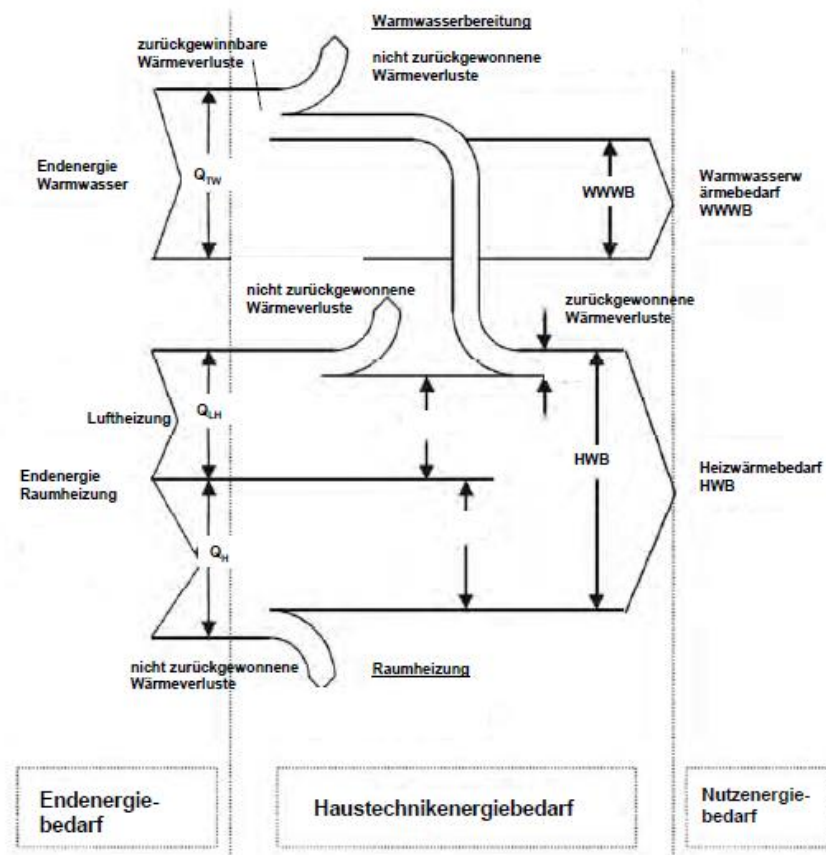


Abbildung 5: Energiefluss vom Heizenergiebedarf zum Wärmebedarf (OIB, 2006 p.165)

Als Indikatoren zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden haben sich spezifische Energiekennzahlen bezogen auf die konditionierte (beheizte) Brutto-Grundfläche BGF_h^2 etabliert. Der spezifische Heizenergiebedarf q_{HEB} bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche errechnet sich gemäß Formel 3 (und analog für alle weiteren angeführten jährlichen Energiebedarfe):

Formel 3

$$q_{HEB} = \frac{Q_{HEB}}{BGF_h} \left[\frac{kWh}{(m_{BGF}^2 \cdot a)} \right]$$

Die Umrechnung von Heizenergiebedarf (= Endenergie) in Primärenergie erfolgt durch Multiplikation mit einem brennstoffspezifischen Primärenergiefaktor $f_{PE, n}$. Auf Basis der Primärenergie können Gebäudeenergiebedarfe basierend auf unterschiedlichen Wärmebereitstellungssystemen (z.B.: Heizkessel oder elektrisch betriebenen Wärmepumpen) quantitativ verglichen werden. Der jährliche (absolute) Primärenergiebedarf Q_{PEB} für ein Gebäude errechnet sich gemäß Formel 4 zu:

Formel 4

$$Q_{PEB} = Q_{HEB} \cdot f_{PE, n} \left[\frac{kWh}{a} \right]$$

² Gemäß ÖNORM B-1800 ist die Brutto-Grundfläche die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. Die Begriffe Bruttogeschossfläche und Brutto-Grundfläche (BGF) werden in Österreich häufig synonym verwendet, obwohl nur der letztere Begriff eindeutig in Normen definiert ist. Eine übersichtliche Visualisierung der Begrifflichkeiten gemäß ÖNORM-B-1800 bietet https://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/TISS_img/Priebernig/%C3%96N%201800.pdf

Durch Multiplikation des jährlichen Heizenergiebedarfes Q_{HEB} in kWh pro Jahr mit einem brennstoffspezifischen CO_2 -Emissionsfaktor $f_{CO_2, n}$ in g pro kWh CO_2 Äquivalenten errechnen sich schließlich die jährlichen Gebäudeemissionen in g CO_2 Äquivalenten (inkl. Vorketten), die mit der Deckung des Heizenergiebedarfes assoziiert sind:

Formel 5

$$CO_{2,eq} = Q_{HEB} \cdot f_{CO_2, n} \left[\frac{g_{CO_2,eq}}{a} \right]$$

Die in dieser Arbeit zugrunde gelegten Primärenergie- und CO_2 Emissionsfaktoren entsprechen der Werte inkl. aller Vorketten aus der OIB Richtlinie 6 2019 (OIB, 2019b) und sind dem Anhang zu entnehmen (Tabelle 27). Als normative Grundlagen zur Berechnung der Nutz- und Endenergiebedarfe im Gebäudesektor gelten in Österreich die Vorgaben der aktuellen OIB RL6, wo wiederum auf die Berechnungsmethoden in den entsprechenden österreichischen Normen verwiesen wird (siehe OIB (2019a, S.3).

2.2.2. Klimabereinigung - Heizgradtagmethode

Um Heizwärmebedarfe (und -verbräuche) in einer Heizperiode kontrollieren und vergleichen zu können, hat man in der Heizungstechnik den Begriff der *Heizgradtage* (HGT) eingeführt. Die HGT stellen einen Zusammenhang zwischen der geforderten Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur während der Heizperiode dar, die rechnerische Ermittlung erfolgt gemäß ÖNORM B 8110-5 (ON, 2018). Bei der Ermittlung der HGT wird in Österreich meist von einer Raumtemperatur von 20 °C und einer Heizgrenztemperatur von 12 °C ausgegangen (Schreibweise: $HGT_{20/12}$). Die Heizgrenztemperatur legt fest, ab welcher mittleren Außentemperatur ein Gebäude beheizt werden muss: Tage an denen die Tagesmitteltemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegen gelten als Heiztage und es muss Energie zugeführt werden, um die geforderte Raumtemperatur von 20°C aufrecht zu erhalten.

Bei der Klimabereinigung nach der Heizgradtagmethode errechnet sich der Heizwärmebedarf für ein Standortklima HWB_{SK} aus dem Heizwärmebedarf für ein Referenzklima HWB_{RK} multipliziert mit dem Quotienten aus der Heizgradtagszahl für das entsprechende Standortklima HGT_{SK} und der Heizgradtagszahl für das Referenzklima HGT_{RK} :

Formel 6

$$HWB_{SK} = HWB_{RK} \cdot \frac{HGT_{SK}}{HGT_{RK}} \quad [Kd/a]$$

HGT_{RK} ist für Österreich gemäß ÖNORM B 8110-5 (ON, 2018) global mit 3400 Kd/a festgelegt. Die ausgewiesenen Heizwärmebedarfe in der Gebäudetypologie-Tabelle (Tabelle 23) sind auf dieses Referenzklima bezogen. Für die Umrechnung auf das Standortklima in Gleisdorf liegen entsprechende Messdaten von der Zentralanstalt für Meteorologie (ZAMG) für die Jahre 2015 bis 2018 vor.

2.2.3. Anschlussdichte und Wärmebezugsdichte

Die Begriffe *Anschlussdichte* q_L und *Wärmebezugsdichte* q_F werden in nachfolgendem Kapitel 2.3 eingeführt und stellen jeweils spezifische Werte für den Heizenergiebedarf bei Fernwärmeversorgung $Q_{HEB, FW}$ bezogen auf die Trassenlänge (Anschlussdichte) bzw. bezogen auf die Grundstücksfläche (Wärmebezugsdichte) dar.

2.3. Grundlagen zur Modellierung von Eignungsgebieten für Fernwärme

Die Wirtschaftlichkeit von Fernwärmesystemen ist proportional zur Wärmebezugsdichte, d.h. in Gebieten hoher Wärmenachfrage lassen sich Fernwärmesysteme wirtschaftlicher betreiben als in Gebieten mit geringerem Verbrauch. Der Zusammenhang ist vor allem dadurch gegeben, dass die Kosten für die Errichtung der Fernwärmetrassen zur Wärmeverteilung einen erheblichen Anteil (oft mehr als 50%) an den Gesamtkosten eines Fernwärmesystems ausmachen (Nussbaumer et al. (2018, S.71) und auch dass die Wärmeverteilverluste mit der Länge des Verteilnetzes proportional ansteigen.

2.3.1. Anschlussdichte q_L (Liniendichte in kWh/m)

Bei der Planung von Fernwärmesystemen haben sich in der Konsequenz Kennzahlen für überschlägige Abschätzungen zur Wirtschaftlichkeit etabliert, die in der Vergangenheit vor allem auf die Trassenlänge bezogen waren. Insbesondere die Anschlussdichte als Verhältnis zwischen dem jährlichen Wärmebezug von potenziellen Kunden in kWh/a und der gesamten Trassenlänge in Metern ermöglicht eine erste grobe Abschätzung der Wirtschaftlichkeit:

Formel 7

$$\text{Anschlussdichte } q_L = \frac{\sum \text{Wärmebezug Wärmekunden}}{\text{Trassenlänge}} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{(\text{m} \cdot \text{a})} \right]$$

Empfohlene Anschlussdichten für eine wirtschaftliche Errichtung von Wärmeverbänden liegen gemäß dem Schweizer Planungshandbuch für Fernwärme je nach Rahmenbedingungen im Bereich zwischen 700 bis 1400 kWh je Meter Trasse (Nussbaumer et al., 2018, S.108).

2.3.2. Wärmebezugsdichte q_F (Flächendichte in kWh/m²)

Für die Ausweisung von Eignungsgebieten für Nah- und Fernwärme im Vorfeld von detaillierteren Planungen (Vorstudien, Zonierungspläne) eignet sich die Wärmebezugsdichte als flächenbezogener Indikator besser als die Liniendichte.

Die Wärmebezugsdichte q_F (synonym: Wärmebedarfsdichte) ist hier definiert als ein Maß für die Eignung einer Zone (synonym: Gebiet, Grundstück, Raster) für den Anschluss an ein Nah- oder Fernwärmenetz. Sie setzt den jährlichen Wärmebezug ins Verhältnis zur Fläche der Zone:

Formel 8

$$\text{Wärmebezugsdichte } q_F = \frac{\sum \text{Wärmebezug Wärmekunden}}{\text{Zonenfläche}} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2 \cdot \text{a})} \right]$$

Für eine qualitative Bewertung der Eignung von potenziellen Fernwärmeversorgungsgebieten in Abhängigkeit der Wärmebedarfsdichte liegen Orientierungswerte aus Wissenschaft und Praxis vor. Eine Klassifikation und qualitative Bewertung von Wärmebedarfsdichten liefert beispielsweise das EU-Projekt Heat Roadmap Europe HRE (Tabelle 2):

Tabelle 2: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten gemäß HRE (in Anlehnung an Persson et al. (2017, S.96))

q _D in kWh/m ² ·a	Klasse	Beschreibung
0	-	kein Wärmebedarf
0 < q _D < 5.6	sehr gering	ländlicher Wärmebedarf (dezentrale Wärmeversorgung)
5.6 ≤ q _D < 13.9	gering	Prüfung Eignung NT-Wärmeverbund bei Neubauprojekten
13.9 ≤ q _D < 33.3	moderat	Prüfung Eignung NT-Wärmeverbund bei Bestands- und Neubauprojekten
33.3 ≤ q _D < 83.3	dicht	Eignungsgebiet für konventionelle Fernwärme im Bestand
q _L ≥ 83.3	sehr dicht	Entwicklungsgebiet / Vorranggebiet für konventionelle Fernwärme im Bestand

Etwas konservativer werden geeignete Fernwärmegebiete beispielsweise im Planungshandbuch Fernwärme des Bundesamtes für Energie BFE in der Schweiz ausgewiesen (Tabelle 3):

Tabelle 3: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten gemäß BFE (in Anlehnung an Nussbaumer et al. (2018, S.105))

q _D in kWh/m ² ·a	Eignung für Wärmeverbund	Wärmebezugsdichte in kWh/m ² ·a
0	-	kein Wärmebedarf
0 < q _D < 50	nicht geeignet	<50
50 ≤ q _D < 70	bedingt geeignet*	50 - 70
q _L ≥ 70	geeignet	>70

* Je nach Situation können auch Gebiete mit einer geringeren Wärmebezugsdichte als 70kWh/(m²a) als „geeignet“ ausgewiesen und wirtschaftlich mit Fernwärme versorgt werden. Dies sollte aber durch eine Wirtschaftlichkeitsberechnung nachgewiesen werden (Anmerkung in Nussbaumer et al. (2018)).

In vorliegender Thesis leitet sich die Bewertung und Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten aus den beiden obigen Quellen ab und wird folgendermaßen interpretiert (Tabelle 4):

Tabelle 4: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten; eigene Interpretation, abgeleitet aus (Nussbaumer et al., 2018) und (Persson et al., 2017)

q _D in kWh/m ² ·a	Klasse	Beschreibung
0	-	kein Wärmebedarf
0 < q _D < 10	sehr gering	dezentrale Wärmeversorgung
10 ≤ q _D < 30	gering	Prüffzone: Niedertemperatur Wärmeverbund
30 ≤ q _D < 50	moderat	Eignungszone: Niedertemperatur Wärmeverbund
50 ≤ q _D < 70	dicht	Prüffzone: konventionelle Nah- und Fernwärme
q _D ≥ 70	sehr dicht	Eignungszone: konventionelle Nah- und Fernwärme

3. Methodenvergleich

Im vorliegenden Abschnitt werden die drei methodischen Ansätze zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung eingehend beschrieben und die Wärmedichte- und Fernwärmezonierungskarten als Ergebnis der einzelnen Ansätze für das Untersuchungsgebiet Gleisdorf gegenübergestellt.

3.1. Methode 1: Projekt S/E/P

3.1.1. Kurzvorstellung Projekt Spatial Energy Planning for Heat Transition

Spatial Energy Planning for Heat Transition (kurz: S/E/P) ist ein national gefördertes Projekt (Programmlinie Vorzeigeregion Energie, FFG Projekt-Nr. 868850) unter der Leitung des Salzburger Instituts für Raumordnung & Wohnen (SIR). Projektlaufzeit: 01.06.2018 – 31.05.2021 (3 Jahre). Für weiterführende Informationen steht eine Projekthomepage bereit: www.waermeplanung.at

Zielsetzung des Projektes ist es, die technischen Grundlagen für räumliche Energieplanung in den Pilotregionen Wien, Salzburg und der Steiermark zu schaffen. Konkret werden im Rahmen des Projektes relevante Anforderungen im Kontext räumlicher Energieplanung auf Ebene von Gebietskörperschaften identifiziert und darauf aufbauend Methoden (weiter-)entwickelt, um die benötigten räumliche Informationen über lokale Energiebedarfe, Energiepotenziale und bestehende Energieinfrastruktur zu generieren und in einem *Wärme-Atlas* zusammenzuführen. Die neuen Informationsschichten des Wärme-Atlas sollen zukünftig an die etablierten Landes GIS-Systeme (ViennaGIS, SA-GIS, GIS Steiermark) andocken. Eine weitere Zielsetzung ist die Konzeptionierung und pilothafte Umsetzung einer Webapplikation (*Wärme-App*), die für konkrete energierelevante Handlungsfelder in der öffentlichen Verwaltung (vgl. Abbildung 3) automatisierte Analysen und Berichte bereitstellt.

Ein Arbeitspaket des Projektes beschäftigt sich mit der Definition der sogenannten *Basislayer* (Informationsschichten) des Wärme-Atlas. Der *Basislayer Potenziale* soll beispielsweise qualitative und quantitative Informationen zur räumlichen Verfügbarkeit von klimafreundlichen Energiequellen (solare Einstrahlung, oberflächennahe Geothermie, Abwärme, Biomasse) bereitstellen. Der *Basislayer Gebäude* dient der strukturellen und energetischen Charakterisierung des Gebäudebestandes (Qualität der Gebäudehülle und Gebäudeheizungssystem) und der *Basislayer Infrastruktur* enthält Informationen zur leitungsgebundenen Energieversorgungsinfrastruktur (v.a. Nah- und Fernwärme- sowie Erdgasinfrastruktur). Anspruch im Projekt ist es, energierelevante Informationsschichten in einer raum-zeitlichen Auflösung zur Verfügung zu stellen, die für Planungsprozesse in der Raum- und Städteplanung geeignet ist. Konkret werden energierelevante Informationen zum Gebäudebestand je Objekt, also gebäudescharf, erarbeitet. Vorhandene Energieinfrastruktur wird in Form von Linien (z.B. Nah- und Fernwärmenetze, Erdgasnetze, Abwasserkanal) oder Punkt Features (z.B. Standorte von Energieumwandlungsanlagen, Heiz- und Kraftwerke, Energiespeicher) verortet. Lokale Potenziale und in weiterer Folge Eignungsgebiete für unterschiedliche erneuerbare Energieversorgungsoptionen werden als Gebiete / Zonen ausgewiesen und quantifiziert.

Nachfolgend ist die methodische Herangehensweise zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung inkl. Beschreibung der Datengrundlagen sowie eines Datenkonzeptes als Grundlage für den Basislayer Gebäude erläutert. Die dargestellten Ergebnisse sind *work in progress* und wurden durch den Verfasser im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes maßgeblich mitgestaltet. Ein wichtiges Ergebnis der Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung ist die Wärmedichtekarte, die die Grundlage für den Methodenvergleich im Rahmen dieser Thesis darstellt.

3.1.2. Methodischer Ansatz Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung

Ausgangspunkt für die Gebäudekartierung ist die Verortung bzw. Adressierung aller aktiven Gebäude im Untersuchungsgebiet sowie eine Wertezuweisung gebäude- und heizungsspezifischer Merkmale als Basis für die Wärmebedarfsmodellierung. Die Methodik zur Wärmebedarfsmodellierung entspricht einem Bottom-Up Typologie Ansatz (vgl. Kapitel 1.2). In nachfolgender Abbildung 6 sind die minimal erforderlichen Ein- und Ausgangsdaten für die Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung angeführt. Der Workflow inkl. der Schritt Modellierung sowie die verwendete Datenbasis ist nachfolgend erläutert.

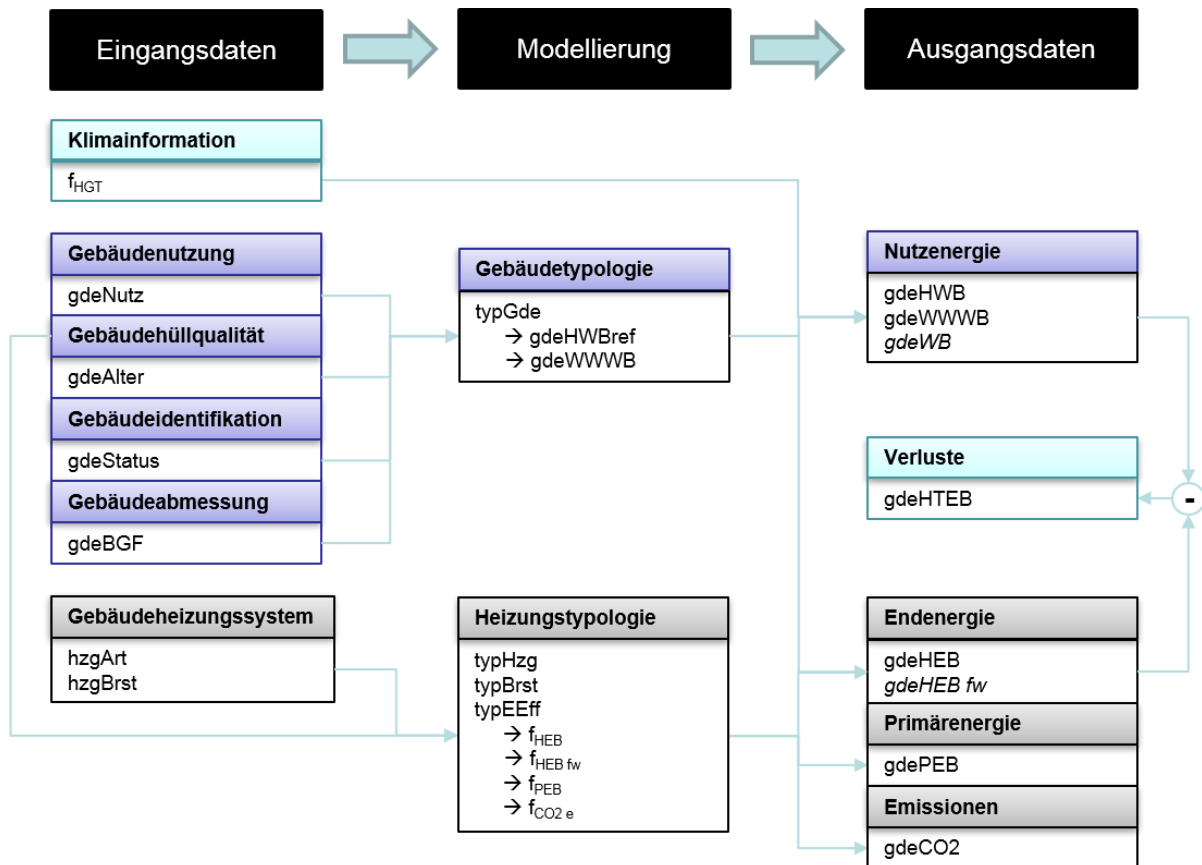


Abbildung 6: Workflow / Methode Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt S/E/P (eigene Darstellung)

Workflow und Datengrundlagen

Ausgangspunkt der Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung ist die Verortung bzw. Adressierung aller aktiven Gebäude im Untersuchungsgebiet sowie eine Wertezuweisung für ausgewählte Attribute der Merkmale *Gebäudenutzung*, *Gebäudehüllqualität*, *Gebäudeidentifikation* und *Gebäudeabmessung*. Mit diesen Basisinformationen erfolgt für jedes Gebäude die Modellierung des klimabereinigten Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarfes (=Nutzenergie) basierend auf der Gebäudetypologie. Die Modellierung des Heizenergiebedarfes (=Endenergie) sowie in weiterer Folge des Primärenergiebedarfes und der CO₂-Emissionen erfolgt anhand einer Heizungstypologie, die auf Informationen zum Gebäudeheizungssystem (Heizungs- und Brennstoffart) basiert.

In nachfolgender Tabelle 5 sind die minimal erforderlichen Eingangsdaten inkl. Angaben zu Datenquelle(n), Datenqualität, Datenverfügbarkeit und Vollständigkeit der Daten angeführt. Eine vollständige Attributtabelle (Eingangsdaten, abgeleitete Daten und Ausgangsdaten) inkl. Spezifikationen und

Attributdomänen ist dem Anhang 8.1 angefügt. Eine ausführliche Diskussion der Datengrundlagen erfolgt in Kapitel 5.

Tabelle 5: Datengrundlagen (Eingangsdaten) zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung

Merkmal	Attributliste - Eingangsdaten	Datenquelle	Datenqualität, Verfügbarkeit, Vollständigkeit
Adressierung	adrID objID gdeAdr gdeRW gdeHW EPSG	AGWR Google Maps OSM	Vollständigkeit sehr gut, da jedes Gebäude mit Objekt- und Adresscode in AGWR auch über eine Standortcoordinate verortet ist. Schätzungsweise 5-10% der Gebäudekoordinaten aus AGWR mussten manuell nachbearbeitet werden (z.B. waren öfters Wohnsiedlungen mit mehreren Adressen auf einem einzelnen Adresspunkt verortet)
Klimainformation	fHGT	ZAMG	Für ganz Österreich mit hoher Qualität verfügbar (Messungen ZAMG)
Gebäudenutzung	gdeNutz <i>gdeKatQuelle</i> <i>gdeInfo</i>	AGWR, ZEUS Herold, OSM, Google Maps	Verfügbarkeit über AGWR, ZEUS und Herold gegeben; Datenqualität grundsätzlich gut, manuelle Plausibilitätsprüfung dennoch öfters notwendig. Gebäudenutzungen, die nicht im AGWR definiert sind erfordern weitere Datengrundlagen und Bearbeitungsschritte.
Gebäudehüllqualität	<i>gdeBaujahr</i> gdeAlter <i>gdeAlterQuelle</i> gdeHWB <i>gdeHWBQuelle</i>	AGWR, ZEUS	Verfügbarkeit über AGWR sehr gut. Die Datenqualität (Richtigkeit) der Angaben im AGWR wurden im Zuge der Bearbeitung nicht analysiert.
Gebäudeidentifikation	gdeSanJahr gdeStatus <i>gdeStatus-Quelle</i>	AGWR, ZEUS Google Maps OSM	Der Gebäudestatus (aktiv, Abbruch) wird im AGWR mitgeführt mit guter Verfügbarkeit und Genauigkeit im Untersuchungsgebiet. Zusätzliche Information zu Sanierungen aus ZEUS sind schwierig mit dem AGWR Datensatz zu verknüpfen. Der Gebäudestatus „Sanierung“ geht derzeit aus dem AGWR nicht hervor.
Gebäudeabmessung	<i>gdeNGF</i> gdeBGF <i>gdeBGFQuelle</i> <i>gdelc</i>	AGWR, ZEUS	Verfügbarkeit grundsätzlich gut im AGWR. Größere Abweichungen zur Realität sind öfters offensichtlich (Falscheingaben, Inkonsistenzen zwischen BGF und NGF). Möglichkeiten für eine automatisierte Ermittlung von Gebäudeabmessungen aus Fernerkundungsdaten sollten hier überlegt werden. Vorteil wäre, dass man nicht nur Informationen zum BGF generieren kann sondern auch beispielsweise zur Gebäudekubatur (Gebäudevolumen), zur Gebäudehüllfläche, zur Dachform und daraus abgeleitet zur charakteristischen Länge l_c des Gebäudes.
Gebäudeheizungssystem	hzgArt hzgBrst <i>hzgTypQuelle</i> <i>hzgBaujahr</i> <i>hzgPNenn</i>	AGWR, ZEUS, Heizungs-DB Stmk und Erhebungen Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH	Heizungssystem und Brennstoffart werden im AGWR mitgeführt, sind allerdings vor allem für ältere Gebäude (vor 2000) mit größeren Unsicherheiten behaftet. Für das Untersuchungsgebiet lagen detaillierte und sehr aktuelle Daten aus einer Erhebung vor, die wieder ins AGWR zurückgespielt wurden. Ohne einer solchen Datenbasis müssen ggf. noch weitere Quellen herangezogen werden (ZEUS, Heizungsdatenbank Land Stmk) oder die Heizungsart beispielsweise aus der Nähe zu bestehenden Wärme- und Gasnetzen abgeleitet werden.

Der Workflow umfasst mehrere Arbeitsschritte, die nachfolgend im Detail beschrieben sind:

1. Adressierung (Punktkoordinaten) und eindeutige Identifikation (Adresscode und Objektnummer) jedes Gebäudes im Untersuchungsgebiet gemäß AGWR
2. Gebäudekartierung (Wertezuweisungen für Gebäudenutzung, Gebäudehüllqualität, Gebäudeidentifikation, Gebäudeabmessung und Gebäudeheizungssystem)
3. Modellierung von HWB (inkl. Klimabereinigung) und WWWB mittels Gebäudetypologie
4. Modellierung von Heizenergie- und Primärenergiebedarf sowie der CO₂-Emissionen mittels Heizungstypologie

5. Erstellung Wärmedichtekarte (100x100 Meter LAEA-Raster) aus den punktförmig verorteten Ausgangsdaten
6. Verknüpfung Punkt-Features mit Polygon-Features Gebäude aus der DKM bzw. aus OSM für weiterführende Visualisierungen und thematische Karten (nicht Gegenstand der Thesis)

Für den gesamten Workflow gilt, dass die Wertezuweisung von Gebäudeenergiekennzahlen aus verfügbaren Quellen (AGWR, ZEUS, empirische Daten) Vorrang hat gegenüber einer Wertezuweisung aus den Typologie-Tabellen. Der Typologie-Ansatz dient also zum Auffüllen von Datenlücken, wenn die Informationen nicht anderweitig vorliegen.

1. Adressierung

Alle Informationen (Attribute) zu den Gebäuden im Untersuchungsgebiet werden gemeinsam mit einer eindeutigen Adressierung und Kennung (Adresscode und Objektnummer) als Punkt-Featureclass im Shape-Format gespeichert. Als Koordinatensystem wird einheitlich die Gauß-Krüger Projektion mit dem Bezugsmeridian M34 (Ostteil der Steiermark) zugewiesen (EPSG 31256).

Für die Adressierung der Gebäude werden die amtlichen Informationen des Adress-, Gebäude- und Wohnungsregisters (AGWR) der Statistik Austria herangezogen. Das AGWR stellt eine zentrale und national harmonisierte Datengrundlage dar, die neben der eindeutigen Identifikation und Adressierung von Grundstücken und Gebäuden auch noch eine Reihe weiterer energierelevanter Merkmale von Gebäuden bereitstellt. Für Metainformationen zum AGWR siehe *Statistik Austria (2013)*.

2. Gebäudekartierung

Unter Gebäudekartierung sind die Wertezuweisungen für ausgewählte Attribute der Merkmale Gebäudenutzung, Gebäudehüllqualität, Gebäudeidentifikation, Gebäudeabmessung und Gebäudeheizung zu verstehen, die in weiterer Folge die Basis für die Wärmebedarfsmodellierung darstellen.

Gebäudenutzung

Um eine konsistente Migration zwischen unterschiedlichen Datenquellen und Berechnungsstandards zu gewährleisten werden 22 charakteristische Gebäudenutzungen (gdeNutz) definiert, die vier Gebäudekategorien (gdeKat) zugeordnet sind (Tabelle 6).

Tabelle 6: Attributdomänen für Gebäudekategorie (gdeKat) und Gebäudenutzung (gdeNutz)

gdeKat	gdeNutzID	gdeNutz	Beschreibung
WG	01	EZFH	Gebäude mit einer oder zwei Wohnungen
WG	02	MFH_kl	Gebäude mit drei bis neun Wohnungen
WG	03	MFH_gr	Gebäude mit neun oder mehr Wohnungen
WG	04	Wohnheim	Wohngebäude für Gemeinschaften
NWG	05	Buero	Büro- und Verwaltungsgebäude
NWG	06	Bildung	Bildungseinrichtung
NWG	07	Gesundheit	Krankenhaus
NWG	08	Beherbergung	Beherbergungsbetrieb
NWG	09	Gastronomie	Gaststätte
NWG	10	Veranstaltung	Veranstaltungs- und Kulturstätte
NWG	11	Sport	Sportstätte
NWG	12	Hallenbad	Hallenbad
NWG	13	Handel	Groß- und Einzelhandelsgebäude
NWG	14	Infrastruktur	Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens
NWG	15	Landwirtschaft	landwirtschaftliches Betriebsgebäude

NWG	16	Kultgebäude	Kirche, sonstiges sakrales Bauwerk
SKG	17	Produktion	Industriegebäude, produzierendes Gewerbe
SKG	18	AndereSKG	Anderes / unbekanntes konditioniertes Gebäude
SnKG	19	Lager	Behälter, Silo, unbeheiztes Lager
SnKG	20	Kleingebäude	unbeheiztes Kleingebäude, Nebengebäude, Garage, etc.
SnKG	21	InBau	In Bau befindliches Gebäude
SnKG	22	AndereSnKG	Anderes / unbekanntes nicht konditioniertes Gebäude
	99	oInfo	Unbekanntes Bauwerk / Bauwerk ohne Information

WG: Wohngebäude (Wohnsektor)

NWG: Nichtwohngebäude (Dienstleistungssektor)

SKG: Sonstige konditionierte Gebäude (Industriesektor, produzierendes Gewerbe)

SnKG: Sonstige nicht konditionierte Gebäude (unbeheizte Lager- und Kleingebäude)

Die Definition der Gebäudenutzungen orientiert sich weitestgehend an den Begrifflichkeiten der OIB Richtlinie 6 für Wohn- und Nichtwohngebäude (OIB, 2019b S.6-7) sowie an der EU Gebäudeklassifikation³, die auch für das AGWR zur Anwendung kommt. Die Kategorie SnKG umfasst Gebäude, die aus energetischer Sicht nicht relevant sind, eine Verortung und Attributierung jedoch bei der Gesamt-Bestandsanalyse einer Region trotzdem von Interesse ist.

Bei Vorliegen von Mischnutzungen (z.B. bei Gebäudeblöcken mit Geschäftsflächen im Erdgeschoß und Wohnungen im Obergeschoß) wird jene Nutzung als Hauptnutzung definiert, die mehr als 50% der Nettogrundfläche des Gebäudes einnimmt. Die entsprechende Datengrundlage hierfür liefert das AGWR.

Gebäudehüllqualität

Neben der Gebäudenutzung ist vor allem die Qualität der Gebäudehülle ausschlaggebend für den Heizwärmebedarf von Gebäuden. Als wichtigster Indikator für die Gebäudehüllqualität dient das Gebäudealter sowie der Sanierungsstatus des Gebäudes. Beim Gebäudealter wird in der vorliegenden Typologie in Anlehnung an die Festlegungen im AGWR⁴ (Haidinger and Schartner, 2016) zwischen acht Baualtersklassen unterschieden (Tabelle 7). Eine zusätzliche Kategorie „oInfo“ ermöglicht eine Wertezuweisung, wenn die Information zur Baualtersklasse nicht bekannt ist.

Tabelle 7: Attributdomänen für Gebäudealtersklasse (gdeAlter)

gdeAlter	gdeAlterID	Beschreibung
1919	01	bis 1918
1944	02	1919–1944
1960	03	1945–1960
1980	04	1961–1980
1990	05	1981–1990
2000	06	1991–2000
2010	07	2001–2010
2020	08	>2010 (Neubau)
oInfo	99	Gebäudealtersklasse unbekannt

Die Differenzierung der einzelnen Gebäudenutzungen nach Baualtersklassen ist notwendig, um die signifikanten Unterschiede beim Wärmebedarf aufgrund unterschiedlicher Baustandards entsprechend zu berücksichtigen (in Anlehnung an Pezzutto et al. (2019b, S.24):

³ Die EU Gebäudeklassifikation der Bauwerke ist in der [Klassifikationsdatenbank](#) von Statistik Austria dokumentiert.

⁴ [Dokumentation zum AGWR](#) inkl. Datenbankmodell, Schnittstellenbeschreibung, [Wertevorräte](#), etc.

- Vor 1945: historischer Gebäudebestand - sehr inhomogen, standardisierte Typologien sind schwierig zu erstellen, Verallgemeinerungen z.B. über die Art der Bauweise und das Material (z.B. Mauerwerksbau, Stahlbetonskelett, Holzriegelkonstruktion) sind möglich;
- 1945-1969: Gebäude der Nachkriegszeit sind in der Regel durch nahezu fehlende Isolierung und ineffiziente Energiesysteme gekennzeichnet;
- 1970-1979: Gebäude mit ersten Dämmwendungen (als Folge der weltweiten Energiekrisen in den 1970er Jahren);
- 1980-1989 und 1990-1999: Die in diesem Zeitraum errichteten Gebäude spiegeln die Einführung der ersten nationalen Wärmeverordnungen wider (um 1990);
- 2000-2010: Gebäude, bei denen davon ausgegangen wird, dass sie von den Auswirkungen der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beeinflusst sind (2002/91/EC und folgende Neufassungen);
- Nach 2010: Neubauten, von denen ausgegangen wird, dass nationale Richtlinien zu Mindestanforderungen an die Gebäudequalität (z.B. gemäß OIB) umgesetzt wurden

Gebäudeidentifikation

Über das Attribut *Gebäudestatus* wird für jedes Gebäude im Untersuchungsgebiet festgelegt, ob es aktiv (bewohnt, in Verwendung) ist, bereits saniert wurde, denkmalgeschützt ist oder womöglich nicht mehr existiert (Abbruch). Insbesondere die Information zum Sanierungsstatus eines Gebäudes hat Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf. Einzige Datenquelle, die diese Information derzeit bereitstellt ist die ZEUS Energieausweisdatenbank des Landes Steiermark. Alle sanierten und im ZEUS ersichtlichen Gebäude im Untersuchungsgebiet wurden mit dem Gebäudestatus *saniert* versehen mit den entsprechenden Gebäudeenergiekennzahlen aus dem Energieausweis.

Tabelle 8: Attributdomänen für Gebäudestatus (gdeStatus)

gdeStatus	gdeStatusID	Beschreibung
aktiv	01	Bestandsgebäude aktiv
saniert	02	Bestandsgebäude aktiv, saniert
Denkmal	03	Bestandsgebäude aktiv, denkmalgeschützt
Abbruch	04	Gebäudeabbruch
inBau	05	Gebäude in Bau
nieExistent	06	Gebäude existiert nicht
oInfo	99	Gebäudestatus unbekannt

Gebäudeabmessungen

Für das Merkmal „Gebäudeabmessungen“ wird in der vorliegenden Arbeit das Attribut Bruttogrundfläche oder kurz BGF benötigt. Im steiermärkischen Baugesetz gilt als BGF „die Fläche je Geschoß, die von den Außenwänden umschlossen wird, einschließlich der Außenwände“ (*LandStmk, 2019*). Die Berechnung der BGF wird in der ÖNORM B-1800 (*ON, 2013*) festgelegt⁵. Eine korrekte Ermittlung und Wertezuweisung der BGF ist wichtig, da die Werte für HWB und WWWB in der Gebäudetypologie spezifische Kennzahlen bezogen auf die BGF sind ($\text{kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$), aus denen durch Multiplikation mit der BGF die absoluten jährlichen Energiebedarfe ermittelt werden. Die Information zur BGF ist vor allem im AGWR enthalten und teilweise auch via ZEUS verfügbar.

⁵ Eine übersichtliche Abgrenzung der Begrifflichkeiten zu Gebäudeflächen und -rauminhalten gemäß ÖNORM-B-1800 bietet https://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/TISS_img/Priebernig/%C3%96N%201800.pdf

Gebäudeheizungssystem

Die Information zu Heizungsart und verwendeten Brennstoff ist essenziell für die Modellierung des Heizenergiebedarfes sowie weiters zur Ermittlung des Primärenergiebedarfes und der CO₂-Emissionen. Die Festlegungen zur Heizungsart orientieren sich an den acht österreichischen Referenz-Heizungssysteme gemäß OIB RL6 (OIB, 2019a S. 10ff).

