

Österreichweite Modellierung und webbasierte Visualisierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen auf Gemeindeebene

Das Energiemosaik Austria

L. Abart-Heriszt, S. Erker,
S. Reichel, H. Schöndorfer,
E. Weinke, S. Lang

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

43/2020

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

Impressum

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

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

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

Österreichweite Modellierung und webbasierte Visualisierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen auf Gemeindeebene

Das Energiemosaik Austria

DI Dr. Lore Abart-Heriszt, DDI Dr. Susanna Erker
Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung (IRUB),
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)

DI (BA) Steffen Reichel, Mag. Hubert Schöndorfer
Spatial Services Salzburg

Elisabeth Weinke, MSc, Mag. Dr. Stefan Lang
Interfakultärer Fachbereich für Geoinformatik (Z_GIS),
Universität Salzburg

Wien, Salzburg, Juni 2020

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



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

Vorbemerkung

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

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

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

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	8
Abstract	10
1. Ausgangslage für die Entwicklung des Energiemosaiks Austria	12
1.1. Der Klimawandel und der „spatial turn“	12
1.2. Ansätze zur Energiemodellierung.....	13
1.3. Lokale Energiemodelle	13
1.4. Motivation und Ziele	14
2. Methoden und Datengrundlagen des Energiemosaiks Austria.....	16
2.1. Ansatz des Energiemosaiks Austria	16
2.2. Eingangsdaten zur Nutzungs- und Mobilitätsstruktur	17
2.3. Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren	18
2.3.1. Nutzungsspezifische Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren.....	19
2.3.2. Mobilitätsspezifische Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren	20
2.4. Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen	20
2.5. Plausibilitätsprüfung.....	21
2.6. Entwicklung der Vision 2050	21
2.6.1. Berücksichtigung der räumlichen Dynamik.....	22
2.6.2. Strategien für den Klimaschutz	22
2.6.3. Modellierung der Treibhausgasemissionen in der Vision 2050	23
2.7. Geodatenmanagement und Geovisualisierung.....	23
2.8. Bewährung der Methoden	24
3. Ergebnisse des Energiemosaiks Austria	27
3.1. Treibhausgasemissionen auf kommunaler Ebene.....	27
3.2. Energieverbrauch und räumliche Strukturen.....	28
3.3. Energieverbrauch der einzelnen Nutzungsarten.....	31
3.4. Variation des Energieverbrauchs aufgrund spezifischer Nutzungen	32
3.5. Energieverbrauch und Verwendungszwecke	33
3.6. Treibhausgasemissionen in der Vision 2050	33
3.7. Geodatenbank und Webseite.....	34
3.8. Bezug zum Programm „Stadt der Zukunft“ und seinen Zielen.....	35

4.	Schlussfolgerungen aus dem Energiemosaik Austria	37
4.1.	Die Neuartigkeit des Energiemosaiks Austria	37
4.2.	Der Raumbezug des Energiemosaiks Austria	37
4.3.	Der quantitative Ansatz des Energiemosaiks Austria.....	38
4.4.	Das Top-Down- und Bottom-Up-Modell des Energiemosaiks Austria	39
4.5.	Die Genauigkeit des Energiemosaiks Austria	41
4.6.	Die Simulationstechnik des Energiemosaiks Austria.....	41
4.7.	Die Vision 2050 des Energiemosaiks Austria.....	42
4.8.	Räumlich differenzierte Ergebnisse des Energiemosaiks Austria.....	43
4.9.	Technische Umsetzung des Energiemosaiks Austria.....	45
4.10.	Weiterverwendung, Verbreitung und Verwertung des Energiemosaiks Austria.....	45
5.	Ausblick und Empfehlungen.....	48
6.	Verzeichnisse.....	49
6.1.	Abbildungsverzeichnis.....	49
6.2.	Tabellenverzeichnis	49
6.3.	Literaturverzeichnis.....	49

Kurzfassung

In Österreich bilden die Bundesländer die kleinste räumliche Einheit, für die statistische Daten zum Energieverbrauch und Angaben zu den Treibhausgasemissionen vorliegen. Auf Gemeindeebene hingegen sind derartige Informationen bislang nicht verfügbar. Diese Lücke schließt das Energiemosaik Austria, eine **österreichweite, kommunale Energie- und Treibhausgasdatenbank**. Sie stellt den Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen aller österreichischen Städte und Gemeinden in einheitlicher Struktur und Qualität dar und steht auf einer eigenen projektspezifischen Webseite (www.energiemosaik.at) unentgeltlich zur Verfügung.

Das Energiemosaik beruht auf einem flächendeckenden Modell zur Ermittlung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf Gemeindeebene. Das Modell verfolgt einen (raum)planungsbezogenen Ansatz und geht davon aus, dass sich Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf räumliche Strukturen zurückführen lassen. Das Modell setzt daher bei der **Gesamtheit der raumgebundenen Nutzungen** an und berücksichtigt auch die damit verbundenen **Mobilitätsbedürfnisse**. In der Datenbank sind alle Verbraucher von Energie und alle Verursacher von Treibhausgasemissionen gleichwertig abgebildet.

Das Modell stützt sich auf verlässliche, statistische Daten und ist unabhängig von benutzerdefinierten Festlegungen. Ausgangspunkt der Berechnungen ist die Charakterisierung der **Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen** aller österreichischer Gemeinden anhand von **über 90 Parametern** (Wohnnutzflächen, Kulturflächen, Beschäftigte in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor, Verkehrsleistungen). Für jeden Parameter werden vornehmlich aus den österreichischen Energiestatistiken unter Zuhilfenahme weiterer Quellen spezifische Energiekennzahlen abgeleitet. Die Berechnung des kommunalen Energieverbrauchs beruht auf der Summe der Produkte der einzelnen Parameter mit den jeweils spezifischen **Energiekennzahlen**. Das Energiemosaik nimmt dabei auf verschiedene Verwendungszwecke (Wärme, Prozesse, Transport) Bedacht. Weiters werden für jeden Verwendungszweck verschiedene erneuerbare und fossile Energieträger sowie Strom und Fernwärme berücksichtigt, sodass unter Heranziehung von **Emissionsfaktoren** eine differenzierte Ermittlung der Treibhausgasemissionen möglich ist. Die im Energiemosaik Austria dargestellten Daten zum Energieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen bilden Jahreswerte ab.

Die gemeinsame, statistische Datenbasis, die flächendeckende, standardisierte Modellierung und die einheitliche Darstellung der Ergebnisse gewährleisten die **Vergleichbarkeit** unter den rund 2.100 Gemeinden (ergänzt um die 23 Wiener Stadtbezirke). Das Energiemosaik Austria widerspiegelt den gesamten **Energieverbrauch Österreichs**. Werden die Angaben über alle Gemeinden summiert, resultieren im Allgemeinen die Werte der landes- bzw. bundesweiten Energiestatistik. Lediglich im Falle der Mobilität verfolgt das Energiemosaik Austria einen davon abweichenden Ansatz, der sich an den gemeindespezifischen Nutzungen und den von ihnen verursachten Verkehrsleistungen orientiert.

Das Energiemosaik Austria gibt einen detaillierten Einblick in die Struktur des Energieverbrauchs und der damit einhergehenden Treibhausgasemissionen auf Gemeindeebene. Der raumrelevante Ansatz und die detaillierte Beschreibung der raumgebundenen Nutzungen auf Gemeindeebene stellen sicher, dass sich die Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bestmöglich an die jeweils **besondere Situation** der österreichischen Städte und Gemeinden annähert. Abweichungen der modellierten von realen Werten sind unter Berücksichtigung der Schwankungsbreite zu interpretieren, die der Energieverbrauch von Jahr zu Jahr aufweist (meteorologische, konjunkturelle Schwankungen).

Das Energiemosaik Austria wird auf der **Webseite** www.energiemosaik.at nutzergerecht aufbereitet. Als Einführung dienen acht Storylines, die schrittweise an die Datenbank heranführen. Das Hauptaugenmerk der Webseite liegt auf der Aufbereitung der Datenbank in Form von zahlreichen interaktiven Karten, detaillierten Tabellen und weiterführenden Diagrammen. Weiters stehen mehrseitige Portfolios für alle österreichischen Städte und Gemeinden zur Verfügung. Auch Aussagen für Regionen können abgerufen werden. Unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen stehen alle Inhalte für Wissenschaft, Praxis, Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit und damit für eine breite **Anwendung in verschiedenen kommunal- und regionalpolitischen Tätigkeitsfeldern** zur Verfügung (Klimaschutzpläne, Energiestrategien, Mobilitätskonzepte, Infrastrukturentwicklung, Raumplanung).

Mit dem Energiemosaik Austria werden einerseits allen österreichischen Gemeinden und Regionen energie- und klimarelevante Entscheidungsgrundlagen sowie eine Referenz für die Formulierung künftiger Strategien zur Energiewende und zum Klimaschutz zur Verfügung gestellt. Andererseits erlaubt das Energiemosaik Austria auch den übergeordneten Gebietskörperschaften zu beurteilen, welchen Beitrag die einzelnen Gemeinden bzw. Regionen aufgrund ihrer räumlichen Strukturen zu den angestrebten Energie- und Klimastrategien leisten können. In diesem Sinn zeigt das Energiemosaik Austria wesentliche Hebel für die Energiewende und den Klimaschutz auf und bildet eine Grundlage für die **Identifikation regional differenzierter Ansatzpunkte** für energie- und klimarelevante Strategien sowie für die Einschätzung regional unterschiedlicher Wirksamkeiten sektoraler Maßnahmen.

Das Energiemosaik Austria stellt nicht nur eine unerlässliche, strategische Planungs- und Entscheidungsgrundlage dar. Vielmehr leistet es auch einen Beitrag zur **Sensibilisierung** von energie-, klima-, raum-, umwelt- und mobilitätsrelevanten Akteuren sowie der interessierten (Fach)Öffentlichkeit. Außerdem begünstigt das Energiemosaik Austria die Einleitung von Lernprozessen über die Anliegen des Klimaschutzes sowie die räumliche Dimension der Energiewende.

Abstract

In Austria, the provinces are the smallest administrative entities at which statistical data on energy consumption and assumptions on greenhouse gas emissions exist. At the municipal level, however, such information is not yet available. In order to close this gap, the Energy Mosaic Austria has been developed which provides a nationwide, municipal energy and greenhouse gas database. It presents the energy consumption and associated greenhouse gas emissions of all Austrian cities and municipalities in a uniform structure and quality and is publicly available on a project-specific website (www.energiemosaik.at).

The energy mosaic is based on comprehensive modelling of energy consumption and greenhouse gas emissions on a municipal level. It follows a spatial planning-related approach and assumes that energy consumption and the associated greenhouse gas emissions can be linked to spatial structures. The model is therefore based on the entirety of all types of land use and the associated mobility needs. All consumers of energy and all sources of greenhouse gas emissions are equally represented in the database.

The model is based on reliable statistical data and is independent of user-defined input. The starting point for the calculations is a detailed picture of the land use and mobility structures of all Austrian municipalities on the basis of more than 90 parameters (living areas, cultivated areas, employees in industry as well as in the service sector, kilometres travelled). For each parameter, customized energy indicators are derived primarily from Austrian energy statistics and from complementary studies. The sum of the products of structural data and energy indicators figures the entire energy consumption of each municipality. The energy mosaic incorporates all energy purposes (heat, processes, transport). Furthermore, different renewable and fossil energy sources as well as electricity and district heating are considered for each purpose, so that the determination of greenhouse gas emissions is possible by using emission factors. The data on energy consumption and greenhouse gas emissions represent annual values.

The common statistical database, the nationwide standardised model and the uniform presentation of the results ensure comparability among the approximately 2100 municipalities (complemented with the 23 urban districts of Vienna). The Energy Mosaic Austria reflects the total energy consumption of Austria and ensures that the energy consumptions of all municipalities sum up to the value of nationwide energy consumption. Only in the case of mobility the Energy Mosaic Austria follows a different approach, which is based on a land use related method and on kilometres travelled associated with the different types of land use.

The Energy Mosaic Austria provides a detailed insight into the energy consumption and associated greenhouse gas emissions at the municipal level. The spatial planning-related approach and the detailed description of the land use and mobility structures at the municipal level ensure that the modelling of energy consumption and greenhouse gas emissions is as close as possible to the actual situation. Deviations of the model's results from actual values are to be interpreted under consideration of the range that energy consumption shows from year to year (meteorological, economic fluctuations).