- Sys1 Standardheizkessel (Systemtemperaturen 90 °C / 70 °C)
- Sys2 Niedertemperaturkessel (Systemtemperaturen 70 °C / 55 °C)
- Sys3 Brennwertkessel (Systemtemperaturen 40 °C / 30 °C)
- Sys4 Gaskombitherme (Systemtemperaturen 70 °C / 55 °C)
- Sys5 Fernwärme (Systemtemperaturen 70 °C / 55 °C)
- Sys6 Einzelofen (oder bei Nichterhebbarkeit)
- Sys7 *thermische Solaranlage (derzeit nicht berücksichtigt)*
- Sys8 Wärmepumpe (Systemtemperaturen 40 °C / 30 °C)

Die OIB-Referenzsysteme wurden erweitert und adaptiert, um auch Nahwärme (Blockheizung) sowie unterschiedliche WP-Technologie (Luft/Wasser, Sole/Wasser, Wasser/Wasser), Stromheizungen und sonstige Wärmebereitstellungssysteme wie z.B. Mikro-KWK berücksichtigen zu können (Tabelle 9).

Tabelle 9: Attributdomänen für Heizungsart (hgzArt)

hgzArt	hgzArtID	Beschreibung
Sys1_kessel	01	Kessel: Standardheizkessel
Sys2_nt-kessel	02	Kessel: Niedertemperaturkessel
Sys3_bw-kessel	03	Kessel: Brennwertkessel
Sys4_nw	04	Nahwärme: Blockheizung, Gaskombitherme
Sys5_fw	05	Fernwärme
Sys6_rhg	06	Raumheizgerät: Einzelofen, Herd, Kachelofen
Sys7_st	07	thermische Solaranlage
Sys8_wp_lw	08	Wärmepumpe: Außenluft/Wasser
Sys9_wp_sw	09	Wärmepumpe: Sole/Wasser (inkl. Direktverdampfer)
Sys10_wp_ww	10	Wärmepumpe: Wasser/Wasser (Grundwasser-WP)
Sys11_wp_andere	11	Wärmepumpe: sonstige (z.B. PH-Kompaktgerät)
Sys12_ehgz	12	Stromheizung (z.B.: Elektrostrahler, Infrarotpaneele)
Sys13_andere	13	sonstiges WBS (z.B.: Mikro-KWK, Dampferzeuger)
unbeheizt	14	Gebäude nicht beheizt
oInfo	99	Wärmebereitstellungssystem unbekannt

Die Festlegungen zur Brennstoffart (Tabelle 10) orientieren sich ebenfalls an der OIB RL6 sowie an den Spezifikationen in den AGWR Wertevorräten (Haidinger and Schartner, 2016).

Tabelle 10: Attributdomänen für Brennstoffart (HzgBrst)

HzgBrst	HzgBrstID	Beschreibung
Kohle	01	Kohle
Heizöl	02	Heizöl (Extraleicht, Leicht)
Erdgas	03	Erdgas
Fluessiggas	04	Flüssiggas
Scheitholz	05	Scheitholz
Hackschnitzel	06	Hackschnitzel
Holz-Pellets	07	Holz-Pellets

Strom	08	Strom
unbeheizt	09	Gebäude nicht beheizt
oInfo	99	Brennstoffart unbekannt

3. Gebäudetypologie: Modellierung Wärmebedarf (HWB + WWWB)

Die Modellierung des standortbezogenen Wärmebedarfes (HWB + WWWB) erfolgt für jedes *aktive* Gebäude im Untersuchungsgebiet anhand der Merkmale Klimainformation (attr: f_{HGT}), Gebäudenutzung (attr: gdeNutz), Gebäudehüllqualität (attr: gdeAlter) und Gebäudeidentifikation (attr: gdeStatus) durch Wertezuweisung aus der Gebäudetypologie (Abbildung 7). Das Merkmal Gebäudeabmessung (attr: gdeBGF) wird benötigt, um die spezifischen Kennzahlen (kWh pro m² und Jahr) in Absolutwerte je Gebäude MWh pro Jahr umzurechnen.

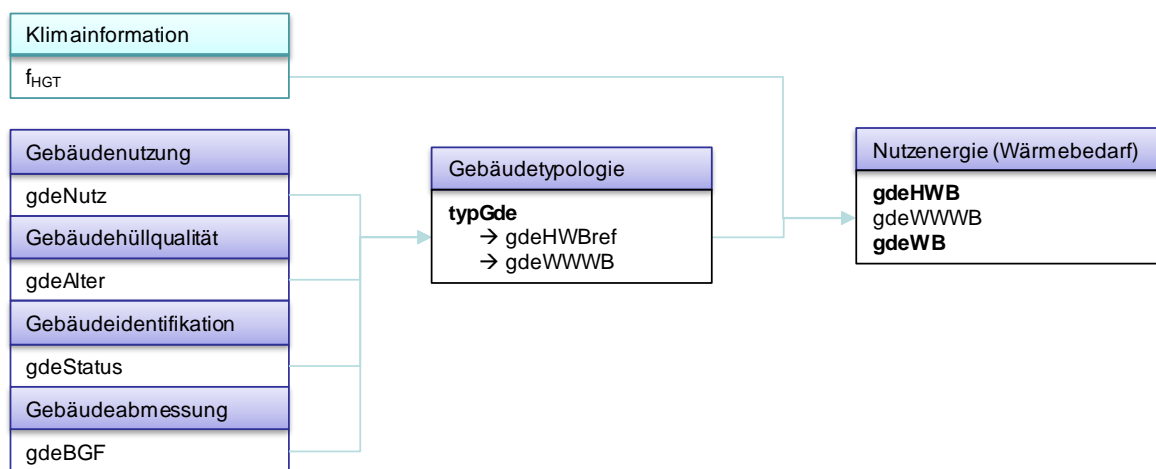


Abbildung 7: Methode zur Modellierung des Wärmebedarfes WB (WB = HWB + WWWB)

Die Gebäudetypologie beinhaltet archetypische Gebäudemerkmale für die 22 definierten Gebäudenutzungskategorien sowie für jeweils neun Baualtersklassen je Kategorie. Die gesamte Matrix umfasst somit 198 Gebäudetypen (22 Nutzungskategorien x 9 Baualtersklassen) mit jeweils charakteristischen Kennzahlen zur Beschreibung des Wärmebedarfes⁶ (HWB und WWWB).

Die verwendete Gebäudetypologie-Matrix ist dem Anhang zu entnehmen (Tabelle 23). Angeführt sind die für diese Arbeit relevanten spezifischen Werte für den HWB und WWWB in kWh pro m²_{BGF} je Gebäudetyp. Die Umrechnung des Referenz-Heizwärmebedarfes aus der Gebäudetypologie-Matrix auf das Standortklima erfolgt gemäß Formel 6 mit dem Klima für Gleisdorf aus dem Jahr 2016.

4. Heizungstypologie: Modellierung Heiz- und Primärenergiebedarf sowie CO₂ Emissionen

Für die Modellierung des Heizenergiebedarfes (=Endenergie) sowie in weiterer Folge des Primärenergiebedarfes und der CO₂-Emissionen wird jedem Gebäudetyp zusätzlich ein Heizungstyp zugewiesen. Der Heizungstyp leitet sich wiederum aus der Heizungsart (hzgArt), dem Brennstoff (hzgBrst) sowie dem Gebäudealter (gdeAlter) ab (Abbildung 8).

⁶ Für eine Gesamt-Energiebilanzierung von Gebäuden kann die Typologie in gleicher Weise um Kennzahlen für den Kühlbedarf (KB) sowie den Haushaltsstrombedarf (HHSB) erweitert werden.

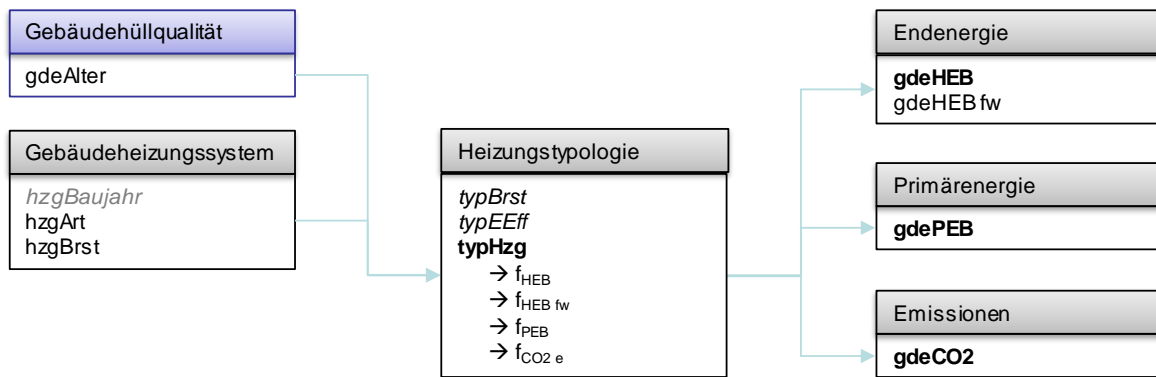


Abbildung 8: Methode zur Modellierung von Heizenergiebedarf (HEB), Primärenergiebedarf (PEB) und CO₂ Emissionen

Die Heizungstypologie umfasst insgesamt 20 Heizungstypen (Tabelle 11) und beinhaltet jeweils Faktoren zur Berechnung von Heizenergie f_{HEB} , Primärenergie f_{PEB} und CO₂ Emissionen f_{CO_2} .

Die Umrechnungsfaktoren für Heizenergie f_{HEB} liegen in Abhängigkeit der Energieeffizienzklasse des Heizungssystems (gering, mittel oder hoch als Funktion des Gebäudealters) sowie differenziert nach kleinen Wohngebäuden (Tabelle 24) und großen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (Tabelle 25) vor und wurden mit einem Berechnungsmodell ermittelt, das nachfolgend beschrieben ist. Den Umrechnungsfaktoren für Primärenergie f_{PEB} und CO₂ Emissionen f_{CO_2} liegen jeweils brennstoffspezifische in Anlehnung an die OIB RL6 (OIB, 2019b) zugrunde (Tabelle 27).

Tabelle 11: Heizungstypen (*typHzg*) zur Modellierung des Heizenergiebedarfes

typHzg	ID	Beschreibung
Sys1_kessel_fossil	01	Standardheizkessel fossile Brennstoffe (Kohle, Heizöl, Erdgas)
Sys1_kessel_biogen	02	Standardheizkessel biogene Festbrennstoffe (Hackschnitzel, Scheitholz, Pellets)
Sys2_nt-kessel_fossil	03	Niedertemperaturkessel fossile Brennstoffe (Kohle, Heizöl, Erdgas)
Sys2_nt-kessel_biogen	04	Niedertemperaturkessel biogene Festbrennstoffe (Hackschnitzel, Scheitholz, Pellets)
Sys3_bw-kessel_fossil	05	Brennwertkessel fossile Brennstoffe (Kohle, Heizöl, Erdgas)
Sys3_bw-kessel_biogen	06	Brennwertkessel biogene Festbrennstoffe (Hackschnitzel, Scheitholz, Pellets)
Sys4_nw_fossil	07	Nahwärme fossile Brennstoffe (Kohle, Heizöl, Erdgas) und <i>Gaskombitherme</i>
Sys4_nw_biogen	08	Nahwärme biogene Brennstoffe (Hackschnitzel, Scheitholz, Pellets)
Sys5_fw_fossil	09	Fernwärme fossile Brennstoffe (Kohle, Heizöl, Erdgas)
Sys5_fw_biogen	10	Fernwärme (überwiegend >80%) biogene Brennstoffe (Hackschnitzel, Scheitholz, Pellets)
Sys6_rhg_fossil	11	Raumheizgerät bzw. Herd fossile Brennstoffe (Kohle, Heizöl, Erdgas)
Sys6_rhg_biogen	12	Raumheizgerät bzw. Herd biogene Festbrennstoffe (Hackschnitzel, Scheitholz, Pellets)
Sys8_wp_lw_strom	13	Wärmepumpe Außenluft/Wasser

Sys9_wp_sw_strom	14	Wärmepumpe Sole/Wasser (inkl. Direktverdampfer)
Sys10_wp_ww_strom	15	Wärmepumpe Wasser/Wasser (Grundwasserwärmepumpe)
Sys11_wp_andere_strom	16	Wärmepumpe sonstige (z.B. Passivhaus-Kompaktgerät)
Sys12_ehgz_strom	17	Stromheizungen (Elektrostrahler, Infrarotpaneele)
Sys13_andere_fossil	18	Sonstige Heizungssysteme fossile Brennstoffe (z.B.: Mikro-KWK)
Sys13_andere_biogen	19	Sonstige Heizungssysteme biogene Festbrennstoffe (z.B.: Mikro-KWK)
unbeheizt	20	Gebäude nicht beheizt
oInfo	99	Unbekanntes Heizungssystem

Methodenbeschreibung: Ermittlung Umrechnungsfaktor f_{HEB}

Der Heizenergiebedarf (HEB) entspricht dem Wärmebedarf (HWB + WWWB) + dem Heiztechnikenergiebedarf HTEB (vgl. Formel 1). Der HTEB umfasst die nicht rückgewinnbaren Verluste des gebäudetechnischen Systems (vgl. Formel 2) und ist darüber hinaus abhängig von Gebäudeeigenschaften (Geometrie, Qualität der Gebäudehülle). Die Berechnung ist also entsprechend komplex und erfordert eine Vielzahl an bekannten Gebäude- und Heizungsparametern. Etablierte Berechnungsnormen sind die ÖNORM H 5056-1 zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (ON, 2019) sowie die europäische Normenreihe ÖNORM EN 15316 zur energetischen Bewertung von Gebäuden (ON, 2017).

Für die Heizungstypologie wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Methode erarbeitet, die eine Umrechnung von Wärmebedarf in Heizenergiebedarf mit nur wenigen Eingangsparametern ermöglicht. Hierfür wurden Referenz-Heizungssysteme definiert und jeweils HEB-Berechnungen nach der europäischen Norm ÖNORM EN 15316 für Referenz-Gebäude mit dem frei verfügbaren Excel-Berechnungstool [tabula-calculator.xlsx](#) (Loga, 2016) aus dem EU-Projekt TABULA durchgeführt.

Als Referenz-Gebäude dienen die österreichischen Wohngebäudearchetypen aus dem Projekt TABULA (Altmann-Mavaddat et al., 2015), die geometrisch und bautechnisch vollständig beschrieben für eine Heizenergiebedarfsberechnung verfügbar sind. Als Referenz-Heizungssysteme dienen die acht österreichischen Referenzsysteme gemäß OIB RL6 (OIB, 2019a S. 10ff) (vgl. Tabelle 9).

Referenz-Heizungssysteme und Referenz-Gebäude liefern die Basisinformationen für die Parametrierung der Heizenergiebedarfsberechnungen mit dem Excel-Berechnungstool [tabula-calculator.xlsx](#) (Loga, 2016), wie nachfolgend erläutert:

Berechnungsablauf und Ergebnisse

Basierend auf den geometrischen und bautechnischen Festlegungen der österreichischen Wohngebäudearchetypen in Altmann-Mavaddat et al. (2015) für Einfamilienwohngebäude, Mehrfamilienwohngebäude sowie Geschoßwohnbauten wurden jeweils HEB-Berechnungen für die unterschiedlichen Referenz-Heizungssysteme durchgeführt. Um unterschiedliche Heizungssystem-Standards je nach Bauperiode zu berücksichtigen (Dämmstandards, Wirkungsgrade von Kesseln, etc.) wurde die HEB-Berechnung für jedes System und jeden Wohngebäudearchetyp noch zusätzlich für drei unterschiedliche Effizienzklassen (gering, mittel, hoch) durchgeführt (3 Wohngebäudearchetypen x 8 Baualtersklassen x 8 Heizungstypen x 3 Effizienzklassen = 576 Berechnungsvarianten).

Als Indikator für die Energieeffizienzklasse der Heizung (attr: typEEff) wird das Baujahr des Heizungssystems herangezogen. Da diese Information häufig nicht verfügbar ist, wird das Gebäudealter (attr:

gdeAlter) zur Bestimmung herangezogen. Jedes Heizungssystem wird entsprechend der Festlegungen in Tabelle 12 qualitativ mit einer Energieeffizienzklasse „gering“, „mittel“ oder „hoch“ bewertet.

Tabelle 12: Attributdomänen für Energieeffizienztyp der Heizung (typEEff)

typEEff	typEEffID	Beschreibung
gering	01	== gdeAlter (1919, 1944, 1960, 1980)
mittel	02	== gdeAlter (1990, 2000)
hoch	03	== gdeAlter (2010, 2020)

Ergebnis der durchgeführten Berechnungsstudie ist eine Umrechnungsmatrix von Wärmeenergie in Heizenergie in Abhängigkeit von Wohngebäudetyp, Gebäudealter (bzw. Energieeffizienzklasse) und Heizungstyp. Eine Auswertung (Sensitivitätsanalyse) der Berechnungsergebnisse hat gezeigt, dass der Einfluss des Wohngebäudetyps auf den Umrechnungsfaktor gering ist im Vergleich zum Einfluss des Heizungstyps oder der Effizienzklasse der Heizung. Für die Umrechnung von Wärmebedarf in Heizenergiebedarf mittels f_{HEB} wird in der Konsequenz nur zwischen kleinen Wohngebäuden (Tabelle 13) und größeren Wohngebäuden (Tabelle 14) unterschieden. Nichtwohngebäuden und sonstigen konditionierten Gebäuden werden aufgrund fehlender geometrischer und bautechnischer Informationen dieselben Faktoren zugewiesen wie für die größeren Wohngebäude.

Tabelle 13: Berechnungsfaktor f_{HEB} für kleine Wohngebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser) in Abhängigkeit des Heizungstyps (typHzg) und der Energieeffizienzklasse der Heizung (typEEff)

typHzg	typHzgID	typEEff	typEEff	typEEff	Anmerkung
		<1980 $f_{\text{HEB_gering}}$	EZFH 1980-2000 $f_{\text{HEB_mittel}}$	EZFH >2000 $f_{\text{HEB_hoch}}$	
Sys1_kessel_fossil	01	2.56	1.62	1.24	Berechnung
Sys1_kessel_biogen	02	2.56	1.77	1.42	Berechnung
Sys2_nt-kessel_fossil	03	2.46	1.55	1.19	Annahme
Sys2_nt-kessel_biogen	04	2.49	1.72	1.37	Annahme
Sys3_bw-kessel_fossil	05	n.a.*	1.35	1.17	Berechnung
Sys3_bw-kessel_biogen	06	n.a.*	1.38	1.19	Berechnung
Sys4_nw_fossil	07	1.32	1.27	1.12	Berechnung
Sys4_nw_biogen	08	1.36	1.29	1.15	Annahme
Sys5_fw_fossil	09	1.72	1.33	1.23	Berechnung
Sys5_fw_biogen	10	1.77	1.36	1.25	Annahme
Sys6_rhg_fossil**	11	2.56	1.62	1.24	Berechnung - wie ID1
Sys6_rhg_biogen**	12	2.56	1.77	1.42	Berechnung - wie ID2
Sys8_wp_lw_strom	13	n.a.*	0.45	0.35	Berechnung
Sys9_wp_sw_strom	14	n.a.*	0.36	0.24	Berechnung
Sys10_wp_ww_strom	15	n.a.*	0.36	0.24	Berechnung - wie ID13
Sys11_wp_andere_strom	16	n.a.*	0.41	0.30	Berechnung - wie ID12
Sys12_ehgz_strom	17	1.15	1.10	1.05	Annahme
Sys13_andere_fossil**	18	2.56	1.62	1.24	Berechnung - wie ID1
Sys13_andere_biogen**	19	2.56	1.77	1.42	Berechnung - wie ID2
unbeheizt	20	-	-	-	
oInfo**	99	2.56	1.62	1.24	Berechnung - wie ID1/2

*Keine Brennkessel (Sys3) oder Wärmepumpen (Sys8) vor 1980.

**Für Sys6_rhg, Sys10_andere und oInfo (unbekanntes WBS) erfolgt eine Zuweisung wie für Sys1

Tabelle 14: Berechnungsfaktor f_{HEB} für große Wohngebäude (MFH_kl, MFH_gr, Wohnheim) sowie für alle NWG und SKG in Abhängigkeit des Heizungstyps (typHzg) und der Energieeffizienzklasse der Heizung (typEEff)

typHzg	typHzgID	typEEff <1980 f_{HEB_gering}	typEEff EZFH 1980-2000 f_{HEB_mittel}	typEEff EZFH >2000 f_{HEB_hoch}	Anmerkung
Sys1_kessel_fossil	01	2.76	1.69	1.24	Berechnung
Sys1_kessel_biogen	02	2.70	1.84	1.41	Berechnung
Sys2_nt-kessel_fossil	03	2.65	1.62	1.19	Annahme
Sys2_nt-kessel_biogen	04	2.62	1.79	1.37	Annahme
Sys3_bw-kessel_fossil	05	n.a.*	1.41	1.17	Berechnung
Sys3_bw-kessel_biogen	06	n.a.*	1.44	1.19	Berechnung
Sys4_nw_fossil	07	1.34	1.27	1.12	Berechnung
Sys4_nw_biogen	08	1.38	1.30	1.14	Annahme
Sys5_fw_fossil	09	1.83	1.39	1.22	Berechnung
Sys5_fw_biogen	10	1.89	1.42	1.25	Annahme
Sys6_rhg_fossil**	11	2.76	1.69	1.24	Berechnung - wie ID1
Sys6_rhg_biogen**	12	2.70	1.84	1.41	Berechnung - wie ID2
Sys8_wp_lw_strom	13	n.a.*	0.48	0.35	Berechnung
Sys9_wp_sw_strom	14	n.a.*	0.38	0.24	Berechnung
Sys10_wp_ww_strom	15	n.a.*	0.38	0.24	Berechnung - wie ID13
Sys11_wp_andere_strom	16	n.a.*	0.43	0.30	Berechnung - wie ID12
Sys12_ehgz_strom	17	1.15	1.10	1.05	Annahme
Sys13_andere_fossil**	18	2.76	1.69	1.24	Berechnung - wie ID1
Sys13_andere_biogen**	19	2.70	1.84	1.41	Berechnung - wie ID2
unbeheizt	20	-	-	-	
olInfo**	99	2.70	1.69	1.24	Berechnung - wie ID1/2

*Keine Brennkessel (Sys3) oder Wärmepumpen (Sys8) vor 1980.

**Für Sys6_rhg, Sys10_andere und olInfo (unbekanntes WBS) erfolgt eine Zuweisung wie für Sys1

Für die Anwendung der Methode am gegenständlichen Untersuchungsgebiet wurde die Annahme getroffen, dass keine Heizungsanlagen (Kessel) älter als 35 Jahre in Betrieb sind. Damit sind nur noch die Umrechnungsfaktoren für die Effizienzklassen „mittel“ f_{HwB_mittel} und „hoch“ f_{HwB_hoch} von Relevanz. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass vor 1980 (nahezu) keine Brennkessel oder Wärmepumpen installiert wurden.

5. Erstellung Wärmedichtekarte

Für die Erstellung der Wärmedichtekarten im Rahmen des Methodenvergleiches werden die punktförmig verorteten Gebäudeinformationen zum Heizenergiebedarf je Gebäude auf 100x100 Meter Rasterebene aggregiert und symbolisiert.

Für die Aggregation auf Rasterebene wird das europäische 100x100 Standard-Raster herangezogen, das in der Projektion ETRS-LAEA (EPSG:3035) über Statistik Austria bezogen werden kann⁷. Die Umrechnung der regionalstatistischen Rastereinheiten in der Projektion EPSG:3035 in das gegenständliche Bezugssystem (EPSG:31265) erfolgt mit der Transformation MGI to ETRS 1989 5 (EPSG:5891).

Die Wärmebezugsdichte q_f dient als Kriterium zur Bewertung der Eignung eines Gebietes für eine Wärmeversorgung mittels Nah- und Fernwärme (vgl. Kapitel 2.3). Für die Symbolisierung und Bewertung werden die Klassengrenzen entsprechend Tabelle 4 herangezogen.

⁷ Regionalstatistische Rastereinheiten: https://data.statistik.gv.at/web/meta.jsp?dataset=OGDEXT_RASTER_1

6. Weiterführende Visualisierungen und thematische Karten

Die gebäudegenauen Informationen werden im Projekt S/E/P für weiterführende Analysen und thematische Karten verwendet, auf die im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht weiter eingegangen wird. Für die gegenständliche Thesis ist die Gebäudedatenbank die Grundlage für die Erstellung von Wärmedichtekarten sowie zur Energiebilanzierung des Gebäudebestandes als Basis für den Methodenvergleich mit den beiden EU-Projekten Heat Roadmap Europe und Hotmaps.

3.1.3. Ergebnisse am Beispiel der Stadtgemeinde Gleisdorf

Ergebnis der Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung der Stadtgemeinde Gleisdorf ist eine adressgenaue Charakterisierung des Gebäudebestandes und der Wärmeversorgungsinfrastruktur inkl. Abschätzung der Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergiebedarfe sowie der CO₂-Emissionen. Die Daten liegen im shp-Format entsprechend der erläuterten Spezifikationen als Punkt-Featureclass vor. Nachfolgend sind einige geografischen und demografische Informationen zum Untersuchungsgebiet, die Gebäudebestandserhebung sowie die Ergebnisse der energetischen Statusanalyse qualitativ und in Form von Karten zusammengefasst.

Geografie und Bevölkerung

Gleisdorf ist eine Stadtgemeinde im Bezirk Weiz in der Oststeiermark, rund 21 km östlich von Graz. Mit Jänner 2019 sind im Gemeindegebiet insgesamt 10.777 Einwohner mit Hauptwohnsitz gemeldet (Stadt Gleisdorf: 6.430)⁸. In nachfolgender Abbildung 9 sind die Einwohnerzahlen (Hauptwohnsitz) je Gebäudestandort auf den 100x100 Meter LAEA Raster aggregiert für die Stadt Gleisdorf dargestellt.

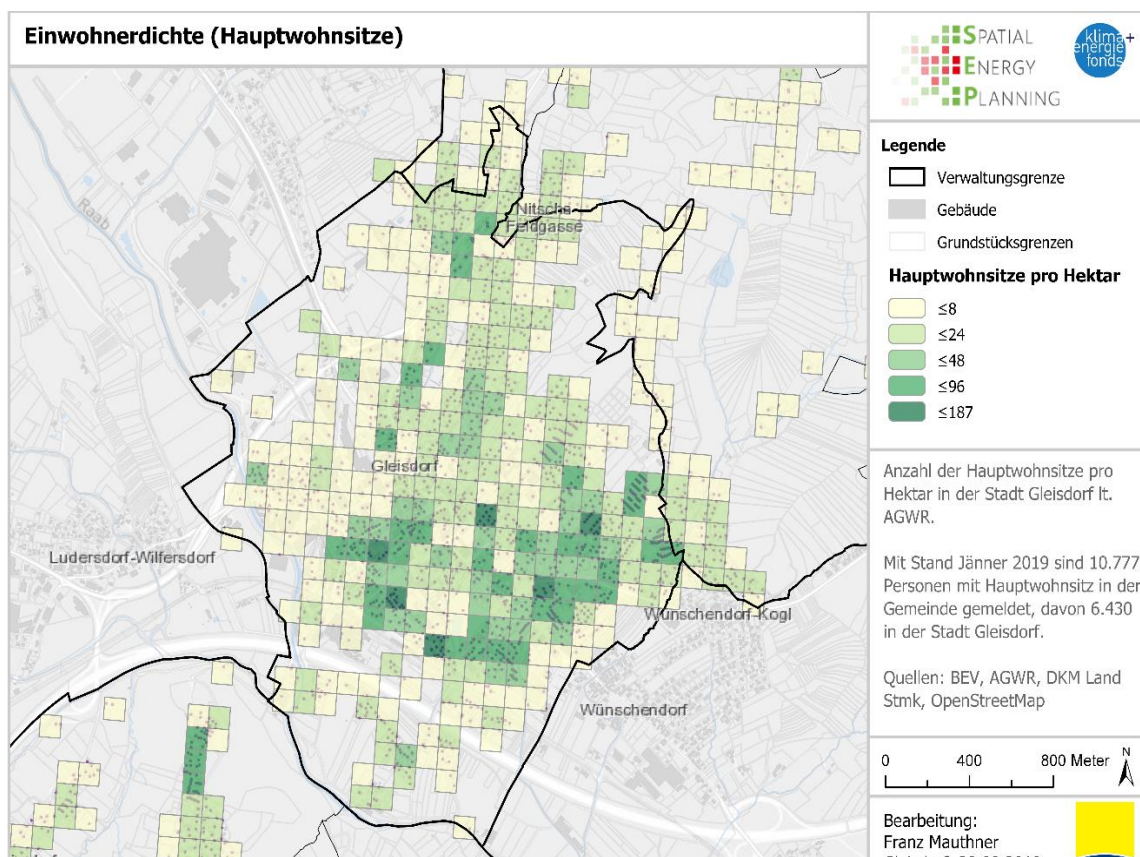


Abbildung 9: Einwohnerdichte (aggregiert auf 100x100 Meter Raster) Stadt Gleisdorf (basierend auf AGWR, Juli 2019)

⁸ Statistik Austria: Bevölkerung am 1.1.2019 nach Ortschaften (Gebietsstand 1.1.2019) ([Link](#))

Bestandsanalyse Gebäude

Abbildung 10 zeigt die Verwaltungsgrenzen der Gemeinde sowie der neun Katastralgemeinden gemeinsam mit den insgesamt 3428 verorteten Gebäudefeatures (alle aktiven Gebäude lt. AGWR). In der Karte sind zudem die OSM Gebäudepolygone visualisiert sowie einige weitere Orientierungsmerkmale wie Gewässer. Gut erkennbar ist eine starke Konzentrierung von Gebäuden in der Stadt Gleisdorf. Das Gemeindegebiet erstreckt sich über eine Fläche von 38,37 km², die Stadt Gleisdorf nimmt davon 4,76 km² ein.

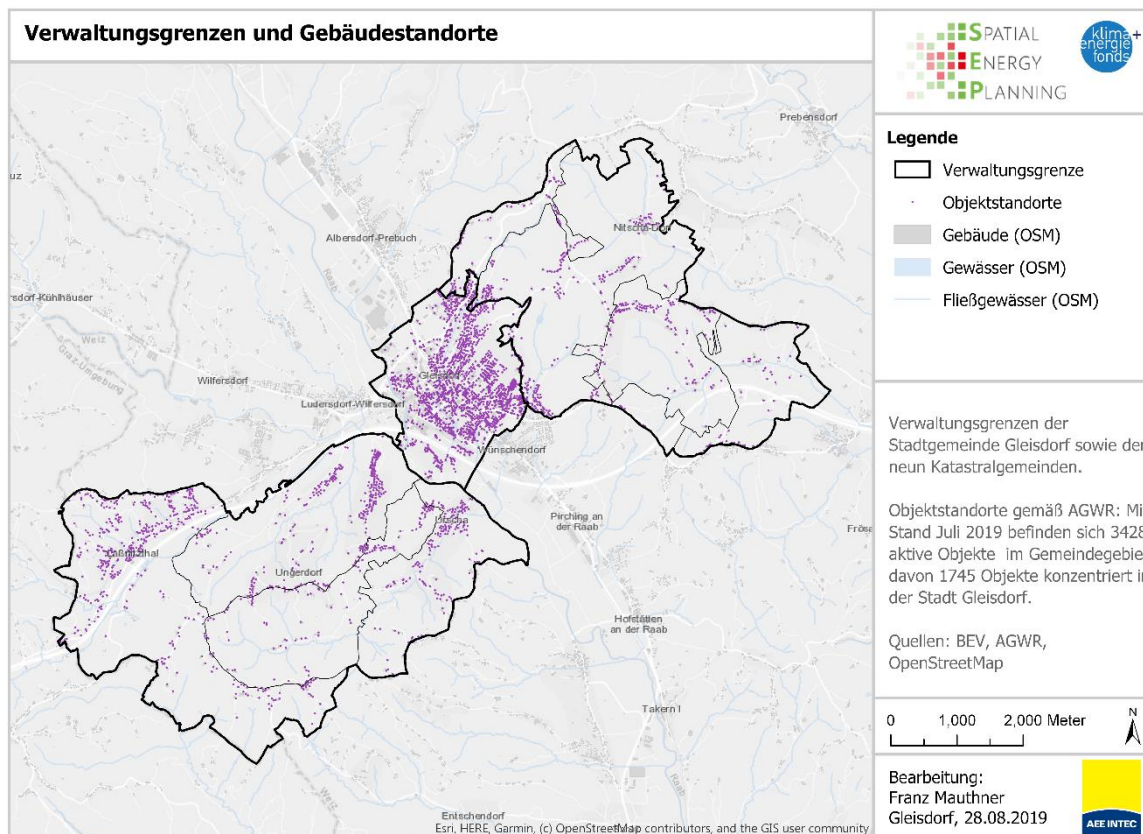


Abbildung 10: Verwaltungsgrenzen und Gebäudestandorte Stadtgemeinde Gleisdorf (basierend auf AGWR, Juli 2019)

Die konditionierte Brutto-Grundfläche aller Gebäude im Untersuchungsgebiet beträgt mit Stand Juli 2019 rund 1,225 Millionen m².

Der flächenmäßig größte Anteil entfällt auf den Wohnsektor (66%), Nichtwohngebäude mit 27,2% und sonstige konditionierte Gebäude mit 5%. Weitere 1,9% der BGF entfallen auf unbeheizte Klein- und Lagergebäude (Abbildung 11).

Eine detaillierte Auswertung der Gebäudegrundflächen nach Kategorie und Baualter erlaubt eine erste Einschätzung des energietechnischen Zustandes der Bausubstanz wie in im Anschluss für Wohngebäude, Nichtwohngebäude und sonstige konditionierte Gebäude grafisch dargestellt (Abbildung 12). Für den Sektor Wohngebäude ist ein starker Zuwachs beim Neubau (Altersklassen 2010 und 2020) erkennbar sowie auch eine große Anzahl an Bestandsgebäuden aus der Bauperiode 1945 bis 1980, wo Gebäudedämmung noch keine bis geringen Stellenwert hatte.

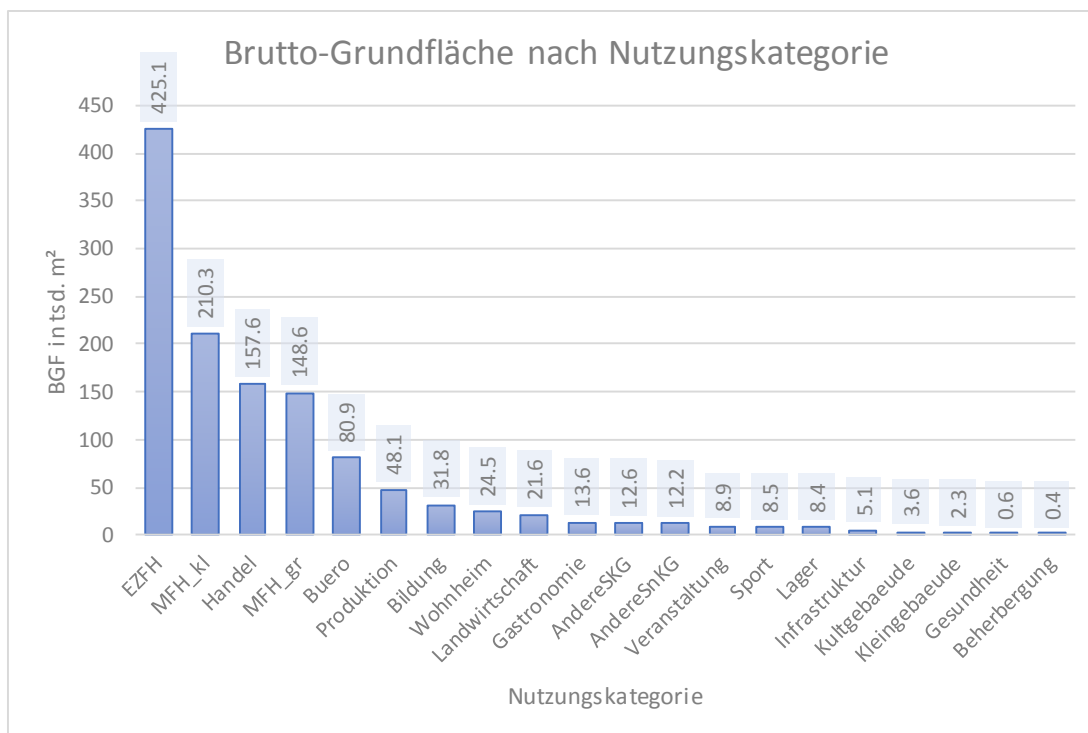


Abbildung 11: Brutto-Grundfläche Gebäudebestand 2019 nach Nutzungskategorie

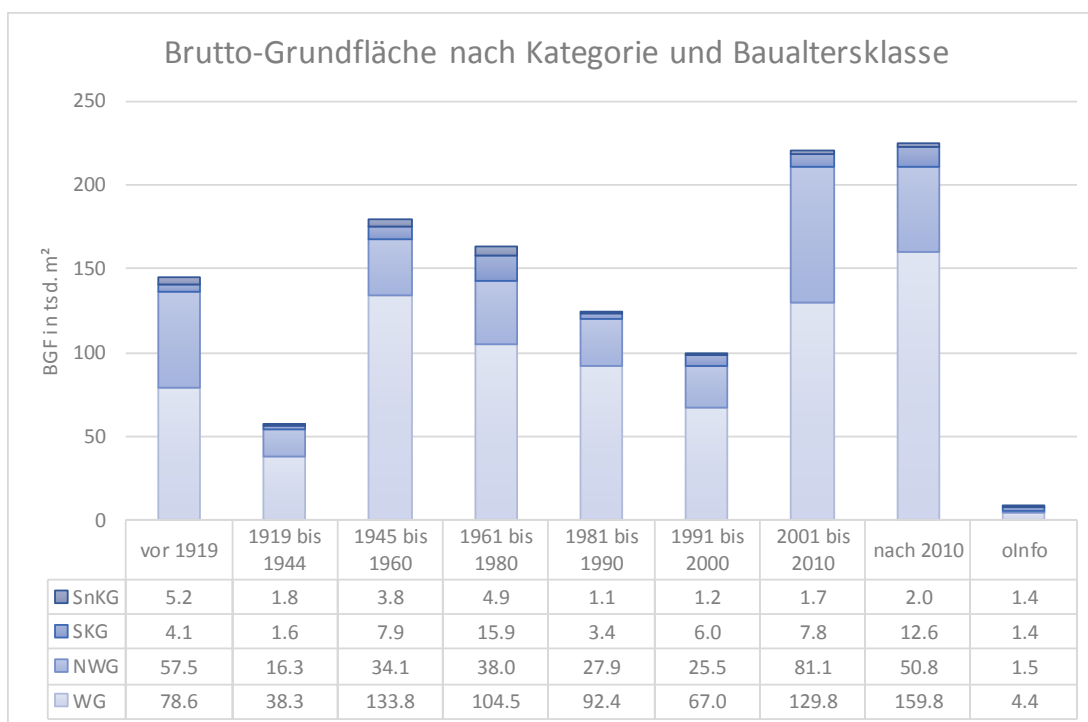


Abbildung 12: Brutto-Grundfläche Gebäudebestand 2019 nach Gebäudekategorie und Baualterklasse

Bestandsanalyse Wärmeversorgungsinfrastruktur

Die Wärmeversorgungsinfrastruktur der Gemeinde Gleisdorf ist, wie in anderen vergleichbaren Regionen, historisch gewachsen. Bis 1987 wurde fast ausschließlich Heizöl und Kohle sowie in geringerem Ausmaß Holz und Strom zur Wärmebedarfsdeckung aufgewendet. Ab 1987 erfolgte der Ausbau eines Gasnetzes über das gesamte Stadtgebiet und damit auch der großflächige Umstieg auf diesen Energieträger zur Wärmeversorgung von Gebäuden und zur Deckung des industriellen / gewerblichen

Energiebedarfes. Mit der Gründung des Bereichs Wärme der Stadtwerke Gleisdorf im Jahr 1992 begann eine sukzessive Veränderung und Weiterentwicklung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung im städtischen Bereich. Neben der Errichtung und dem Betrieb von überwiegend erdgasbefeuerten Mikrowärmenetzen zur Versorgung größerer Abnehmer (Siedlungs- und Mehrfamilienhäuser) durch die Stadtwerke wird seit 2009 auch der Ausbau eines überwiegend biomassebefeuerten Wärmenetzes im Stadtgebiet forciert und vorangetrieben. In nachfolgender Abbildung 13 ist die leitungsgebundene Infrastruktur im Stadtkern (Erdgas: gelb; Fernwärme blau bzw. violett) mit Stand September 2017 visualisiert.