The Energy Mosaic Austria is accessible on the website www.energiemosaik.at. Eight storylines serve as an introduction, which lead to the database step by step. The focus of the website lies on the

preparation of the database in the form of numerous interactive maps, detailed tables and continuative diagrams. Furthermore, multi-page portfolios are available for all Austrian cities and municipalities. In addition, information for regions can be called up. In compliance with the terms of use, all contents are available for science, practice, politics, administration and the public and thus for a broad application in various municipal and regional policy fields of activity (climate protection plans, energy strategies, mobility concepts, infrastructure development, spatial planning).

The Energy Mosaic Austria provides an energy- and climate-related decision basis and a reference for future strategies in favour of energy transition and climate protection for all Austrian municipalities and regions. It also allows superordinate authorities to assess the contribution of municipalities and regions to the desired energy and climate strategies depending on their spatial structures. In this sense, the Energy Mosaic Austria points out essential levers for the energy transition and for climate protection and provides a baseline for the identification of regionally differentiated approaches for energy and climate-related strategies as well as for the assessment of regionally differing effectiveness of sectoral measures.

The Energy Mosaic Austria is not only an indispensable strategic planning and decision-making reference. It also contributes to raising the awareness of energy, climate, spatial, environmental and mobility-relevant actors and the interested (professional) public. Furthermore, the Energy Mosaic Austria promotes the initiation of learning processes about the concerns of climate protection and the spatial dimension of the energy transition.

1. Ausgangslage für die Entwicklung des Energiemosaiks Austria

1.1. Der Klimawandel und der „spatial turn“

Der Klimawandel und die globale Erwärmung stellen eine der großen Herausforderungen unserer Zeit dar. Die wachsende Konzentration anthropogener Treibhausgase hat zu einem außergewöhnlichen Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur im letzten Jahrhundert geführt [1]. Um den schädlichen Folgen der globalen Erwärmung, wie z.B. der zunehmenden Zahl extremer Wetterereignisse [2], zu begegnen, werden angemessene Gegenmaßnahmen ergriffen [3-5]. Klimaschutzstrategien beabsichtigen, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter zu begrenzen [6,7]. In zunehmendem Maße sind diese Strategien und die damit befasste Forschung mit der räumlichen Dimension und dem sogenannten „spatial turn“ verbunden [8]. Letzterer betrachtet den Raum und den Raumbezug grundsätzlich als Schlüsseldimension bei der Beantwortung entscheidender politischer Fragen [9]. In diesem Sinn spiegelt der „spatial turn“ die wachsende Bedeutung von Land und Raum [10] unter anderem in klimabezogenen Politiken wider.

Da der fossile Energieverbrauch als Hauptursache für die zunehmende Treibhausgaskonzentration angesehen wird, ist der Energiesektor ein zentrales Handlungsfeld für eine klimaneutrale Zukunft [11]. Entsprechend dem konzeptionellen Rahmen des „spatial turn“ hat ein breiteres Verständnis von Energiepolitik zur Entwicklung der Energieraumplanung geführt [12,13]. Sie beschreibt jenes Teilgebiet der Raumplanung, das sich mit der räumlichen Dimension des Energieverbrauchs und der Energieversorgung befasst [14]. Dieser Forschungs- und Politikbereich konzipiert den „spatial turn“ als das zentrale Merkmal für Energiewende und Klimaschutz [14], d.h. als unverzichtbare Unterstützung für die notwendige Verringerung des Energieverbrauchs und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien [15]. Denn die Wege zur Gestaltung von Klimaschutzstrategien und der Energiewende sind in hohem Maße vom räumlichen Kontext abhängig.

Energiewende und Klimaschutz betreffen alle räumlichen Ebenen [16,17]. Großräumige klima- und energiepolitische Strategien werden auf internationaler und nationaler Ebene erarbeitet. Die Europäische Union und die nationalen Regierungen legen relevante Energieziele fest [z.B. 6,18-21]. Sie basieren auf harmonisierten Energiestatistiken, die das gesamte Gebiet der EU abdecken [22] oder auf statistischen Daten auf nationaler bzw. Landesebene [z.B. 23,24]. Die regionalen und lokalen Verwaltungen sind mit der Umsetzung geeigneter energie- und klimarelevanter Maßnahmen zur Erreichung dieser Zielsetzungen konfrontiert [25,26], stehen aber vor der Herausforderung, dass geeignete Grundlagendaten fehlen oder nur unzureichend verfügbar sind [16,27]. Ohne entsprechende Datenbanken mit hoher räumlicher Auflösung wird sowohl die Festlegung geeigneter Maßnahmen als auch die Abschätzung ihrer Wirksamkeit in Bezug auf die Minderung des Klimawandels und die Anpassung an den Klimawandel schwierig [28]. Darüber hinaus erfordert auch der „spatial turn“ in der Energiepolitik räumlich differenziertes Wissen über den Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen [14].

Um den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen auf Gemeindeebene zu ermitteln, sind drei verschiedene Methoden denkbar: Eine Vollerhebung, eine Extrapolation mit Stichprobenverfahren und eine modellgestützte Ermittlung. Da die ersten beiden Optionen jeweils eine umfangreiche Datenerhebung erfordern, wird ein möglicher Weg zur Lösung des Problems in den sogenannten Energiemodellen gesehen [26].

1.2. Ansätze zur Energiemodellierung

Energiemodelle können als grundlegende Methoden beschrieben werden, um Energiesysteme zu ergründen und damit ein vereinfachtes Bild der zugrunde liegenden Prozesse zu generieren [29-31]. Die letzten Jahrzehnte haben angesichts neuer technischer Möglichkeiten signifikante Verbesserungen der Energiesystemmodellierung gebracht [32]. Insbesondere die Ölkrisen in den 1970er Jahren und die Liberalisierung der Energiemärkte in den 1980er und 1990er Jahren verstärkten den Bedarf an umfassenden Energiemodellen. In dieser Zeit wurden die Modelle so konzipiert, dass sie Wissen über Angebots- und Nachfragemuster sowie über Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen innerhalb nationaler und internationaler Energiesysteme generieren sollten [30,33,34]. Mit den Innovationen in der Informatik wurde das Niveau der Untersuchungen sukzessive erhöht und die Energiemodelle wurden verbessert [32]. Seit Beginn des 21. Jahrhunderts wurde die ursprüngliche Absicht, Zusammenhänge und Funktionen innerhalb des immer komplexer werdenden Energiesystems aufzudecken, um das Ziel der Dekarbonisierung und des Übergangs zu einer kohlenstoffarmen Gesellschaft erweitert. Ausgelöst durch die Festlegung von Zielen zum Klimaschutz bezogen sich die Modelle nicht mehr nur auf das Energieangebot und die Energienachfrage, sondern berücksichtigten auch die Treibhausgasemissionen [32,35]. Gegenwärtig tendieren die Energiemodelle dazu, sich mit den Zielen der nachhaltigen Entwicklung bzw. mit den Herausforderungen des so genannten Energie-Trilemmas wie Versorgungssicherheit, Energiegerechtigkeit und Umweltverträglichkeit auseinanderzusetzen [30,36,37].

Aufgrund von Zielsetzungen aus unterschiedlichen Disziplinen wurde eine breite Palette von Energiemodellen und Modellerweiterungen entwickelt [34]. Die Bandbreite der möglichen Modellergebnisse und der Detaillierungsgrad hängen wesentlich von der Definition geeigneter Systemgrenzen ab [38]. Energiemodelle müssen bestimmte Aspekte auslassen und vereinfachte Annahmen treffen, um handhabbar zu bleiben und um Unverständlichkeiten aufgrund einer allzu feinen Auflösung oder der Erfassung unzähliger Wechselwirkungen zu vermeiden. Aus diesem Grund ist ein Kompromiss zwischen räumlicher, zeitlicher und inhaltlicher Auflösung erforderlich [30]. Einerseits werden Energiesysteme mit grober geographischer und inhaltlicher Auflösung modelliert, wobei der Schwerpunkt auf zeitlich dichte Ergebnisse gelegt werden kann. Andererseits konzentrieren sich Modelle auf einzelne Zeithorizonte. Innerhalb dieses engen Zeitrahmens können sowohl kleinere räumliche Einheiten als auch ein hohes Maß an thematischer und sektoraler Vielfalt abgedeckt werden. Während die erste Gruppe von großräumigen Modellen ganze Staaten abbilden kann, eignen sich die kleinräumigen Ansätze besonders für die Fokussierung auf einzelne Gemeinden [30,32].

1.3. Lokale Energiemodelle

Um die lokalen und regionalen Verwaltungen und politischen Entscheidungsträger bei der Erbringung ihres Beitrags zum Energiewandel und zum Klimaschutz zu unterstützen, sind in den letzten Jahrzehnten zahlreiche Energiemodelle entstanden, die dem Zweck dienen, Informationen über lokale Energiesysteme und deren Auswirkungen auf das Klima bereitzustellen. Einen Überblick über entsprechende Modelle und die bemerkenswerte Vielfalt ihrer Funktionen finden sich z.B. in [29,32,34,39-42]. Die meisten dieser Modelle verfolgen entweder energieraumplanerische Anliegen, die Implementierung oder Optimierung von Energienetzen, die Abstimmung spezifischer Verbrauchs- und Versorgungsmuster oder die Behandlung von Kostenstrukturen von Energiesystemen auf lokaler Ebene. Die meisten Ansätze vernachlässigen jedoch die inhaltliche und räumliche Breite, indem sie sich nur auf einen einzigen Standort, eine Verbrauchergruppe, einen Verwendungszweck des Energieverbrauchs oder einen Energieträger konzentrieren, oder es fehlt ihnen an einer angemessenen

Differenzierung der Ergebnisse. Die übrigen, eher ganzheitlichen Energiemodelle erfordern oft einen hohen externen Input und setzen umfangreiche Primärdatensätze zum Energieverbrauch voraus [41]. Die Ergebnisse der verschiedenen Modelle sind aufgrund unterschiedlicher Ansätze, Systemgrenzen und Annahmen nicht miteinander vergleichbar und werden aus diesen Gründen, aber auch angesichts der fehlenden Flächendeckung der lokalen Energiemodelle, nicht in einer gemeinsamen Geodatenbank verwaltet.

1.4. Motivation und Ziele

Daraus resultiert die Notwendigkeit, landesweite und standardisierte Energie- und Treibhausgasdatenbanken zu entwickeln, die auf neuartigen Ansätzen mit einer hohen räumlichen Auflösung sowie einem hohen Grad an inhaltlicher Detailgenauigkeit basieren und unabhängig von benutzerdefinierten Eingaben sind [16]. Diese Datenbanken können sowohl Vergleiche zwischen verschiedenen räumlichen Einheiten als auch zwischen historischen Situationen, dem aktuellen Stand und zukünftigen Zielen ermöglichen. Darüber hinaus wären solche Datenbanken aus Gründen des Benchmarking und der Überwachung unerlässlich [43]. Standardisierte und vergleichbare Datensätze in Bezug auf alle Energieverbraucher, alle Verwendungszwecke und alle Energieträger sind unverzichtbar, um eine solide Grundlage für die lokale Energie- und Klimapolitik zu schaffen [16]. Solange entsprechende Datenbanken fehlen, sind die Planungspraxis und die Forschungsaktivitäten begrenzt [14].