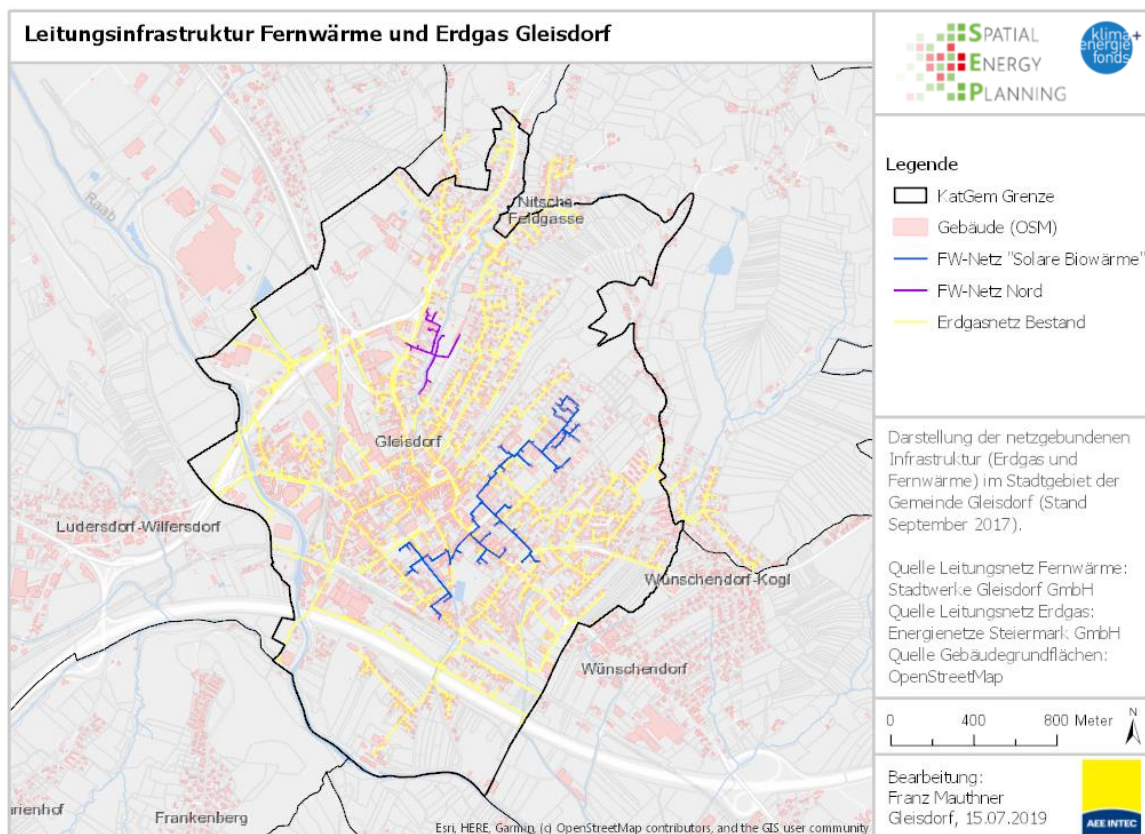


Abbildung 13: Bestehende Leitungsinfrastruktur Fernwärme und Erdgas Stadt Gleisdorf (Stand: 09/2017)

Im Rahmen einer aufwändigen Erhebungskampagne wurden die installierten Heizungssysteme für alle 3428 aktiven Gebäude der Stadtgemeinde erfasst bzw. die Einträge gemäß AGWR kontrolliert und der aktualisierte Datensatz wieder an das AGWR bzw. die Statistik Austria übergeben (Erhebung durch die Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH, 2019).

Insgesamt sind in den 3428 aktiven Gebäuden gemäß dieser Erhebung 3624 Heizungssysteme installiert (194 Gebäude mit bivalenten Heizungssystemen und zwei Gebäude mit drei installierten Heizungssystemen). Die Wärmeversorgung basiert noch knapp zur Hälfte (49%) auf fossilen Energieträgern (Erdgas, Flüssiggas, Heizöl EL). Bei rund 36% aller Gebäude werden biogene Energieträger (Hackschnitzel, Holz-Pellets, Scheitholz) zur Deckung des Heizenergiebedarfes aufgewendet und Strom wird in rund 12% der Gebäude eingesetzt (etwa drei Viertel Wärmepumpenheizungen und ein Viertel elektrische Raumheizgeräte). Die verbleibenden 3% der gemeldeten und aktiven Gebäude in Gleisdorf sind nicht beheizt (Abbildung 14).

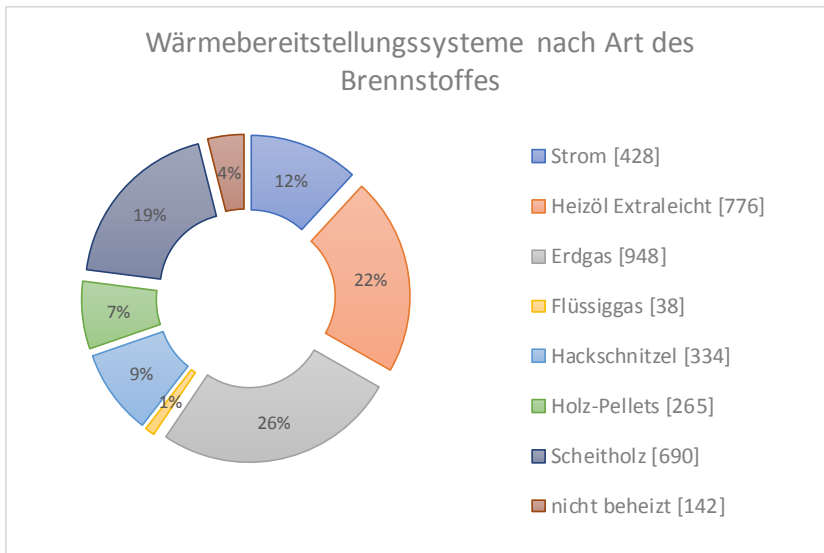


Abbildung 14: Verteilung der Wärmebereitstellungssysteme nach Art des Brennstoffes; Gemeinde Gleisdorf Juni 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von C. Hütter Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH)

Das dominierende Wärmeversorgungssystem im Gemeindegebiet mit 66% bzw. 2395 Anlagen sind Heizungskessel (Standard-, Niedertemperatur- oder Brennwertkessel). 14% aller Objekt (500) werden über Nah- oder Fernwärmenetze versorgt. Die 148 erhobenen fernwärmeversorgten Objekte werden über das städtische Biomasse-Fernwärmenetz der Stadtwerke Gleisdorf beliefert. Die angeführten Nahwärmenetze zur Versorgung von insgesamt 352 Objekten umfassen kleinere netzgebundenen Versorgungsgebiete, hauptsächlich Erdgas-Mikronetze (190 Objekte) sowie Biomasse-Mikronetze (142 Objekte) zur Versorgung von Siedlungen und Gebäudeverbänden. Wärmepumpen sind bereits in 9% aller Gebäude zur Wärmeversorgung im Einsatz (314 Anlagen), der Rest entfällt auf Raumheizgeräte und Herde (267 Anlagen, 7%). 1347 Objekte verfügen über eine Einzelfeuerstätte (Kachelofen, Herd, Raumheizgeräte). Bei 267 Objekten ist die Einzelfeuerstätte gleichzeitig das einzige Heizungssystem, bei den restlichen Objekten wirkt die Einzelfeuerstätte als zusätzliches Heizungssystem.

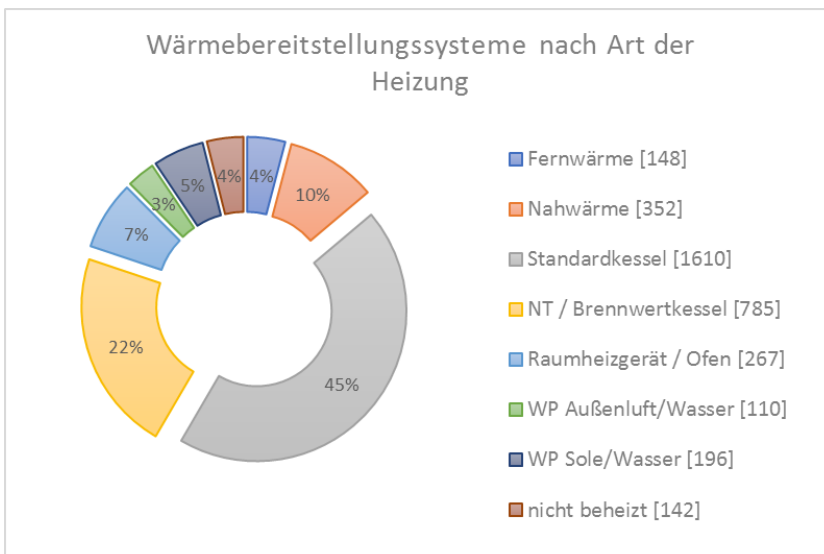


Abbildung 15: Verteilung der Wärmebereitstellungssysteme nach Heizungsart; Gemeinde Gleisdorf Juni 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von C. Hütter Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH)

Nachfolgend ist die räumliche Konzentrierung von Heizungssystemen bzw. Brennstofftyp je Hektar für die gesamte Gemeinde (Abbildung 16) sowie für die Stadt Gleisdorf (Abbildung 17) dargestellt.

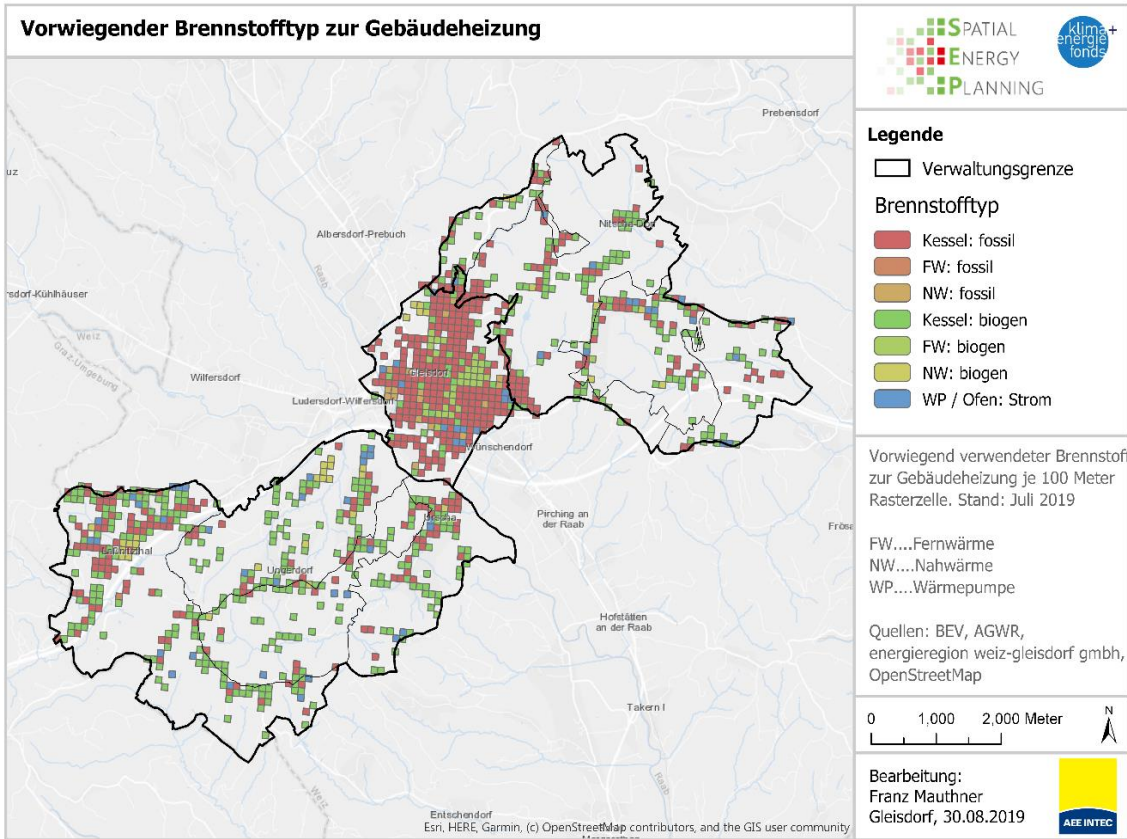


Abbildung 16: Vorwiegend verwendeter Brennstofftyp (typBrst mit dem höchsten Anteil am HEB je 100 Meter Rasterzelle); Gemeinde Gleisdorf Juli 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH)

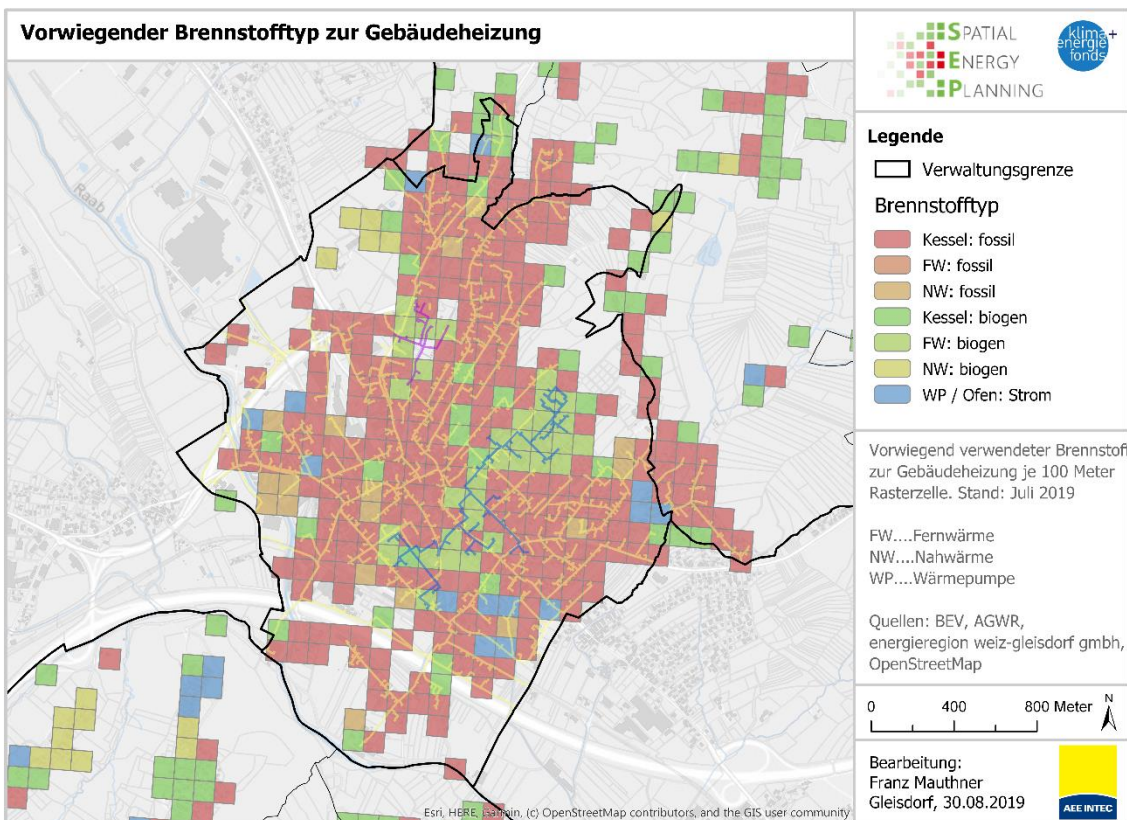


Abbildung 17: Vorwiegend verwendeter Brennstofftyp (typBrst mit dem höchsten Anteil am HEB je 100 Meter Rasterzelle); Stadt Gleisdorf Juli 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH)

Im Stadtzentrum ist aufgrund der vorhandenen Infrastruktur der Energieträger Erdgas dominant sowie Biomasse-Fernwärme (Abbildung 17). In den Umland-Katastralgemeinden sind überwiegend Biomassekessel und fossile Kessel installiert (Abbildung 16). Im Neubau (Gebäude mit Baujahr nach 2000) sind verstärkt Wärmepumpenheizungen im Einsatz.

Für die Aggregation der gebäudegenauen Attribute auf Hektarraster wurde im *Pre-processing* für jede Rasterzelle der Heizenergiebedarf differenziert nach den Wertedomänen in den Attributen *hzgBrst* (Brennstoffart) und *typBrst* (Brennstofftyp) ermittelt und für die Darstellung jener Brennstofftyp symbolisiert, der für die jeweilige Rasterzelle für den höchsten HEB verantwortlich ist.

Energie- und Ökobilanzierung

Nachfolgende Tabelle 15 fasst die Energie- und Ökobilanz der Gemeinde Gleisdorf aggregiert nach Gebäudekategorie und Baualtersklasse zusammen. Die Energie- und Treibhausgaswerte sind Jahressummen für das Standortklima in Gleisdorf im Jahr 2016. Die Konversionsfaktoren für Primärenergie und CO₂ Äquivalente gemäß OIB RL 6 (*OIB, 2019b*) sind dem Anhang zu entnehmen (Tabelle 27).

Tabelle 15: Energie- und Ökobilanz Gemeinde Gleisdorf (Absolutwerte, berechnet für das Standortklima 2016)

Gebäudekategorie und Baualtersklasse		BGF m ²	WB MWh/a	HEB MWh/a	PEB MWh/a	THG-Emissionen t CO ₂ e
WG: Wohngebäude	vor 1919	78630	8670	13580	15670	1840
	1919 bis 1944	38260	4310	6290	7180	1220
	1945 bis 1960	133750	14230	21600	25030	4350
	1961 bis 1980	104460	10710	16180	19990	2750
	1981 bis 1990	92440	7250	10900	13630	1600
	1991 bis 2000	66950	4560	6620	8200	1250
	2001 bis 2010	129830	7640	8040	10090	1390
	nach 2010	159750	8340	7780	10920	1170
	oInfo	4380	420	710	810	90
NWG: Nichtwohngebäude	vor 1919	57510	5930	8440	10200	1860
	1919 bis 1944	16260	1440	2110	2570	510
	1945 bis 1960	34060	3060	4700	5830	830
	1961 bis 1980	38010	3370	5020	6540	950
	1981 bis 1990	27930	2190	3110	3580	800
	1991 bis 2000	25520	1500	2150	2410	500
	2001 bis 2010	81070	4680	5570	7060	1110
	nach 2010	50780	1850	1640	2200	330
	oInfo	1450	100	160	200	10
SKG: Sonstige konditionierte Gebäude	vor 1919	4120	470	690	860	170
	1919 bis 1944	1560	160	260	350	40
	1945 bis 1960	7900	790	1180	1320	290
	1961 bis 1980	15910	1520	1980	2690	610
	1981 bis 1990	3430	310	470	530	120
	1991 bis 2000	6030	470	620	850	190
	2001 bis 2010	7750	630	710	870	110
	nach 2010	12570	520	620	700	140
	oInfo	1420	130	230	260	30

SnKG: Sonstige nicht konditionierte Gebäude	vor 1919	5190				
	1919 bis 1944	1780				
	1945 bis 1960	3750				
	1961 bis 1980	4900				
	1981 bis 1990	1110				
	1991 bis 2000	1170				
	2001 bis 2010	1670				
	nach 2010	2010				
	oInfo	1360				
Summe		1,224,670	95,250	131,360	160,540	24,260

BGF: Bruttogrundfläche, WB: Wärmebedarf (HWB+WWWB), HEB: Heizenergiebedarf, PEB: Primärenergiebedarf

Sanierungsgebiete bzw. Objekte

Abbildung 18 zeigt eine Detailauswertung für den Wohnsektor differenziert nach Baualtersklasse. Man erkennt eine Konzentration hoher Energiebedarfe im Gebäudebestand für die Baualtersklassen 1960 und 1980 (umfasst die Baujahre 1945 bis 1980). Typischerweise bergen hier Maßnahmen zur Gebäudesanierungen die höchsten Einsparungspotenziale.

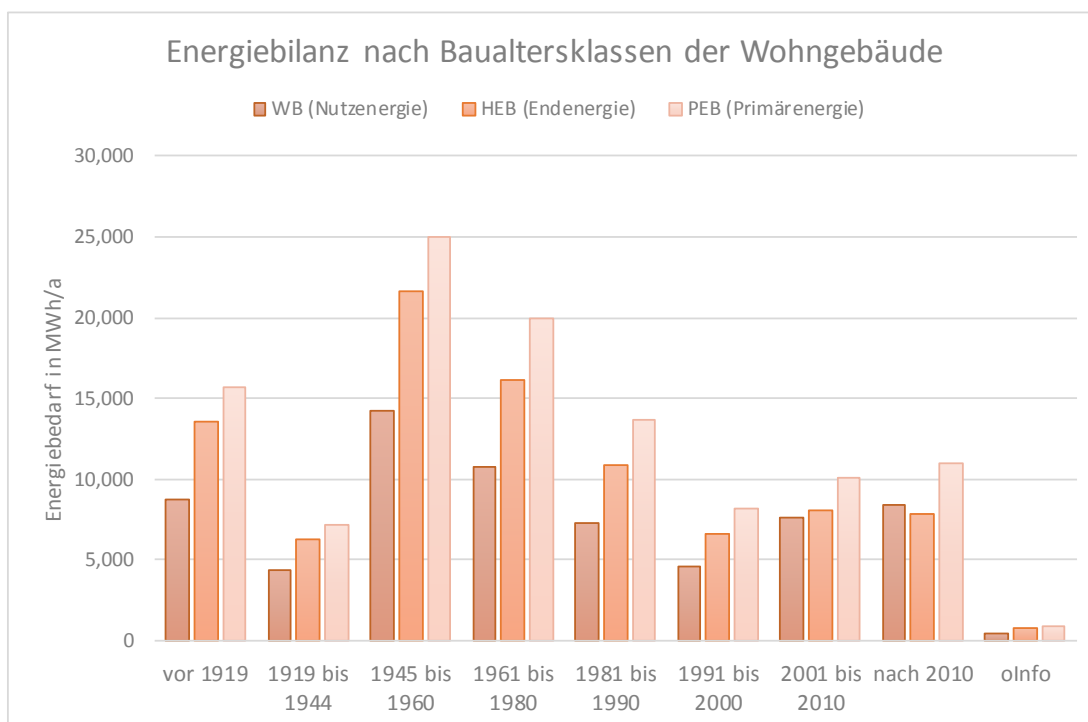


Abbildung 18: Energiebilanz nach Baualtersklassen für den Wohnsektor

Vorteilhaft bei der gebäudegenauen Ermittlung von Gebäudeinformationen ist, dass Objekte mit bestimmten Eigenschaften eindeutig verortet werden können und damit ggf. Prioritätensetzungen hinsichtlich Maßnahmen zur Energieeinsparung konkretisiert werden können.

In Abbildung 19 sind vor diesem Hintergrund alle Gebäude der kritischen Bauperiode 1945-1980 verortet, die zusätzlich über eine Ölheizung verfügen. Umfassende Sanierungen (inkl. Heizungstausch) haben hier sehr großes Potenzial zur Energieeinsparung und Reduktion der Treibhausgasemissionen.

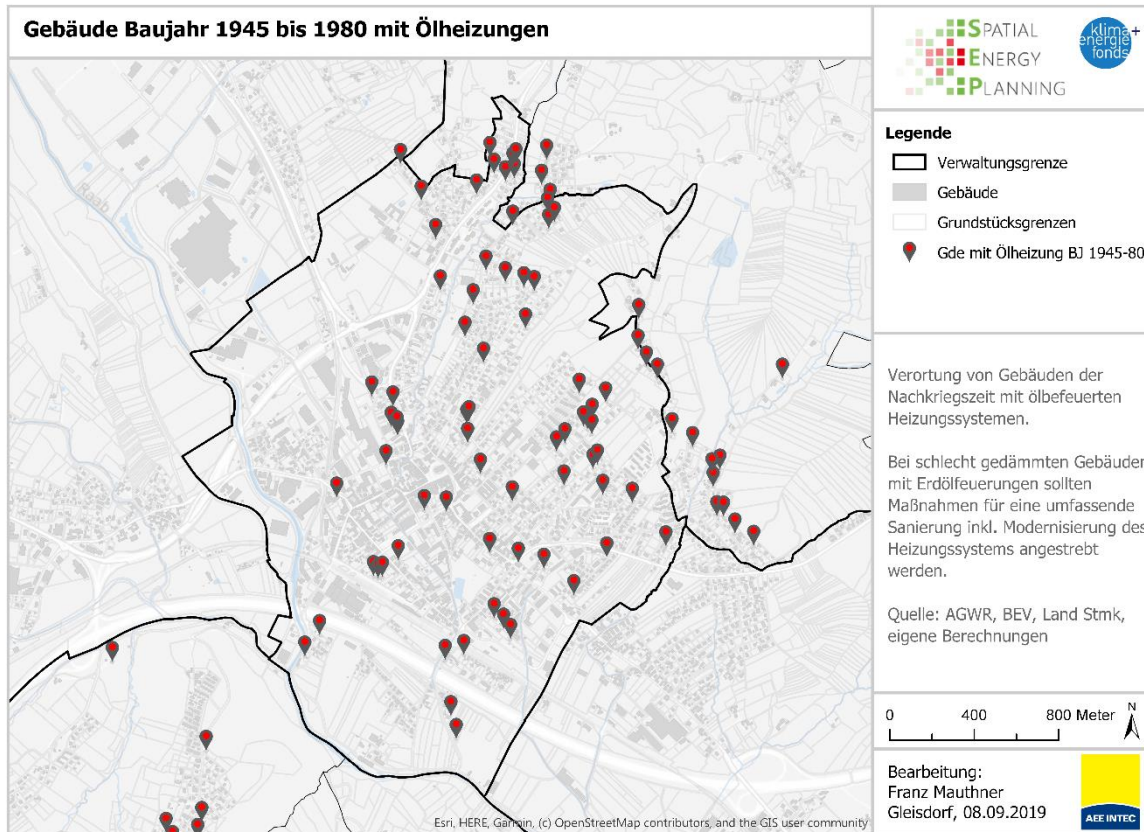


Abbildung 19: Energiebilanz nach Baualtersklassen für den Wohnsektor

Wärmebedarfsdichte

Für die Darstellung der Wärmebedarfsdichte werden die objektgenauen Jahressummen für den Heizenergiebedarf gemäß Formel 1 für das Standortklima im Referenzjahr 2016 auf den 100x100 Meter LAEA Raster aggregiert und entsprechen den Klassengrenzen in Tabelle 16 symbolisiert (Erläuterung im Kapitel 2.3).

Tabelle 16: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten; eigene Interpretation, abgeleitet aus (Nussbaumer et al., 2018) und (Persson et al., 2017)

q_D in kWh/m ² ·a	Klasse	Beschreibung
0	-	kein Wärmebedarf
$0 < q_D < 10$	sehr gering	dezentrale Wärmevorsorgung
$10 \leq q_D < 30$	gering	Prüffzone: Niedertemperatur Wärmeverbund
$30 \leq q_D < 50$	moderat	Eignungszone: Niedertemperatur Wärmeverbund
$50 \leq q_D < 70$	dicht	Prüffzone: konventionelle Nah- und Fernwärme
$q_D \geq 70$	sehr dicht	Eignungszone: konventionelle Nah- und Fernwärme

Nachfolgend sind die entsprechend symbolisierten Wärmedichtekarten für die Stadtgemeinde Gleisdorf (Abbildung 20) sowie für die Stadt Gleisdorf (Abbildung 21) dargestellt.

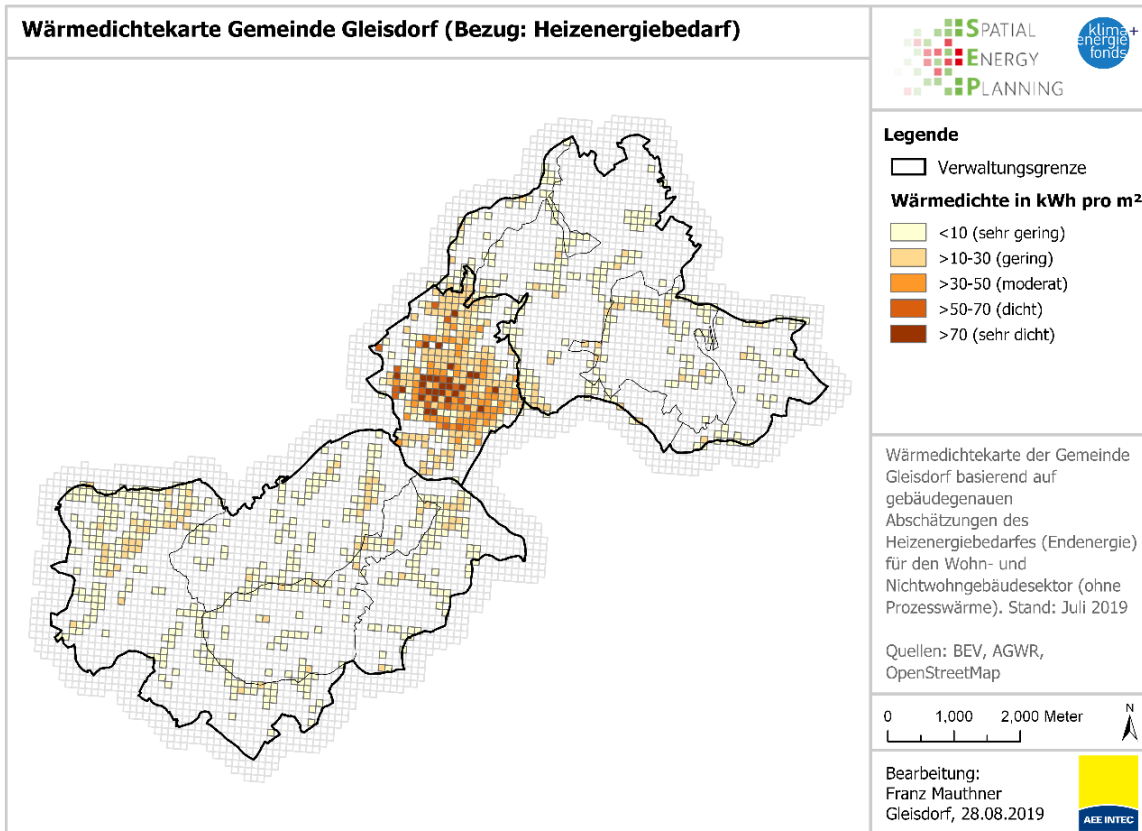


Abbildung 20: Wärmedichtekarte Stadtgemeinde Gleisdorf (Bezug: Heizenergiebedarf); eigene Darstellung und Datenbasis

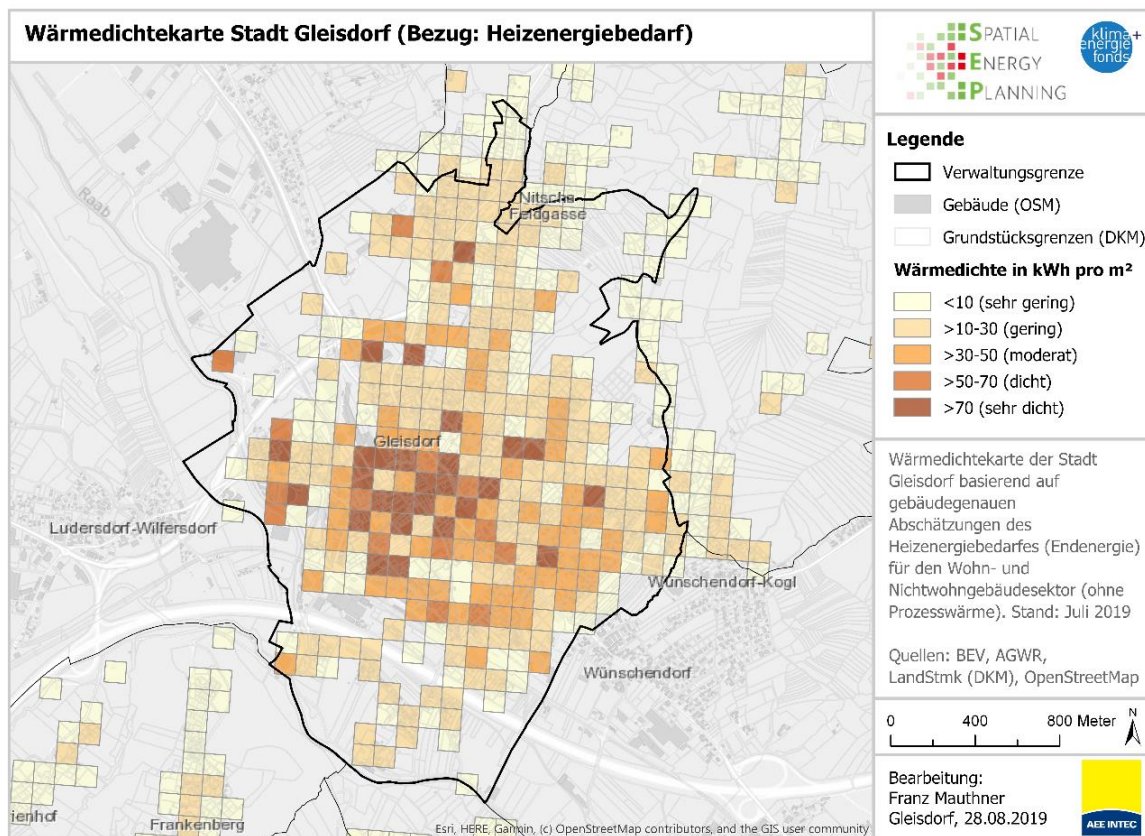


Abbildung 21: Wärmedichtekarte Stadt Gleisdorf (Bezug: Heizenergiebedarf); eigene Darstellung und Datenbasis

Zonierung

Die Wärmedichtekarten aus Abbildung 20 und Abbildung 21 sind die Basis für den Methodenvergleich und werden in der realen Anwendung zur Ausweisung von Prüf- und Eignungszonen für potenzielle Nah- und Fernwärmeversorgungsgebiete in der Energieraumplanung herangezogen.

Für die Ausweisung der Zonen werden in einem finalen Prozessierungsschritt Gebiete ähnlicher Dichte geclustert und als zusammenhängende Flächen / Zonen dargestellt (Abbildung 22). Es wird zwischen den folgenden Zonen unterschieden:

- Zone A: Eignungs- und Prüfgebiet für konventionelle Nah- und Fernwärme
- Zone B: Eignungs- und Prüfgebiet für Niedertemperatur Nah- und Fernwärme
- Zone C: Gebiet mit Eignung für dezentrale Wärmeversorgung

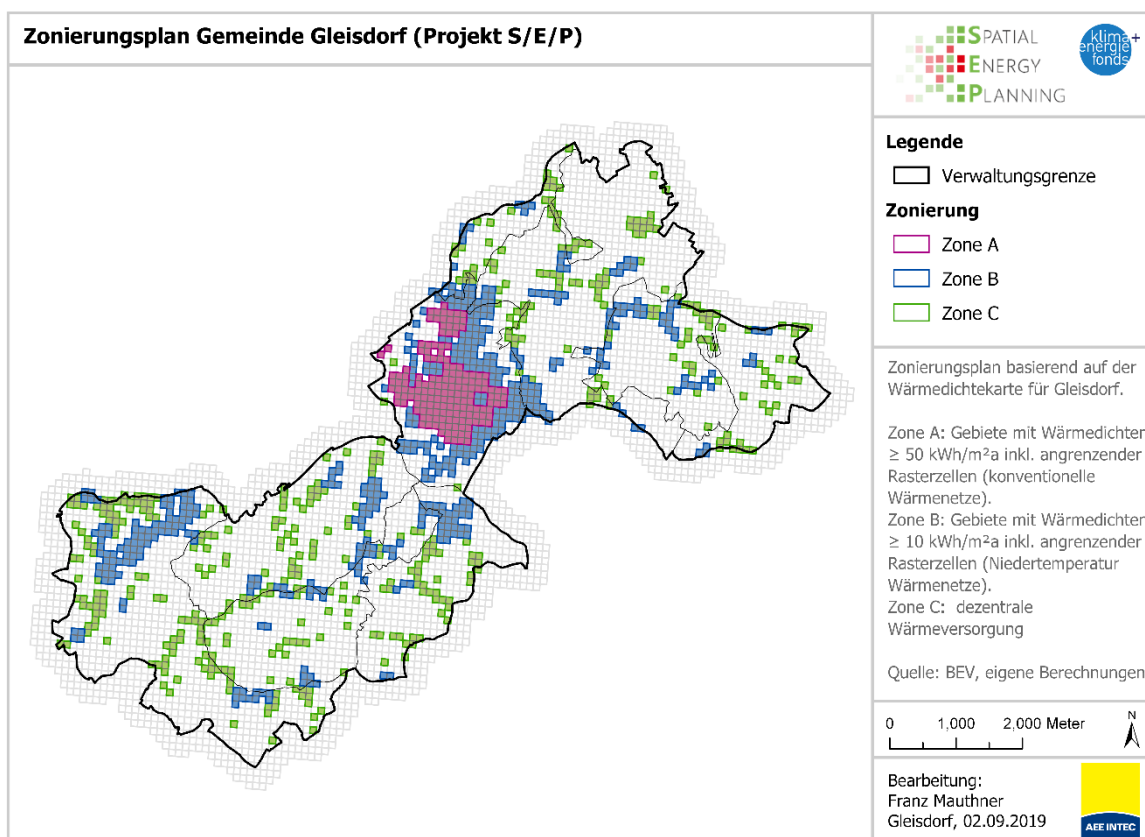


Abbildung 22: Zonierungsplan basierend auf der Wärmedichtekarte für Gleisdorf (Bezug: Heizenergiebedarf); eigene Darstellung und Datenbasis

Für die Zonierung wurden mittels ArcGIS Pro folgende Arbeitsschritte unternommen:

- Erstellen einer Wärmedichtekarte auf Basis von 100 Meter Rasterzellen mit Dichteklassen $\geq 50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, $\geq 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und $< 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Null-Werte werden nicht dargestellt.
- Zone A: Zusammenführen (Dissolve) aller Rasterzellen mit Wärmedichte $\geq 50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ inkl. aller angrenzenden Rasterzellen (Grenzberührung) mit Wärmedichte $\geq 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- Zone B: Zusammenführen (Dissolve) aller Rasterzellen mit Wärmedichte $\geq 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ inkl. aller angrenzenden Rasterzellen (Grenzberührung) mit Wärmedichte $< 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- Zone C: Zusammenführen (Dissolve) aller Rasterzellen mit Wärmedichte $< 10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ außerhalb der Zonen A und B.