Um diese Forschungslücke zu schließen, zielt das vorliegende Projekt auf die Entwicklung eines neuen Ansatzes ab, der auf der Operationalisierung des „spatial turn“ in der Energie- und Klimapolitik basiert, um eine Energie- und Treibhausgasdatenbank in hoher räumlicher und inhaltlicher Auflösung zu erstellen. Dieser Ansatz soll einen Meilenstein und den vorläufigen Höhepunkt eines Forschungsprozesses zur raumbezogenen Energiemodellierung darstellen, der vor zehn Jahren an der BOKU Wien (Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung) mit der Entwicklung der energetischen Langzeitanalyse von Siedlungsstrukturen (ELAS-Rechner) [12] begonnen wurde. Seither wurden die Methoden in mehreren Forschungsprojekten sukzessive verfeinert und weiterentwickelt. Darauf aufbauend soll im vorliegenden Projekt ein räumlich differenzierter Ansatz zur Erstellung einer Energie- und Treibhausgasdatenbank für alle österreichischen Gemeinden entwickelt werden, die als Grundlage für die Planung der Energiewende dienen kann. Damit soll die Datenbank eine der zentralen Anforderungen der Energieraumplanung erfüllen, die auf die Entwicklung räumlich differenzierter Planungsgrundlagen und Planungsmethoden gerichtet ist [14]. Im Vordergrund des Projekts stehen eine umfassende Berücksichtigung aller Energieverbraucher und die Differenzierung nach allen relevanten Verwendungszwecken des Energieverbrauchs sowie allen relevanten Energieträgern. Die Datenbank soll ausschließlich auf statistischen Daten und einer standardisierten Modellierung beruhen, die umfassende Konsistenz und eine österreichweite Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Im Rahmen des vorliegenden Projekts soll auch der energie- und klimapolitische Handlungsbedarf mittels Szenarioanalyse veranschaulicht werden.

Die umfassenden Angaben zum kommunalen Energieverbrauch und zu den damit verbundenen Treibhausgasemissionen sollen in einer Geodatenbank verwaltet werden. Das Management der räumlich disaggregierten Daten in einer Geodatenbank zielt darauf ab, die Daten über den räumlichen Schlüssel ortsgenau zu referenzieren und allenfalls mit anderen georeferenzierten Datensätzen zu kombinieren. Die Geodatenbank soll zudem die Grundlage für die webbasierte Geovisualisierung der Daten zum Energieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen auf einer eigenen projekt-spezifischen Webseite bilden. Die Webseite soll dem Nutzer die interaktive Steuerung von Karten-,

Tabellen- und Diagramminhalten und damit eine aktive bzw. flexible Informationsvermittlung erlauben. Damit wird das Ziel verfolgt, die kommunale Energie- und Treibhausgasdatenbank im Sinne der Open Research Data Initiative öffentlich und kostenfrei zur Verfügung zu stellen.

2. Methoden und Datengrundlagen des Energiemosaiks Austria

2.1. Ansatz des Energiemosaiks Austria

Das Energiemosaik Austria stellt eine österreichweite Energie- und Treibhausgasdatenbank auf kommunaler Ebene dar. Sie basiert auf einer standardisierten Methode zur Modellierung umfassender Angaben zum Energieverbrauch und den damit einhergehenden Treibhausgasemissionen. Das Energiemosaik Austria umfasst alle rund 2.100 österreichischen Gemeinden (ergänzt um die 23 Wiener Stadtbezirke).

Der neuartige Ansatz des Energiemosaiks Austria basiert auf einer raumplanerischen Herangehensweise und geht davon aus, dass sich Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf räumliche Strukturen zurückführen lassen. Daher setzt das Energiemosaik Austria bei der Gesamtheit der raumgebundenen Nutzungen an (Wohnen, Land- und Forstwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Dienstleistungen) und berücksichtigt auch die damit verbundenen Mobilitätsbedürfnisse. Insofern bildet das Energiemosaik Austria alle Energieverbraucher bzw. alle Verursacher von Treibhausgasemissionen ab. Dabei nimmt das Energiemosaik Austria auf alle Verwendungszwecke des Energieverbrauchs und alle Energieträger Bedacht.

Das Energiemosaik Austria erfordert keine benutzerdefinierten Eingaben, sondern stützt sich auf verlässliche statistische Datensätze, welche die Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen jeder Gemeinde differenziert abbilden. Darüber hinaus wird ein umfangreiches Set von maßgeschneiderten Energiekennzahlen für die verschiedenen Nutzungsarten und die Mobilität differenziert nach Verwendungszwecken und Energieträgern erarbeitet. Das Produkt aus den Strukturdaten und den Energiekennzahlen für jeden einzelnen Parameter bzw. die Summe über all diese Produkte bildet den gesamten Energieverbrauch einer Gemeinde in hoher sachlicher Auflösung ab. Das Ausmaß der kommunalen Treibhausgas-(THG)-Emissionen resultiert aus dem energieträgerspezifischen Energieverbrauch in Kombination mit den entsprechenden Treibhausgas-(THG)-Emissionsfaktoren (Abbildung 1).

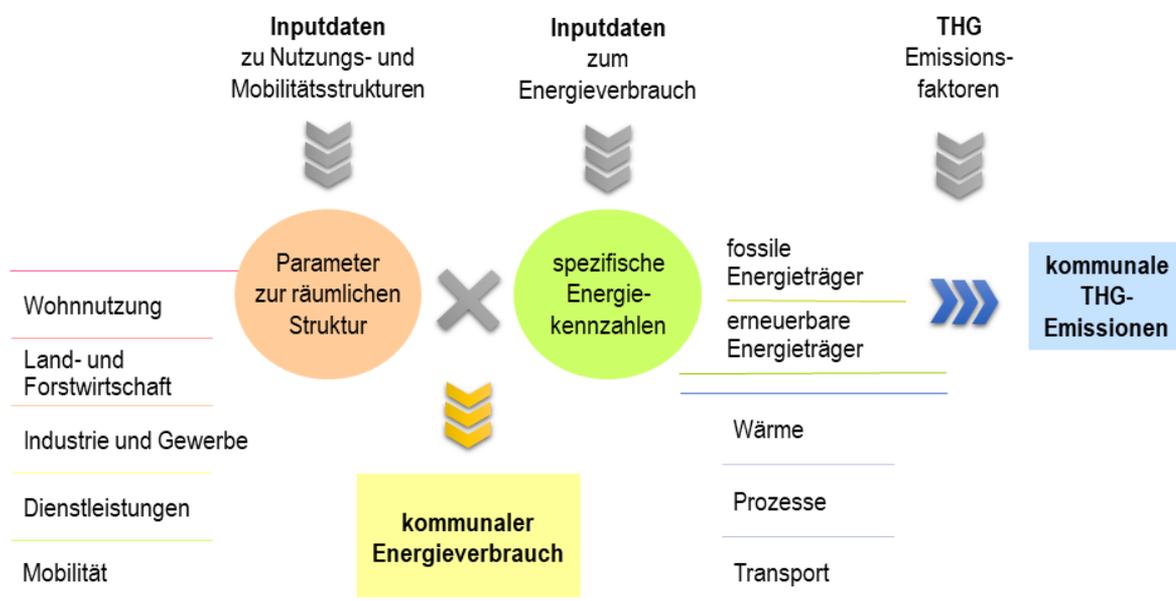


Abbildung 1: Der Ansatz des Energiemosaiks Austria.

2.2. Eingangsdaten zur Nutzungs- und Mobilitätsstruktur

Entsprechend dem zuvor skizzierten Ansatz benötigt das Energiemosaik Austria eine Vielzahl von Eingangsdaten, um die verschiedenen raumgebundenen Nutzungen und das Mobilitätsverhalten auf kommunaler Ebene zu charakterisieren. Die Daten zu den Nutzungen stammen aus der österreichischen Registerzählung sowie der Agrarstrukturerhebung der Statistik Austria [44-48]. Sie umfassen die Wohnnutzflächen, Kulturf Flächen und Beschäftigten in Industrie und Gewerbe sowie in öffentlichen und privaten Dienstleistungen. Die Daten zu den Wohnnutzflächen berücksichtigen verschiedene Gebäudetypen und Bauperioden sowie die Wohnsitzart (Haupt- und Nebenwohnsitze). Die Daten zu den Kulturf Flächen nehmen Bedacht auf verschiedene Arten der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung. Die Beschäftigten werden auf der Grundlage der 88 Abteilungen gemäß der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE, nach der französischen "Nomenclature Statistique des Activités Économiques dans la Communauté Européenne") 2008 [49] bereitgestellt.

Einer der Schritte zur Aufbereitung dieser Daten für das Energiemosaik Austria besteht in der Berücksichtigung von Gemeindezusammenlegungen seit 2011 (insbesondere in der Steiermark). Darüber hinaus müssen die kommunalen Daten zu den Beschäftigten in Industrie und Gewerbe sowie in den öffentlichen und privaten Dienstleistungen aufbereitet werden: Die 88 Abteilungen nach der NACE-Klassifikation 2008 sind für den vorliegenden Zweck teilweise zu detailliert. So sind beispielsweise die Energiekennzahlen für ein breites Spektrum von öffentlichen und privaten Dienstleistungen nahezu identisch. Andererseits benötigen einige der Abteilungen eine weitere Untergliederung in Unterabschnitte nach der österreichischen Klassifikation, die eine Verfeinerung des europäischen NACE-Ansatzes darstellt.

Die Eingangsdaten zur alltäglichen Personenmobilität stammen aus der österreichischen Registerzählung, die detaillierte Aussagen zu den Pendeldistanzen auf kommunaler Ebene trifft [47]. Darüber hinaus liefert die bundesweite Erhebung „Österreich Unterwegs“ [50] relevante Daten zur Alltagsmobilität auf Landesebene und für verschiedene Regionstypen. Letztere werden analysiert, um einen Einblick in die Häufigkeit der Fahrten und die Bedeutung der verschiedenen Wegezwecke zu erhalten. Die Ergebnisse ermöglichen die Hochrechnung der jährlichen Verkehrsleistungen (gefahrenen Kilometer) für den Pendelverkehr auf die Gesamtheit der alltäglichen Personenmobilität auf kommunaler Ebene.

Die Integration der Mobilität in das Energiemosaik Austria basiert nicht auf einem haushaltsorientierten Ansatz, sondern verfolgt eine nutzungsorientierte Methode: Jede Gemeinde wird als Wohnort, als Arbeits- und Ausbildungsort, als Standort kundenorientierter Dienstleistungseinrichtungen und als Produktionsstandort betrachtet. Die Verkehrsleistungen werden den Gemeinden hauptsächlich nach dem Ziel der Wege in Abhängigkeit vom Wegezweck (Arbeiten, Einkaufen usw.) zugewiesen. In Übereinstimmung mit diesem Ansatz identifiziert das Energiemosaik Austria drei Kategorien der alltäglichen Personenmobilität: Die Haushaltsmobilität umfasst alle Fahrten zum Wohnort und die meisten Verkehrsleistungen im Freizeitverkehr; die Mobilität der Beschäftigten und Schüler bildet alle Fahrten zu den Arbeits- und Ausbildungsorten ab; und schließlich besteht die Kundenmobilität aus den Verkehrsleistungen zu ausgewählten kundenorientierten Einrichtungen des Dienstleistungssektors. Dieser Ansatz trägt der Überlegung Rechnung, dass jede Nutzung Verkehr verursacht und daher für ein bestimmtes Ausmaß an Verkehrsleistungen verantwortlich ist. Diese Methode führt zu spezifischen Aussagen betreffend die Alltagsmobilität für

jede der österreichischen Gemeinden und dürfte weitaus präziser sein als eine Herunterskalierung landesweiter Daten auf die kommunale Ebene auf einer Pro-Kopf-Basis [41].

Weitere Eingabedaten zum Urlaubs- und Geschäftsreiseverkehr sowie zum Güterverkehr werden entsprechenden Angaben der Statistik Austria (z.B. Güterverkehrsstatistik) entnommen und für Modellierungszwecke aufbereitet. Dazu zählt beispielsweise die Beschränkung der Eingabedaten auf die innerhalb Österreichs zurückgelegten Verkehrsleistungen. Die Zuordnung zu den Gemeinden erfolgt nach dem Wohnort (Urlaubsreisen), dem Arbeitsort (Dienstreisen) und dem Standort der Arbeitsstätten (Güterverkehr).

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die 92 Parameter, die in das Energiemosaik Austria einfließen, um die Nutzungsstrukturen (75 Parameter) und die Mobilitätsstrukturen (17 Parameter) der einzelnen österreichischen Gemeinden im Detail zu veranschaulichen. Unter Berücksichtigung aller Gemeinden in Österreich umfassen die Eingabedaten fast 200.000 Werte.

Tabelle 1: Die Eingabedaten zur Charakterisierung der Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen auf Gemeindeebene.

Nutzungsart	Parameter	Differenzierung nach	Anzahl Parameter
Wohnnutzung	Wohnnutzflächen	Gebäudekategorie Bauperiode Wohnsitzart	32
Land- und Forstwirtschaft	Kulturflächen	Kulturarten	4
Industrie und Gewerbe	Beschäftigte	Branchen	27
Dienstleistungen	Beschäftigte	Branchen	12
Mobilität	jährliche Verkehrsleistungen	Personenverkehr/Güterverkehr Alltagsmobilität/ Urlaubs- und Geschäftsreisen Wegezweck	17

2.3. Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren

Um den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen auf der Grundlage der zahlreichen Parameter, die zur Charakterisierung der Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen auf lokaler Ebene herangezogen werden, abzuschätzen, ist ein großes Set von Energiekennzahlen erforderlich. Die Energiekennzahlen werden als Endenergieverbrauch in Megawattstunde (MWh) pro Einheit (Quadratmeter, Hektar, Beschäftigte, Personen-/Tonnenkilometer) ausgedrückt. Der Endenergieverbrauch besteht aus der Gesamtenergie, die von den Endnutzern verbraucht wird. Er schließt die vom Energiesektor selbst verbrauchte Energie einschließlich der Verluste aufgrund der Lieferungen und der Umwandlung sowie jene Energiemengen aus, die in ausgewählten Umwandlungsprozessen industrieller Erzeuger (wie der Umwandlung von Koks in Hochofengas) verwendet werden [51,52].

Die im Rahmen des Energiemosaiks Austria ermittelten Treibhausgasemissionen umfassen direkte und indirekte Emissionen. Die direkten Emissionen stammen aus dem Einsatz verschiedener Energieträger innerhalb der betrachteten Verbrauchergruppen. Die indirekten Emissionen fallen zusätzlich bei der Bereitstellung der Energieträger an. Sie treten damit außerhalb der Verbrauchergruppen auf und können hauptsächlich aus der Erzeugung von Elektrizität oder (Fern-)Wärme, aus der Produktion von eingekauften Materialien und Brennstoffen, aus dem Transport und der Verteilung von Energie oder aus der Abfallentsorgung und Abfallbehandlung [53,54] resultieren. Diese Treibhausgasemissionen

werden als indirekte Emissionen in den einzelnen Verbrauchergruppen erfasst. Die Treibhausgasemissionen werden in Tonnen Kohlendioxidäquivalenten (t CO₂-Äquivalent) ausgedrückt. Dieses Maß wird verwendet, um die Klimaauswirkungen verschiedener Treibhausgase entsprechend ihrem globalen Erwärmungspotenzial zu vergleichen. Zu diesem Zweck werden die Emissionen anderer Treibhausgase als Kohlendioxid, wie z.B. Lachgas oder Methan, in die äquivalente Menge Kohlendioxid mit dem gleichen Treibhauspotenzial umgerechnet [43].

2.3.1. Nutzungsspezifische Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren

Die Ableitung von Energiekennzahlen für die verschiedenen Nutzungsarten (Wohnen, Land- und Forstwirtschaft, Industrie und Gewerbe sowie Dienstleistungen) basiert auf der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria [23]. Die Nutzenergieanalyse stellt eine Anwendung von bundesweiten Nutzenergieerhebungen auf den Endenergieverbrauch auf Bundes- und Landesebene dar. Die Nutzenergieanalyse liefert daher Informationen über den Endenergieverbrauch mit einem hohen Detaillierungsgrad bezüglich der einzelnen Verbrauchergruppen, der Verwendungszwecke und der Energieträger. Im Rahmen des Energiemosaiks Austria wird die Vielfalt der Verwendungszwecke in drei Kategorien zusammengefasst, nämlich in Wärme, Prozesse und Transport. Die Energieträger werden zu acht Kategorien aggregiert, darunter drei fossile und drei erneuerbare Energieträger sowie Elektrizität und Fernwärme. Die Daten der Nutzenergieanalyse sind differenziert nach den Haushalten, der Land- und Forstwirtschaft, verschiedenen Branchen von Industrie und Gewerbe sowie den öffentlichen und privaten Dienstleistungen. Diese Differenzierung der Verbrauchergruppen entspricht den im Energiemosaik Austria betrachteten Nutzungsarten, sodass die Nutzenergieanalyse bestens geeignet ist, als Grundlage für die Ermittlung der Energiekennzahlen verwendet zu werden.

Um der Vielzahl der Parameter, die zur Beschreibung der Nutzungsstrukturen auf kommunaler Ebene herangezogen werden, gerecht zu werden (siehe Tabelle 1), muss der Energieverbrauch, der in der Nutzenergieanalyse den einzelnen Verbrauchergruppen zugeordnet ist, auf die jeweiligen Parameter des Energiemosaiks Austria aufgeteilt werden. Dazu werden weitere Informationen aus dem österreichischen Baukulturreport [55], der Agrardieselverordnung (mittlerweile ausgelaufen) [56] und der österreichischen Energiegesamtrechnung [24] herangezogen. Dies ermöglicht die Gewichtung der einzelnen Parameter nach ihrer spezifischen Energieintensität wie z.B. dem spezifischen Wärmebedarf für Wohnräume in Abhängigkeit vom Gebäudetyp, der Bauperiode und der Wohnsitzart oder dem spezifischen Energiebedarf aufgrund der unterschiedlichen Produktionsverfahren in verschiedenen industriell-gewerblichen Branchen. Diese Gewichtung ermöglicht die Zuordnung des Energieverbrauchs aus der Nutzenergieanalyse zu jedem der 75 Parameter, die zur Beschreibung der Nutzungsstrukturen verwendet werden, und damit die Ermittlung von parameterspezifischen Energiekennzahlen. Letztere beschreiben den Endenergieverbrauch in MWh pro Quadratmeter Wohnnutzfläche (Wohnnutzung), pro Hektar Kulturfläche (Land- und Forstwirtschaft) oder pro Beschäftigten (Industrie und Gewerbe sowie Dienstleistungen). Da bei der Modellierung des Energieverbrauchs drei Verwendungszwecke und acht verschiedene Energieträger berücksichtigt werden, entsteht ein entsprechend großes Set von Energiekennzahlen mit 1.800 Werten.

Die im Rahmen des Energiemosaiks Austria verwendeten Treibhausgasemissionsfaktoren stammen aus dem sogenannten CO₂-Rechner des österreichischen Umweltbundesamtes [57]. Diese Faktoren beschreiben die direkten und indirekten CO₂-Emissionen in Abhängigkeit des Einsatzes verschiedener Energieträger.

2.3.2. Mobilitätsspezifische Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren

Die Energiekennzahlen für die Mobilität können nicht aus der Nutzenergieanalyse abgeleitet werden, denn diese verfolgt für den Transport einen absatzorientierten Ansatz und weist den betreffenden Energieverbrauch basierend auf dem Absatz von Treibstoffen unter Vernachlässigung von Herkunft und Ziel der Verkehrsleistungen (einschließlich des Exports von Kraftstoffen in die Nachbarländer) aus. Für die alltägliche Personenmobilität im Energiemosaik Austria werden daher die Energiekennzahlen, die den Endenergieverbrauch je gefahrenem Kilometer beschreiben, auf regional differenzierten Modal-Splits aufgebaut. Grundlage für die regionale Differenzierung ist die Zuordnung jeder österreichischen Gemeinde zu einem von 13 Gemeindetypen [58]. Die Klassifizierung basiert auf der Kennzeichnung jeder Gemeinde als städtische oder ländliche Gemeinde und berücksichtigt darüber hinaus regional unterschiedliche Qualitäten der Erreichbarkeit und Attraktivität des öffentlichen Verkehrs. Für diese Gemeindetypen wurde eine profunde Analyse der Verkehrserhebung „Österreich Unterwegs“ [50] durchgeführt und darauf aufbauend wurden für jeden Gemeindetyp unterschiedliche Modal-Splits identifiziert [58]. Diese Ergebnisse werden auf das Energiemosaik Austria übertragen: Jede Gemeinde wird einem Gemeindetyp zugeordnet und der spezifische Modal-Split wird auf die Verkehrsleistungen der einzelnen Gemeinden angewendet. Auf die solcherart nach Verkehrsmitteln differenzierten Verkehrsleistungen kommen die Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren für den motorisierten Individualverkehr und den öffentlichen Verkehr [58] zur Anwendung. Die Energiekennzahlen und die Emissionsfaktoren für den Güterverkehr basieren auf Werten des Verkehrsemissionsmodells TREMOD [59].

2.4. Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Die Ermittlung des Energieverbrauchs auf kommunaler Ebene basiert auf der Multiplikation der Werte für die 92 Parameter mit den entsprechenden Energiekennzahlen unter Berücksichtigung der drei Verwendungszwecke und acht Energieträger (bzw. einem vereinfachten Energiekennzahlen-Set für die Mobilität). Die energieträgerspezifischen Werte zum Energieverbrauch werden mit den Emissionsfaktoren für die einzelnen Energieträger multipliziert, um die Treibhausgasemissionen auf kommunaler Ebene zu berechnen. Dieser Schritt führt zu etwa 7,7 Millionen Werten für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen innerhalb des Energiemosaiks Austria. Für die weitere Darstellung ist eine Aggregation dieser Daten erforderlich, sodass einige Parameter für die Integration in die Datenbank zusammengefasst werden. Diese Aggregation vermittelt jedoch nach wie vor einen detaillierten Einblick in den aktuellen Stand des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen auf kommunaler Ebene. Sie zeigt den Stellenwert der einzelnen Verbrauchergruppen und Verursacher von Treibhausgasemissionen auf und sie erlaubt weiters Aussagen zur Bedeutung der unterschiedlichen Verwendungszwecke sowie zur Rolle fossiler und erneuerbarer Energieträger.

Da die Verwaltung und Aufbereitung der Eingangsdaten sowie die Verwaltung der Energiekennzahlen und der Emissionsfaktoren mit Hilfe von Python-Skripten erfolgen, sind die vielfältigen Algorithmen zur Berechnung der Werte für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen in hoher räumlicher und sachlicher Auflösung ebenfalls in Python implementiert. Die Hauptergebnisse werden in eine alle österreichischen Gemeinden umfassende Geodatenbank integriert. Diese Datenbank stellt die Grundlage für die Visualisierung des kommunalen Energieverbrauchs und der damit einhergehenden Treibhausgasemission für alle österreichischen Gemeinden auf einer projektspezifischen Webseite dar (vgl. Kapitel 2.7).

2.5. Plausibilitätsprüfung

Der Mangel an umfassenden Daten zum Energieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen auf kommunaler Ebene verhindert eine strenge Plausibilitätsprüfung der Genauigkeit des Energiemosaiks Austria. Deshalb werden zunächst spezifische Regeln entwickelt, um zumindest offensichtlich falsche Ergebnisse zu erkennen. Dabei werden die Abhängigkeiten zwischen den Eingangsdaten für die verschiedenen Parameter sowie den Ergebnissen betreffend den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen geprüft. In der Folge werden die Korrelationen zwischen dem Energieverbrauch ausgewählter Nutzungsarten und ausgewählter Verwendungszwecke überprüft. Schließlich werden die Nutzungsarten mit unterschiedlichen Anteilen fossiler und erneuerbarer Energieträger im Hinblick auf ihren unterschiedlichen Beitrag zu den Treibhausgasemissionen untersucht.