Eine Gegenüberstellung dieser Zonierungskarte mit den Ergebnissen aus den beiden EU Projekten Heat Roadmap Europe sowie Hotmaps erfolgt in Kapitel 3.4 *Methodenvergleich*. Eine weiterführende Auseinandersetzung mit dieser Zonierungskarte erfolgt darüber hinaus im Kapitel 4 *Validierung* am Beispiel des Fernwärmeversorgungsgebietes in der Stadt Gleisdorf.

3.2. Methode 2: Projekt Heat Roadmap Europe

3.2.1. Kurzvorstellung EU-Projekt Heat Roadmap Europe 4

Heat Roadmap Europe 4 (HRE4) ist ein EU-gefördertes Projekt (Programmlinie Horizon 2020; Fördervereinbarung Nr. 695989) unter der Leitung der dänischen Universität Aalborg (*Heatroadmap.eu*, 2016-2019). Projektlaufzeit: 01.03.2016 – 28.02.2019 (3 Jahre).

Übergeordnete Zielsetzung ist es, kohlenstoffarme Heiz- und Kühlstrategien, sogenannte Heat Roadmaps, für die 14 energieintensivsten EU-Mitgliedstaaten (verantwortlich für 85-90% des gesamten Heiz- und Kühlenergieverbrauches der EU28) basierend auf einer Kombination von stundenbasierter Energiesystemmodellierung mit räumlicher Modellierung und Kartierung zu entwickeln und zu lancieren (*Paardekooper et al.*, 2018). Die Methodik der Heat Roadmap Europe wird seit der ersten Vorstudie für die EU27 im Jahr 2012 (*Connolly et al.*, 2012) kontinuierlich weiterentwickelt, was ein stetig verbessertes Verständnis als auch eine genauere Quantifizierung des europäischen Wärme- und Kältesektors ermöglicht.

Ein zentrales Ergebnis im Projekt HRE4 ist die Entwicklung von hochaufgelösten (100m Rasterzellen) Wärme- und Kältebedeckarten von 14 EU Mitgliedsstaaten zur energetischen Charakterisierung von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden sowie die Dissemination dieser Erkenntnisse mithilfe eines interaktiven Webservices (Pan-European Thermal Atlas 4.3).

Nachfolgend ist die methodische Herangehensweise zur räumlichen Modellierung der hektargenauen Wärmebedarfe für den Wohn- und Dienstleistungssektor erläutert. Weiterführende Informationen zur Methodik der HRE4 finden sich im Methodendokument zum Projekt HRE4 (*Persson et al.*, 2017) sowie in wissenschaftlichen Publikationen (*Möller et al.*, 2019, *Möller et al.*, 2018).

3.2.2. Methodischer Ansatz Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung

Ausgangspunkt für die Modellierung der Wärmebedarfe im Rahmen des HRE4 Projektes bilden nationale (NUTS0) Energiestatistiken für das Referenzjahr 2015 basierend auf dem FORECAST Modell des deutschen Fraunhofer ISI (*Fleiter et al.*, 2017). Als Bezugsgröße für den Wärmebedarf wird die *delivered energy* (*Fleiter et al.*, 2017 p.9) herangezogen, was entsprechend der Festlegungen in Kapitel 2.2.1 dem Nutzenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasser ($Q_{HWB} + Q_{WWWB}$), erweitert um den Heiztechnikenergiebedarf für die Wärmebereitstellung ($Q_{HTEB, WB}$) inkl. Verluste durch Wärmespeicherung ($Q_{HTEB, WS}$) entspricht (Verluste durch Wärmeabgabe $Q_{HTEB, WA}$ sowie Hilfsenergie $Q_{HTEB, HE}$ sind hier also unberücksichtigt– vgl. Formel 2):

Formel 9

$$Q_{Ref, HRE4(2015)} = Q_{HWB} + Q_{WWWB} + Q_{HTEB, WB} + Q_{HTEB, WS} \left[\frac{kWh}{a} \right]$$

Die NUTS0 Wärmebedarfe werden infolge auf NUTS3 Regionsebene disaggregiert, wobei eine Gewichtung entsprechend der Bevölkerungsanzahl pro NUTS3 Region erfolgt. Für die regionalisierten

NUTS3-Wärmebedarfe erfolgt anschließend noch eine Klimabereinigung basierend auf regionalisierten (NUTS3) Heizgradtagszahlen (vgl. Kapitel 2.2.2). Eine weitere Disaggregation der klimabereinigten NUTS3-Wärmebedarfe erfolgt über die Bruttogrundflächen (BGF) und Bevölkerungszahlen des Gebäudebestandes je Hektar. Als Ergebnis liegen die absoluten Wärmebedarfe für den Wohn- und Dienstleistungssektor (DL-Sektor) als Hektarraster in GJ (bzw. als Wärmedichte in GJ/ha) vor. Die Methodik ist in nachfolgender Abbildung 23 skizziert.

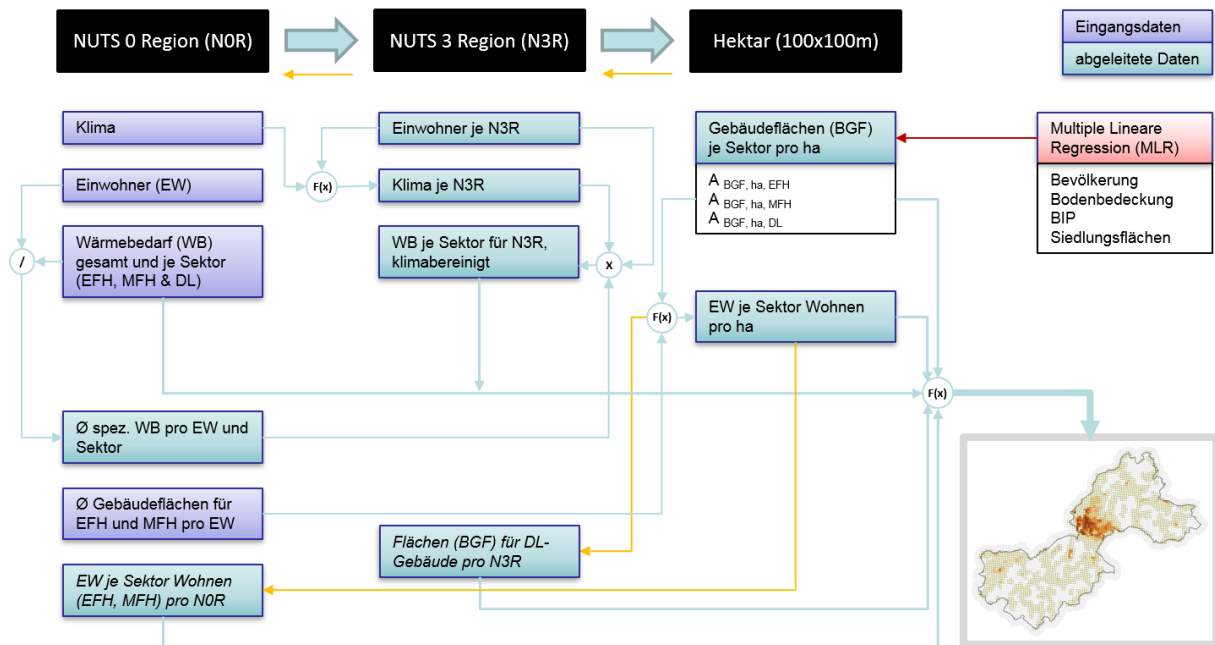


Abbildung 23: Workflow / Methode Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt Heat Roadmap Europe

Wesentlicher Unterschied zur Methode in S/E/P besteht darin, dass nationale Energiestatistiken *Top-Down* auf kleinere Raumeinheiten (NUTS 0 → NUTS 3 → 100 Meter Rasterzelle) disaggregiert werden, wohingegen bei einem *Bottom-Up* Ansatz, wie für S/E/P entwickelt, eine gebäudegenaue Bedarfsmodellierung vorangestellt ist und die modellierten Energiekennzahlen im Anschluss auf Hektarraster aggregiert werden.

Die Wärmebedarfsmodellierung auf Hektarebene erfolgt im Projekt Heat Roadmap Europe über eine aufwändige Modellierung der Bruttogrundflächen differenziert nach Wohngebäuden (EFH und MFH) und Nichtwohngebäuden (*service sector buildings*) unter Anwendung des Verfahrens der multiplen linearen Regression (MLR). Ergebnis der MLR sind Regressionsgleichungen, jeweils mit den Gebäudeflächen für EFH, MFH und NWG als abhängige Variablen als Funktion der unabhängigen Variablen Bevölkerung, Bodenbedeckung, BIP und Siedlungsflächen. Die verwendeten Datengrundlagen für die MLR sowie die resultierenden Regressionsgleichungen sind in *Persson et al. (2017, S.21ff)* dokumentiert. Anhand der so ermittelten Gebäudeflächen je Hektar werden die auf NUTS3-Regionsebene disaggregierten und klimabereinigten Wärmebedarfe weiter disaggregiert und bilden die Grundlage für die Wärmedichtekarten sowie weiterführender Analysen im Projekt. Eine Einschränkung im Projekt ist dadurch gegeben, dass bei der Modellierung das Baualter der Gebäude und somit unterschiedliche Baustandards und Energiebedarfskennzahlen nicht weiter unterschieden werden.

3.2.3. Ergebnisse am Beispiel der Stadtgemeinde Gleisdorf

Für den Methodenvergleich wurden Rohdaten für den hektargenaue Wärmebedarf (Bezug: *delivered energy* für das Referenzjahr 2015) von Prof. Möller, Uni Flensburg, für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung gestellt. Die Daten liegen als ganzzahlige ESRI Grids und in der Projektion ETRS89 / LAEA Europe (EPSG:3035) vor.

Für die weitere Bearbeitung wurden die Rasterdaten mit der Transformation MGI to ETRS 1989 5 (EPSG:5891) in das gegenständliche Bezugssystem (EPSG:31265) umgerechnet. Um die Vergleichbarkeit mit den anderen untersuchten Methoden sicherzustellen wurde das Raster anschließend mit ArcGIS Pro zuerst in eine Punkt-Feature-Class konvertiert und die resultierenden Punkt-Features dann mittels *Spatial Join* mit dem regionalstatistischen 100 Meter LAEA (Polygon)Raster verknüpft.

Nachfolgende Abbildung 24 zeigt als Ergebnis die Wärmedichtekarte für die Gemeinde Gleisdorf mit der Datengrundlage aus dem Projekt Heat Roadmap Europe und der Symbolisierung entsprechend der bereits erläuterten Klassengrenzen (vgl. Kapitel 2.3).

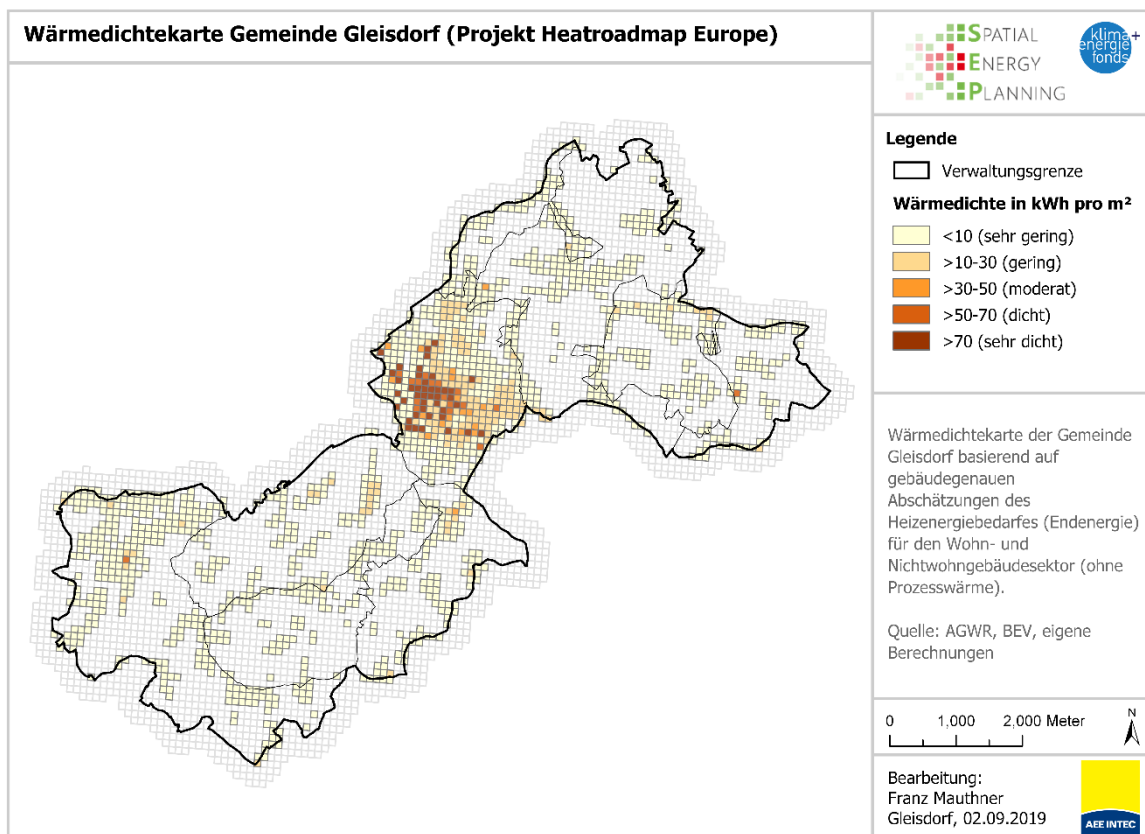


Abbildung 24: Wärmedichtekarte Stadtgemeinde Gleisdorf (Bezug: *delivered energy*); Datenquelle: Heat Roadmap Europe

Analog zur Vorgehensweise im Projekt S/E/P (vgl. Kapitel 3.1.3) wird aus der Wärmedichtekarte wiederum ein Zonierungsplan abgeleitet. Das Ergebnis zeigt Abbildung 25.

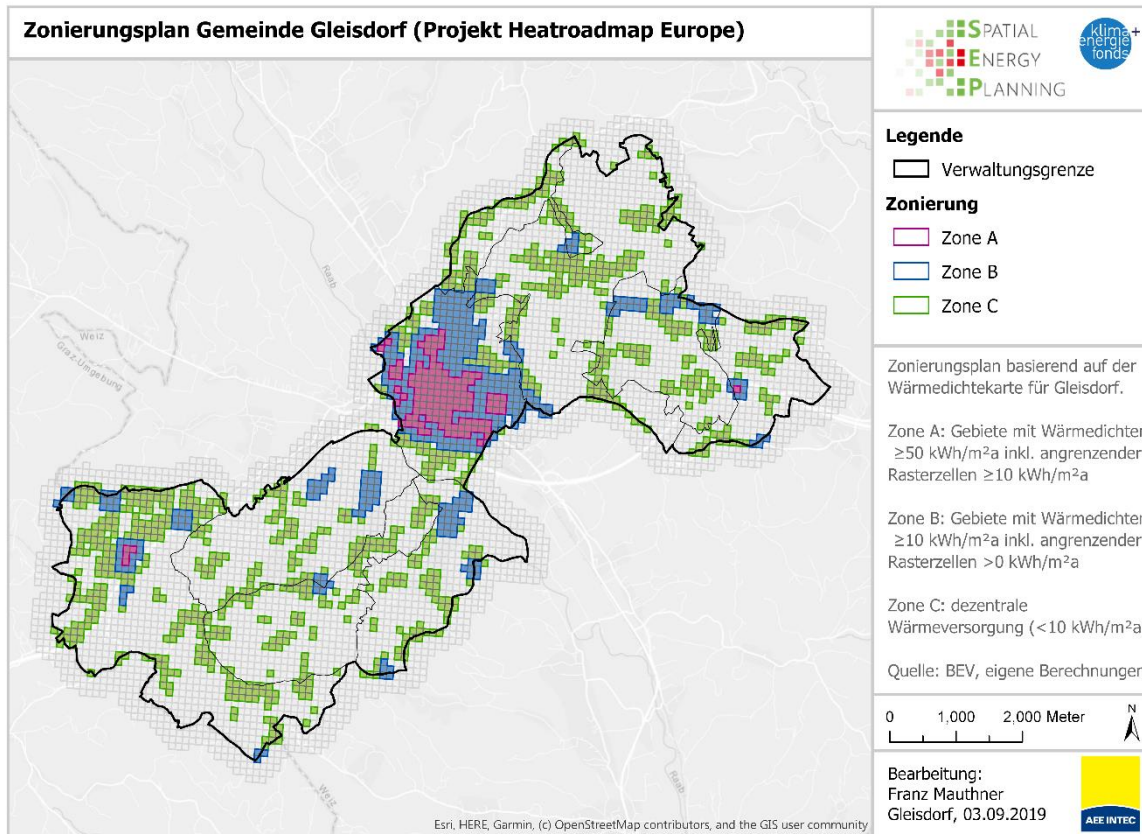


Abbildung 25: Zonierungsplan basierend auf der Wärmedichtekarte für Gleisdorf aus dem Projekt Heat Roadmap (Bezug: delivered energy); Datenquelle: Heat Roadmap Europe

Beim visuellen Vergleich der Zonenkarten aus den Projekten S/E/P (Abbildung 22) und Heat Roadmap Europe (Abbildung 25) ist erkennbar, dass beide Methoden die Zone A als primäres Eignungsgebiet für konventionelle Fernwärme in ähnlicher Lage und räumlichen Ausprägung zentral in der Stadt Gleisdorf ausweisen. Weiterführende Analysen zum Methodenvergleich sind in Kapitel 3.4 zusammengefasst.

3.3. Methode 3: Projekt Hotmaps

3.3.1. Kurzvorstellung

Hotmaps ist ein EU-gefördertes Projekt (Programmlinie Horizon 2020; Fördervereinbarung Nr. 723677) unter der Leitung von TU Wien. Projektlaufzeit: 01.10.2016 – 30.09.2020 (4 Jahre).

Übergeordnete Zielsetzung ist die Entwicklung einer Open-Source-Heiz-/Kühlkartierungs- und Planungs-Toolbox und die Bereitstellung von energierelevanten Basisdaten für EU28 auf nationaler und lokaler Ebene. Konkret sollen die Ergebnisse aus Hotmaps Behörden dabei helfen, Heiz- und Kühlstrategien auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene zu entwickeln, die mit den Zielen für erneuerbare Energien und CO₂-Emissionen auf nationaler und EU-Ebene im Einklang stehen (*Hotmaps-project.eu, 2016-2020*).

Ein zentrales Ergebnis im Projekt Hotmaps ist die Entwicklung von hochauflösten (100m Raster) Wärme- und Kälte-dichtekarten für die 28 EU Mitgliedsstaaten zur energetischen Charakterisierung

von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden sowie die Dissemination dieser Erkenntnisse mithilfe eines interaktiven Webservices mit eingebetteter Toolbox mit Analyse und Berechnungsmöglichkeiten.

Nachfolgend ist die methodische Herangehensweise zur räumlichen Modellierung der hektargenauen Wärmebedarfe für den Wohn- und Dienstleistungssektor erläutert. Weiterführende Informationen finden sich im Methodendokument zum Projekt Hotmaps (Pezutto et al., 2019b). Alle erarbeiteten Datengrundlagen (u.a. die vollständigen Gebäude-Typologie Tabellen) und Auswertungen (z.B. die Wärme- und Kältebedarfsdichtekarten) inklusive Dokumentation sowie der Quellcode der Hotmaps Toolbox unterliegen der Open Source Lizenz und werden in einem gitlab repository bereitgestellt.

3.3.2. Methodischer Ansatz Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung

Der methodische Ansatz im Projekt Hotmaps baut analog zum Projekt Heat Roadmap Europe (vgl. Kapitel 3.2) auf der zentralen Annahme auf, dass der Wärmebedarf im Gebäudesektor mit der Bevölkerungsanzahl, der Landbedeckung bzw. der Besiedelung, der Wirtschaftstätigkeit und den klimatischen Bedingungen korreliert.

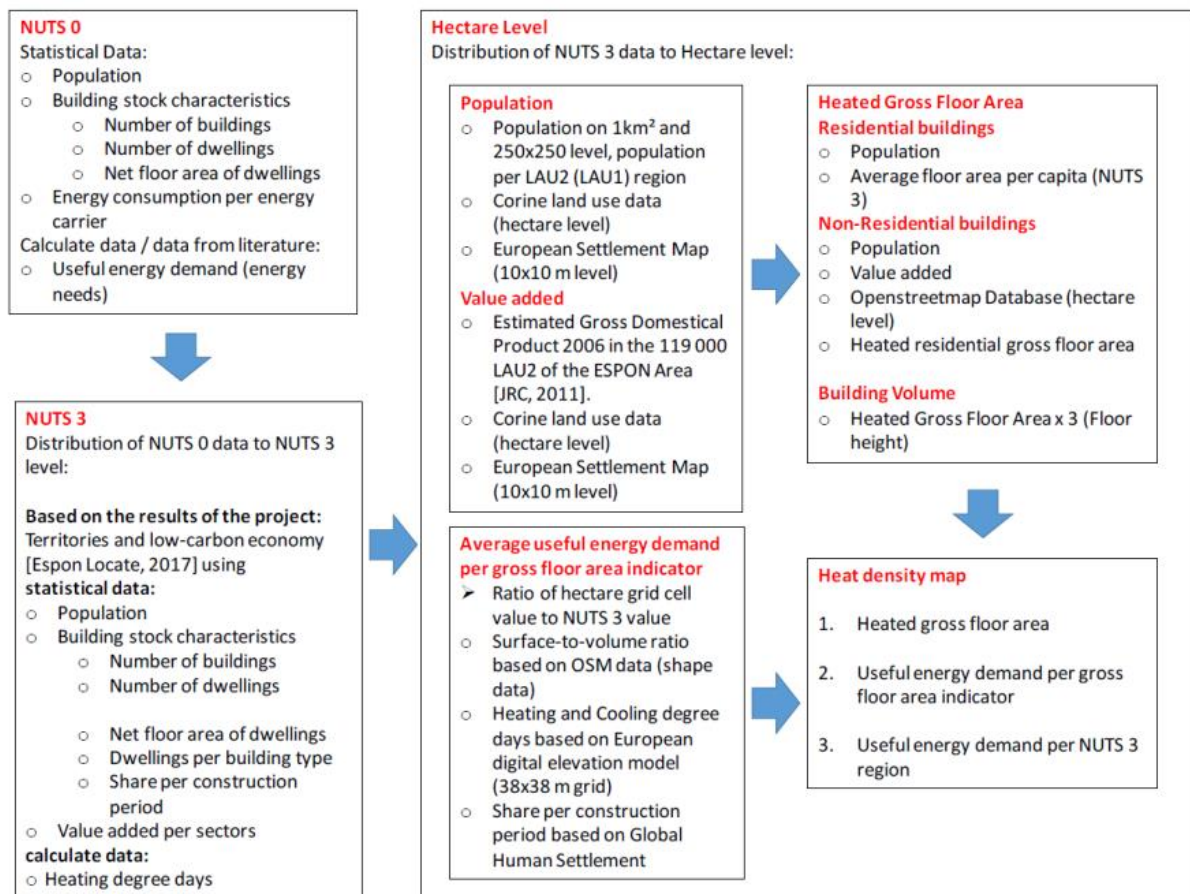


Abbildung 26: Workflow / Methode Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt Hotmaps (Pezutto et al., 2019b)

Ausgangspunkt für die Modellierung der Wärmebedarfe bilden nationale (NUTS0) Energiestatistiken, die wie beim Projekt Heat Roadmap Europe auf dem FORECAST Modell des deutschen Fraunhofer ISI (Fleiter et al., 2017) basieren. Referenzjahr ist das Jahr 2016. Energiebezugsgröße ist der Heizenergiebedarf, wobei nur die Umwandlungsverluste der Wärmebereitstellung ($Q_{\text{HTEB, WB}}$) berücksichtigt werden und ansonsten unterstellt wird, dass Wärmeverluste zu 100% innerhalb der thermischen Hülle

auftreten und daher rückgewinnbar sind (Verluste durch Speicherung $Q_{\text{HTEB, WS}}$, Verteilung $Q_{\text{HTEB, WV}}$, Wärmeabgabe $Q_{\text{HTEB, WA}}$ sowie Hilfsenergie $Q_{\text{HTEB, HE}}$ werden also vernachlässigt – vgl. Formel 2):

Formel 10

$$Q_{\text{Ref, Hotmaps(2016)}} = Q_{\text{HWB}} + Q_{\text{WWWB}} + Q_{\text{HTEB, WB}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right]$$

Wie im Projekt Heat Roadmap Europe erfolgt eine Disaggregation von nationalen (NUTS0) Energie-statistiken zuerst auf NUTS3 Regionsebene und dann weiter auf 100 Meter Rasterzelle (vgl. Abbil-dung 26). Ein konkreter funktionaler Zusammenhang der einzelnen Eingangsparameter zur Bestim-mung der beheizten Brutto-Grundflächen und in weiterer Folge der Heizenergiebedarfe je Hektar geht aus dem Methodendokument nicht hervor. Es wird beschrieben, dass für die Ermittlung der BGF für den Wohnungssektor neben der Landbedeckung (CORINE *landcover*, *European Settlement Map*) vor allem die Bevölkerungsdichte und -verteilung als wesentlicher räumlicher Indikator für die Disag-gregierung herangezogen wird. Für die Modellierung des DL-Sektors werden zusätzlich Informationen aus OpenStreetMap verwendet sowie einwohnerbezogene Daten zur Wirtschaftsleistung.

Im Unterschied zum Projekt Heat Roadmap Europe wird beim Projekt Hotmaps versucht, Unter-schiede beim Wärmebedarf in Abhängigkeit des Gebäudealters im Modell zu berücksichtigen. Konkret bilden Gebäude-Typologien für den Wohn- und Dienstleistungssektor neben der Bevölkerungsan-zahl und der Gebäudegrundfläche die Basis für eine entsprechend differenzierte Wärmebedarfsmo-dellierung auf Hektar Raster Ebene.

Typologie-Ansatz Projekt Hotmaps

Im Projekt wurden für jedes Land Gebäudetypologien definiert, die eine differenzierte Betrachtung des Wohn- und Dienstleistungssektors erlauben (je 9 Gebäudenutzungskategorien x 7 Baualtersklas-sen = 56 Typologien). Jede Typologie enthält länderspezifische Daten zu Nutzenergie für Raumhei-zung (HWB), Kühlung (KB) und Brauchwarmwasser (WWWB) sowie weiters zu Endenergie für Hei-zung (HEB) und Kühlung (KEB), wobei jeweils archetypische Heizungs- bzw. Kühlsysteme angenom-men werden. Bei den Gebäudenutzungen wird zwischen Wohnnutzungen (Einfamilienhäuser, Mehr-familienhäuser und Geschoßwohnbau mit mehr als vier Stockwerken) und gewerblichen Nutzungen (Büro, Handel, Bildung, Gastronomie und sonstige Nichtwohngebäude) unterschieden. Die sieben de-finierten Baualtersklassen (vor 1945, 1945-1969, 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2010, nach 2010) entsprechen jeweils charakteristischen Bauperioden und Gebäudestandards, für die ne-ben den Energiekennzahlen auch noch weitere archetypische Gebäudemerkmale ermittelt wurden:

- Konditionierte (beheizte / gekühlte) Wohnfläche
- Anzahl der Wohnungen/Einheiten und der Gebäude
- Eigennutzung, private Vermietung, Sozialwohnungen/Einheiten
- Besetzte, leerstehende und sekundäre Wohneinheiten - und sonstige
- Wärmedurchgangskoeffizient - U-Werte - Wände, Fenster, Dach und Boden
- Baumaterialien und Bauweisen für Wände, Fenster, Dach und Boden
- typische Energieversorgungstechnologien für Raumheizung, Brauchwarmwasserbereitstel-lung und für Raumkühlung

Die zugrunde liegende Vorgehensweise zur Erstellung der Gebäude-Typologien für die 28 EU-Mit-gliedsstaaten im Projekt Hotmaps ist in *Pezzutto et al. (2019a)* und *Pezzutto et al. (2019b)* publiziert.

3.3.3. Ergebnisse am Beispiel der Stadtgemeinde Gleisdorf

Für den Methodenvergleich wurden Rohdaten für den hektargenaue Wärmebedarf für das Untersuchungsgebiet vom *gitlab repository* des Projektes Hotmaps heruntergeladen. Die Daten liegen im TIFF-Rasterformat (*floating point raster*) und in der Projektion ETRS89 / LAEA Europe (EPSG:3035) vor. Für die weitere Bearbeitung wurden die Rasterdaten mit der Transformation MGI to ETRS 1989 5 (EPSG:5891) in das gegenständliche Bezugssystem (EPSG:31265) umgerechnet. Um die Vergleichbarkeit mit den anderen untersuchten Methoden sicherzustellen wurde das Raster anschließend mit ArcGIS Pro zuerst in eine Punkt-Feature-Class konvertiert und die resultierenden Punkt-Features dann mittels *Spatial Join* mit dem regionalstatistischen 100 Meter LAEA (Polygon)Raster verknüpft.

Nachfolgende Abbildung 27 zeigt als Ergebnis die Wärmedichtekarte für die Gemeinde Gleisdorf mit der Datengrundlage aus dem Projekt Hotmaps und der Symbolisierung entsprechend der bereits erläuterten Klassengrenzen (vgl. Kapitel 2.3).

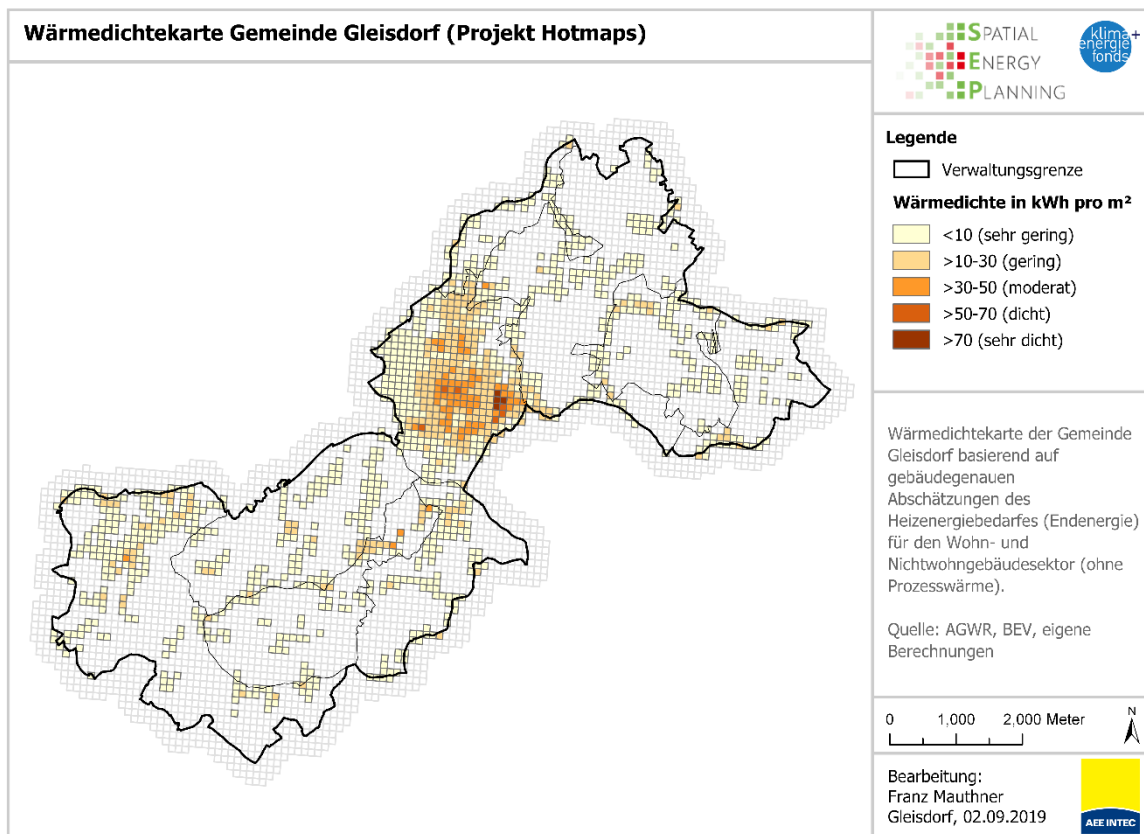


Abbildung 27: Wärmedichtekarte Stadtgemeinde Gleisdorf (Bezug: delivered energy); Datenquelle: Projekt Hotmaps

Analog zur Vorgehensweise im Projekt S/E/P (vgl. Kapitel 3.1.3) wird aus der Wärmedichtekarte in einem nachgelagerten Prozessierungsschritt wiederum ein Zonierungsplan abgeleitet. Das Ergebnis zeigt Abbildung 28.

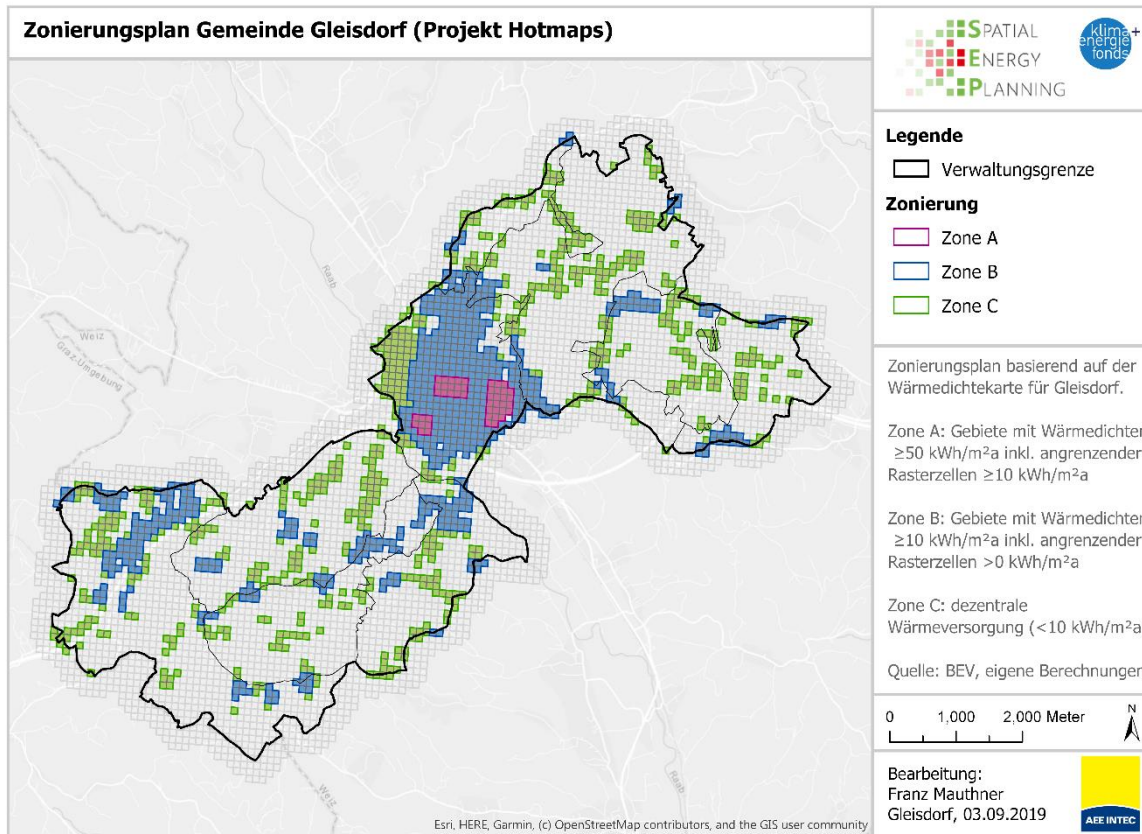


Abbildung 28: Zonierungsplan basierend auf der Wärmedichtekarte für Gleisdorf aus dem Projekt Hotmaps

Beim visuellen Vergleich der Zonenkarten aus den Projekten S/E/P (Abbildung 22) und Hotmaps (Abbildung 28) ist erkennbar, dass beide Methoden die Zone A als primäres Eignungsgebiet für konventionelle Fernwärme in ähnlicher Lage und räumlichen Ausprägung zentral in der Stadt Gleisdorf ausweisen. Weiterführende Analysen zum Methodenvergleich sind in Kapitel 3.4 zusammengefasst.