Darüber hinaus kann die Plausibilitätsüberprüfung im Rahmen einer Gegenüberstellung der kommunalen Ergebnisse des Energiemosaiks Austria mit verlässlichen Datensätzen auf Landesebene erfolgen. Dazu werden ausgewählte Ergebnisse über alle zu einem Bundesland gehörenden Gemeinden aufsummiert. In diesem Zusammenhang werden die gefahrenen Personenkilometer, die für verschiedene Wegezwecke der Alltagsmobilität dargestellt sind, mit den Bundesländerergebnissen der Mobilitätsenerhebung „Österreich Unterwegs“ [50] verglichen. Der Energieverbrauch der verschiedenen Nutzungsarten (ohne Mobilität) wird den Werten der Nutzenergieanalyse auf Landesebene gegenübergestellt [23]. Ein Vergleich des modellierten Energieverbrauchs der Mobilität (basierend auf Verkehrsleistungen) mit dem in der Nutzenergieanalyse für den Verkehr ausgewiesenen Energieverbrauch (beruhend auf dem Absatz an Treibstoffen) ist aufgrund der unterschiedlichen Ansätze nicht zielführend. Schließlich wird ein Vergleich der Treibhausgasemissionen mit der jährlichen Schadstoffinventur der österreichischen Bundesländer [60] betrachtet. Dieser Vergleich ist jedoch aus drei Gründen stark eingeschränkt: Erstens berücksichtigt die jährliche Schadstoffinventur im Allgemeinen nur die direkten Emissionen. Aus diesem Grund werden die Treibhausgasemissionen der Strom- und Wärmeerzeugung nicht den einzelnen Verbrauchergruppen zugeordnet. Zweitens umfasst die jährliche Schadstoffinventur alle Quellen von Treibhausgasemissionen, die über die aus dem Energieverbrauch resultierenden Treibhausgasemissionen hinausgehen. In diesem Sinne werden in der Schadstoffinventur zusätzliche CO₂-Emissionen aus industriellen Prozessen, insbesondere aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie der Mineralrohstoffindustrie berücksichtigt. Außerdem sind auch die Emissionen anderer Treibhausgase als CO₂ vor allem aus der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft (Methan, Lachgas) in der Schadstoffinventur enthalten. Drittens unterscheidet sich die Klassifizierung der Verbrauchergruppen in der Schadstoffinventur von jener innerhalb des Energiemosaiks Austria. Ein direkter Vergleich des Energiemosaiks Austria mit der Schadstoffinventur ist lediglich bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen für die Wohnnutzung mit direkten Emissionsfaktoren möglich. Darüber hinaus werden im Rahmen der Schadstoffinventur die Treibhausgasemissionen für die Mobilität nicht nur basierend auf dem Absatz an Treibstoffen (in Analogie zur Nutzenergieanalyse) ermittelt. Vielmehr kommt hier auch eine alternative, verkehrsleistungsabhängige Berechnung der Treibhausgasemissionen zum Einsatz („Second Estimate“), deren Ergebnisse dem Energiemosaik Austria gegenübergestellt werden können.

2.6. Entwicklung der Vision 2050

Da mit dem Energiemosaik Austria das Energiesystem unter Zuhilfenahme von Simulationstechniken abgebildet wird [34,39], sind auch Vorhersagen zur Entwicklung des betreffenden Systems [30] möglich. Im konkreten Fall werden die Daten des Energiemosaiks Austria für den Ist-Zustand um die

Darstellung einer Vision für die Verringerung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 ergänzt. Dieses in der Folge als Vision 2050 bezeichnete Szenario beruht auf der Überlegung, die Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten gemäß internationalen Klimaschutzvereinbarungen um mindestens 80% gegenüber 1990 zu reduzieren, um die durchschnittliche globale Erwärmung auf höchstens zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter zu beschränken. Unter diesen Rahmenbedingungen stellt die Vision 2050 eine mögliche Option dar, die Treibhausgasemissionen in Österreich um rund 80% zu verringern und damit die Energiewende und den Klimaschutz bis zum Jahr 2050 zu realisieren.

2.6.1. Berücksichtigung der räumlichen Dynamik

Die Vision 2050 berücksichtigt, dass in den nächsten Jahrzehnten eine unterschiedliche räumliche Dynamik hinsichtlich der Einwohner-, Wirtschafts- und Verkehrsentwicklung in den österreichischen Gemeinden zu erwarten ist. Sie findet in Form einer gemeindespezifischen Entwicklung der Wohnnutzflächen, Beschäftigtenzahlen und Verkehrsleistungen in die Modellierung Eingang. Dafür wird ein konsistentes Szenario zur räumlichen Dynamik aller österreichischen Gemeinden entwickelt und unterstellt, dass positive dynamische Entwicklungen (beispielsweise die Zunahme an Einwohnern bzw. Wohnnutzflächen) auch von strukturellen Veränderungen (beispielsweise durch eine Verschiebung von Einfamilien- zu Mehrfamilienhäusern) begleitet werden. Die räumliche Entwicklung äußert sich in entsprechenden Zunahmen oder Abnahmen der Treibhausgasemissionen.

2.6.2. Strategien für den Klimaschutz

Ein besonderes Augenmerk legt die Vision 2050 auf die Formulierung eines Bündels von klimaschutzrelevanten Strategien, die sowohl die Vermeidung von Energieverbrauch, die Steigerung der Energieeffizienz als auch die Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger umfassen. Die Strategien betreffen dabei alle raumgebundenen Nutzungen einschließlich der Mobilität und äußern sich in einer entsprechenden Modifikation der Energiekennzahlen und der Emissionsfaktoren.

In Zusammenhang mit der Wärmebereitstellung kommt für die Vermeidung des Energieverbrauches eine geringfügige Absenkung der Raumtemperatur in Betracht, die zu einer Verringerung des Wärmeverbrauches im einstelligen Prozentbereich führt. Für die Steigerung der Energieeffizienz werden in der Vision 2050 die Optionen zur energetischen Sanierung der bestehenden Bausubstanz berücksichtigt, sodass der Wärmebedarf im Allgemeinen maßgeblich reduziert werden kann. Für den Umstieg auf erneuerbare Energieträger (durch eine Umstellung der Heizsysteme) werden die Optionen im Zuge der Wärmebereitstellung als sehr hoch eingeschätzt. Außerdem wird berücksichtigt, dass eine positive räumliche Dynamik bis zum Jahr 2050 mit (gegenüber dem Ist-Zustand) reduziertem, spezifischem Energieverbrauch erfolgt (beispielsweise durch verbesserte Energieeffizienz der neuen Gebäudehüllen) sowie mit einem (gegenüber dem Ist-Zustand) erhöhten Einsatz erneuerbarer Energieträger.

Im Hinblick auf die Prozessenergie wird für die Vision 2050 eine Verminderung der Treibhausgasemissionen durch Vermeidung (in geringem Maße) und durch eine beträchtliche Erhöhung der Energieeffizienz sowie durch einen weitreichenden Umstieg auf erneuerbare Energieträger unterstellt. Künftige Prozesse fließen zudem mit niedrigeren Energiekennzahlen und einem (gegenüber dem Ist-Zustand) höheren Anteil an erneuerbaren Energien in die Modellierung der Vision 2050 ein.

Für den Verwendungszweck Transport kann zur Vermeidung des Energieverbrauches ein geringfügiger Verzicht auf einzelne Wege in Erwägung gezogen werden, der eine Verringerung des mobilitätsbedingten Energieverbrauches im einstelligen Prozentbereich nach sich zieht. Die Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Umstieg auf erneuerbare Energieträger sind nicht losgelöst voneinander zu betrachten. Hier kommen vornehmlich Änderungen des Modal-Splits, d.h. Verlagerungen vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund, sowie die Forcierung innovativer und effizienter Antriebstechnologien auf Basis erneuerbarer Energie in Betracht. Zudem wird darauf Bedacht genommen, dass die (mit einer positiven räumlichen Dynamik einhergehenden) zusätzlichen Verkehrsleistungen energieeffizient und emissionsarm zurückgelegt werden.

2.6.3. Modellierung der Treibhausgasemissionen in der Vision 2050

In Analogie zur Modellierung für den Ist-Zustand erfolgt für die Vision 2050 die Berechnung des Energieverbrauches und der damit einhergehenden Treibhausgasemissionen aller österreichischen Gemeinden differenziert nach Verbrauchergruppen, Verwendungszwecken und Energieträgern basierend auf einer Verknüpfung der adaptierten Daten zur Nutzungs- und Mobilitätsstruktur mit den modifizierten Energiekennzahlen bzw. Emissionsfaktoren. Die Ergebnisse werden in die Geodatenbank integriert; aus Gründen der Übersichtlichkeit werden für die Vision 2050 nur die Treibhausgasemissionen (nach Nutzungen differenziert) auf der projektspezifischen Webseite ersichtlich gemacht. Dabei wird auch eine schrittweise Entwicklung vom aktuellen Stand der Treibhausgasemissionen bis zur Vision 2050 in Zehnjahresschritten veranschaulicht. In diesem Sinn gehen mit den unterschiedlichen Zeithorizonten auch unterschiedlich weitreichende Strategien zur Energiewende und zum Klimaschutz einher.

2.7. Geodatenmanagement und Geovisualisierung

Um das Ziel „Aufbau einer Geodatenbank auf Gemeindeebene“ zu erreichen, wurde ein iterativer und inkrementeller Ansatz gewählt. Dafür wurden die Arbeitsaufgaben zum Thema Geodatenbank in die drei Hauptarbeitsschritte (1) Datenvorverarbeitung, (2) Datenbank-Modellierung und (3) Validierung unterteilt und so lange wiederholt und verbessert, bis am Ende das fertige Ergebnis vorlag. Zusätzlich wurden bis zum Projektende die Arbeitsschritte mit vier modifizierten Datenbeständen – die den Ist-Zustand, die Szenarien und die Entwicklung mit absoluten und prozentuellen Veränderungen repräsentieren – durchlaufen.

Im Arbeitsschritt der Datenvorverarbeitung wurden zunächst die nicht räumlichen Datenbestände zu den Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen sowie zum Energieverbrauch und den Treibhausgasemissionen gesichtet. Darauf aufbauend wurde in der konzeptionellen Phase ein Entity-Relationship Modell (ER-Modell) erarbeitet. Dabei wurde eine erste Datenbankstruktur mit hohem Abstraktionsgrad und Entitäten (Objekten) erstellt. Für das logische Datenmodell wurde das entwickelte ER-Modell in eine Tabellenform überführt. Basierend auf dem logischen Modell wurde das physische Modell abgeleitet und auf ein konkretes Datenbank-Management-System (DBMS) implementiert. Zur Implementierung der Energiemosaik-Datenbank wurde das DBMS PostgreSQL mit der räumlichen Erweiterung PostGIS verwendet. Das Design des Datenmodells erstreckte sich über die gesamte Projektlaufzeit und wurde basierend auf projektrelevanten Anforderungen und Fragestellungen adaptiert. Das Datenmodell für das Energiemosaik Austria wurde nach den fünf Normalformen normalisiert, damit die Integrität der Daten sichergestellt sowie Redundanzen unterbunden und Inkonsistenzen vermieden werden. Die finale Version des Modells wurde soweit normalisiert, dass die

Performance der Abfragen erhalten bleibt. Nach dem automatischen Import der Daten in die Datenbank wurden alle in der räumlich-zeitlichen Datenbank vorhandenen Daten validiert. Bei der Validierung der nicht räumlichen Daten wurden SQL-Abfragen erstellt und die zur Verfügung gestellten Originaldaten mit den Daten in der Energiemosaik-Datenbank auf Fehler verglichen. Die Lagerichtigkeit der räumlichen Gemeindedaten wurde mittels Überlagerung mit den administrativen Grenzen von OpenStreetMap (OSM) sichergestellt. Zusätzlich wurden die Daten aus der Energiemosaik-Datenbank mittels Visualisierung und mit Hilfe des Geoservers (Open Source Mapping Server) überprüft. Dafür wurden spezifische raumzeitliche Abfragen im Geoserver als SQL-Views implementiert, ein WMS-Layer erstellt und ein passendes Styled Layer Descriptor - (SLD-) File für den Datensatz generiert.

Für die Webseitenentwicklung hat sich ein iteratives Vorgehen als besonders zielführend und effektiv erwiesen. Dabei wird frühzeitig ein Prototyp mit wenig Funktionalität erstellt, der nach Möglichkeit schon alle anfangs gewünschten Inhalte und Navigationsmöglichkeiten andeutet. Dies ermöglicht allen Projektpartnern, bereits ab einer sehr frühen Projektphase eine gemeinsame Vision des Endproduktes zu entwickeln. Der Oberbegriff "Agile Methoden" bzw. "Agile Entwicklung" hat sich für dieses Vorgehen etabliert. Deren Ausprägung kann je nach Größe des Projektteams von einfachen definierten Zykluszeiten (z.B. eine Woche Anforderungen umsetzen, eine Woche testen) bis zu komplexen Modellen wie SCRUM oder Kanban mit definierten Rollen und Prozessen reichen. Sämtliche agile Methoden zeichnen sich dadurch aus, dass sie Interaktion zwischen Individuen, Kundenkommunikation, lauffähige Software und Reagieren auf Veränderungen (bzw. die Akzeptanz des Umstandes, dass sich Anforderungen ändern werden und nicht alle Anforderungen am Anfang der Entwicklung bekannt sind) in den Mittelpunkt stellen.

Für das Energiemosaik hat sich ein einfacher Ablauf aus Anforderungen definieren, Anforderungen umsetzen, Anforderungen testen & Feedback geben etabliert. Die Kommunikation erfolgte anfangs vornehmlich via e-Mail und Skype, mit fortschreitender Entwicklung der Webservices in persönlichen Workshops. Dieses Vorgehen ermöglichte es allen Projektpartnern, frühzeitig eine gemeinsame Sprache zu entwickeln und zu überprüfen, welche Ideen zielführend waren und welche nicht. Die frühzeitige und durchgängige Verfügbarkeit eines (wenn auch unfertigen) Produktes stärkte das Vertrauen der Projektpartner in das Produkt und ermöglichte es, frühzeitig auch interessierten Außenstehenden einen Eindruck vom Stand des Projekts und der Vision des Endproduktes zu vermitteln.

Ein hoher Grad an Automatisierung der Entwicklungsprozesse garantiert eine gleichbleibende Qualität vom frühen Prototypen bis zum fertigen Produkt. Dies ist auch im Hinblick auf weitere Aktualisierungen der Webseite von Vorteil, da es die Fehleranfälligkeit des Entwicklungsprozesses reduziert.

Bei der Entwicklung wurde durchgängig darauf geachtet, möglichst etablierte Standard-Bibliotheken und Produkte zu verwenden, um den Entwicklungsaufwand gering zu halten und eine hohe Qualität des Endproduktes zu garantieren. Die Verwendung von OGC-Standards (WMS/WFS) ermöglicht es interessierten Nutzern, die Ergebnisse des Energiemosaiks in eigenen Projekten (unter Einhaltung der Lizenzbestimmungen) zu verwenden.

2.8. Bewährung der Methoden

Der raumbezogene Ansatz des Energiemosaiks Austria, der ausgehend von der Identifikation der Nutzungen innerhalb der österreichischen Gemeinden alle Verbraucher von Energie und alle Verursacher von Treibhausgasemissionen gleichwertig berücksichtigt, hat sich sehr bewährt. Konsequenterweise wird dabei nach den wichtigsten Verbrauchergruppen (Haushalte, Land- und Forstwirtschaft, Industrie

und Gewerbe, Dienstleistungen sowie Mobilität), aber auch nach Verwendungszwecken und Energieträgern unterschieden. Damit trägt der gewählte Ansatz dem Verursacherprinzip Rechnung: Die Information, in welchen Gemeinden welche Verbrauchergruppen für welche Verwendungszwecke Energie in welcher Höhe verbrauchen, erlaubt eine zielgerichtete Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zugunsten der Energiewende und des Klimaschutzes.

Die Modellierung beruht auf einer Verknüpfung von top-down und bottom-up basierten Rechen­ gängen. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass sich der Energieverbrauch einerseits an der räumlichen Verteilung der Nutzungen innerhalb des Landes orientiert und dass andererseits die Summen über die gemeindespezifischen Werte den betreffenden Angaben auf Landesebene entsprechen. Angesichts der Tatsache, dass die Datenbank dadurch größtmögliche Konsistenz über verschiedene räumliche Ebenen hinweg und keine generelle Über- bzw. Unterschätzung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in Österreich aufweist, hat sich diese Methode bewährt.

Als geeignet erwiesen hat sich weiters die Verwendung verlässlicher statistischer Daten zum Aufbau einer umfassenden Energie- und Treibhausgasdatenbank, die den Energieverbrauch aller öster­ reichischen Gemeinden im Ist-Zustand sehr differenziert darstellt. Im Gegensatz dazu beschränken sich lokale Energiemodelle oft auf ausgewählte Siedlungsgebiete, auf Variantenvergleiche für die Zukunft oder auf ausgewählte Verbrauchergruppen und sie sind häufig nicht uneingeschränkt verwendbar, weil sie beispielsweise auf zahlreiche benutzerdefinierte Eingaben angewiesen sind. Demgegenüber bietet die Datenbank den Vorteil, dass sie unmittelbar als strategische Entscheidungsgrundlage zur Verfügung steht. Der Einsatz zahlreicher statistischer Größen zur Charakterisierung der kommunalen Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen gewährleistet dabei die bestmögliche Annäherung der Modellierung an die jeweils besondere Situation der Gemeinden. Die Integration dieser statistischen Datensätze in die Datenbank erlaubt, die Ergebnisse zum Energieverbrauch und den Treibhausgas­ emissionen unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden räumlichen Strukturen zu erörtern.

Nicht uneingeschränkt bewährt hat sich die top-down orientierte Ermittlung der Energiekennzahlen in energieintensiven Branchen der Sachgüterproduktion mit einer großen Bandbreite im Hinblick auf den Energieverbrauch. Dies betrifft in hohem Maße Branchen bzw. Unternehmen, die dem Emissions­ handel unterliegen (v.a. Eisen- und Stahlindustrie, chemische Industrie, Papierindustrie und Mineral­ rohstoffindustrie). Trotz der Berücksichtigung von 27 verschiedenen industriell-gewerblichen Branchen zeigt sich, dass zwischen verschiedenen Arbeitsstätten innerhalb einer Branche angesichts der großen Vielfalt an Produktionsprozessen sowie der Andersartigkeit von Produktions- und Büro­ standorten teilweise erhebliche Unterschiede im Energieverbrauch auftreten können, die im Modell aber mangels verfügbarer Informationen nicht berücksichtigt werden. Die im Einzelfall auftretenden Abweichungen der modellierten von den realen Werten können zwar unter Umständen auch auf gewisse Ungenauigkeiten der statistischen Daten zurückzuführen sein, beruhen aber vornehmlich darauf, dass die österreichweit einheitlichen Datengrundlagen und die standardisierte Methode nicht erlauben, alle Merkmale der raumgebundenen Nutzungen, individuelle Verhaltensmuster oder besondere technische Spezifikationen adäquat abzubilden.

Für die übrigen industriell-gewerblichen Branchen und für die übrigen Verbrauchergruppen hat sich die Methode zur Ermittlung der Energiekennzahlen als sehr gut geeignet erwiesen. Dies gilt auch für die Berücksichtigung von gemeindetypenspezifischen Modal-splits und die daraus resultierenden

Energiekennzahlen und Emissionsfaktoren für die Mobilität, die eine lokal bzw. regional differenzierte Abbildung des Verkehrsgeschehens erlauben.

Mit der flächendeckenden Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen kann eine Orientierungshilfe für alle österreichischen Gemeinden zur Verfügung gestellt werden. In diesem Sinn kann das Energiemosaik Austria als Referenz für die Entwicklung energie- und klimapolitischer Strategien vornehmlich auf kommunaler und regionaler Ebene herangezogen werden. Das Energiemosaik Austria erlaubt aber auch den übergeordneten Planungs- und Entscheidungsebenen eine fundierte Einschätzung, welchen Beitrag unterschiedlich strukturierte Gemeinden und Regionen zu den übergeordneten Energie- und Klimastrategien leisten können. In diesem Sinn hat sich der flächendeckende Ansatz bewährt. Dazu kommt, dass die standardisierte Modellierung die österreichweite Bereitstellung von Datensätzen in einheitlicher Struktur und Qualität sicherstellt und damit die Vergleichbarkeit unter den rund 2.100 Gemeinden (ergänzt um die 23 Wiener Stadtbezirke) gewährleistet.

Als geeignet erwiesen hat sich auch der Einsatz vielfältiger Methoden der Plausibilitätsüberprüfung. Angesichts der aufgezeigten Übereinstimmung der modellierten Werte für die Verkehrsleistungen, den Energieverbrauch oder die Treibhausgasemissionen mit publizierten Werten aus der Mobilitäts-erhebung „Österreich Unterwegs“ [50], der Nutzenergieanalyse [23] und den Bundesländer-Schadstoffinventuren [60] (sofern die Angaben jeweils vergleichbar waren), können die Angaben im Energiemosaik Austria als sehr valide betrachtet werden.

Die Modellierung der Vision 2050 beruht auf einem zielorientierten Ansatz und hat sich insofern bewährt, als damit die dringende Notwendigkeit zur Entwicklung umfassender energie- und klimarelevanter Strategien zugunsten einer rund 80%-igen Verringerung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 anschaulich unterstrichen und zur Diskussion gestellt werden kann, ohne alle künftigen energie- und klimapolitischen Maßnahmen im Detail vorwegzunehmen und zu simulieren.

Der gewählte iterative und inkrementelle Ansatz für die Implementierung einer zeitlich-räumlichen Datenbank hat sich als sehr gut geeignet erweisen, denn er ermöglichte während der Projektarbeit eine sinnvolle Priorisierung und bessere Planbarkeit von Aufgaben. Agile Methoden haben sich in der Softwareentwicklung bewährt. Die frühzeitige Verfügbarkeit einer prototypischen Webseite sowie die Etablierung eines einfachen Prozesses zur Kommunikation von Anforderungen und Feedback ermöglichte die Identifikation von funktionierenden und nicht funktionierenden Ideen sowie die beständige Möglichkeit, Funktionalitäten hinzuzufügen, anzupassen oder zu entfernen. Dies erwies sich gerade aufgrund des komplexen fachlichen Themas und der Zielsetzung, dieses für ein möglichst breites Publikum zugänglich zu machen, als besonders hilfreich.

3. Ergebnisse des Energiemosaiks Austria

3.1. Treibhausgasemissionen auf kommunaler Ebene

Das Energiemosaik Austria bietet einen Einblick in den Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen jeder Gemeinde in Österreich mit einer hohen inhaltlichen Auflösung. Eines der Hauptergebnisse des Energiemosaiks Austria, das für die Entwicklung von Klimaschutzstrategien von zentraler Bedeutung ist, bildet die absolute Höhe der mit dem Energieverbrauch verbundenen jährlichen Treibhausgasemissionen jeder Gemeinde, wie in Abbildung 2 dargestellt.

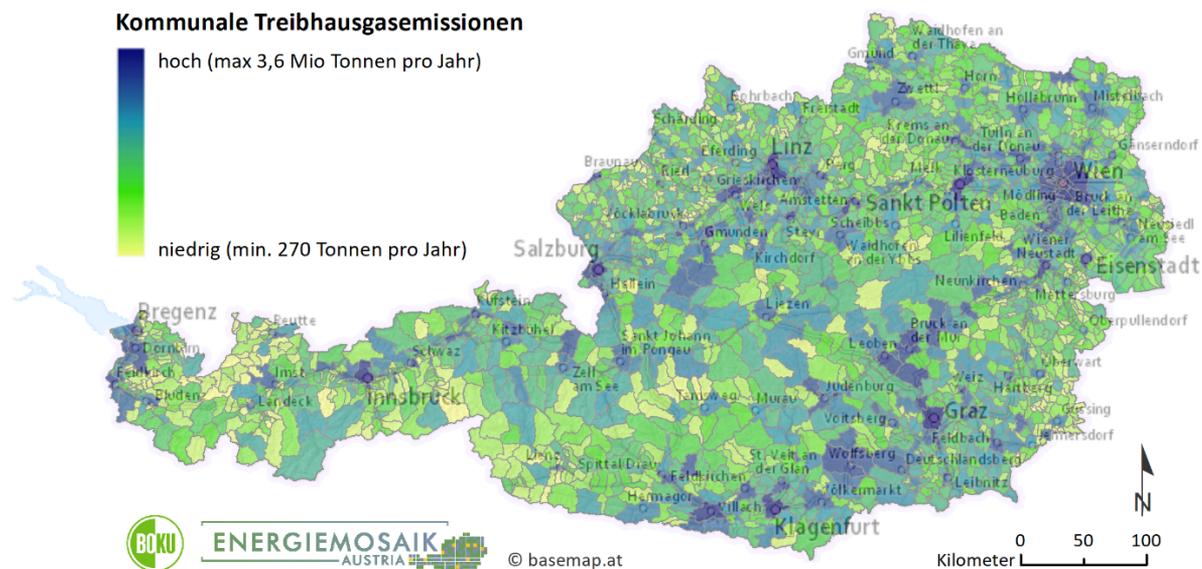


Abbildung 2: Jährliche Treibhausgasemissionen pro Gemeinde.