3.4. Fazit zum Methodenvergleich

Der Vergleich der drei unterschiedlichen Methoden zur Wärmebedarfsmodellierung erfolgt nachfolgend einerseits visuell anhand der generierten Wärmedichte- und Zonierungskarten und andererseits quantitativ, indem jeweils die Anzahl der 100 Meter Rasterzellen für die festgelegten Klassengrenzen gegenübergestellt werden sowie auch die resultierenden Energiebedarfskennzahlen für den Heizenergiebedarf. Da keine realen Messdaten für das gesamte Untersuchungsgebiet vorliegen, kann die Qualität der Wärmebedarfsmodellierung nicht vollständig validiert werden, die Ergebnisse der drei Methoden werden also relativ zueinander bewertet. Für alle drei Projekte gilt das Klima im Jahr 2016 als Referenz.

Um dennoch Aussagen über die Validität der Modellergebnisse treffen zu können wurden verfügbare Messdaten von fernwärmeversorgten Gebäuden im Stadtzentrum für eine Teilvalidierung der Modellergebnisse zur Wärmebedarfsabschätzung aus S/E/P herangezogen und weiters die Lagegenauigkeit der ausgewiesenen Eignungszonen für Nah- und Fernwärmeversorgung anhand der tatsächlichen Lage der bestehenden Fernwärmetrasse bewertet. Die Ergebnisse zur Validierung sind in Kapitel 4 zusammengefasst und betreffen nur die Ergebnisse vom Bottom-Up Modellierungsansatz für das Projekt S/E/P.

3.4.1. Ergebnisinterpretation

Die gesammelten Ergebnisse der quantitativen und visuellen Gegenüberstellung der drei Methoden sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 zusammengefasst.

Hinsichtlich der Energiebilanz für das gesamte Gleisdorfer Gemeindegebiet ergibt sich ob der grundlegend unterschiedlichen methodischen Ansätze ein doch ziemlich homogenes Ergebnis: Der jährliche Heizenergiebedarf für die Sektoren WG und NWG wird zwischen 101 GWh (Projekt Hotmaps), 120,9 GWh (Projekt Heat Roadmap Europe) und 124,6 GWh (Projekt S/E/P, nur WG und NWG) geschätzt. Eine Auswertung differenziert nach Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG) ist nur für Hotmaps und S/E/P möglich, hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung im Bereich WG, der Sektor NWG wird im Projekt Hotmaps deutlich geringer ausgewiesen (Abbildung 29).

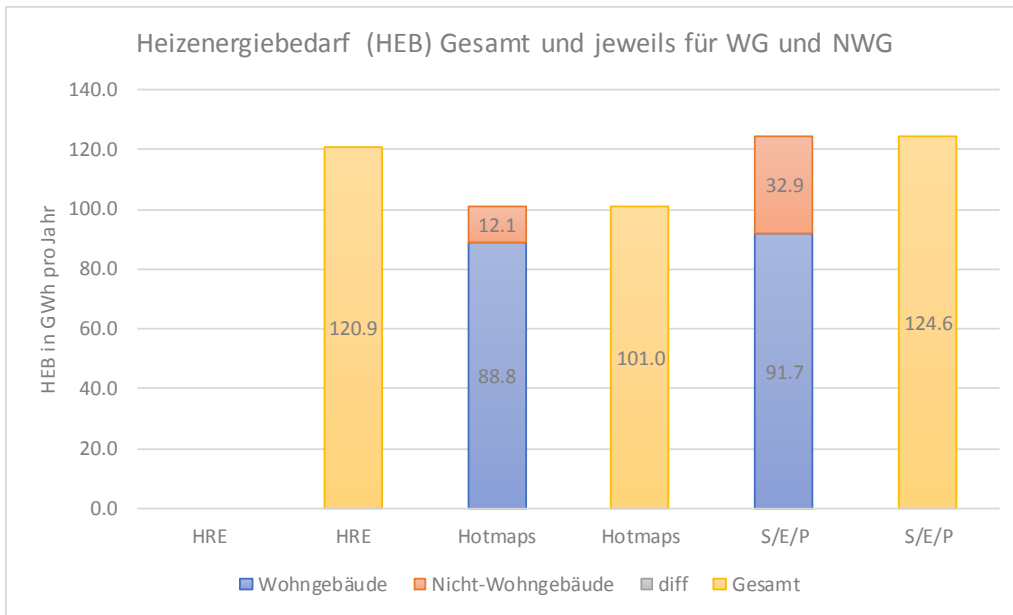


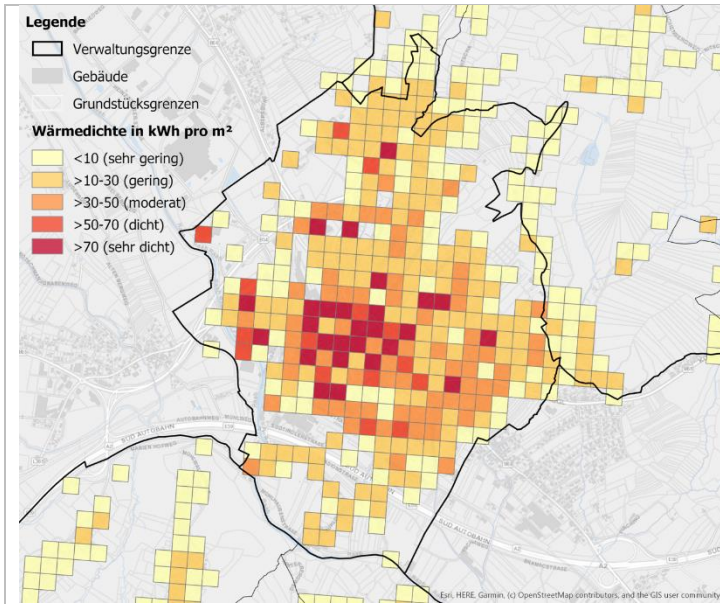
Abbildung 29: Methodenvergleich: Gesamtenergiebilanz (Heizenergiebedarf) für das Untersuchungsgebiet (HRE - Heat Roadmap Europe: klimabereinigt für das Referenzjahr 2016, Faktor 1,046; S/E/P: nur WG und NWG, ohne SKG, klimabereinigt)

Etwas deutlicher sind die Unterschiede in der Anzahl und Verteilung der 100 Meter Rasterzellen für die definierten Klassengrenzen, wie in Tabelle 17 bzw. Abbildung 30 zusammengefasst: Die mittlere Summe der drei modellierten Heizenergiebedarfe für das Gemeindegebiet Gleisdorf beträgt 113,7 GWh. Die quantitative Auswertung zeigt, dass die Abweichungen in der Energiebilanz für das gesamte Untersuchungsgebiet über die gemittelten Summen der drei ausgewiesenen Heizenergiebedarfe keine extremen Ausreißer enthält (Tabelle 17). Alle drei Methoden sind in etwa $\pm 10\%$ vom Mittelwert angesiedelt (S/E/P: 7,9% / HRE: 4,7% / Hotmaps: -12,6%).

Tabelle 17: Methodenvergleich: Anzahl und Werteausprägungen der Zellen (HRE - Heat Roadmap Europe: klimabereinigt für das Referenzjahr 2016, Faktor 1,046; S/E/P: nur WG und NWG, ohne SKG, klimabereinigt)

S/E/P	NoCells	Σ GWh	HRE	NoCells	Σ GWh	Hotmaps	NoCells	Σ GWh
sehr dicht	25	24.5	sehr dicht	42	54.7	sehr dicht	4	3.1
dicht	12	7.2	dicht	17	10.2	dicht	6	3.3
moderat	64	24.5	moderat	18	7.8	moderat	63	23.8
gering	231	38.3	gering	146	23.8	gering	259	45.1
sehr gering	713	30.1	sehr gering	1263	24.4	sehr gering	988	25.6
Gesamt	1,045	124.6	Gesamt	1,486	120.9	Gesamt	1,320	101.0

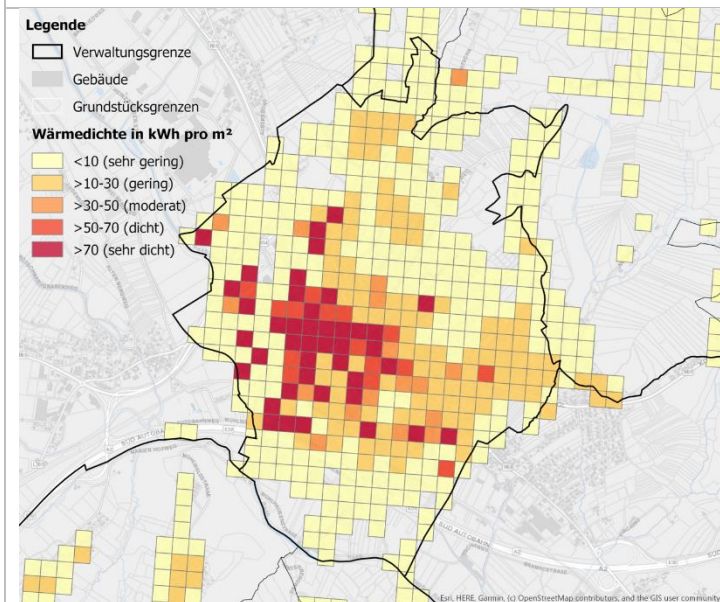
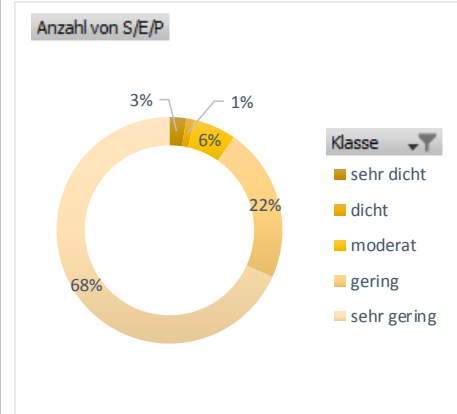
Tabelle 18: Ergebnis Methodenvergleich: Gegenüberstellung Wärmedichtekarten



Projekt S/E/P

Anzahl Zellen: 1.045

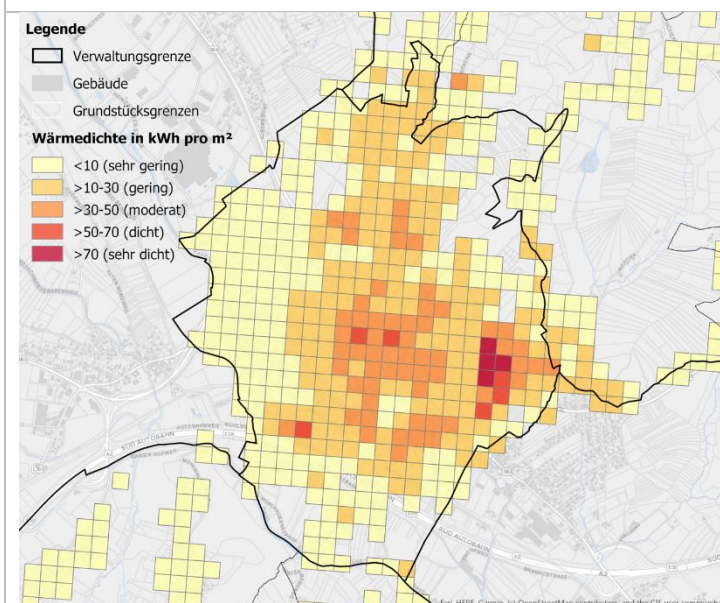
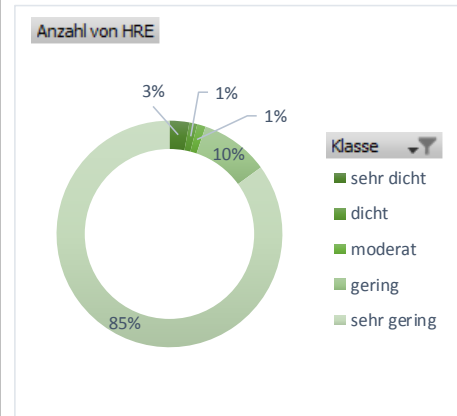
Verteilung der Klassengrenzen:



Projekt Heat Roadmap Europe

Anzahl Zellen: 1.486

Verteilung der Klassengrenzen:



Projekt Hotmaps

Anzahl Zellen: 1.320

Verteilung der Klassengrenzen:

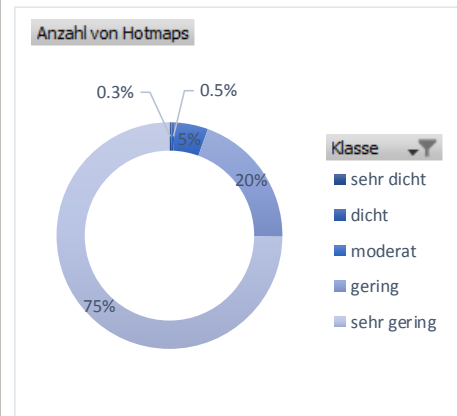
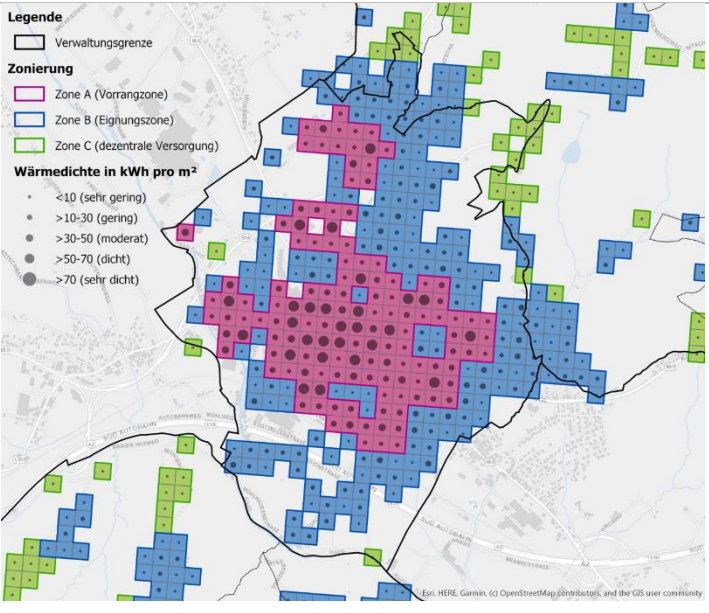
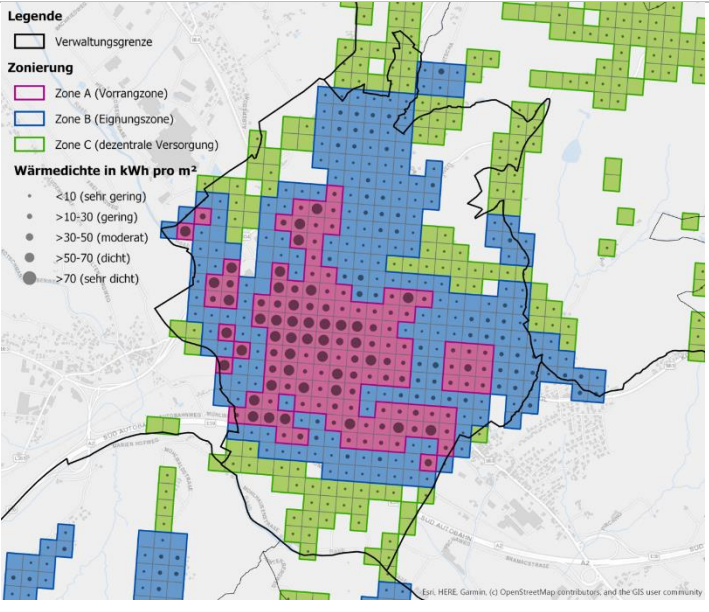
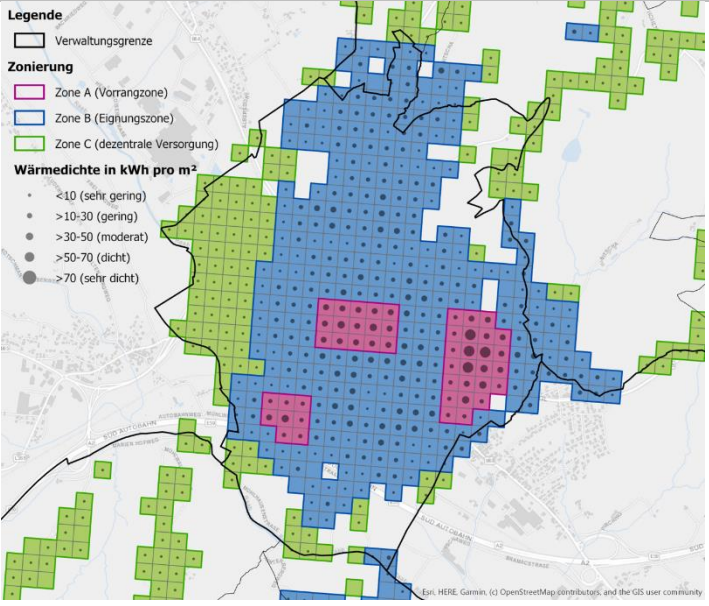


Tabelle 19: Ergebnis Methodenvergleich: Gegenüberstellung Zonenkarten

<p>Legende</p> <p>Verwaltungsgrenze</p> <p>Zonierung</p> <ul style="list-style-type: none"> Zone A (Vorrangzone) Zone B (Eignungszone) Zone C (dezentrale Versorgung) <p>Wärmedichte in kWh pro m²</p> <ul style="list-style-type: none"> <10 (sehr gering) >10-30 (gering) >30-50 (moderat) >50-70 (dicht) >70 (sehr dicht) 	<p>Projekt S/E/P</p> <p>Summe HEB: 124,6 GWh</p> <p>Anzahl Hektarzellen pro Zone:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone A: 140 Hektar - Zone B: 624 Hektar - Zone C: 421 Hektar - Gesamt (B+C): 1.045 Hektar
<p>Legende</p> <p>Verwaltungsgrenze</p> <p>Zonierung</p> <ul style="list-style-type: none"> Zone A (Vorrangzone) Zone B (Eignungszone) Zone C (dezentrale Versorgung) <p>Wärmedichte in kWh pro m²</p> <ul style="list-style-type: none"> <10 (sehr gering) >10-30 (gering) >30-50 (moderat) >50-70 (dicht) >70 (sehr dicht) 	<p>Projekt Heat Roadmap Europe</p> <p>Summe HEB: 120,9 GWh</p> <p>Anzahl Hektarzellen pro Zone:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone A: 129 Hektar - Zone B: 519 Hektar - Zone C: 967 Hektar - Gesamt (B+C): 1.468 Hektar
<p>Legende</p> <p>Verwaltungsgrenze</p> <p>Zonierung</p> <ul style="list-style-type: none"> Zone A (Vorrangzone) Zone B (Eignungszone) Zone C (dezentrale Versorgung) <p>Wärmedichte in kWh pro m²</p> <ul style="list-style-type: none"> <10 (sehr gering) >10-30 (gering) >30-50 (moderat) >50-70 (dicht) >70 (sehr dicht) 	<p>Projekt Hotmaps</p> <p>Summe HEB: 101,0 GWh</p> <p>Anzahl Hektarzellen pro Zone:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone A: 47 Hektar - Zone B: 663 Hektar - Zone C: 657 Hektar - Gesamt (B+C): 1.320 Hektar

Die Analyse der klassifizierten Wärmebedarfsdichten für das gesamte Untersuchungsgebiet zeigt, dass alle drei Methoden die Bereiche mit dem höchsten Wärmebedarf korrekt im dicht besiedelten Stadtkern von Gleisdorf verorten. Zwischen den Projekten S/E/P und Heat Roadmap Europe gibt es eine sehr gute quantitative und visuelle Übereinstimmung. Beim Projekt Hotmaps korrelieren die ausgewiesenen Wärmedichten auf Rasterebenen vermutlich stärker mit der Bevölkerungsdichte (vgl. Abbildung 9) als beim Projekt Heat Roadmap Europe weshalb die Bereiche höchster Wärmedichten lokale eine etwas andere Ausprägung zeigen (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 23).

Bei der Analyse nach den Klassengrenzen ist ersichtlich, dass Bereiche mit der Deklaration *sehr dicht* und *dicht* beim Projekt HRE am Häufigsten auftreten (57 Zellen bzw. Hektar), gefolgt von S/E/P (37 Zellen bzw. Hektar). Beim Projekt Hotmaps finden sich nur 10 entsprechende Zellen. Die Unterschiede sind auch visuell in den Wärmedichtekarten (Tabelle 18) bzw. den resultierenden Zonierungsplänen (Tabelle 19) ersichtlich.

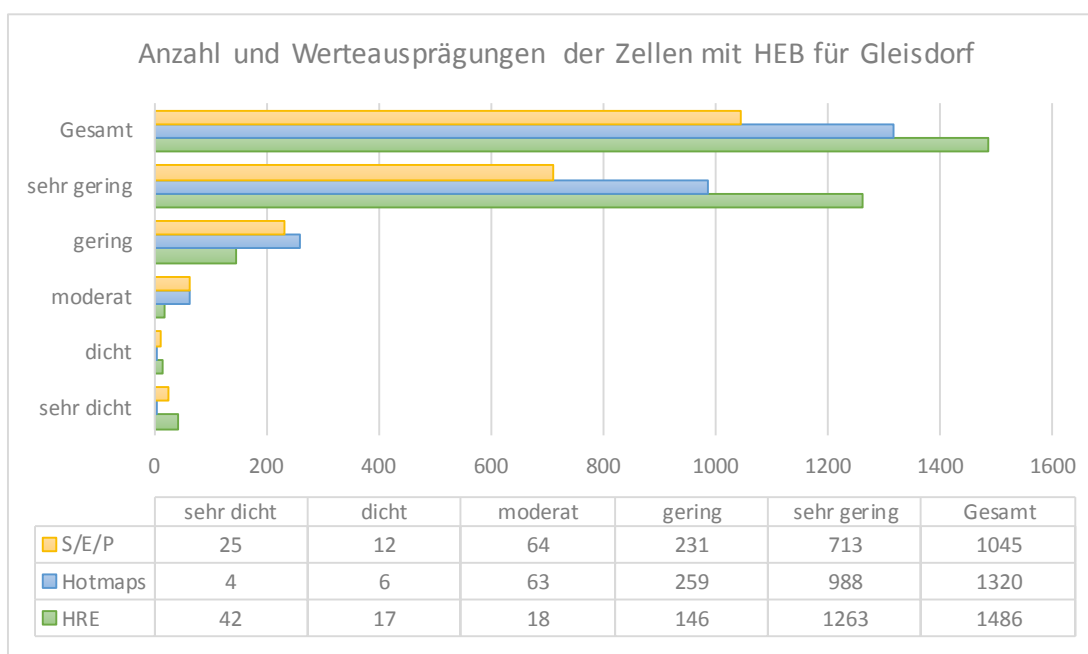


Abbildung 30: Methodenvergleich: Anzahl und Werteausprägungen der Zellen (HRE: klimabereinigt für das Referenzjahr 2016 Faktor 1,046; S/E/P: WG und NWG, ohne SKG)

Auf Hektarrasterebene besteht beim Bottom-Up Ansatz verglichen mit dem EU-Projekt Heat Roadmap Europe insbesondere bei Zellen mit hohen Wärmedichten eine sehr gute räumliche Übereinstimmung. Die ausgewiesene Zone A stimmt bei den beiden Ansätzen sowohl räumlich als auch flächenmäßig sehr gut überein (Tabelle 19). Lage und Ausbreitung der Zone A beim Projekt Hotmaps ist grundsätzlich ebenfalls im Stadtkern verortet, auf Hektarrasterebene ergeben sich jedoch aufgrund der (vermuteten) stärkeren Korrelation mit der Bevölkerungsdichte Abweichungen zu den beiden anderen Ansätzen.

Verglichen mit den Bottom-Up Typologie Ansatz aus S/E/P weisen beide Top-Down Ansätze aus den EU Projekten signifikant mehr Rasterzellen mit Wärmebedarf aus (vgl. Abbildung 30). Insbesondere Wärmedichten der Kategorie *sehr gering* sind verglichen mit S/E/P (713 Zellen) deutlich erhöht (Heat Roadmap Europe: 1263 Zellen, Hotmaps: 988 Zellen). Diese Charakteristik ist vermutlich auf die vorgelagerten Disaggregationsschritte sowie die unterschiedliche Auflösung und Genauigkeit der zugrunde liegenden Daten bei den Top-Down Ansätzen zurückzuführen und resultiert darin, dass vielen Zellen geringe Werte zugerechnet werden, obwohl sich im Hintergrund kein Gebäude befindet.

Nachfolgende Abbildung 31 zeigt die Wärmedichtekarten aus den Projekten Heat Roadmap Europe (links) und Hotmaps (rechts), jeweils überlagert mit den Standortkoordinaten der Gebäude für die Stadt Gleisdorf laut AGWR sowie den Gebäudepolygonen aus OpenStreetMap.

Erkennbar sind eine Vielzahl an Zellen mit Wärmedichte $0 < q_D < 10$, ohne dahinterliegender Gebäudekoordinate oder Gebäudefläche. Beim gebäudegenauen Ansatz von S/E/P befinden sich per Festlegung nur dort Zellen mit Wert, wo dahinterliegend auch eine Gebäudeadresse mit Wärmebedarf verortet ist (siehe auch Abbildung 34).

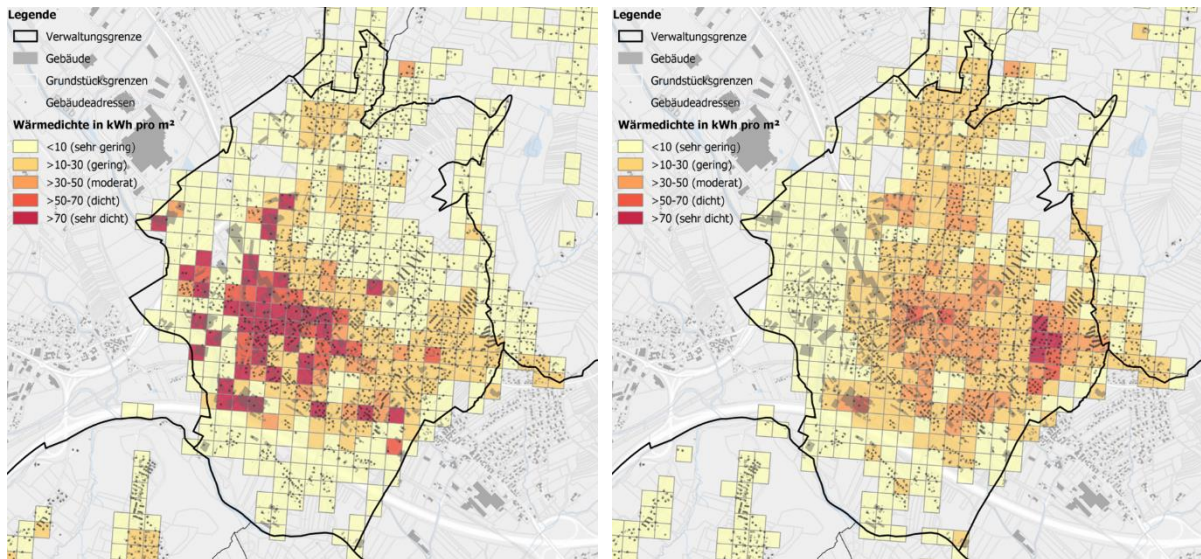


Abbildung 31: Methodenvergleich: Werteausprägungen der hektargenaue Wärmedichten im Projekt Heat Roadmap Europe (links) und Hotmaps (rechts), jeweils überlagert mit den Standortkoordinaten der Gebäude laut AGWR sowie den Gebäudepolygonen aus OpenStreetMap

4. Validierung am Beispiel des Fernwärmenetzes in Gleisdorf

Für die Validierung werden die entwickelten Methoden zur Wärmebedarfsmodellierung für das Projekt S/E/P (Kapitel 3.1) den realen Gegebenheiten in der Stadtgemeinde Gleisdorf gegenübergestellt. Ziel der Validierung ist es, die gebäudegenau modellierten Wärmebedarfe mit realen Verbrauchsdaten zu vergleichen. Weiters soll die zentrale Forschungsfragestellung hinsichtlich der Eignung der resultierenden Wärmebedarfsdichten als Indikator für die Ausweisung von Eignungsflächen für die Nah- und Fernwärmeversorgung beleuchtet werden.

Als Datengrundlage für die Validierung liegen die Wärmeverbrauchsabrechnungen der Fernwärmekunden in der Stadt Gleisdorf für das Jahr 2017 als Jahressummenwerte vor sowie die digitalen Netzpläne im dwg-Format, die für die weitere Bearbeitung in das Dateiformat Shapefile konvertiert wurden (vgl. Abbildung 13). Die Daten wurden für die Bearbeitung der vorliegenden Arbeit von den Stadtwerken Gleisdorf GmbH als vertrauliche Daten zur Verfügung gestellt, die nachfolgende aggregierte Darstellung der Ergebnisse stellt keine datenschutzrechtlichen Probleme dar.

Modellierter Wärmebedarf vs. gemessener Wärmeverbrauch

Für das Messjahr 2017 liegen die Jahresabrechnungen von insgesamt 209 Fernwärmekunden (= Anzahl der Wärmemengenzähler) vor, die nachfolgend den modellierten Werten gegenübergestellt sind. Den 209 Wärmemengenzählern konnten insgesamt 81 Gebäude aus der Gebäudedatenbank eindeutig zugewiesen werden. Die Differenz ergibt sich dadurch, dass vor allem bei MFH und Wohnheimen eine Abrechnung je Wohnung erfolgt. Der gemessene Wärmeverbrauch je Gebäude errechnet sich also aus den Summenverbräuchen aller Wärmemengenzähler je Gebäude. Eine Gesamtübersicht aller Vergleichsdaten der 81 untersuchten Gebäude ist Tabelle 28 (Anhang 8.5) zu entnehmen.

In nachfolgender Tabelle 20 sind die modellierten und gemessenen Heizenergiebedarfe jeweils als Absolutwerte in MWh pro Jahr sowie als spezifische Werte in kWh pro m² BGF pro Jahr differenziert nach Gebäudenutzung und Gebäudealtersklasse zusammengefasst.

Tabelle 20: Gegenüberstellung modellierter zu gemessener Heizenergiebedarfe für 81 fernwärmeversorgte Gebäude im Untersuchungsgebiet (Messjahr: 2017)

	Anzahl n -	Summe BGF m ²	Σ abs. HEB Modell MWh/a	Σ abs. HEB Messung MWh/a	Ø spez. HEB Modell kWh/m ² a	Ø spez. HEB Messung kWh/m ² a	Ø Delta -
Bildung	3	17330	1727	1104	99.6	63.7	56%
1980	1	6043	602	441	99.6	73.0	36%
2010	2	11287	1125	663	99.7	58.7	70%
Buero	3	6538	486	285	74.3	43.6	70%
1980	2	3164	315	214	99.4	67.5	47%
2020	1	3374	171	71	50.7	21.1	140%
EZFH	45	9665	1191	829	123.2	85.8	44%
1919	2	556	79	43	142.0	77.3	84%
1960	5	1081	159	102	146.9	94.5	55%
1980	22	4757	637	375	134.0	78.9	70%
1990	15	3021	303	291	100.4	96.4	4%
2020	1	250	12	18	49.0	70.8	-31%
MFH_gr	11	24909	1472	1230	59.1	49.4	20%
2000	1	948	71	105	74.5	111.0	-33%
2020	10	23961	1402	1125	58.5	46.9	25%
MFH_kl	7	7212	662	564	91.8	78.3	17%

1919	1	416	56	27	133.6	65.5	104%
1980	3	947	122	89	128.9	93.5	38%
2000	2	5259	444	416	84.4	79.1	7%
2010	1	590	41	32	68.9	55.0	25%
Produktion	1	831	108	59	130.5	71.0	84%
1944	1	831	108	59	130.5	71.0	84%
Wohnheim	11	20355	1168	903	57.4	44.3	29%
2020	11	20355	1168	903	57.4	44.3	29%
Ergebnis	81	86841	6814	4974	78.5	57.3	37%

2017 betrug der Heizenergieverbrauch in den 81 Gebäuden insgesamt 4.974 MWh. Bei einer BGF von 86.841 m² lt. AGWR entspricht das einem durchschnittlichen (flächengewichteten) spezifischen Heizenergiebedarf von 57,3 kWh/m²a. Im Modell errechnet sich der entsprechend klimabereinigte Heizenergiebedarf zu 6.814 MWh bzw. 78,5 kWh/m²a, was einer Überschätzung von 37% entspricht.

Für eine etwas detailliertere Betrachtung sind nachfolgend die spezifischen Werte für den Heizenergieverbrauch (Messung) bzw. den Heizenergiebedarf (Modell) für die vorliegenden Gebäudenutzungen und Baualtersklassen grafisch dargestellt. Bei dieser Auswertung gilt es zu beachten, dass die verfügbare Stichprobe insgesamt eher klein ist (81 Gebäude mit Messwerten von insgesamt 3.286 beheizten Gebäuden im Untersuchungsgebiet). Insbesondere die Auswertungen mit geringen Stichprobenzahlen ($n \leq 3$) sind nicht als repräsentativ für die Grundgesamtheit anzusehen.

Aus der nachfolgenden Auswertung differenziert nach Gebäudenutzung (Abbildung 32) kann abgeleitet werden, dass die modellierten Werte über alle Nutzungskategorien hinweg über den gemessenen Werten liegen. Besonders deutlich sind die Abweichungen bei den Nutzungen Buero (+70%) und Produktion (+84%), allerdings liegt hier jeweils nur eine Messung zugrunde. Bei den anderen Nutzungskategorien liegt der geschätzte Wert zwischen 17% und 56% höher als der Messwert, der tatsächliche Verbrauch wird im Modell also überschätzt.

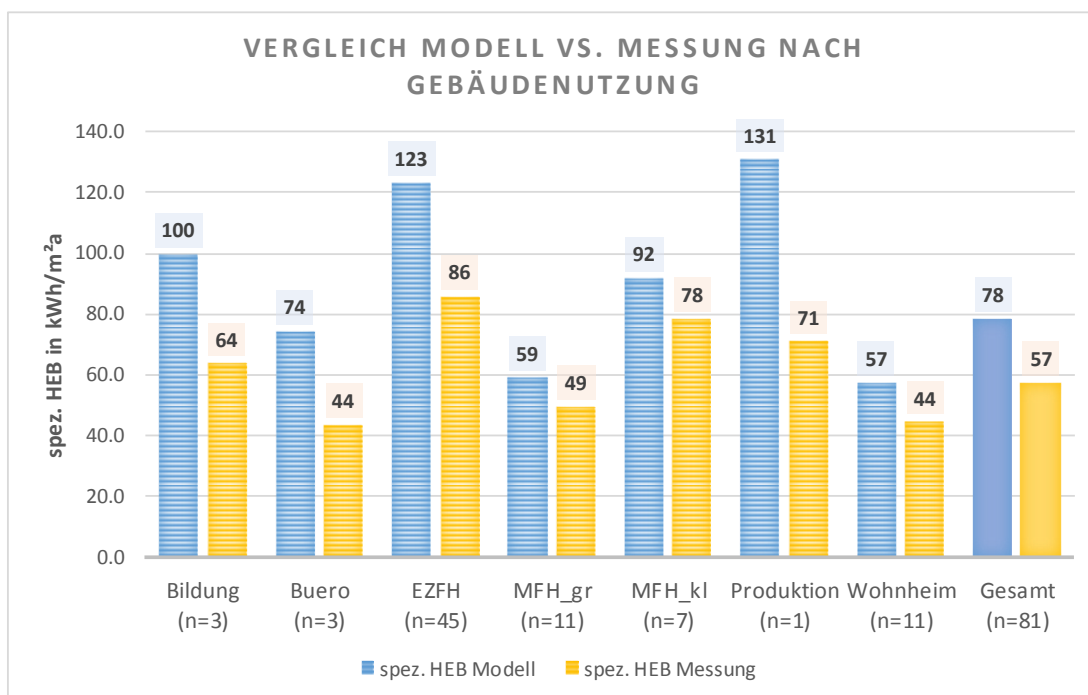


Abbildung 32: Modellierter Wärmebedarf vs. gemessenem Verbrauch differenziert nach Gebäudenutzung (Messjahr: 2017)

Bei der Auswertung differenziert nach Gebäudealter (Abbildung 33) zeigt sich, dass der Heizenergiebedarf insbesondere bei älteren Gebäuden (vor 1980) überdurchschnittlich stark überschätzt wird (+50-92%). Dieses Ergebnis entspricht auch Erkenntnissen aus einer nationalen Studie, wonach rechnerische Bedarfswerte bei älteren Gebäuden tendenziell den realen Verbrauch überschätzen (Bauer and Weiler, 2013). Sehr gute Übereinstimmung gibt es bei den Gebäuden der Altersklassen 1990 und 2000 (-1% bzw. 4%). Bei den neueren Gebäuden der Altersklassen 2000 und 2010 werden die Werte im Durchschnitt wiederum überschätzt (30-68%).

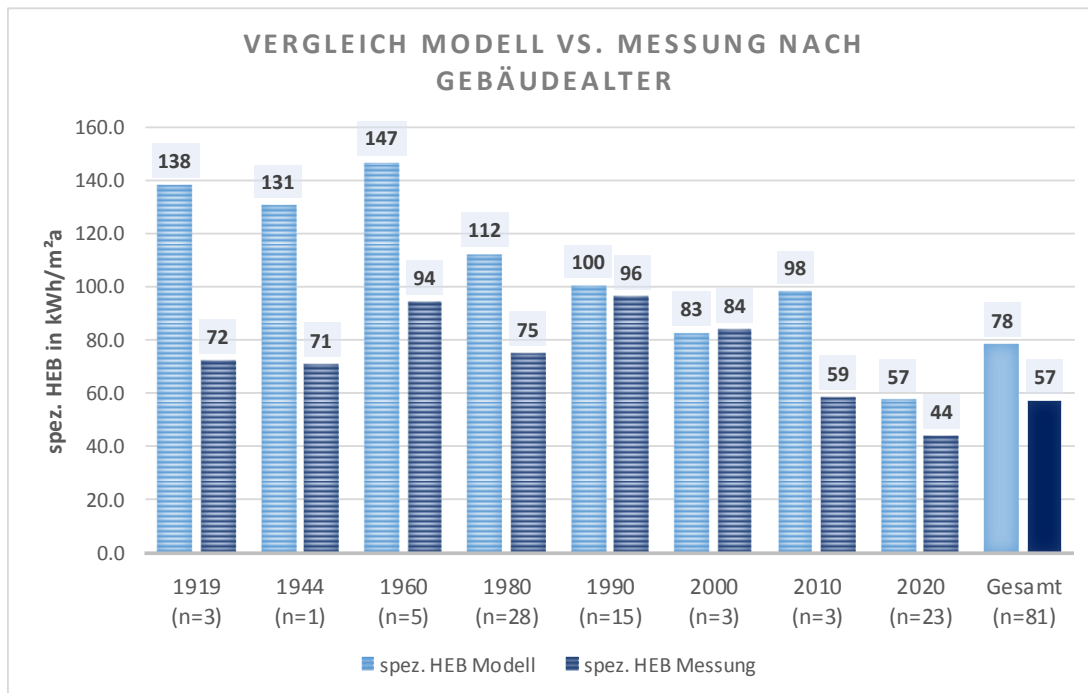


Abbildung 33: Modellierter Wärmebedarf vs. gemessenem Verbrauch differenziert nach Gebäudealter (Messjahr: 2017)

Wärmedichtekarte und modellierte Eignungszonen vs. reales Fernwärmeversorgungsgebiet

Neben einer räumlich differenzierten Energie- und Ökobilanzierung ist die Wärmedichtekarte das wesentliche Resultat der in dieser Arbeit vorgestellten Bottom-Up Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung. Mit Hilfe der Wärmedichtekarte sollen im Zuge von energieraumplanerischen Überlegungen und Planungen konkrete Aussagen über die Eignung von Gebieten oder Zonen für die Versorgung mittels Nah- oder Fernwärme getroffen werden können.