Selbst wenn die Karte teilweise wesentliche räumliche Strukturen erkennen lässt, wie z.B. die Zentralräume oder die Entwicklungsachsen entlang der hochrangigen Verkehrswege, ergibt sich ein recht heterogenes Bild von Österreich. Denn die Karte zeigt die absolute Höhe der Treibhausgasemissionen, und die Gemeinden mit einer hohen Einwohnerzahl und einer Vielzahl von wirtschaftlichen Aktivitäten begleitet von einem hohen Verkehrsaufkommen weisen höhere Treibhausgasemissionen auf als kleinere Gemeinden. Dieser Befund war durchaus zu erwarten, wird aber nun mit dem Energiemosaik Austria auf eine quantitative Basis gestellt. Damit wird eine wesentliche Grundlage für die kommunale Klima- und Energiepolitik definiert. Eine starke Korrelation zwischen der Anzahl der Einwohner und den Treibhausgasemissionen sowie zwischen der Anzahl der Beschäftigten und den Treibhausgasemissionen ist offensichtlich und wird durch die Pearson-Korrelationskoeffizienten von 0,79 (Einwohner) bzw. 0,84 (Beschäftigte) unterstrichen (Abbildung 3).

Diese Korrelation scheint einen großen Teil der Variabilität der Treibhausgasemissionen der Gemeinden zu erklären. Die Treibhausgasemissionen sind jedoch nicht nur eine Frage der Größe der Gemeinde. Dies ist in jenen Fällen offensichtlich, in denen die Gemeinden von dem erwarteten Ausmaß an jährlichen Treibhausgasemissionen abweichen, das durch die strichlierten Linien in Abbildung 3 dargestellt ist. Darüber hinaus haben die Angaben zum gesamten Ausmaß an Treibhausgasemissionen ohne Berücksichtigung der Verursacher und der verantwortlichen Energieverbraucher wenig Erklärungswert. Differenziertere Aussagen erfordern eine detaillierte Betrachtung des Energieverbrauchs unter besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Nutzungsarten (einschließlich der Mobilität).

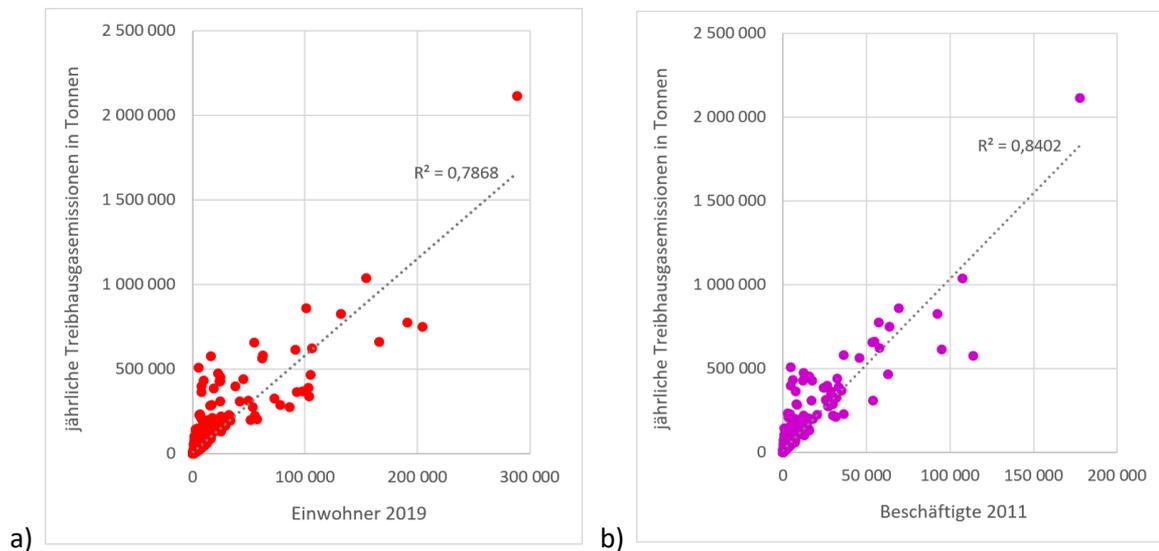


Abbildung 3: Die Korrelation zwischen den jährlichen Treibhausgasemissionen und der Anzahl der Einwohner (a) und der Beschäftigten (b); (ohne Linz, das außerordentlich hohe Treibhausgasemissionen aus der Industrie aufweist).

3.2. Energieverbrauch und räumliche Strukturen

Eine detailliertere Betrachtung des Energiemosaiks Austria führt zuallererst zu Überlegungen zum Energieverbrauch, der den Treibhausgasemissionen zugrunde liegt. Auch hier kann jede Gemeinde durch einen einzigen Wert charakterisiert werden: Die absolute Höhe des jährlichen Energieverbrauchs ist ein weiteres Hauptergebnis des Energiemosaiks Austria (Abbildung 4). Er zeigt eine recht ähnliche räumliche Verteilung wie die Treibhausgasemissionen sowie eine vergleichbare Korrelation mit der Anzahl der Einwohner und der Anzahl der Beschäftigten.

Darüber hinaus lässt sich eine Abhängigkeit zwischen der Größe der Gemeinde und den dafür mehrheitlich verantwortlichen Verbrauchergruppen feststellen, d.h. das Muster des Energieverbrauchs im Hinblick auf den Anteil der verschiedenen Nutzungsarten variiert mit der Größe der Gemeinden. Wie Abbildung 5 zeigt, sind die kleineren Gemeinden durch einen hohen Energieverbrauch aufgrund der Wohnnutzung und der Mobilität gekennzeichnet, während Industrie und Gewerbe sowie öffentliche und private Dienstleistungen in der Regel eine geringe Rolle spielen, vergleichbar mit jener der Land- und Forstwirtschaft. Mit zunehmender Größe der Gemeinden nehmen die Anteile der Wohnnutzung, der Mobilität sowie der Land- und Forstwirtschaft ab, während die Anteile von Industrie und Gewerbe sowie der öffentlichen und privaten Dienstleistungen stetig zunehmen.

Die Mittelstädte mit 20.000 bis 30.000 Einwohnern stellen einen Wendepunkt für die Anteile der wichtigsten Nutzungsarten dar: Der Energieverbrauch von Industrie und Gewerbe erreicht seinen maximalen Anteil, da diese Gemeinden oft Standorte energieintensiver Produktionsanlagen aus der Papierindustrie, der chemischen Industrie, der Mineralrohstoffindustrie oder der Eisen- und Stahlindustrie sind. Für die Wohnnutzung und die Mobilität lassen sich dagegen minimale Anteile feststellen.

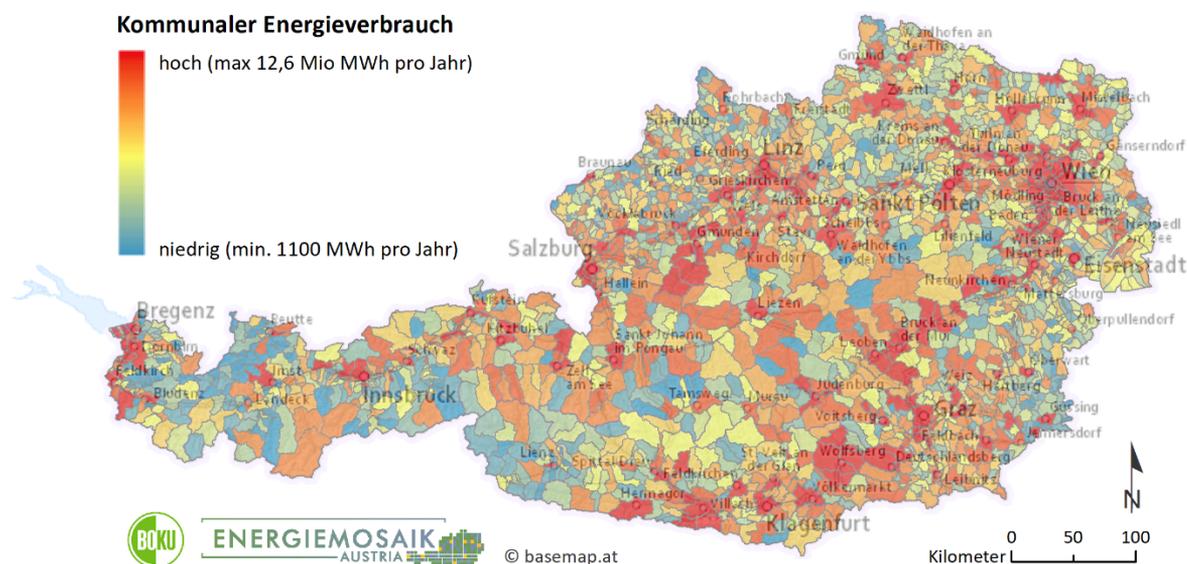


Abbildung 4: Jährlicher Energieverbrauch pro Gemeinde.

Die Gemeinden mit 30.000 oder mehr Einwohnern sind durch nahezu gleiche Anteile der Wohnnutzung, von Industrie und Gewerbe, der öffentlichen und privaten Dienstleistungen sowie der Mobilität gekennzeichnet. Diese Gemeinden stellen meist größere Städte mit einer ausgewogenen Mischung der verschiedenen Nutzungen (mit Ausnahme der Land- und Forstwirtschaft) dar. Nur in seltenen Fällen handelt es sich um Standorte energieintensiver Branchen oder mit einer hohen Dichte von industriell-gewerblichen Arbeitsstätten.

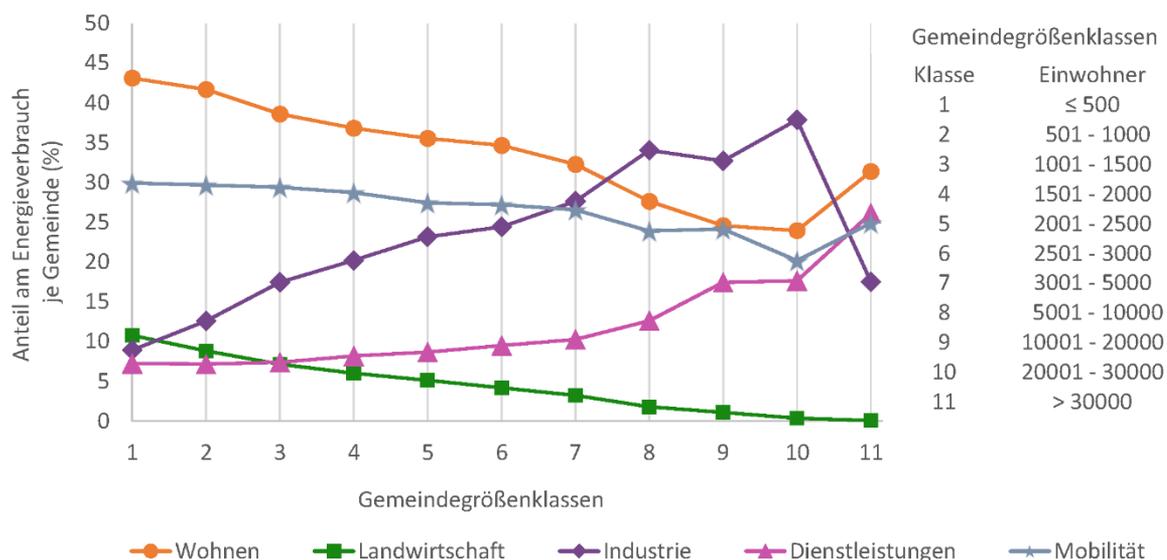


Abbildung 5: Die Bedeutung der Nutzungsarten für den Energieverbrauch in verschiedenen Gemeindegrößenklassen.