Nachfolgende Abbildung 34 zeigt die gebäudescharf ermittelten Wärmebedarfsdichten aggregiert auf 100 Meter Rasterebene für die Stadt Gleisdorf gemeinsam mit der bereits bestehenden Fernwärmetrasse. Die verwendeten Klassengrenzen sind Indikatoren für die Eignung für Nah- und Fernwärme, wie in Kapitel 2.3 erläutert. Es ist ersichtlich, dass sich die bestehende Fernwärmetrasse innerhalb oder in der Nähe von Rasterzellen mit moderaten, dichten oder sehr dichten Wärmebedarfen befindet. Im Umkehrschluss kann man ableiten, dass sich die modellierten Eignungsgebiete auch tatsächlich dort befinden wo Planer, in dem Fall die Stadtwerke Gleisdorf, auch den Ausbau vorgenommen haben. Noch anschaulicher fasst die Karte in Abbildung 35 die einzelnen Rasterzellen in drei charakteristische Zonen zusammen, wobei Zone A als Eignungs- und Prüfzone für konventionelle Fernwärme deklariert ist (vgl. Kapitel 3.1.3). Die bestehende Fernwärmetrasse befindet sich zum Großteil innerhalb der Zone A, also der ausgewiesenen Eignungszone für Fernwärme.

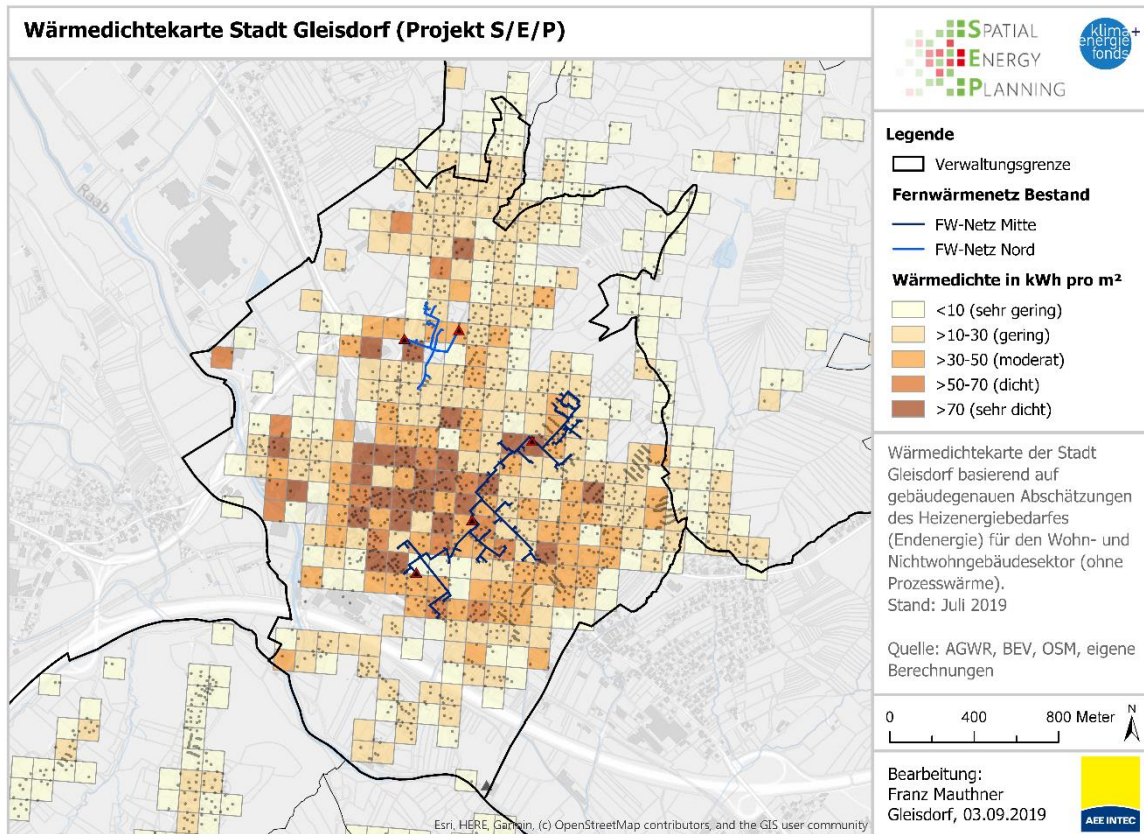


Abbildung 34: Wärmedichtekarte Stadt Gleisdorf überlagert mit der bestehenden Fernwärmetrasse und den Objektadressen

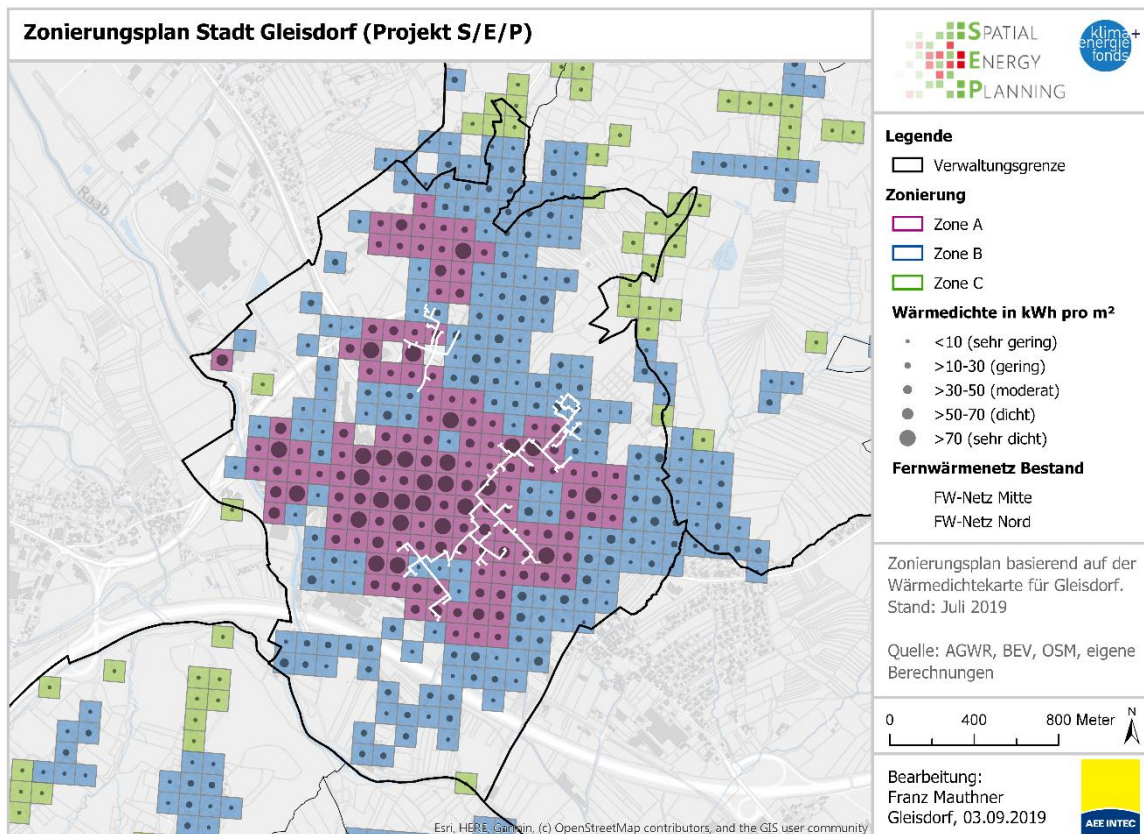


Abbildung 35: Zonierungsplan Stadt Gleisdorf überlagert mit der bestehenden Fernwärmetrasse

Nachfolgende Abbildung 36 zeigt den finalen Zonierungsplan für die Stadt Gleisdorf überlagert mit der bestehenden Fernwärmetrasse inkl. dem kurzfristig geplanten Ausbau.

Im Unterschied zu Abbildung 35 ist die dargestellte Zone A (Vorrangzone) nicht nur von den modellierten Wärmebedarfsdichten je 100 Meter Rasterzelle abhängig, sondern es wird auch berücksichtigt, dass sich insbesondere Gebiete in unmittelbarer Nähe bestehender (und kurzfristig geplanter) Fernwärmetrassen für eine Fernwärmeversorgung eignen. Als Nähe Kriterium wurde ein 50 Meter Buffer um die dargestellte Trasse gewählt und alle Rasterzellen mit Überschneidungen mit diesem Buffer wurden der Zone A zusätzlich hinzugerechnet.

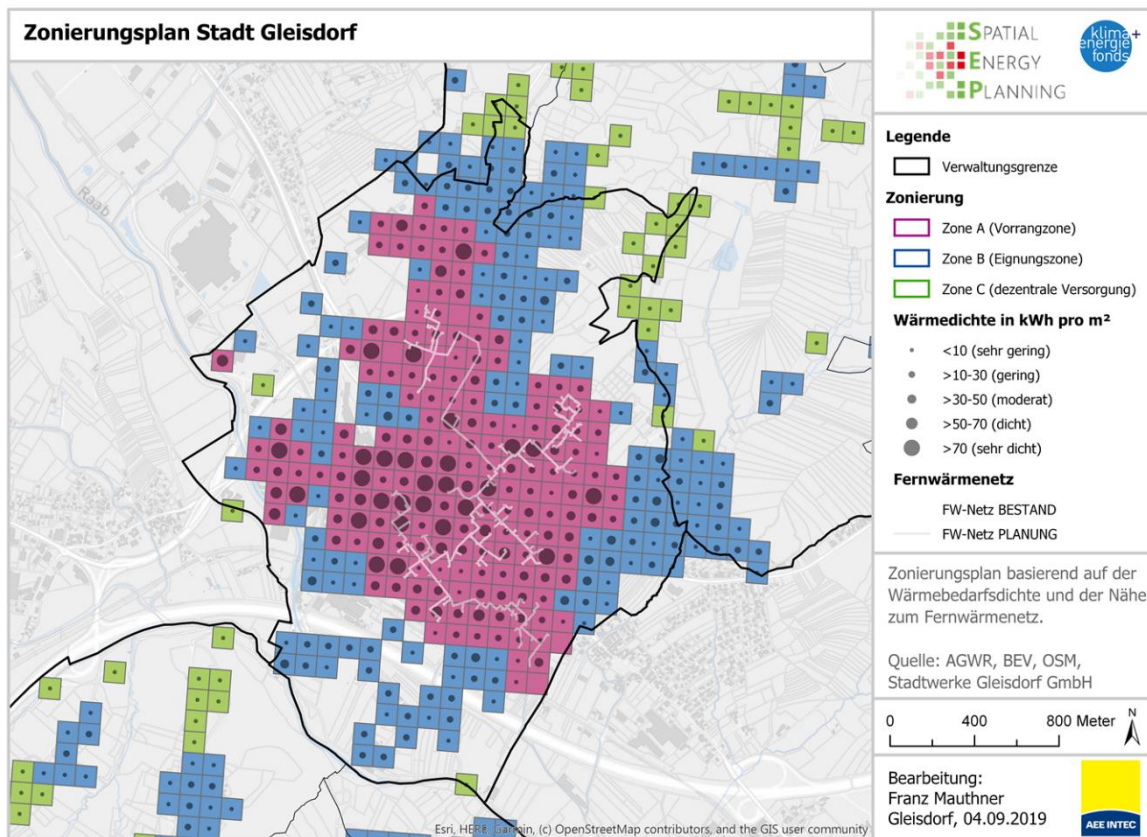


Abbildung 36: Zonierungsplan Stadt Gleisdorf überlagert mit der bestehenden Fernwärmetrasse inkl. dem kurzfristig geplanten Ausbau. Für diesen finalen Zonierungsplan wird neben dem Kriterium Wärmedichte auch das Kriterium der Nähe (50 Meter Buffer) zur bestehenden und kurzfristig geplanten Fernwärmetrasse berücksichtigt.

Die beiden vorgestellten Zonierungspläne in Abbildung 35 bzw. Abbildung 36 werden vom Verfasser als mögliche Plangrundlagen für energieraumplanerische Vorgaben in Gemeinden vorgeschlagen, die im Idealfall in den rechtsverbindlichen Instrumenten der Raumplanung (ÖEK - Örtliches Entwicklungskonzept bzw. STEK - Stadtentwicklungskonzept) verankert werden. In Gemeinden ohne bestehendem Fernwärmenetz erfolgt die Erstellung analog zu Abbildung 35, wenn es bereits fernwärmeversorgte Gebiete (inkl. kurzfristig geplanter Erweiterungen) gibt, sollte die Erstellung analog zu Abbildung 36 erfolgen.

Neben der Wärmebedarfsdichte und der Nähe zu bestehenden Nah- und Fernwärmetrassen gibt es natürlich noch weitere Kriterien, die einer netzgebundenen Wärmeversorgung förderlich bzw. hinderlich sein können. Für weiterführende Machbarkeitsanalysen und konkrete Planungen sollten in Anlehnung an *Nussbaumer et al. (2018, S.105)* auch noch folgende weitere Kriterien mitberücksichtigt werden:

- Einfamilienhausgebiete sind aufgrund der geringen Wärmebezugsdichten in der Regel nicht interessant für konventionelle Fernwärmeversorgung.
- Interessante Gebiete sind Mehrfamilienhausgebiete, Dorf- oder Stadtkerne oder Zonen mit verdichteter Bauweise (städtische Gebiete).
- Die Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmenetzes kann verbessert werden, wenn die in den Zonen oder nahegelegene Großabnehmer eingebunden werden können.
- Ein Fernwärmenetz für nur einen Großabnehmer ist nur dann interessant, wenn die umliegenden Gebiete eine hohe Wärmebezugsdichte aufweisen.
- Großabnehmer sollen über ein Fernwärmenetz verbunden werden, wenn sie örtlich nahe beisammen sind

4.1. Fazit zur Validierung

Die Validierung am Beispiel des bestehenden Fernwärmenetzes erfolgt einerseits quantitativ mittels Vergleiches der gemessenen Verbrauchswerte mit den modellierten Bedarfswerten und zum Zweiten visuell durch einen Abgleich des real fernwärmeversorgten Gebietes mit den theoretisch ausgewiesenen Eignungsgebieten gemäß der vorgestellten Zonierung.

Der quantitative Vergleich mit Realdaten hat gezeigt, dass die modellierten Wärmebedarfe den tatsächlichen Verbrauch tendenziell überschätzen (durchschnittlich um 37%). Diese Erkenntnis findet sich auch in einer Reihe von relevanten Studien wieder (*Bauer and Weiler, 2013, Rehbogen et al., 2017*) und ist beispielsweise mit den Unterschieden im Nutzerverhalten zu erklären. Als Lösungsstrategien werden häufig Faktoren eingeführt, mit denen systematische Fehleinschätzungen zwischen rechnerischem Bedarf und tatsächlichem Verbrauch auszugleichen versucht werden (z.B. im Berechnungstool *Loga (2016)* zum EU Projekt TABULA aber auch im Projekt Hotmaps It. Aussagen von den Projektverantwortlichen). Die in dieser Thesis verwendeten Kennzahlen HWB und WWWB für die Gebäudetypologie sind Ergebnisse aus den Projekten *heatswap_Salzburg (Rehbogen et al., 2017)* und *Hotmaps (Pezzutto et al., 2019b)* und wurden für die Modellierungen im Untersuchungsgebiet bereits vereinzelt basierend auf den vorgestellten Messdaten kalibriert (siehe Anmerkungen zu Tabelle 23). Insbesondere die HWB-Werte für ältere NWG aus dem Projekt Hotmaps wurden nach unten korrigiert. Die erarbeitete Gebäudetypologie-Matrix sollte als dynamisches Dokument angesehen werden, das mit der Verfügbarkeit von *besseren* (im Sinne von repräsentativeren) Kennzahlen für die unterschiedlichen Gebäudenutzungskategorien weiter optimiert (kalibriert) werden kann und sollte. Insbesondere eine Kalibrierung der Kennzahlen basierend auf Realdaten (z.B.: Messkampagnen von / mit Energieversorgungsunternehmen) sollten für weitere Modellvalidierungen und Verbesserungen angestrebt werden.

Der visuelle Vergleich zwischen den ausgewiesenen Eignungszonen für Nah- und Fernwärme mit der räumlichen Ausprägung des realen Fernwärmenetzes zeigt eine sehr gute Übereinstimmung und bestätigt für dieses Untersuchungsgebiet die Eignung des vorgestellten Ansatzes zur Erstellung von Zonierungskarten, die für die kommunale Energieraumplanung einen Mehrwert darstellen.

Eine Einschränkung ist es, dass die Untersuchung auf ein einzelnes Untersuchungsgebiet beschränkt ist. Um die letzte Aussage bestätigen zu können, bräuchte es noch weiterführende Gegenüberstellungen mit anderen Untersuchungsgebieten. Im weiteren Projektverlauf von S/E/P ist die Anwendung der Methode auf weitere Demonstrationsgebiete vorgesehen.

5. Diskussion

Alle getroffenen Annahmen und Festlegungen bei der Wärmebedarfsmodellierung bieten naturgemäß Potenzial für Verbesserungen. Nachfolgend werden einige wichtige Erkenntnisse und alternative Ansätze betreffend der erforderlichen Datengrundlagen (Merkmale, Attribute, Typologien) zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt S/E/P kritisch beleuchtet und diskutiert.

Adressierung

Die Vollständigkeit und Verfügbarkeit von Standortkoordinaten ist grundsätzlich sehr gut, da jedes Gebäude mit eindeutiger Objekt- und Adresscodierung im AGWR auch über eine Standortcoordinate verortet ist. Bei der Bearbeitung des Untersuchungsgebietes mussten schätzungsweise 10% der Gebäudekoordinaten aus dem AGWR manuell nachbearbeitet werden, insbesondere bei Wohnblöcken und Siedlungen waren unterschiedliche Adressen am selben Gebäude(block) häufig mit derselben Coordinate versehen.

Merkmal Gebäudenutzung (Attribut *gdeNutz*)

Die Festlegung der Gebäudenutzung ist ein essenzieller erster Schritt beim Typologie-Ansatz und alle aufbauenden Wertezuweisungen für die gebäudegenaue Wärmebedarfsmodellierung bauen auf diese Festlegungen auf. Bei der Definition Nutzungskategorien wurden etablierte Festlegungen wie beispielsweise die definierten Gebäudekategorien der OIB RL6 (*OIB, 2019b S.6-7*) oder die Festlegung gemäß EU Gebäudeklassifikation⁹, die auch für das AGWR zur Anwendung kommt, berücksichtigt und teilweise erweitert (vgl. Tabelle 6).

Als wichtigste Datenquelle für die Kategorisierung der Gebäude nach Nutzungen wurde das AGWR herangezogen mit Ergänzungen aus der ZEUS Energieausweisdatenbank des Landes Steiermark sowie der Herold Firmendatenbank. Die Datengrundlage für das Untersuchungsgebiet war gut: Für insgesamt 3.428 Objektadressen mit dem Gebäudestatus *aktiv* für das Gemeindegebiet in Gleisdorf laut AGWR (Stand Juli 2019) wurden 3.148 Gebäudenutzungen direkt aus dem AGWR übernommen. Für 61 Objekte konnte aus dem ZEUS Datensatz eine Gebäudekategorie zugewiesen werden und für weitere 150 Gebäude wurden zusätzlich das Herold Firmenverzeichnis und Google Maps herangezogen (vor allem Industrie- und Gewerbeobjekte – Kat 17, 18 sowie NWG Gebäude der Kategorien 6,7,8, 9, 10, 11 und 15 gemäß Tabelle 6, die in AGWR / ZEUS nicht weiter differenziert vorliegen). Für das Untersuchungsgebiet wurde schließlich allen Objekten unter einigem manuellem Nachbearbeitungsaufwand eine Gebäudekategorie gemäß Tabelle 6 zugewiesen und Plausibilitätschecks durchgeführt (prioritär für sehr große Gebäude und wichtige NWG-Einrichtungen in der Gemeinde). Die Plausibilitätschecks haben gezeigt, dass die ausgewiesenen Nutzungen im AGWR weitestgehend zutreffend sind, sich die Ermittlung der zusätzlichen Nutzungskategorien aber als aufwendig erweist. Hier sollte zukünftig durch einen (möglichst automatisierten) Abgleich mit weiteren Datenquellen (Herold, Rauminfrastrukturdatenbank Land Steiermark, Google Maps, OSM, etc.) eine Qualitätsverbesserung und Zeitersparnis angestrebt werden. Wichtig sind auch eindeutig definierte Regeln zur Datenmigration, um Nutzungen aus unterschiedlichen Quellen dem neuen Schema zuordnen zu können.

Merkmale Gebäudehüllqualität (Attribut: *gdeAlter*) u. Gebäudeidentifikation (Attribut: *gdeStatus*)

Neben der Bestimmung der Gebäudenutzung ist das Baualter bzw. die Baualtersklasse sowie der Sanierungsstatus (saniert, nicht saniert) des Gebäudes ausschlaggebend für die

⁹ Die EU Gebäudeklassifikation der Bauwerke ist in der [Klassifikationsdatenbank](#) von Statistik Austria dokumentiert.

Wärmebedarfsmodellierung. Auch für diesen Parameter stellt das AGWR die wichtigste verfügbare Datengrundlage dar und wird ergänzt durch Informationen aus ZEUS. Letztere gibt insbesondere Auskunft über den Sanierungsstatus von Gebäuden und dem berechnetem HWB-Wert für diese Sanierung (Information derzeit noch nicht mit dem AGWR verknüpft). Die Parameter Datum der Gebäudeerrichtung sowie Gebäudebaujahr bzw. Gebäudealterskategorie sind für das Untersuchungsgebiet im AGWR ziemlich vollständig verfügbar: Lediglich 56 Gebäude sind ohne Information zum Baualter (1,6%). Aus der Energieausweisdatenbank wurden Informationen der sanierten Gebäude ergänzt (insgesamt 65 Einträge mit eindeutiger Zuweisung). Eine grundsätzliche Schwierigkeit bei der Datenmigration zwischen AGWR und ZEUS besteht darin, dass in ZEUS die eindeutigen ID's gemäß AGWR für Adressen (Adress-ID) und Objekte (Objekt-ID) erst seit Kurzem mitgeführt werden und somit eine rasche und eindeutige Verknüpfung der Datenbanken mittels *join* nur bedingt möglich ist. Für ältere Objekte wurde daher eine Verknüpfung über die Grundstücksnummer durchgeführt und wo das ebenfalls keine eindeutigen Resultate gebracht hat, über eine Geocodierung der Adressen und / oder einem Matching der Adressnamen. Insgesamt ist die Information zum Gebäudealter für das Untersuchungsgebiet gut verfügbar. Die Richtigkeit der Angaben in AGWR wurde im Rahmen der Bearbeitung allerdings nicht verifiziert. Grundsätzlich gilt aber, dass die AGWR Datenbank insbesondere für neuere Gebäude ab dem Baujahr 2010 sehr gute Informationen bereitstellt (mit der Inbetriebnahme von AGWR II) und die Informationen für den Gebäudebestand mit Baujahr vor 2000 noch eher fehleranfällig und lückenhaft ist und sich hier die Datenqualität nur langsam verbessert.

Merkmale Gebäudeabmessung (Attribut: *gdeBGF*)

Die Richtigkeit der Angaben zur beheizten Brutto-Geschossfläche (BGF) ist wesentlich, da die Berechnung aller absoluten Energiebedarfs- und Emissionswerte der Gebäude durch Multiplikation der BGF mit den jeweils spezifischen Gebäudeenergiekennzahlen erfolgt. Hier hat eine nähere Untersuchung der Angaben im AGWR für die Gebäude im Untersuchungsgebiet doch häufig unplausible Werte gezeigt. Als Indikator für die Gebäudeabmessung wird im AGWR sowohl die Netto-Grundfläche (NGF) gesamt und je Nutzung ausgewiesen als auch die beheizte Brutto-Grundfläche (BGF). Eine Gegenüberstellung beider Werte je Gebäude zeigt häufig große Unterschiede, die auf mögliche Eingabefehler hindeuten. In der vorliegenden Arbeit wurden aufgrund der Wichtigkeit des Parameters und der Unsicherheiten alle größeren Gebäude (ungefähr ein Drittel) visuell geprüft und der plausible Wert (BGF oder NGF/0.8) für die weiteren Berechnungen herangezogen. Ähnlich wurde auch mit sehr kleinen Gebäuden (<50m² BGF) verfahren. Zusammengefasst birgt die Ermittlung einer akkuraten Energiebezugsfläche (hier: BGF) noch weiteres Optimierungspotenzial. Für eine weitere Verbesserung des Modells sollten Möglichkeiten für eine Ermittlung von Gebäudeabmessungen aus Fernerkundungsdaten überlegt werden. Vorteil wäre, dass man nicht nur Informationen zum BGF generieren kann sondern auch beispielsweise zur Gebäudekubatur (Gebäudevolumen), zur Gebäudehüllfläche, zur Dachform und daraus abgeleitet zur charakteristischen Länge *lc* des Gebäudes.

Merkmale Gebäudeheizungssystem (Attribute: *hzgArt und hzgBrst*)

Heizungssystem und Brennstoffart werden im AGWR mitgeführt, sind allerdings vor allem für ältere Gebäude (vor 2000) mit größeren Unsicherheiten behaftet. Für das Untersuchungsgebiet lagen detaillierte und sehr aktuelle Daten aus einer Erhebung vor, die wieder ins AGWR zurückgespielt wurden. Ohne einer solchen Datenbasis müssen ggf. noch weitere Quellen herangezogen werden (ZEUS, Heizungsdatenbank Land Stmk) oder die Heizungsart beispielsweise aus der Nähe zu bestehenden Wärme- und Gasnetzen abgeleitet werden.

Ansatz Gebäudetypologie

Die in dieser Arbeit diskutierte Gebäudetypologie und die zugrunde gelegten Kennzahlen (Tabelle 23) ermöglichen grundsätzlich eine sehr differenzierte Analyse unterschiedlicher Gebäudenutzungen unter Berücksichtigung von bautechnischen Rahmenbedingungen in unterschiedlichen Bauperioden. Wie bereits im Kapitel 4.1 ausgeführt sollte die erarbeitete Gebäudetypologie-Matrix als dynamisches Dokument angesehen werden, das mit der Verfügbarkeit von *besseren* (im Sinne von repräsentativeren) Kennzahlen für die unterschiedlichen Gebäudetypen weiter optimiert (kalibriert) werden kann. Insbesondere eine Kalibrierung der Kennzahlen basierend auf Realdaten (z.B.: Messkampagnen von / mit EVU's) sollten für weitere Modellvalidierungen und Verbesserungen angestrebt werden. Bei der Verwendung von Messdaten als Datengrundlage ist wiederum eine klare Abgrenzung und Ausweitung der Energiekennzahlen differenziert nach Nutzenergie und Endenergie zu beachten (der Messwert für Fernwärme an der Kundenübergabestation entspricht einem Endenergiebedarf – für die Ermittlung der Nutzenergiebedarfe HWB und WWWB müssen die Verluste des haustechnischen Systems entsprechend abgezogen werden).

Neben dem vorgestellten Gebäudetypologie-Ansatz (spezifische Energiekennzahlen bezogen auf die Brutto-Grundfläche) gibt es auch alternative Ansätze, wonach Typologien in Abhängigkeit der charakteristischen Länge des Gebäudes oder das konditionierte Bruttovolumen des Gebäudes verwendet werden, wie beispielsweise in *Kalasek and Brus (2018)* vorgeschlagen. Vorteil dieser Ansätze ist es, dass auch der Einfluss der Gebäudegeometrie auf den HWB bis zu einem gewissen Grad in den Kennzahlen berücksichtigt werden kann. Bezüglich der Energiekennzahlen selbst gilt aber auch für diese alternativen Ansätze, dass die Modellierung nur so akkurat sein kann wie die zugrunde gelegten Kennzahlen für die jeweiligen Gebäudetypen.

Ansatz Heizungstypologie

Der vorgestellte Heizungstypologie-Ansatz zur Ermittlung der Heizenergiebedarfe (bzw. der Verluste des Heizungstechnischen Systems HTEB – vgl. Kapitel 3.1.2) basiert auf der europäischen Normenreihe ÖNORM EN 15316 zur energetischen Bewertung von Gebäuden (*ON, 2017*) und Kennzahlen für Referenz-Heizungssysteme aus dem EU-Projekt TABULA (*Loga et al., 2016*). Diese Grundlagen wurde vor allem aus praktischen Gründen herangezogen, da dieses Projekt ein freies Excel-Tool für die normgerechte Berechnung sowohl des Heizwärmebedarfs basierend auf Gebäudedaten als auch des Heizenergiebedarfs in Abhängigkeit des Gebäudeheizungssystems bereitstellt (Berechnungstool [tabulacalculator.xlsx](#) nach Loga (2016)).

Im Rahmen der Thesis wurde nicht auf die Unterschiede zwischen der angeführten europäischen Berechnungsnorm und etablierten nationalen Berechnungsnormen, wie beispielsweise die ÖNORM H 5056-1 zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (*ON, 2019*), auf die auch in der OIB-RL6 verwiesen wird, eingegangen. Für eine Heizungstypologie, die vollständig den normativen Rahmen der OIB-RL6 widerspiegelt, wäre eine Berechnung nach dem österreichischem Energieausweis (kostenpflichtige Software) eine überlegenswerte Alternative, da hier ausschließlich nach den entsprechenden Normen vorgegangen wird.

Für die Zuweisung eines Heizungstypen zu einem Gebäude im Sinne der vorgestellten Methode ist es erforderlich, dass für jedes Gebäude zumindest die Informationen Heizungsart und Brennstoffart bekannt sind. Im Falle von unplausiblen oder nicht bekannten Merkmalen sind Regeln erforderlich, die eine Wertezuweisung möglich machen. Entsprechende Festlegungen, die im Rahmen dieser Arbeit getroffen wurden, sind im Anhang angefügt (Tabelle 26).

6. Fazit und Ausblick

Ein wesentliches Ergebnis der Thesis ist die Beschreibung und Umsetzung einer Methodik für die Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung zur objektgenauen Abschätzung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfes sowie der CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung im Gebäudesektor (ohne Prozesswärme). Die Methodik umfasst ein Datenkonzept (Attributliste und Attributdomänen) sowie die Definition von Gebäude- und Heizungstypologien für die Modellierung der Gebäudeenergiekennzahlen. Die Methode wurde am Untersuchungsgebiet Gleisdorf angewendet und anhand von verfügbaren Messdaten validiert bzw. auch geringfügig kalibriert. Der vorgestellte Typologie-Ansatz ist auf wenige Eingabeparameter reduziert, baut überwiegend auf bundes- und landesweit verfügbare Datengrundlagen auf (v.a. AGWR, ZEUS, Herold) und ist somit auf andere kommunale Untersuchungsgebiete übertragbar. Die Validierung der Modellergebnisse am Beispiel des bestehenden Fernwärmenetzes hat ergeben, dass die klassifizierten Wärmebedarfsdichten aus dem Modell (Wärmedichtekarte und Zonenkarte) sehr gut mit der räumlichen Ausprägung des realen Fernwärmenetzes übereinstimmen, die modellierten Wärmebedarfe den tatsächlichen Verbrauch allerdings tendenziell überschätzen (durchschnittlich um 37%). Zu berücksichtigen ist, dass die Stichprobe der verfügbaren Messpunkte gering ist (81 Gebäude mit Verbrauchsdaten vs. 3428 Gebäude im Untersuchungsgebiet).

Zweites wesentliches Ergebnis der Arbeit ist der Vergleich des Bottom-Up Typologie Ansatzes mit Top-Down Ansätzen zur Wärmebedarfsmodellierung aus zwei aktuellen EU-Projekten (Heat Roadmap Europe und Hotmaps). Ein Vergleich der resultierenden Heizenergiebedarfe für das gesamte Gemeindegebiet ergibt angesichts der grundlegend verschiedenen methodischen Ansätze ein doch sehr homogenes Ergebnis: Die Abweichung der modellierten Heizenergiebedarfe für die Sektoren Wohn- und Nichtwohngebäude zwischen den drei Methoden beträgt rund $\pm 10\%$. Bei der qualitativen (visuellen) Analyse der räumlichen Ausprägung der Wärmedichten symbolisiert nach einheitlichen Klassen verorten alle drei Methoden die Gebiete mit dem höchsten Wärmebedarf korrekt im dicht besiedelten Stadtkern von Gleisdorf, im Detail zeigen sich insbesondere für das Projekt Hotmaps größere räumliche Differenzen auf Hektarrasterebene.

Fazit und Ausblick Methodenvergleich

- Die untersuchten Top-Down Modellierungsansätze liefern mit guter Genauigkeit eine erste Indikation zum Heizenergieverbrauch bis auf 100 Meter Rasterebene.
- Die Ergebnisse aus dem Projekt Heat Roadmap Europe zeigen im Vergleich zum gebäudegenauen Bottom-Up Ansatz eine bessere Übereinstimmung für das Untersuchungsgebiet als die entsprechenden Ergebnisse aus Hotmaps. Eine abschließende Beurteilung ist basierend auf nur einer untersuchten Gemeinde allerdings nicht möglich bzw. nicht repräsentativ.
- Sobald der Bottom-Up Ansatz für mehrere Gemeinden oder bundeslandweit verfügbar ist erfolgt eine weiterführende Evaluierung des Methodenvergleiches nach derselben Systematik inkl. Diskussion der Implikationen für unterschiedliche Zielgruppen (politisch, planerisch, etc.), wenn man unterschiedliche räumliche Auflösungen (100 oder 250 Meter LAEA Raster) zugrunde legt.

Fazit und Ausblick Bottom-Up Typologie Ansatz

- Den Nachteilen einer aufwändigeren Datenbeschaffung stehen beim Bottom-Up Typologie Ansatz die Vorteile einer objektgenauen Charakterisierung des Gebäudebestandes gegenüber, die für eine adäquate räumliche Energieplanung unerlässlich sind.

- Der vorgestellte Typologie-Ansatz ist auf wenige Eingabeparameter reduziert, baut überwiegend auf bundes- und landesweit verfügbare Datengrundlagen auf (v.a. AGWR, ZEUS, Herold) und ist somit auf andere kommunale Untersuchungsgebiete übertragbar.
- Die Prozessierung wichtiger Eingangsparameter kann und sollte noch weiter verbessert werden (insbesondere die Ableitung von Geometrieinformationen wie beispielsweise die BGF aus Fernerkundungsdaten)
- Die Methodik liefert sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der räumlichen Verortung von Eignungsgebieten für Nah- und Fernwärme und die eingeführten Klassengrenzen für die abgeleiteten Zonierungskarten (Zone A, B, C) haben sich für energieraumplanerische Festlegungen und Kartendarstellungen als sehr praktikabel erwiesen.
- Die Methodik liefert gute Resultate im Vergleich mit gemessenen Realdaten, tendenziell werden im Modell reale Verbrauchsdaten allerdings überschätzt (durchschnittlich um 37%). Eine Verbesserung (weiterführende Validierung und Kalibrierung) der zugrunde liegenden Energiekennzahlen in der Gebäudetypologie anhand von empirischen Daten ist eine daraus resultierende Empfehlung und wird im laufenden Forschungsprojekt S/E/P weiterverfolgt¹⁰.
- Der vorgestellte Typologie Ansatz kann für eine Gesamt-Energie Bilanzierung von Gebäuden analog zur Vorgehensweise bei der Wärmebedarfsmodellierung um den Kühlbedarf sowie um den Haushaltsstrombedarf erweitert werden. Darüber hinaus sind Szenarioberechnungen basierend auf Kennzahlen für unterschiedliche Sanierungsvarianten Gegenstand laufender Erweiterungen der Methode.

Im Gesamtkontext des Forschungsprojektes S/E/P wurde mit der vorliegenden Thesis eine fundierte Grundlage für die Teilaspekte Gebäudekartierung, Wärmebedarfsmodellierung und Fernwärmezonierung geschaffen und erfolgreich an einem konkreten Untersuchungsgebiet demonstriert. Die vorliegende Methode liefert einen wichtigen Beitrag für räumliche Energieplanung in Gemeinden, wo definitionsgemäß neben der räumlichen Dimension von Energiebedarfen auch noch die räumliche Dimension von lokalen Energiepotenzialen wesentlich ist. Zielsetzung und Ausblick im laufenden Forschungsprojekt S/E/P ist es in diesem Zusammenhang, diese technischen Grundlagen gesamtheitlich zu schaffen und für eine breite Anwendung in der Verwaltung sowie in der Raum-, Stadt- und Energieplanung zur Verfügung zu stellen, entsprechende Datenkonzepte und Methoden zu entwickeln und die resultierenden Informationsschichten an die etablierten Landes GIS-Systeme anzudocken. Die in der Thesis konkret identifizierten Verbesserungsvorschläge zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung werden im laufenden Projekt S/E/P weiterführend adressiert.

¹⁰ Die verfügbare Stichprobe der gegenständlichen Validierung (81 Gebäude mit Verbrauchsdaten vs. 3428 Gebäude im Untersuchungsgebiet) ist nur bedingt für eine Kalibrierung der zugrunde liegenden Gebäudetypologie-Tabelle geeignet, da die Stichprobenanzahl für mehrere Gebäudetypen sehr gering ist bzw. für manche Gebäudetypen keine Messwerte vorliegen (vgl. Abbildung 32 und Abbildung 33).

7. Verzeichnisse

7.1. Glossar

Die nachfolgenden Begriffsdefinitionen mit Relevanz für die vorliegende Arbeit entsprechen weitestgehend den Festlegungen der OIB Richtlinie 6 (*OIB, 2019c, OIB, 2006*).

Brutto-Grundfläche (BGF), konditioniert

Fläche entsprechend der Definition gemäß ÖNORM B 8110-6-1. Fläche, die vom konditionierten Bruttovolumen umschlossen wird.

Brutto-Volumen (VB), konditioniert

Volumen entsprechend der Definition gemäß ÖNORM B 8110-6-1. Summe der Bruttorauminhalte aller konditionierten Räume eines Gebäudes oder Gebäudeteiles, über das eine Wärmebilanz mit einer bestimmten Raumtemperatur erstellt wird.

Endenergiebedarf (EEB)

Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf bzw. den jeweils allfälligen Betriebsstrombedarf, Kühlenergiebedarf und Beleuchtungsenergiebedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

Gebäude

Überdeckte, allseits oder überwiegend umschlossene Bauwerke, die von Personen betreten werden können.

Gebäude, konditionierte

Gebäude, deren Innenraumklima unter Einsatz von Energie beheizt, gekühlt, be- und entlüftet oder befeuchtet wird; als konditionierte Gebäude können Gebäude als Ganzes oder Teile eines Gebäudes, die als eigene Nutzungseinheiten konzipiert oder umgebaut wurden, bezeichnet werden.

Gebäudetechnisches System

Jene technische Ausrüstung eines Gebäudes oder Gebäudeteils für Raumheizung, Raumkühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung für den häuslichen Gebrauch, eingebaute Beleuchtung, Gebäudeautomatisierung und -steuerung, Elektrizitätserzeugung am Gebäudestandort oder für eine Kombination derselben, einschließlich Systemen, die Energie aus erneuerbaren Quellen nutzen.

Grundfläche

Brutto-Grundfläche bzw. Netto-Grundfläche entsprechend der Definition in der ÖNORM B 1800.

Haushaltsstrombedarf (HHSB)

Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht in etwa dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch eines österreichischen Haushalts.

Haustechnikenergiebedarf (HTEB)

Der Haustechnikenergiebedarf ist die Summe der gesamten, nicht rückgewinnbaren Verluste des Heizungs- und Warmwassersystems inkl. Warmwasserwärmebedarf sowie des Belüftungs-, Beleuchtungs- und Kühlsystems (nach OIB (2006, Teil F).

Heizenergiebedarf (HEB)

Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

Heizgradtagzahl (HGT)

Jährliche Heizgradtage HGT_{20/12}.

Heizwärmebedarf (HWB)

Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten. Der Heizwärmebedarf ist eine rechnerische Größe die angibt, wieviel Wärmeenergie konditionierten Räumen eines Gebäudes zugeführt werden muss, um deren normativ geforderten Raumtemperaturen einzuhalten. Neben der thermischen Qualität der Gebäudehülle ist der HWB folglich auch vom Klima abhängig.

Kohlendioxidemissionen äquivalent (CO₂eq)

Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden äquivalenten Kohlendioxidemissionen (Treibhausgase), einschließlich jener für Vorketten.

Kühlbedarf (KB)

Der Kühlbedarf ist jene Wärmemenge, welche aus den Räumen abgeführt werden muss, um unter der Solltemperatur zu bleiben. Er errechnet sich aus den nicht nutzbaren inneren und solaren Gewinnen.

Kühlenergiebedarf (KEB)

Beim Kühlenergiebedarf werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt.

Länge, charakteristische (ℓ_c)

Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes, dargestellt in Form des Verhältnisses des konditionierten Volumens V zur umschließenden Oberfläche A dieses Volumens.

Nicht-Wohngebäude

Gebäude, die nicht überwiegend zum Wohnen genutzt werden.

Referenz-Heizwärmebedarf (HWB_{Ref})

Der Referenz-Heizwärmebedarf ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung zu halten.

Primärenergiebedarf (PEB)

Der Primärenergiebedarf ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB, ern) und einen nicht erneuerbaren (PEB, n.ern) Anteil auf.

Referenzklima (RK)

Das Referenzklima ist ein virtuelles Klima. Es dient zur Ermittlung von Energiekennzahlen.

Standortklima (SK)

Das Standortklima ist das reale Klima am Gebäudestandort.

Warmwasserwärmebedarf (WWWB)

Der Warmwasserwärmebedarf ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

Wohngebäude

Gebäude, die ganz oder überwiegend zum Wohnen genutzt werden.

7.2. Literaturverzeichnis

- ABART-HERISZT, L. & STOEGLER, G. 2019. Das Sachbereichskonzept Energie - Ein Beitrag zum Örtlichen Entwicklungskonzept (Leitfaden Version 2.0). 2.0 ed. Graz.
- ALTMANN-MAVADDAT, N., AMTMANN, M., SIMADER, G. & STUMPF, W. 2015. Eine Typologie österreichischer Wohngebäude. Wien: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency.
- BALLARINI, I., CORGNATI, S. P. & CORRADO, V. 2014. Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. *Energy Policy*, 68, 273-284.
- BAUER, E. & WEILER, T. 2013. Investitions- und Nutzungskosten in Wohngebäuden gemeinnütziger Bauvereinigungen unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte. Wien: Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen (gbv).
- BFE 2011. Räumliche Energieplanung - Werkzeuge für eine zukunftstaugliche Wärmeversorgung. In: (BFE), E.-B. F. E. (ed.).
- BRØGGER, M. & WITTCHEN, K. B. 2018. Estimating the energy-saving potential in national building stocks – A methodology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1489-1496.
- BRUNNER, S. 2017. *Grundlagen für die räumliche Energieplanung im WebGIS - Einsatzmöglichkeiten im Kanton Luzern*. MSc Master Thesis, Paris Lodron-Universität Salzburg.
- BUFFAT, R., SCHMID, L., HEEREN, N., FROEMELT, A., RAUBAL, M. & HELLWEG, S. 2017. GIS-based Decision Support System for Building Retrofit. *Energy Procedia*, 122, 403-408.
- CONNOLLY, D., MATHIESEN, B. V., ØSTERGAARD, P. A., MÖLLER, B., NIELSEN, S., LUND, H., TRIER, D., PERSSON, U., NILSSON, D. & WERNER, S. 2012. Heat Roadmap Europe 1. *First Pre-Study for the EU27*.
- DOCHEV, I., PETERS, I., SELLER, H. & SCHUCHARDT, G. K. 2018. Analysing district heating potential with linear heat density. A case study from Hamburg. *Energy Procedia*, 149, 410-419.
- EC 2018. COM(2018) 773: A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Brussels: European Commission.
- FERRARI, S., ZAGARELLA, F., CAPUTO, P. & D'AMICO, A. 2019. Results of a literature review on methods for estimating buildings energy demand at district level. *Energy*, 175, 1130-1137.
- FLEITER, T., ELSLAND, R., REHFELDT, M., STEINBACH, J., REITER, U., CATENAZZI, G., JAKOB, M., RUTTEN, C., HARMSSEN, R., DITTMANN, F., RIVIÈRE, P. & STABAT, P. 2017. Profile of heating and cooling demand in 2015 : Deliverable 3.1.: Heat Roadmap Europe.
- GEIß, C., TAUBENBÖCK, H., WURM, M., ESCH, T., NAST, M., SCHILLINGS, C. & BLASCHKE, T. 2011. Remote Sensing-Based Characterization of Settlement Structures for Assessing Local Potential of District Heat. *Remote Sensing*, 3, 1447.
- GILS, H. C., COFALA, J., WAGNER, F. & SCHÖPP, W. 2013. GIS-based assessment of the district heating potential in the USA. *Energy*, 58, 318-329.
- GÜNSBERG, G., VEIGL, A. & FUCIK, J. 2018. Faktencheck Energiewende 2018 / 2019. Wien.
- HAIDINGER, M. & SCHATNER, G. 2016. Adress-GWR-Online 2 Wertevorräte.

- HEATROADMAP.EU. 2016-2019. *Pan-European Thermal Atlas* [Online]. Flensburg, Halmstad and Aalborg Universities. Available: <https://heatroadmap.eu/peta4/> [Accessed 04.02.2019].
- HOTMAPS-PROJECT.EU. 2016-2020. *Hotmaps - The open source mapping and planning tool for heating and cooling* [Online]. Available: <https://www.hotmaps-project.eu/> [Accessed 10.02.2019 2019].
- KALASEK, R. & BRUS, T. 2018. Berechnungsgrundlagen Heizwärmebedarf HWBsk für Gebäude. Wien (unveröffentlicht): Magistrat der Stadt Wien MA20 - Energieplanung / TU Wien.
- LAND.COPERNICUS.EU. 2019a. *CORINE Land Cover — Copernicus Land Monitoring Service* [Online]. Copernicus Programme. Available: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> [Accessed 14.02.2019].
- LAND.COPERNICUS.EU. 2019b. *Digital Elevation Model over Europe (EU-DEM)* [Online]. Copernicus Programme. Available: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem> [Accessed 14.02.2019].
- LAND.COPERNICUS.EU. 2019c. *European Settlement Map — Copernicus Land Monitoring Service* [Online]. Copernicus Programme. Available: <https://land.copernicus.eu/pan-european/GHSL/european-settlement-map> [Accessed 14.02.2019].
- LAND.COPERNICUS.EU. 2019d. *Urban Atlas — Copernicus Land Monitoring Service* [Online]. Copernicus Programme. Available: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas> [Accessed 14.02.2019].
- LANDSTMK 2019. Steiermärkisches Baugesetz -Stmk. BauG. Das Land Steiermark.
- LI, W., ZHOU, Y., CETIN, K., EOM, J., WANG, Y., CHEN, G. & ZHANG, X. 2017. Modeling urban building energy use: A review of modeling approaches and procedures. *Energy*, 141, 2445-2457.
- LOGA, T. 2016. Condensed TABULA Spread Sheets "tabula-calculator.xlsx". www.episcope.eu: Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt / Germany - Tobias Loga.
- LOGA, T., STEIN, B. & DIEFENBACH, N. 2016. TABULA building typologies in 20 European countries— Making energy-related features of residential building stocks comparable. *Energy and Buildings*, 132, 4-12.
- LUND, H. 2007. Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, 32, 912-919.
- MÖLLER, B., WIECHERS, E., PERSSON, U., GRUNDAHL, L. & CONNOLLY, D. 2018. Heat Roadmap Europe: Identifying local heat demand and supply areas with a European thermal atlas. *Energy*, 158, 281-292.
- MÖLLER, B., WIECHERS, E., PERSSON, U., GRUNDAHL, L., LUND, R. S. & MATHIESEN, B. V. 2019. Heat Roadmap Europe: Towards EU-Wide, local heat supply strategies. *Energy*, 177, 554-564.
- NAGELER, P., KOCH, A., MAUTHNER, F., LEUSBROCK, I., MACH, T., HOCHENAUER, C. & HEIMRATH, R. 2018. Comparison of dynamic urban building energy models (UBEM): Sigmoid energy signature and physical modelling approach. *Energy and Buildings*, 179, 333-343.
- NAGELER, P., ZHRER, G., HEIMRATH, R., MACH, T., MAUTHNER, F., LEUSBROCK, I., SCHRANZHOFER, H. & HOCHENAUER, C. 2017. Novel validated method for GIS based automated dynamic urban building energy simulations. *Energy*, 139, 142-154.
- NIELSEN, S. & MÖLLER, B. 2013. GIS based analysis of future district heating potential in Denmark. *Energy*, 57, 458-468.
- NUSSBAUMER, T., THALMANN, S., JENNI, A. & KÖDEL, J. 2018. *Planungshandbuch Fernwärme, EnergieSchweiz*, Bundesamt für Energie BFE.
- OIB 2006. OIB-Richtlinie 6 - Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. *Ausgabe: Ver. 2.5, 17. Okt. 2006 (unpublished extended pre-version)*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik
- OIB 2019a. OIB-Richtlinie 6 - Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. *OIB Richtlinie 6 - Leitfaden: 2019 04 - OIB-330.6-028/19*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik
- OIB 2019b. OIB Richtlinie 6 - Erläuternde Bemerkungen. *Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz - OIB-Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden - OIB-330.6-027/19*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik
- OIB 2019c. OIB Richtlinien 2019 - Begriffsbestimmungen. *Begriffsbestimmungen - OIB-330-001/19*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik

- ON 2013. ÖNORM B 1800: 2013 08 01. *Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken und zugehörigen Außenanlagen*. Austrian Standards International.
- ON 2017. ÖNORM EN 15316-1: 2017 12 01. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen - Teil 1: Allgemeines und Darstellung der Energieeffizienz, Module M3-1, M3-4, M3-9, M8-1, M8-4*. Austrian Standards International.
- ON 2018. ÖNORM B 8110-5: 2018 08 15. *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*. Austrian Standards International.
- ON 2019. ÖNORM H 5056-1: 2019 01 15. *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Heiztechnikenergiebedarf*. Austrian Standards International.
- ÖROK 2015. ÖREK Partnerschaft Energieraumplanung. *ÖROK Schriftenreihe Nr. 192*. Wien: ÖROK – Österreichische Raumordnungskonferenz.
- PAARDEKOOOPER, S., LUND, R. S., MATHIESEN, B. V., CHANG, M., PETERSEN, U. R., GRUNDAHL, L., DAVID, A., DAHLBÆK, J., KAPETANAKIS, I. A., LUND, H., BERTELSEN, N., HANSEN, K., DRYSDALE, D. W. & PERSSON, U. 2018. Heat Roadmap Europe 4. *Quantifying the Impact of Low-Carbon Heating and Cooling Roadmaps*. Aalborg Universitetsforlag.
- PERSSON, U., MÖLLER, B. & WIECHERS, E. 2017. Methodologies and assumptions used in the mapping : Deliverable 2.3: A final report outlining the methodology and assumptions used in the mapping. Heat Roadmap Europe.
- PEZZUTTO, S., CROCE, S., ZAMBOTTI, S., KRANZL, L., NOVELLI, A. & ZAMBELLI, P. 2019a. Assessment of the Space Heating and Domestic Hot Water Market in Europe—Open Data and Results. *Energies*, 12, 1760.
- PEZZUTTO, S., ZAMBOTTI, S., CROCE, S., ZAMBELLI, P., GAREGNANI, G., SCARAMUZZINO, C., PASCUAS, R. P., ZUBARYEVA, A., HAAS, F., EXNER, D., MUELLER, A., HARTNER, M., FLEITER, T., KLINGLER, A.-L., KUEHNBACH, M., MANZ, P., MARWITZ, S., REHFELDT, M., STEINBACH, J. & POPOVSKI, E. 2019b. Hotmaps Project: D2.3 WP2 Report – Open Data Set for the EU28. www.hotmaps-project.eu.
- REHBOGEN, A., STRASSER, H., KOBLMÜLLER, M., MOSTEGL, N., SCHARDINGER, I. & BIBERACHER, M. 2017. Integrierter Wärmeplan Zentralraum Salzburg - Umsetzungsplanung für die Wärmewende der Energie-Vorzeigeregion Salzburg (heatswap_Salzburg). *Energieforschungsprogramm – 1. Ausschreibung Vorzeigeregion Energie*. SIR – Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen.
- REINHART, C. F. & CEREZO DAVILA, C. 2016. Urban building energy modeling – A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196-202.
- SCHIEFELBEIN, J., RUDNICK, J., SCHOLL, A., REMMEN, P., FUCHS, M. & MÜLLER, D. 2019. Automated urban energy system modeling and thermal building simulation based on OpenStreetMap data sets. *Building and Environment*, 149, 630-639.
- STATISTIK AUSTRIA 2013. Standard-Dokumentation zum Gebäude- und Wohnungsregister. *Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zum Gebäude- und Wohnungsregister*. Wien: Bundesanstalt Statistik Österreich (STATISTIK AUSTRIA).
- STREICHER, K. N., PADEY, P., PARRA, D., BÜRER, M. C., SCHNEIDER, S. & PATEL, M. K. 2019. Analysis of space heating demand in the Swiss residential building stock: Element-based bottom-up model of archetype buildings. *Energy and Buildings*, 184, 300-322.
- UN 2018. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

7.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über methodische Ansätze zur Modellierung von Gebäudewärmebedarfen; eigene Darstellung abgeleitet aus (Ferrari et al., 2019, Nageler et al., 2018, Brøgger and Wittchen, 2018, Li et al., 2017, Ballarini et al., 2014) 9

Abbildung 2: Darstellungsmöglichkeiten zur Kartierung von Wärmebedarfen (Brunner, 2017).....	10
Abbildung 3: Grundlagen räumlicher Energieplanung und relevante Handlungsfelder	16
Abbildung 4: Einbettung der Thesis im Kontext der räumlichen Energieplanung bzw. im Kontext des Forschungsprojektes S/E/P.....	17
Abbildung 5: Energiefluss vom Heizenergiebedarf zum Wärmebedarf (OIB, 2006 p.165).....	19
Abbildung 6: Workflow / Methode Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt S/E/P (eigene Darstellung)	24
Abbildung 7: Methode zur Modellierung des Wärmebedarfs WB (WB = HWB + WWWB)	30
Abbildung 8: Methode zur Modellierung von Heizenergiebedarf (HEB), Primärenergiebedarf (PEB) und CO ₂ Emissionen	31
Abbildung 9: Einwohnerdichte (aggregiert auf 100x100 Meter Raster) Stadt Gleisdorf (basierend auf AGWR, Juli 2019)	35
Abbildung 10: Verwaltungsgrenzen und Gebäudestandorte Stadtgemeinde Gleisdorf (basierend auf AGWR, Juli 2019)	36
Abbildung 11: Brutto-Grundfläche Gebäudebestand 2019 nach Nutzungskategorie	37
Abbildung 12: Brutto-Grundfläche Gebäudebestand 2019 nach Gebäudekategorie und Baualtersklasse.....	37
Abbildung 13: Bestehende Leitungsinfrastruktur Fernwärme und Erdgas Stadt Gleisdorf (Stand: 09/2017)	38
Abbildung 14: Verteilung der Wärmebereitstellungssysteme nach Art des Brennstoffes; Gemeinde Gleisdorf Juni 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von C. Hütter Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH).....	39
Abbildung 15: Verteilung der Wärmebereitstellungssysteme nach Heizungsart; Gemeinde Gleisdorf Juni 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von C. Hütter Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH)	39
Abbildung 16: Vorwiegend verwendeter Brennstofftyp (typBrst mit dem höchsten Anteil am HEB je 100 Meter Rasterzelle); Gemeinde Gleisdorf Juli 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH)	40
Abbildung 17: Vorwiegend verwendeter Brennstofftyp (typBrst mit dem höchsten Anteil am HEB je 100 Meter Rasterzelle); Stadt Gleisdorf Juli 2019 (eigene Auswertung basierend auf Daten von Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH)	40
Abbildung 18: Energiebilanz nach Baualtersklassen für den Wohnsektor	42
Abbildung 19: Energiebilanz nach Baualtersklassen für den Wohnsektor	43
Abbildung 20: Wärmedichtekarte Stadtgemeinde Gleisdorf (Bezug: Heizenergiebedarf); eigene Darstellung und Datenbasis	44
Abbildung 21: Wärmedichtekarte Stadt Gleisdorf (Bezug: Heizenergiebedarf); eigene Darstellung und Datenbasis	44
Abbildung 22: Zonierungsplan basierend auf der Wärmedichtekarte für Gleisdorf (Bezug: Heizenergiebedarf); eigene Darstellung und Datenbasis.....	45
Abbildung 23: Workflow / Methode Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt Heat Roadmap Europe	47
Abbildung 24: Wärmedichtekarte Stadtgemeinde Gleisdorf (Bezug: delivered energy); Datenquelle: Heat Roadmap Europe	48
Abbildung 25: Zonierungsplan basierend auf der Wärmedichtekarte für Gleisdorf aus dem Projekt Heat Roadmap (Bezug: delivered energy); Datenquelle: Heat Roadmap Europe	49

Abbildung 26: Workflow / Methode Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt Hotmaps (Pezzutto et al., 2019b).....	50
Abbildung 27: Wärmedichtekarte Stadtgemeinde Gleisdorf (Bezug: delivered energy); Datenquelle: Projekt Hotmaps.....	52
Abbildung 28: Zonierungsplan basierend auf der Wärmedichtekarte für Gleisdorf aus dem Projekt Hotmaps	53
Abbildung 29: Methodenvergleich: Gesamtenergiebilanz (Heizenergiebedarf) für das Untersuchungsgebiet (HRE - Heat Roadmap Europe: klimabereinigt für das Referenzjahr 2016, Faktor 1,046; S/E/P: nur WG und NWG, ohne SKG, klimabereinigt).....	54
Abbildung 30: Methodenvergleich: Anzahl und Werteausprägungen der Zellen (HRE: klimabereinigt für das Referenzjahr 2016 Faktor 1,046; S/E/P: WG und NWG, ohne SKG).....	57
Abbildung 31: Methodenvergleich: Werteausprägungen der hektargenaue Wärmedichten im Projekt Heat Roadmap Europe (links) und Hotmaps (rechts), jeweils überlagert mit den Standortkoordinaten der Gebäude laut AGWR sowie den Gebäudepolygonen aus OpenStreetMap .	58
Abbildung 32: Modellierter Wärmebedarf vs. gemessenem Verbrauch differenziert nach Gebäudenutzung (Messjahr: 2017).....	60
Abbildung 33: Modellierter Wärmebedarf vs. gemessenem Verbrauch differenziert nach Gebäudealter (Messjahr: 2017)	61
Abbildung 34: Wärmedichtekarte Stadt Gleisdorf überlagert mit der bestehenden Fernwärmetrasse und den Objektadressen	62
Abbildung 35: Zonierungsplan Stadt Gleisdorf überlagert mit der bestehenden Fernwärmetrasse ...	62
Abbildung 36: Zonierungsplan Stadt Gleisdorf überlagert mit der bestehenden Fernwärmetrasse inkl. dem kurzfristig geplanten Ausbau. Für diesen finalen Zonierungsplan wird neben dem Kriterium Wärmedichte auch das Kriterium der Nähe (50 Meter Buffer) zur bestehenden und kurzfristig geplanten Fernwärmetrasse berücksichtigt.....	63

7.4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datengrundlagen	12
Tabelle 2: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten gemäß HRE (in Anlehnung an Persson et al. (2017, S.96).....	22
Tabelle 3: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten gemäß BFE (in Anlehnung an Nussbaumer et al. (2018, S.105).....	22
Tabelle 4: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten; eigene Interpretation, abgeleitet aus (Nussbaumer et al., 2018) und (Persson et al., 2017).....	22
Tabelle 5: Datengrundlagen (Eingangsdaten) zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung	25
Tabelle 6: Attributdomänen für Gebäudekategorie (gdeKat) und Gebäudenutzung (gdeNutz)	26
Tabelle 7: Attributdomänen für Gebäudealtersklasse (gdeAlter).....	27
Tabelle 8: Attributdomänen für Gebäudestatus (gdeStatus).....	28
Tabelle 9: Attributdomänen für Heizungsart (hgzArt)	29
Tabelle 10: Attributdomänen für Brennstoffart (HzgBrst)	29
Tabelle 11: Heizungstypen (typHzg) zur Modellierung des Heizenergiebedarfes	31
Tabelle 12: Attributdomänen für Energieeffizienztyp der Heizung (typEEff)	33

Tabelle 13: Berechnungsfaktor f_{HEB} für kleine Wohngebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser) in Abhängigkeit des Heizungstyps (typHzg) und der Energieeffizienzklasse der Heizung (typEEff)	33
Tabelle 14: Berechnungsfaktor f_{HEB} für große Wohngebäude (MFH_kl, MFH_gr, Wohnheim) sowie für alle NWG und SKG in Abhängigkeit des Heizungstyps (typHzg) und der Energieeffizienzklasse der Heizung (typEEff)	34
Tabelle 15: Energie- und Ökobilanz Gemeinde Gleisdorf (Absolutwerte, berechnet für das Standortklima 2016)	41
Tabelle 16: Klassifizierung von Wärmebedarfsdichten; eigene Interpretation, abgeleitet aus (Nussbaumer et al., 2018) und (Persson et al., 2017)	43
Tabelle 17: Methodenvergleich: Anzahl und Werteausprägungen der Zellen (HRE - Heat Roadmap Europe: klimabereinigt für das Referenzjahr 2016, Faktor 1,046; S/E/P: nur WG und NWG, ohne SKG, klimabereinigt)	54
Tabelle 18: Ergebnis Methodenvergleich: Gegenüberstellung Wärmedichtekarten	55
Tabelle 19: Ergebnis Methodenvergleich: Gegenüberstellung Zonenkarten	56
Tabelle 20: Gegenüberstellung modellierter zu gemessener Heizenergiebedarfe für 81 fernwärmeversorgte Gebäude im Untersuchungsgebiet (Messjahr: 2017)	59
Tabelle 21: Attributtabelle zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt S/E/P	78
Tabelle 22: Attributdomänen (Wertevorräte, Objektdatenkatalog).....	80
Tabelle 23: Gebäudetypologie-Matrix	82
Tabelle 24: Wertematrix für die Zuweisung der Faktoren f_{HEB} , f_{PE} und f_{CO_2} für kleine WG (EZFH) ..	86
Tabelle 25: Wertematrix für die Zuweisung der Faktoren f_{HEB} , f_{PE} und f_{CO_2} für große WG (MFH_kl, MFH_gr, Wohnheim), NWG und SKG.....	87
Tabelle 26: Zuweisungsregeln für das Attribut Heizungstyp (typHzg) für alle theoretisch möglichen Kombinationen von Heizungsart (hgzArt) und Brennstoffart (hgzBrst); schwarz: real mögliche (plausible) Kombinationen; blau: Annahmen bei fehlenden oder unzureichenden Inputdaten; rot: Zuweisung bei Eingabedaten, die zu unplausiblen Kombinationen führen (z.B. Heizungsart Wärmepumpe und Brennstofftyp Kohle).....	89
Tabelle 27: Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO_2 gemäß OIB RL6 2019.....	90
Tabelle 28: Modellierter Wärmebedarf vs. gemessener Wärmeverbrauch	91

8. Anhang

8.1. Attributtabelle und Attributdomänen

Die nachfolgende Tabelle 21 enthält eine Liste aller relevanten Attribute, die für eine Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung erforderlich sind. Die Liste umfasst jeweils eine Kurzbezeichnung und Beschreibung sowie die Angabe des Datentyps je Attribut. *Ausgegraute* Attribute sind optional und für die Wärmebedarfsmodellierung nicht unbedingt erforderlich. Im Sinne einer umfassenden Bestandsaufnahme der Gebäude stellen diese Attribute allerdings einen Mehrwert dar und können für zukünftige Auswertungen im Datenmodell / der Gebäudedatenbank bereits berücksichtigt werden (für das gegenständliche Untersuchungsgebiet liegen die Informationen zum Großteil vor).

Attribute mit Index I sind Eingangsdaten aus den angeführten Datenquellen (siehe Tabelle 5). Index I / O zeigt an, dass Inputdaten für die endgültige Nutzung in der Gebäudedatenbank noch weiter prozessiert wurden (Migration zwischen unterschiedlichen Quellen, z.B. AGWR und ZEUS, einheitliche Bezeichnung / Kategorisierung entsprechend einer Wertedomäne, etc.). Index O zeigt an, dass es sich um generische Ausgangsdaten handelt (aus Berechnungen sowie Wertezuweisungen aus den Typologie-Tabellen). Die Wertausprägungen aller Attribute mit der Spezifikation *Domain* sind durch konkrete Wertedomänen (Wertevorräte) festgelegt. Eine Übersicht über alle Attributdomänen ist Tabelle 22 zu entnehmen.

Tabelle 21: Attributtabelle zur Gebäudekartierung und Wärmebedarfsmodellierung im Projekt S/E/P

Merkmal	Attributliste	Beschreibung	I / O	Spezifikation
Adressierung	dbID	laufende ID je Gebäude / Objekt	I	Integer (Objekt-ID)
	adrID	AGWR Adresscode	I	Integer
	objID	AGWR Objektnummer	I	Integer
	gdeAdr	AGWR Gebäudeadresse	I	Text
	gdeHW	AGWR Hochwert Objektkoordinate (x-Wert)	I	Double
	gdeRW	AGWR Rechtswert Objektkoordinate (y-Wert)	I	Double
	epsg	Referenz-Koordinatensystem	I	Integer
	<i>plz</i>	<i>Postleitzahl</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>
	<i>gkz</i>	<i>Gemeindekennziffer</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>
	<i>okz</i>	<i>Ortschaftskennziffer</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>
	<i>oName</i>	<i>Ortschaftsname</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>
	<i>kgNr</i>	<i>Katastralgemeindennummer</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>
	<i>kgName</i>	<i>Katastralgemeindenname</i>	<i>I</i>	<i>Text</i>
	<i>gdeAnzHWS</i>	<i>Anzahl Hauptwohnsitze</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>
<i>gdeAnzNWS</i>	<i>Anzahl Nebenwohnsitze</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>	
POINT_X	korrigierter x-Wert	O	Double	
POINT_Y	korrigierter y-Wert	O	Double	
Klimainformationen	fHGT	HGT-Faktor zur Klimabereinigung	I	Double
	<i>fKGT</i>	<i>KGT-Faktor zur Klimabereinigung [-]</i>	<i>I</i>	<i>Double</i>
Gebäudenutzung	gdeKat	Gebäudekategorie	I / O	Domain / Text
	gdeNutz	Gebäudenutzung (Hauptnutzung) (>50% NGF)	I / O	Domain / Text
	gdeNutzQ	Gebäudenutzung Quellenverweis	I	Text
	<i>gdeAnzNutz</i>	<i>Anzahl der Gebäudenutzungen</i>	<i>I / O</i>	<i>Integer</i>
	<i>gdeUIDNr</i>	<i>UID-Nummer bei Gewerbeobjekten</i>	<i>I</i>	<i>Text</i>
	<i>gdeInfo</i>	<i>weitere Gebäudeinfos</i>	<i>I / O</i>	<i>Text</i>
Gebäudehüllqualität	<i>gdeBaujahr</i>	<i>Gebäudebaujahr</i>	<i>I</i>	<i>Integer</i>
	gdeAlter	Gebäudealtersklasse	I / O	Domain / Text
	gdeAlterQ	Gebäudealter Quelle	I	Text
	<i>gdeHWB_rk</i>	<i>spezifischer HWB, Referenzklima in kWh/m²a</i>	<i>I</i>	<i>Double</i>

	gdeHWB_sk gdeHWBQ gdeKB_rk gdeKB_sk gdeKBQ gdeUAges gdeUAdf gdeUAod gdeUAaw gdeUAfe gdeUAfb gdeUAkd	spezifischer HWB, <i>Standortklima</i> in kWh/m ² a Gebäude-HWB Quelle spezifischer KB, <i>Referenzklima</i> in kWh/m ² a spezifischer KB, <i>Standortklima</i> in kWh/m ² a Gebäude-KB Quelle UA-Wert gesamt in W/m ² K UA-Wert Dachfläche in W/m ² K UA-Wert oberste Geschoßdecke in W/m ² K UA-Wert Außenwand in W/m ² K UA-Wert Fenster in W/m ² K UA-Wert Fußboden UA-Wert Kellerdecke	I I I I I I I I I I I I	Double Text Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double
Gebäudeidentifikation	gdeSanJahr gdeStatus gdeStatusQ	Jahr der Gebäudesanierung Gebäudestatus Gebäudestatus Quelle	I I / O I	Integer Domain / Text Text
Gebäudeabmessung	gdeNGF gdeBGF gdeBGFQ gdeHoehe gdeAnzOG gdeAnzUG gdeDachForm gdeAc gdeVc gdelc gdeLEK	Nettogrundfläche in m ² Bruttogrundfläche, konditioniert in m ² Gebäude-BGF Quelle Gebäudehöhe in m Anzahl Obergeschoße Anzahl Untergeschoße] Dachform des Gebäudes Gebäudehüllfläche, konditioniert in m ² Gebäudevolumen, konditioniert in m ² charakteristische Länge des Gebäudes in m LEK-Wert des Gebäudes [-]	I I I I I I I O O O O	Double Double Text Double Integer Integer Domain / Text Double Double Double Double
Gebäudeheizungssystem	hgzArt hgzBrst hgzInfoQ hgzBaujahr hgzPn hgzKesselEta hgzWPJAZ hgzTypRH hgzTypWWB hgzSolarPV hgzSTm2 hgzPVkwp	Heizungsart (Kesseltyp / WP-Typ) Heizung Brennstoffart Quelle Heizungsinfos Heizung Baujahr Heizung Nennleistung in kW Kessel Nutzungsgrad [-] WP Jahresarbeitszahl [-] Art der Raumheizung Art der BWW-Bereitung Solarthermie / PV installiert [J/N] Installierte Fläche Solarthermie in m ² Installierte Leistung PV in kWpeak	I / O I / O I I I I I I I I I	Domain / Text Domain / Text Text Integer Double Double Double Text Text Text Double Double
Modellierung	typGde typHzg typBrst typEEff gdeHWB_rk gdeWWWB gdeHTEB gdeKTEB gdeKB_rk gdeHHSB fHEB fHEBfw fPEB fCO2e HWB gdeHWB WB gdeWB HEB gdeHEB	Gebäudetyp Heizungstyp Brennstofftyp Heizung Energieeffizienztyp Heizung spezifischer HWB, Referenzklima in kWh/m ² a spezifischer WWWB in kWh/m ² a spezifischer HTEB in kWh/m ² a spezifischer KTEB in kWh/m ² a spezifischer KB, <i>Referenzklima</i> in kWh/m ² a spezifischer HHSB in kWh/m ² a Umrechnungsfaktor HEB [-] Umrechnungsfaktor HEB (Fernwärme) [-] Umrechnungsfaktor PEB [-] Umrechnungsfaktor CO ₂ Äquivalente [g/kWh] HWB, spezifisch in kWh/m ² a, Standortklima HWB, absolut in MWh/a, Standortklima WB, spezifisch in kWh/m ² a, Standortklima WB, absolut in MWh/a, Standortklima HEB, spezifisch in kWh/m ² a, Standortklima HEB, absolut in MWh/a, Standortklima	O O	Text Text Domain / Text Domain / Text Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double Double

	HEB_fw gdeHEB_fw PEP gdePEB CO2e gdeCO2e	HEB Fernwärme, spezifisch in kWh/m2a, <i>SK</i> HEB Fernwärme, absolut in MWh/a, <i>SK</i> PEB, spezifisch in kWh/m2a, <i>Standortklima</i> PEB, absolut in MWh/a, <i>Standortklima</i> CO₂-Emissionen, spezifisch in kgCO ₂ e/m2BGF CO₂-Emissionen, absolut in tCO ₂ e/a	O O O O O O	Double Double Double Double Double Double
Verschiedenes	dbNamBearb dbDatBearb dbAenderung01 dbAenderung02 dbAenderung03	Name BearbeiterIn Datum der letzten Bearbeitung (Änderung) Beschreibung der 1sten Änderungen Beschreibung der 2ten Änderungen Beschreibung der 3ten Änderungen	I I I I I	Text Datum Text Text Text

Tabelle 22: Attributdomänen (Wertevorräte, Objektdatenkatalog)

Attribut	Attributdomänen	Beschreibung
gdeKat	01 WG 02 NWG 03 SKG 04 SnKG 99 oInfo	Wohngebäude Nichtwohngebäude Sonstige konditionierte Gebäude Sonstige nicht konditionierte Gebäude Gebäudeklasse unbekannt
gdeNutz	01 EZFH 02 MFH_kl 03 MFH_gr 04 Wohnheim 05 Buero 06 Bildung 07 Gesundheit 08 Beherbergung 09 Gastronomie 10 Veranstaltung 11 Sport 12 <i>Hallenbad</i> 13 Handel 14 Infrastruktur 15 Landwirtschaft 16 Kultgebäude 17 Produktion 18 AndereSKG 19 Lager 20 Kleingebäude 22 AndereSnKG 99 oInfo	Gebäude mit einer oder zwei Wohnungen Gebäude mit drei bis neun Wohnungen Gebäude mit neun oder mehr Wohnungen Wohngebäude für Gemeinschaften Büro- und Verwaltungsgebäude Bildungseinrichtung Krankenhaus Beherbergungsbetrieb Gaststätte Veranstaltungs- und Kulturstätte Sportstätte <i>Hallenbad</i> Groß- und Einzelhandelsgebäude Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens landwirtschaftliches Betriebsgebäude Kirche und sonstiges Kultgebäude Industriegebäude, produzierendes Gewerbe Anderes / unbekanntes konditioniertes Gebäude Behälter, Silo, unbeheiztes Lager unbeheiztes Klein- oder Nebengebäude, Garage, etc. Anderes nicht konditioniertes Gebäude Gebäudekategorie unbekannt
gdeAlter	01 1919 02 1944 03 1960 04 1980 05 1990 06 2000 07 2010 08 2020 99 oInfo	bis 1918 1919–1944 1945–1960 1961–1980 1981–1990 1991–2000 2001–2010 >2010 (Neubau) Gebäudealtersklasse unbekannt
gdeStatus	01 aktiv 02 saniert 03 Denkmal 04 Abbruch 07 inBau 08 nieExistent 99 oInfo	Bestandsgebäude aktiv Bestandsgebäude aktiv, saniert Bestandsgebäude aktiv, denkmalgeschützt Gebäudeabbruch Gebäude in Bau Gebäude existiert nicht Gebäudestatus unbekannt

hgzArt	01	Sys1_kessel	Kessel: Standardheizkessel
	02	Sys2_nt-kessel	Kessel: Niedertemperaturkessel
	03	Sys3_bw-kessel	Kessel: Brennwertkessel
	04	Sys4_nw	Nahwärme: Blockheizung, Gaskombitherme
	05	Sys5_fw	Fernwärme
	06	Sys6_rhg	Raumheizgerät: Einzelofen, Herd, Kachelofen
	07	Sys7_st	thermische Solaranlage
	08	Sys8_wp_lw	Wärmepumpe: Außenluft/Wasser
	09	Sys9_wp_sw	Wärmepumpe: Sole/Wasser (inkl. Direktverdampfer)
	10	Sys10_wp_ww	Wärmepumpe: Wasser/Wasser (Grundwasser-WP)
	11	Sys11_wp_andere	Wärmepumpe: sonstige (z.B. PH-Kompaktgerät)
	12	Sys12_ehgz	Stromheizung (z.B.: Elektrostrahler, Infrarotpaneele)
	13	Sys13_andere	sonstiges WBS (z.B.: Mikro-KWK, Dampferzeuger)
	14	unbeheizt	Gebäude / Objekt unbeheizt
99	oInfo	Wärmebereitstellungssystem unbekannt	
hgzBrst	01	Kohle	Kohle
	02	Heizöl	Heizöl (Extraleicht, Leicht)
	03	Erdgas	Erdgas
	04	Fluessiggas	Flüssiggas
	06	Scheitholz	Scheitholz
	07	Hackschnitzel	Hackschnitzel
	08	Holz-Pellets	Holz-Pellets
	09	Strom	Strom
	12	unbeheizt	Gebäude / Objekt nicht beheizt
99	oInfo	Brennstoffart unbekannt	
typBrst	01	fossil	== hgzBrst (Kohle, Heizöl, Erdgas, Flüssiggas)
	02	biogen	== hgzBrst (Scheitholz, Hackschnitzel, Holz-Pellets)
	03	strom	== hgzBrst (strom)
	04	nw-fossil	Nahwärme, fossil == hgzArt (Sys4_nw) + typBrst (fossil)
	05	nw-biogen	Nahwärme, biogen == hgzArt (Sys4_nw) + typBrst (biogen)
	06	fw-fossil	Fernwärme, fossil == hgzArt (Sys5_fw) + typBrst (fossil)
	07	fw-biogen	Fernwärme, biogen == hgzArt (Sys5_fw) + typBrst (biogen)
	08	unbeheizt	Gebäude nicht beheizt
99	oInfo	Brennstoffart unbekannt	
typEEff	01	gering	== gdeAlter (1919, 1944, 1960, 1980)
	02	mittel	== gdeAlter (1990, 2000)
	03	hoch	== gdeAlter (2010, 2020)
typGde	== „gdeKat“ + „gdeNutz“ + „gdeAlter“		Verkettung der Attribute für eine Wertezuweisung mittels Gebäudetypologie – vgl. Tabelle 23
typHzg	== „hgzArt“ + „typBrst“ + „typEEff“		Verkettung der Attribute für eine Wertezuweisung mittels Heizungstypologie – vgl. Tabelle 24 und Tabelle 25

8.2. Gebäudetypologie-Matrix

Die Gebäudetypologie-Matrix beinhaltet archetypische Gebäudemerkmale für die 22 definierten Gebäudenutzungskategorien sowie für jeweils neun Baualtersklassen je Kategorie. Die gesamte Matrix umfasst somit 198 Gebäudetypen (22 Nutzungskategorien x 9 Baualtersklassen) mit jeweils spezifischen Kennzahlen für den HWB und WWWB sowie für einige Nichtwohngebäude auch für den KB¹¹.

Jeder Gebäudetyp ist durch die Verknüpfung der Attribute Gebäudekategorie (attr: gdeKat), Gebäudenutzung (attr: gdeNutz) und Gebäudealtersklasse (attr: gdeAlter) definiert:

¹¹ Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus in der Quantifizierung der Heizenergiebedarfe im Gebäudesektor, der Kühlbedarf wurde also nicht weiter betrachtet und ist Gegenstand laufender Forschungsaktivitäten im Projekt S/E/P. Für eine Gesamtenergiebilanzierung von Gebäuden ist eine Erweiterung der Gebäudetypologie Matrix um Kennzahlen für den Haushaltsstrombedarf (HHSB) einfach möglich und ebenfalls Gegenstand laufender Aktivitäten.

typGde == „gdeKat“ + „gdeNutz“ + „gdeAlter“ (z.B.: WG_EZFH_2020)

Die in Tabelle 23 angeführten Kennzahlen sind Ergebnisse aus den Projekten heatswap_Salzburg (Rehbogen et al., 2017) und Hotmaps (Pezzutto et al., 2019b) und wurden im gegenständlichen Projekt vereinzelt basierend auf verfügbaren Messdaten in Gleisdorf kalibriert (siehe Spalte Quelle / Anmerkungen). Insbesondere die HWB-Werte für ältere NWG aus dem Projekt Hotmaps wurden nach unten korrigiert. Diese Korrektur entspricht auch Erkenntnissen aus einer nationalen Studie, wonach rechnerische HWB-Werte bei älteren Gebäuden tendenziell den realen Verbrauch überschätzen (Bauer and Weiler, 2013)¹². Die erarbeitete Gebäudetypologie-Matrix kann / soll als dynamisches Dokument angesehen werden, das mit der Verfügbarkeit von *besseren* (im Sinne von repräsentativeren) Kennzahlen für die unterschiedlichen Gebäudenutzungskategorien weiter optimiert werden kann.

Für die Veröffentlichung der vorliegenden Thesis wurden die verwendeten Kennzahlen aus dem Projekt heatswap_Salzburg in Tabelle 23 aus Datenschutzgründen gelöscht, die Kennzahlen aus dem Projekt Hotmaps sind Open Source (vgl. Kapitel 3.3) und nachfolgend angeführt.

Tabelle 23: Gebäudetypologie-Matrix

typGde	HWB kWh/(m ² _{BGF} ·a)	WWWB kWh/(m ² _{BGF} ·a)	KB kWh/(m ² _{BGF} ·a)	HHSB kWh/(m ² _{BGF} ·a)	Quelle / Anmerkung
WG_EZFH_1919					Q: HeatSWAP nicht öffentlich
WG_EZFH_1944					
WG_EZFH_1960					
WG_EZFH_1980					
WG_EZFH_1990					
WG_EZFH_2000					
WG_EZFH_2010					
WG_EZFH_2020					
WG_EZFH_oInfo					
WG_MFH_kl_1919					
WG_MFH_kl_1944					
WG_MFH_kl_1960					
WG_MFH_kl_1980					
WG_MFH_kl_1990					
WG_MFH_kl_2000					
WG_MFH_kl_2010					
WG_MFH_kl_2020					
WG_MFH_kl_oInfo					
WG_MFH_gr_1919					Q: HeatSWAP nicht öffentlich
WG_MFH_gr_1944					
WG_MFH_gr_1960					
WG_MFH_gr_1980					
WG_MFH_gr_1990					
WG_MFH_gr_2000					
WG_MFH_gr_2010					

¹² Aus der Studie geht auch hervor, dass rechnerische HWB-Werte für Neubauten häufig zu optimistisch angesetzt werden und die tatsächlichen Verbräuche oftmals etwas höher liegen. Eine Korrektur wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgenommen und konnte im Rahmen der Validierung auch nicht eindeutig bestätigt werden.

WG_MFH_gr_2020					
WG_MFH_gr_oInfo					
WG_Wohnheim_1919					Q: HeatSWAP
WG_Wohnheim_1944					nicht öffentlich
WG_Wohnheim_1960					
WG_Wohnheim_1980					
WG_Wohnheim_1990					
WG_Wohnheim_2000					
WG_Wohnheim_2010					
WG_Wohnheim_2020					
WG_Wohnheim_oInfo					
NWG_Buero_1919	110.0	4.7	78.3		Q: EU Projekt Hotmaps (Typ Offices for AT); HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert
NWG_Buero_1944	100.0	4.7	78.3		
NWG_Buero_1960	84.7	4.7	73.1		
NWG_Buero_1980	75.4	4.7	74.8		
NWG_Buero_1990	56.2	4.7	75.6		
NWG_Buero_2000	47.6	4.7	63.5		
NWG_Buero_2010	18.5	4.7	57.8		
NWG_Buero_2020	14.7	4.7	56.6		
NWG_Buero_oInfo	63.4	4.7	69.8		
NWG_Bildung_1919					Q: HeatSWAP
NWG_Bildung_1944					nicht öffentlich
NWG_Bildung_1960					
NWG_Bildung_1980					
NWG_Bildung_1990					
NWG_Bildung_2000					
NWG_Bildung_2010					
NWG_Bildung_2020					
NWG_Bildung_oInfo					
NWG_Gesundheit_1919	110.0	23.9	79.7		Q: EU Projekt Hotmaps (Typ Health for AT); HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert
NWG_Gesundheit_1944	100.0	23.9	79.7		
NWG_Gesundheit_1960	90.0	23.9	74.1		
NWG_Gesundheit_1980	80.0	23.9	74.8		
NWG_Gesundheit_1990	73.1	23.9	75.6		
NWG_Gesundheit_2000	51.1	23.9	58.2		
NWG_Gesundheit_2010	36.9	23.9	65.8		
NWG_Gesundheit_2020	22.8	23.9	60.1		
NWG_Gesundheit_oInfo	70.5	23.9	71.0		
NWG_Beherbergung_1919	110.0	25.0	74.0		Q: EU Projekt Hotmaps (Typ Hotels and Restaurants for AT); WWWB kalibriert; HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert
NWG_Beherbergung_1944	100.0	25.0	74.0		
NWG_Beherbergung_1960	84.0	25.0	77.3		
NWG_Beherbergung_1980	73.4	25.0	78.1		
NWG_Beherbergung_1990	52.7	25.0	78.8		
NWG_Beherbergung_2000	32.0	25.0	60.1		
NWG_Beherbergung_2010	26.4	25.0	67.9		
NWG_Beherbergung_2020	20.7	25.0	62.6		

NWG_Beherbergung_oInfo	62.4	25.0	71.6		
NWG_Gastronomie_1919	110.0	6.0	74.0		<i>Q: EU Projekt Hotmaps (Typ Hotels and Restaurants for AT); HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert</i>
NWG_Gastronomie_1944	100.0	6.0	74.0		
NWG_Gastronomie_1960	84.0	6.0	77.3		
NWG_Gastronomie_1980	73.4	6.0	78.1		
NWG_Gastronomie_1990	52.7	6.0	78.8		
NWG_Gastronomie_2000	32.0	6.0	60.1		
NWG_Gastronomie_2010	26.4	6.0	67.9		
NWG_Gastronomie_2020	20.7	6.0	62.6		
NWG_Gastronomie_oInfo	62.4	6.0	71.6		
NWG_Veranstaltung_1919	110.0	5.0	71.9		
NWG_Veranstaltung_1944	105.0	5.0	71.9		
NWG_Veranstaltung_1960	100.0	5.0	72.2		
NWG_Veranstaltung_1980	95.0	5.0	78.3		
NWG_Veranstaltung_1990	90.0	5.0	76.3		
NWG_Veranstaltung_2000	77.2	5.0	76.9		
NWG_Veranstaltung_2010	76.5	5.0	73.8		
NWG_Veranstaltung_2020	64.2	5.0	73.2		
NWG_Veranstaltung_oInfo	89.7	5.0	74.3		
NWG_Sport_1919	110.0	21.0	71.9		<i>Q: EU Projekt Hotmaps (Typ Other non-residential buildings for EU28); WWWB kalibriert; HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert</i>
NWG_Sport_1944	105.0	21.0	71.9		
NWG_Sport_1960	100.0	21.0	72.2		
NWG_Sport_1980	95.0	21.0	78.3		
NWG_Sport_1990	90.0	21.0	76.3		
NWG_Sport_2000	77.2	21.0	76.9		
NWG_Sport_2010	76.5	21.0	73.8		
NWG_Sport_2020	64.2	21.0	73.2		
NWG_Sport_oInfo	89.7	21.0	74.3		
NWG_Hallenbad_1919	110.0	21.0	71.9		
NWG_Hallenbad_1944	105.0	21.0	71.9		
NWG_Hallenbad_1960	100.0	21.0	72.2		
NWG_Hallenbad_1980	95.0	21.0	78.3		
NWG_Hallenbad_1990	90.0	21.0	76.3		
NWG_Hallenbad_2000	77.2	21.0	76.9		
NWG_Hallenbad_2010	76.5	21.0	73.8		
NWG_Hallenbad_2020	64.2	21.0	73.2		
NWG_Hallenbad_oInfo	89.7	21.0	74.3		
NWG_Handel_1919	110.0	2.6	79.7		<i>Q: EU Projekt Hotmaps (Typ Trade for AT); HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert</i>
NWG_Handel_1944	105.0	2.6	79.7		
NWG_Handel_1960	100.0	2.6	99.6		
NWG_Handel_1980	95.0	2.6	100.6		
NWG_Handel_1990	90.0	2.6	101.6		
NWG_Handel_2000	60.5	2.6	117.9		
NWG_Handel_2010	60.5	2.6	119.0		
NWG_Handel_2020	48.5	2.6	74.0		
NWG_Handel_oInfo	83.7	2.6	96.5		

NWG_Infrastruktur_1919	110.0	10.0	71.9		<i>Q: EU Projekt Hot-maps (Typ Other non-res. buildings for EU28); WWWB kalibriert; HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert</i>
NWG_Infrastruktur_1944	105.0	10.0	71.9		
NWG_Infrastruktur_1960	100.0	10.0	72.2		
NWG_Infrastruktur_1980	95.0	10.0	78.3		
NWG_Infrastruktur_1990	90.0	10.0	76.3		
NWG_Infrastruktur_2000	77.2	10.0	76.9		
NWG_Infrastruktur_2010	76.5	10.0	73.8		
NWG_Infrastruktur_2020	64.2	10.0	73.2		
NWG_Infrastruktur_oInfo	89.7	10.0	74.3		
NWG_Landwirtschaft_1919	60.0	5.0			<i>eigene Annahme /</i>
NWG_Landwirtschaft_1944	60.0	5.0			
NWG_Landwirtschaft_1960	60.0	5.0			
NWG_Landwirtschaft_1980	60.0	5.0			
NWG_Landwirtschaft_1990	60.0	5.0			
NWG_Landwirtschaft_2000	60.0	5.0			
NWG_Landwirtschaft_2010	60.0	5.0			
NWG_Landwirtschaft_2020	60.0	5.0			
NWG_Landwirtschaft_oInfo	60.0	5.0			
NWG_Kultgebäude_1919	10.0	0.5			<i>eigene Annahme /</i>
NWG_Kultgebäude_1944	10.0	0.5			
NWG_Kultgebäude_1960	10.0	0.5			
NWG_Kultgebäude_1980	10.0	0.5			
NWG_Kultgebäude_1990	10.0	0.5			
NWG_Kultgebäude_2000	10.0	0.5			
NWG_Kultgebäude_2010	10.0	0.5			
NWG_Kultgebäude_2020	10.0	0.5			
NWG_Kultgebäude_oInfo	10.0	0.5			
SKG_Produktion_1919	110.0	5.0	71.9		<i>Q: EU Projekt Hot-maps (Typ Other non-residential buildings for EU28); HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert</i>
SKG_Produktion_1944	105.0	5.0	71.9		
SKG_Produktion_1960	100.0	5.0	72.2		
SKG_Produktion_1980	95.0	5.0	78.3		
SKG_Produktion_1990	90.0	5.0	76.3		
SKG_Produktion_2000	77.2	5.0	76.9		
SKG_Produktion_2010	76.5	5.0	73.8		
SKG_Produktion_2020	64.2	5.0	73.2		
SKG_Produktion_oInfo	89.7	5.0	74.3		
SKG_AndereSKG_1919	110.0	5.0	71.9		<i>Q: EU Projekt Hot-maps (Typ Other non-residential buildings for EU28); HWB für ältere Gebäude (<1945) nach unten korrigiert</i>
SKG_AndereSKG_1944	105.0	5.0	71.9		
SKG_AndereSKG_1960	100.0	5.0	72.2		
SKG_AndereSKG_1980	95.0	5.0	78.3		
SKG_AndereSKG_1990	90.0	5.0	76.3		
SKG_AndereSKG_2000	77.2	5.0	76.9		
SKG_AndereSKG_2010	76.5	5.0	73.8		
SKG_AndereSKG_2020	64.2	5.0	73.2		
SKG_AndereSKG_oInfo	89.7	5.0	74.3		

8.3. Heizungstypologie-Matrix

Die Heizungstypologie umfasst insgesamt 20 Heizungstypen und beinhaltet jeweils Faktoren zur Berechnung von Heizenergie f_{HEB} , Primärenergie f_{PEB} und CO₂ Emissionen f_{CO_2} .

Jeder Heizungstyp ist durch die Verknüpfung der Attribute Heizungsart (attr: hzgArt), Brennstofftyp (attr: typBrst) und Effizienztyp (attr: typEEff) definiert:

$$typHzg == „hzgArt“ + „typBrst“ + „typEEff“ \text{ (z.B.: Sys1_kessel_fossil_mittel)}$$

In den nachfolgenden Tabellen sind die Umrechnungsfaktoren f_{HEB} , f_{PEB} und f_{CO_2} für alle plausiblen Heizungstyp / Brennstoffkombinationen angeführt. Die Umrechnungsfaktoren für Heizenergie f_{HEB} liegen in Abhängigkeit der Energieeffizienzklasse des Heizungssystems (gering, mittel oder hoch als Funktion des Gebäudealters) sowie differenziert nach kleinen Wohngebäuden (Tabelle 24) und großen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (Tabelle 25) vor und wurden mit einem Berechnungsmodell ermittelt (vgl. Kapitel 3.1.2). Den Umrechnungsfaktoren für Primärenergie f_{PEB} und CO₂ Emissionen f_{CO_2} liegen jeweils brennstoffspezifische Standardwerte zugrunde (Tabelle 27).

Für nicht plausible oder unbekannte Heizungsart / Brennstoffart Kombinationen wurde jeweils eine Regel definiert, die in jedem Fall die Zuweisung eines Heizungstyps ermöglicht. In Tabelle 26 sind die entsprechenden Zuweisungen ($typHzg$ in Abhängigkeit der Kombination aus $hzgArt$ und $hzgBrst$).

Tabelle 24: Wertematrix für die Zuweisung der Faktoren f_{HEB} , f_{PE} und f_{CO_2} für kleine WG (EZFH)

typHzg	gering <1980	mittel 1981–2000	hoch >2000	hzgBrst	fPE	fPE, n.ern	fPE, ern	fCO ₂ , e
Sys1_kessel_fossil	2.56	1.62	1.24	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys1_kessel_fossil	2.56	1.62	1.24	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys1_kessel_fossil	2.56	1.62	1.24	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0
Sys1_kessel_fossil	2.56	1.62	1.24	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys1_kessel_biogen	2.56	1.77	1.42	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys1_kessel_biogen	2.56	1.77	1.42	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys1_kessel_biogen	2.56	1.77	1.42	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.46	1.55	1.19	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.46	1.55	1.19	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.46	1.55	1.19	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.46	1.55	1.19	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys2_nt-kessel_biogen	2.49	1.72	1.37	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys2_nt-kessel_biogen	2.49	1.72	1.37	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys2_nt-kessel_biogen	2.49	1.72	1.37	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys3_bw-kessel_fossil	n.a.	1.35	1.17	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys3_bw-kessel_fossil	n.a.	1.35	1.17	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys3_bw-kessel_fossil	n.a.	1.35	1.17	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0
Sys3_bw-kessel_fossil	n.a.	1.35	1.17	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys3_bw-kessel_biogen	n.a.	1.38	1.19	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys3_bw-kessel_biogen	n.a.	1.38	1.19	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys3_bw-kessel_biogen	n.a.	1.38	1.19	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys4_nw_fossil	1.32	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6
Sys4_nw_fossil	1.32	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6

Sys4_nw_fossil	1.32	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6
Sys4_nw_fossil	1.32	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6
Sys4_nw_biogen	1.36	1.29	1.15	nw_biogen	1.51	0.10	1.42	13.1
Sys4_nw_biogen	1.36	1.29	1.15	nw_biogen	1.51	0.10	1.42	13.1
Sys4_nw_biogen	1.36	1.29	1.15	nw_biogen	1.51	0.10	1.42	13.1
Sys5_fw_fossil	1.72	1.33	1.23	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_fossil	1.72	1.33	1.23	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_fossil	1.72	1.33	1.23	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_fossil	1.72	1.33	1.23	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_biogen	1.77	1.36	1.25	fw_biogen	1.62	0.38	1.24	78.0
Sys5_fw_biogen	1.77	1.36	1.25	fw_biogen	1.62	0.38	1.24	78.0
Sys5_fw_biogen	1.77	1.36	1.25	fw_biogen	1.62	0.38	1.24	78.0
Sys6_rhg_fossil	2.56	1.62	1.24	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys6_rhg_fossil	2.56	1.62	1.24	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys6_rhg_fossil	2.56	1.62	1.24	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0
Sys6_rhg_fossil	2.56	1.62	1.24	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys6_rhg_biogen	2.56	1.77	1.42	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys6_rhg_biogen	2.56	1.77	1.42	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys6_rhg_biogen	2.56	1.77	1.42	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys8_wp_lw_strom	n.a.	0.45	0.35	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys9_wp_sw_strom	n.a.	0.36	0.24	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys10_wp_ww_strom	n.a.	0.36	0.24	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys11_wp_andere_strom	n.a.	0.41	0.30	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys12_ehgz_strom	1.15	1.10	1.05	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0

Tabelle 25: Wertematrix für die Zuweisung der Faktoren fHEB, fPE und fCO₂ für große WG (MFH_kl, MFH_gr, Wohnheim), NWG und SKG

typHzg	gering <1980	mittel 1981–2000	hoch >2000	HzgBrst	fPE	fPE, n.ern	fPE, ern	fCO ₂ , e
Sys1_kessel_fossil	2.76	1.69	1.24	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys1_kessel_fossil	2.76	1.69	1.24	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys1_kessel_fossil	2.76	1.69	1.24	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0
Sys1_kessel_fossil	2.76	1.69	1.24	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys1_kessel_biogen	2.70	1.84	1.41	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys1_kessel_biogen	2.70	1.84	1.41	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys1_kessel_biogen	2.70	1.84	1.41	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.65	1.62	1.19	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.65	1.62	1.19	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.65	1.62	1.19	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0
Sys2_nt-kessel_fossil	2.65	1.62	1.19	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys2_nt-kessel_biogen	2.62	1.79	1.37	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys2_nt-kessel_biogen	2.62	1.79	1.37	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys2_nt-kessel_biogen	2.62	1.79	1.37	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys3_bw-kessel_fossil	n.a.	1.41	1.17	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys3_bw-kessel_fossil	n.a.	1.41	1.17	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys3_bw-kessel_fossil	n.a.	1.41	1.17	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0

Sys3_bw-kessel_fossil	<i>n.a.</i>	1.41	1.17	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys3_bw-kessel_biogen	<i>n.a.</i>	1.44	1.19	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys3_bw-kessel_biogen	<i>n.a.</i>	1.44	1.19	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys3_bw-kessel_biogen	<i>n.a.</i>	1.44	1.19	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys4_nw_fossil	1.34	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6
Sys4_nw_fossil	1.34	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6
Sys4_nw_fossil	1.34	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6
Sys4_nw_fossil	1.34	1.27	1.12	nw_fossil	1.41	1.41	0.00	315.6
Sys4_nw_biogen	1.38	1.30	1.14	nw_biogen	1.51	0.10	1.42	13.1
Sys4_nw_biogen	1.38	1.30	1.14	nw_biogen	1.51	0.10	1.42	13.1
Sys4_nw_biogen	1.38	1.30	1.14	nw_biogen	1.51	0.10	1.42	13.1
Sys5_fw_fossil	1.83	1.39	1.22	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_fossil	1.83	1.39	1.22	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_fossil	1.83	1.39	1.22	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_fossil	1.83	1.39	1.22	fw_fossil	1.49	1.49	0.00	334.0
Sys5_fw_biogen	1.89	1.42	1.25	fw_biogen	1.62	0.38	1.24	78.0
Sys5_fw_biogen	1.89	1.42	1.25	fw_biogen	1.62	0.38	1.24	78.0
Sys5_fw_biogen	1.89	1.42	1.25	fw_biogen	1.62	0.38	1.24	78.0
Sys6_rhg_fossil	2.76	1.69	1.24	Kohle	1.46	1.46	0.00	375.0
Sys6_rhg_fossil	2.76	1.69	1.24	Heizöl	1.20	1.20	0.00	310.0
Sys6_rhg_fossil	2.76	1.69	1.24	Erdgas	1.10	1.10	0.00	247.0
Sys6_rhg_fossil	2.76	1.69	1.24	Flüssiggas	1.50	0.50	1.00	70.0
Sys6_rhg_biogen	2.70	1.84	1.41	Scheitholz	1.04	0.03	1.01	2.0
Sys6_rhg_biogen	2.70	1.84	1.41	Hackschnitzel	1.16	0.08	1.08	10.0
Sys6_rhg_biogen	2.70	1.84	1.41	Holz-Pellets	1.26	0.23	1.02	39.0
Sys8_wp_lw_strom	<i>n.a.</i>	0.48	0.35	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys9_wp_sw_strom	<i>n.a.</i>	0.38	0.24	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys10_wp_ww_strom	<i>n.a.</i>	0.38	0.24	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys11_wp_andere_strom	<i>n.a.</i>	0.43	0.30	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0
Sys12_ehgz_strom	1.15	1.10	1.05	Strom	1.63	1.02	0.61	227.0

Tabelle 26: Zuweisungsregeln für das Attribut Heizungstyp (typHzg) für alle theoretisch möglichen Kombinationen von Heizungsart (hzgArt) und Brennstoffart (hzgBrst); schwarz: real mögliche (plausible) Kombinationen; blau: Annahmen bei fehlenden oder unzureichenden Inputdaten; rot: Zuweisung bei Eingabedaten, die zu unplausiblen Kombinationen führen (z.B. Heizungsart Wärmepumpe und Brennstofftyp Kohle)

		hzgBrst (Heizung Brennstoffart)									
		<i>Kohle</i>	<i>Heizoel</i>	<i>Erdgas</i>	<i>Fluessiggas</i>	<i>Scheitholz</i>	<i>Hackschnitzel</i>	<i>Holz-Pellets</i>	<i>Strom</i>	<i>unbeheizt</i>	<i>oInfo</i>
hzgArt (Heizungsart)	Sys1_kessel	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_biogen	sys1_biogen	sys1_biogen	sys12_ehgz	-	sys1_fossil
	Sys2_nt-kessel	sys2_fossil	sys2_fossil	sys2_fossil	sys2_fossil	sys2_biogen	sys2_biogen	sys2_biogen	sys12_ehgz	-	sys2_fossil
	Sys3_bw-kessel	sys3_fossil	sys3_fossil	sys3_fossil	sys3_fossil	sys3_biogen	sys3_biogen	sys3_biogen	sys12_ehgz	-	sys3_fossil
	Sys4_nw	sys4_nw-fossil	sys4_nw-fossil	sys4_nw-fossil	sys4_nw-fossil	sys4_nw-biogen	sys4_nw-biogen	sys4_nw-biogen	sys4_nw-fossil	-	sys4_nw-fossil
	Sys5_fw	sys5_fw-fossil	sys5_fw-fossil	sys5_fw-fossil	sys5_fw-fossil	sys5_fw-biogen	sys5_fw-biogen	sys5_fw-biogen	sys5_fw-fossil	-	sys5_fw-fossil
	Sys6_rhg	sys6_fossil	sys6_fossil	sys6_fossil	sys6_fossil	sys6_biogen	sys6_biogen	sys6_biogen	sys12_ehgz	-	sys6_biogen
	Sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	sys8_wp_lw	-	sys8_wp_lw
	Sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	sys9_wp_sw	-	sys9_wp_sw
	Sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	sys10_wp_ww	-	sys10_wp_ww
	Sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	sys11_wp_andere	-	sys11_wp_andere
	Sys12_ehgz	sys12_ehgz	sys12_ehgz	sys12_ehgz	sys12_ehgz	sys12_ehgz	sys12_ehgz	sys12_ehgz	sys12_ehgz	-	sys12_ehgz
	Sys13_andere	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_biogen	sys1_biogen	sys1_biogen	sys12_ehgz	-	sys12_ehgz
	unbeheizt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
oInfo	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_fossil	sys1_biogen	sys1_biogen	sys1_biogen	sys12_ehgz	-	sys1_fossil	

8.4. Umrechnungsfaktoren

Die in dieser Arbeit zugrunde gelegten brennstoffspezifischen Primärenergie- und CO₂eq Emissionsfaktoren entsprechen der Werte inkl. aller Vorketten aus der OIB Richtlinie 6 2019 (OIB, 2019b, S.11ff) und sind in nachfolgender Tabelle 27 angeführt. Die Faktoren werden jeweils mit dem Endenergiebedarf (Heizenergiebedarf) multipliziert.

Kohlendioxidemissionen äquivalent (CO₂eq)

Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden äquivalenten Kohlendioxidemissionen (Treibhausgase), einschließlich jener für Vorketten.

Primärenergiebedarf (PEB)

Der Primärenergiebedarf ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB, ern) und einen nicht erneuerbaren (PEB, n.ern) Anteil auf.

Tabelle 27: Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO₂ gemäß OIB RL6 2019

hgzBrstArt	hgzBrstKlasse	fPE [-]	fPE, n.ern [-]	fPE, ern [-]	fCO ₂ e [gCO ₂ e/kWh]
Kohle	fossil	1.460	1.46	0.00	375.0
Heizöl	fossil	1.200	1.20	0.00	310.0
Erdgas	fossil	1.100	1.10	0.00	247.0
Flüssiggas	fossil	1.500	0.50	1.00	70.0
Scheitholz	biogen	1.043	0.03	1.01	2.0
Hackschnitzel	biogen	1.158	0.08	1.08	10.0
Holz-Pellets	biogen	1.255	0.23	1.02	39.0
Strom	strom	1.623	1.019	0.604	227.0
unbeheizt	unbeheizt	-	-	-	-
unbekannt	unbekannt	-	-	-	-
<i>fw_biogen*</i>	<i>fw_biogen</i>	1.625	0.38	1.24	78.0
<i>fw_fossil**</i>	<i>fw_fossil</i>	1.488	1.49	0.00	334.0
<i>nw_biogen***</i>	<i>nw_biogen</i>	1.513	0.10	1.42	13.1
<i>nw_fossil****</i>	<i>nw_fossil</i>	1.406	1.41	0.00	315.6

*Fernwärme_biogen = Fernwärme + Energieträger Hackschnitzel oder Scheitholz oder Pellets

**Fernwärme_fossil = Fernwärme + Energieträger Heizöl-EL oder Erdgas oder Flüssiggas

***Nahwärme_biogen = Nahwärme + Energieträger Hackschnitzel oder Scheitholz oder Pellets

****Nahwärme_fossil = Nahwärme + Energieträger Heizöl-EL oder Erdgas oder Flüssiggas

Die Konversionsfaktoren für Strom entsprechen (wie in der OIB RL6 empfohlen) dem durchschnittlichen monatlichen österreichischen Liefermix 2014-2018 (Österreich-Mix und Import-Mix) entsprechend der Statistiken des *European Network of Transmission System Operators for Electricity* (entsoe), abzurufen unter <https://www.entsoe.eu>.

Die Ermittlung der Konversionsfaktoren für Fernwärme wurde gemäß der Berechnungsformel in OIB (2019b, S.15) unter Berücksichtigung des tatsächlichen Energieträgermix in Gleisdorf durchgeführt¹³.

¹³ Eckdaten für die Berechnung Fernwärme Gleisdorf: 81% Hackschnitzel, 19% Erdgas, 19% Wärmeverluste Wärmenetz und Speicher, 84% Kesselnutzungsgrad

8.5. Modellierter Wärmebedarf vs. gemessener Wärmeverbrauch

Für das Messjahr 2017 liegen die Jahresabrechnungen von insgesamt 209 Fernwärmekunden (= Anzahl der Wärmemengenzähler) vor, die vom Energieversorger (Stadtwerke Gleisdorf GmbH) für die Validierung zur Verfügung gestellt wurden. Den 209 Wärmemengenzählern konnten insgesamt 81 Gebäude aus der erstellten Gebäudedatenbank für das Gemeindegebiet eindeutig zugewiesen werden. Die Differenz ergibt sich dadurch, dass vor allem bei MFH und Wohnheimen eine Abrechnung je Wohnung erfolgt. Der gemessene Wärmeverbrauch je Gebäude errechnet sich also aus den Summenverbräuchen aller Wärmemengenzähler je Gebäude. Eine Gesamtübersicht der modellierten Wärmebedarfe bzw. der gemessenen Wärmeverbräuche in den 81 untersuchten Gebäuden im Jahr 2017 (jeweils Absolutwerte in MWh pro Jahr sowie spezifische Werte in kWh pro m² BGF pro Jahr) ist in nachfolgender Tabelle 28 zusammengefasst.

Tabelle 28: Modellierter Wärmebedarf vs. gemessener Wärmeverbrauch

ID	gdeNutz	gdeAlter	hzgPNenn kW	gdeBGF m ²	Modell		Messung	
					gdeHEB FW MWh/a	HEB FW kWh/m ² a	gdeHEB FW MWh/a	HEB FW kWh/m ² a
1	Bildung	1980	664	6043	601.9	99.6	441.0	73.0
2	Bildung	2010	oInfo	1867	186.1	99.7	105.8	56.7
3	EZFH	1980	10	157	21.0	134.0	16.5	105.1
4	EZFH	1960	15	147	21.6	146.9	23.4	159.3
5	EZFH	2020	15	250	12.2	49.0	17.7	70.8
6	EZFH	1980	11	149	20.0	134.0	22.3	149.9
7	EZFH	1960	15	418	61.4	146.9	18.3	43.8
8	EZFH	1980	11	180	24.1	134.0	27.1	150.8
9	MFH_kl	1980	13	134	17.3	128.9	28.4	211.7
10	EZFH	1990	11	210	21.1	100.4	21.0	100.0
11	EZFH	1980	11	252	33.8	134.0	17.9	71.1
12	EZFH	1980	9	258	34.6	134.0	18.3	71.0
13	EZFH	1980	11	248	33.2	134.0	11.3	45.4
14	EZFH	1980	11	216	28.9	134.0	12.1	56.0
15	EZFH	1980	11	201	26.9	134.0	16.0	79.6
16	EZFH	1980	11	146	19.6	134.0	15.6	107.1
17	EZFH	1990	13	348	34.9	100.4	13.5	38.6
18	EZFH	1980	9	148	19.8	134.0	12.9	86.9
19	EZFH	1980	9	154	20.6	134.0	19.8	128.7
20	EZFH	1990	12	242	24.3	100.4	20.6	85.1
21	EZFH	1960	12	270	39.7	146.9	27.8	102.9
22	EZFH	1980	12	290	38.8	134.0	15.7	54.3
23	EZFH	1980	12	286	38.3	134.0	16.5	57.6
24	EZFH	1990	12	222	22.3	100.4	18.5	83.5
25	EZFH	1980	20	282	37.8	134.0	22.1	78.2
26	EZFH	1980	12	188	25.2	134.0	19.2	102.2
27	EZFH	1980	12	244	32.7	134.0	13.5	55.4
28	EZFH	1980	12	194	26.0	134.0	12.7	65.6
29	MFH_kl	1980	12	276	35.6	128.9	31.7	114.8

30	EZFH	1980	15	250	33.5	134.0	19.8	79.2
31	EZFH	1980	12	220	29.5	134.0	19.1	86.8
32	EZFH	1980	12	264	35.4	134.0	16.6	62.9
33	EZFH	1980	12	238	31.9	134.0	13.7	57.4
34	EZFH	1980	oInfo	192	25.7	134.0	16.3	85.1
35	MFH_kl	2010	25	590	40.7	68.9	32.5	55.0
36	EZFH	1990	15	254	25.5	100.4	30.6	120.4
37	EZFH	1990	15	131	13.1	100.4	30.6	233.7
38	EZFH	1990	15	171	17.2	100.4	17.7	103.5
39	EZFH	1960	15	131	19.2	146.9	17.2	131.4
40	EZFH	1990	15	131	13.1	100.4	13.7	104.3
41	EZFH	1990	15	146	14.7	100.4	20.2	138.4
42	EZFH	1960	10	115	16.9	146.9	15.4	134.0
43	Bildung	2010	684	9420	938.8	99.7	557.0	59.1
44	MFH_kl	1980	15	537	69.2	128.9	28.5	53.0
45	Produktion	1944	21	831	108.5	130.5	59.0	71.0
46	MFH_gr	2020	62	3686	315.5	85.6	136.4	37.0
47	MFH_kl	1919	15	416	55.6	133.6	27.3	65.5
48	MFH_gr	2020	35	1461	83.3	57.0	70.9	48.5
49	MFH_gr	2020	25	1460	83.3	57.0	66.6	45.6
50	Buero	1980	37	474	45.1	95.1	39.1	82.4
51	Buero	1980	240	2690	269.6	100.2	174.5	64.9
52	EZFH	1990	15	130	13.0	100.4	14.4	111.0
53	EZFH	1990	15	130	13.0	100.4	21.6	166.5
54	EZFH	1990	15	149	15.0	100.4	19.9	133.9
55	EZFH	1990	15	480	48.2	100.4	15.1	31.5
56	EZFH	1990	15	126	12.6	100.4	8.7	69.1
57	EZFH	1990	40	151	15.2	100.4	25.1	166.4
58	MFH_gr	2000	71	948	70.6	74.5	105.2	111.0
59	MFH_gr	2020	23	1169	82.9	70.9	39.8	34.1
60	MFH_kl	2000	150	2755	232.5	84.4	223.3	81.0
61	MFH_kl	2000	150	2504	211.2	84.3	192.9	77.0
62	MFH_gr	2020	118	3363	194.6	57.9	137.3	40.8
63	EZFH	1919	oInfo	504	71.6	142.0	29.5	58.6
64	EZFH	1919	10	52	7.4	142.0	13.4	258.4
65	MFH_gr	2020	40	1158	66.6	57.5	32.0	27.7
66	MFH_gr	2020	36	1146	66.3	57.9	41.1	35.9
67	MFH_gr	2020	87	4218	222.2	52.7	175.1	41.5
68	MFH_gr	2020	oInfo	3276	111.9	34.1	256.9	78.4
69	Buero	2020	oInfo	3374	171.0	50.7	71.4	21.1
70	Wohnheim	2020	oInfo	963	64.9	67.4	20.3	21.1
71	Wohnheim	2020	oInfo	1100	74.1	67.4	30.4	27.7
72	Wohnheim	2020	oInfo	922	62.1	67.4	24.4	26.5
73	Wohnheim	2020	oInfo	1058	71.3	67.4	40.6	38.4
74	Wohnheim	2020	76	1589	107.1	67.4	43.2	27.2
75	Wohnheim	2020	oInfo	892	60.1	67.4	33.9	38.0

76	Wohnheim	2020	oInfo	1125	75.8	67.4	36.0	32.0
77	Wohnheim	2020	61	1493	100.6	67.4	34.5	23.1
78	Wohnheim	2020	oInfo	829	55.9	67.4	27.5	33.1
79	Wohnheim	2020	oInfo	875	59.0	67.4	19.6	22.4
80	Wohnheim	2020	507	9509	437.5	46.0	592.1	62.3
81	MFH_gr	2020	oInfo	3025	175.1	57.9	168.9	55.8