Die Mobilität ist jene Verbrauchergruppe, die über alle Größenklassen der Gemeinden hinweg die geringsten Unterschiede aufweist. Dies ist auf die nutzungsorientierte Methode zur Darstellung der Mobilität im Energiemosaik Austria zurückzuführen (siehe Kapitel 2.2). Sie beruht auf der Überlegung, dass jede Nutzung Verkehr erzeugt und daher jeder Nutzungsart ein bestimmtes Ausmaß an Verkehrsleistungen zugeschrieben wird. Etwas mehr als die Hälfte des mobilitätsbezogenen Energieverbrauchs ist direkt mit der Wohnnutzung verbunden, während etwas weniger als 40% des mobilitätsbezogenen Energieverbrauchs von der räumlichen Verteilung von Industrie und Gewerbe

sowie von öffentlichen und privaten Dienstleistungen abhängen. Wenn der mobilitätsbedingte Energieverbrauch als Reaktion auf die geringere Bedeutung der Wohnnutzung zurückgeht, wird dies im Allgemeinen durch einen steigenden mobilitätsbedingten Energieverbrauch in Verbindung mit der zunehmenden Rolle von Industrie und Gewerbe sowie der Dienstleistungen ausgeglichen. Die Unterschiede in der Mischung der verschiedenen Nutzungsarten führen daher nur zu relativ geringen Schwankungen des Mobilitätsanteils. Dieses Ergebnis weicht von haushaltsorientierten Ansätzen ab, die ein räumlich differenziertes Mobilitätsverhalten im Hinblick auf Entfernungen und Modal-Splits widerspiegeln, während die nutzungsorientierte Methode auf unterschiedlichen räumlichen Strukturen und den damit verbundenen Mobilitätsbedürfnissen basiert.

Die Muster des Energieverbrauchs und die Bedeutung der verschiedenen Nutzungsarten können jedoch selbst innerhalb der Größenklassen der Gemeinden erheblich variieren. Als Beispiel können drei Gemeinden mit ungefähr gleich großer Bevölkerungszahl (1.500 bis 2.500 Einwohner) dienen (Abbildung 6a-c). In der Gemeinde Angerberg (Tirol) sind die Wohnnutzung und die Mobilität mit jeweils 30-50% die wichtigsten Nutzungsarten. In der Gemeinde Hennersdorf (Niederösterreich) beträgt der Anteil der Industrie 60% und sowohl die Wohnnutzung als auch die Mobilität haben einen Anteil von jeweils ca. 12-18% des Energieverbrauchs. Wird eine dritte Gemeinde betrachtet, Gröbming (Steiermark), so zeigt sich wiederum ein anderes Muster des Energieverbrauchs: Auf Wohnzwecke, Industrie und Gewerbe, öffentliche und private Dienstleistungen sowie die Mobilität entfallen etwa ähnliche Anteile zwischen 15-25% des Energieverbrauchs. Diese Verteilung ist typisch für ein regionales Zentrum. Damit ist das Energiemosaik Austria in der Lage, unterschiedliche räumliche Strukturen in jeweils spezifischen Energieverbrauchsmustern abzubilden, und damit sorgfältig zwischen den Gemeinden zu unterscheiden.

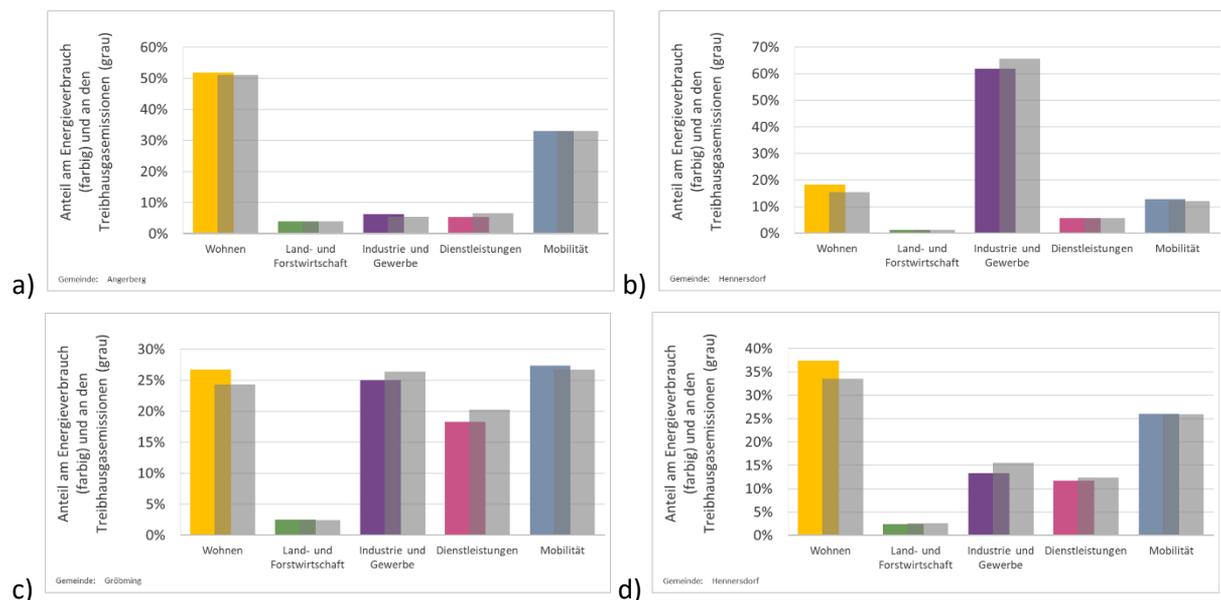


Abbildung 6: Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen nach Nutzungsarten. (a) Gemeinde Angerberg; (b) Gemeinde Hennersdorf; (c) Gemeinde Gröbming; (d) Gemeinde Hennersdorf ohne energieintensive Branchen.

Einige wenige Parameter mit hohen Energiekennzahlen, insbesondere ausgewählte Branchen aus Industrie und Gewerbe, haben jedoch einen großen Einfluss auf das Muster des Energieverbrauchs und können die räumlichen Strukturen überlagern. Aus diesem Grund kann der Anteil der einzelnen Nutzungsarten auch ohne die energieintensiven Branchen von Industrie und Gewerbe beschrieben werden. Werden diese Überlegungen auf die Gemeinde Hennersdorf, einen bedeutenden

Produktionsstandort von Ziegeln, angewendet, so zeigen die einzelnen Nutzungsarten deutlich veränderte Anteile am Energieverbrauch, wie in Abbildung 6d dargestellt.

3.3. Energieverbrauch der einzelnen Nutzungsarten

Für ein besseres Verständnis unterschiedlicher kommunaler Energieverbrauchsmuster ist eine eingehende Auseinandersetzung mit dem Energieverbrauch der einzelnen Nutzungsarten von Bedeutung. Daher sind die Anteile der verschiedenen Nutzungsarten (einschließlich der Mobilität) am Energieverbrauch der Gemeinden, wie in Abbildung 7 dargestellt, eine Betrachtung wert. Die jeweils 1% an niedrigsten und höchsten Werten werden als Ausreißer betrachtet und von der nachfolgenden Diskussion ausgenommen.

Abbildung 7 zeigt zunächst, dass der durchschnittliche Anteil der verschiedenen Nutzungsarten zwischen 6% (Land- und Forstwirtschaft) und 36% (Wohnnutzung) des Energieverbrauchs der Gemeinden variiert. Die Mobilität ist im Durchschnitt für 28%, Industrie und Gewerbe sind für 21% und die öffentlichen und privaten Dienstleistungen für 9% des Energieverbrauchs der Gemeinden verantwortlich.

Darüber hinaus zeigt Abbildung 7 die Minimal- und Maximalanteile der verschiedenen Nutzungsarten. Industrie und Gewerbe zeigen eine große Bandbreite möglicher Anteile mit einem maximalen Anteil von mehr als 70% des Energieverbrauchs, d.h. in einigen wenigen Gemeinden sind Industrie und Gewerbe die bei weitem wichtigste Verbrauchergruppe. Der maximale Anteil für die Wohnnutzung beträgt 55%, jener der Mobilität 39% und jener der öffentlichen und privaten Dienstleistungen 26% des Energieverbrauchs. Die Land- und Forstwirtschaft weist mit 18% des Energieverbrauchs den geringsten Maximalanteil und das kleinste Spektrum möglicher Anteile auf.

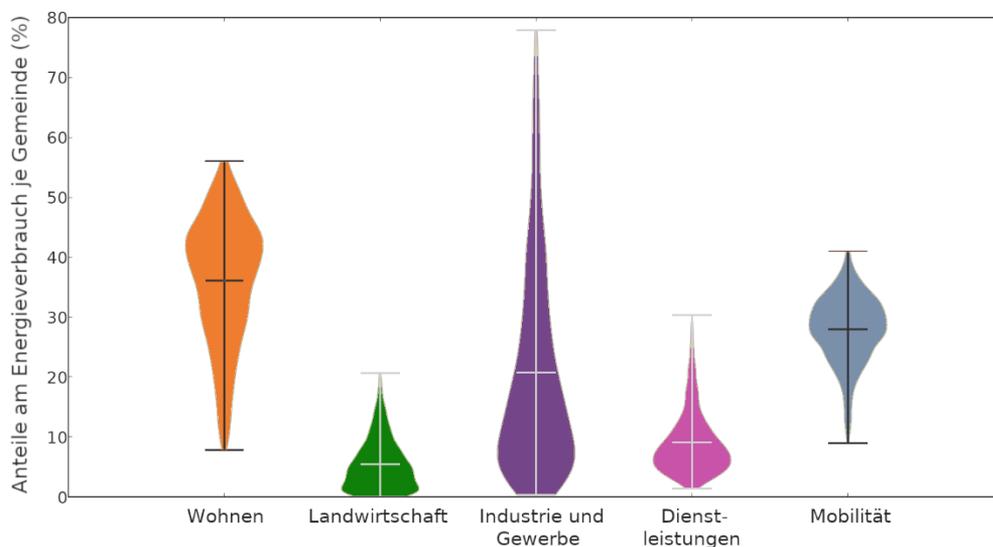


Abbildung 7: Die Bedeutung der Nutzungsarten für den Energieverbrauch der Gemeinden: Durchschnitt, Minimal- und Maximalanteil sowie die Häufigkeitsverteilung.

Ein wichtiger Bestandteil von Abbildung 7 ist zudem die Häufigkeitsverteilung der Anteile der verschiedenen Nutzungsarten: Der Anteil der Wohnnutzung am Energieverbrauch beträgt in der Hälfte der Gemeinden zwischen 29% und 44%, während wenige Gemeinden nur geringfügig höhere Anteile aufweisen. Die Anteile von Industrie und Gewerbe weisen eine umgekehrte Verteilung auf: 50 % der

Gemeinden sind durch eher niedrige industriell-gewerbliche Anteile zwischen 7 % und 30 % gekennzeichnet, während einige Gemeinden auch auffällig höhere Anteile aufweisen. Bei der Land- und Forstwirtschaft sind die Anteile zwischen 2% und 8% am häufigsten, während Anteile über 15% eher selten sind. Die öffentlichen und privaten Dienstleistungen weisen in der Hälfte der Gemeinden Anteile zwischen 5% und 11% auf. In einigen Fällen, wie z.B. in den großen Zentren, erreicht der Dienstleistungssektor Anteile von über 20%. Die Häufigkeitsverteilung der Mobilitätsanteile ähnelt teilweise einer Gaußschen Verteilung: In 50% der Gemeinden trägt die Mobilität mit Anteilen zwischen 25% und 32% zum Energieverbrauch bei.

3.4. Variation des Energieverbrauchs aufgrund spezifischer Nutzungen

Die verschiedenen Nutzungsarten weisen sehr unterschiedliche Anteile am kommunalen Energieverbrauch auf. Diese Variation ist zum einen eine Folge der unterschiedlichen Rolle der Nutzungsarten innerhalb der Siedlungsstrukturen (z.B. Wohngemeinde, Industriestandort, regionales Zentrum oder Tourismusgemeinde). Zum anderen sind die Unterschiede im Energieverbrauch auf die spezifische Ausgestaltung der einzelnen Nutzungen zurückzuführen. Erhebliche Unterschiede im Energieverbrauch, insbesondere im Wärmebedarf, treten beispielsweise zwischen verschiedenen Wohngebäuden je nach Gebäudetyp und Bauperiode auf. Die Unterschiede im Energieverbrauch, insbesondere bezüglich der Prozessenergie, sind zwischen verschiedenen industriell-gewerblichen Branchen aufgrund einer Vielzahl unterschiedlicher Produktionsverfahren noch ausgeprägter. Durch die Anwendung von 92 Parametern zur Erfassung der Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen auf kommunaler Ebene kann das Energiemosaik Austria die meisten dieser Phänomene erfassen. Beispielsweise wird der Energieverbrauch der Industrie für 27 verschiedene Branchen mit unterschiedlichen Energiekennzahlen modelliert. Einen besonders starken Einfluss auf den Energieverbrauch haben allerdings energieintensive Branchen wie die Papierindustrie, die chemische Industrie, die Mineralrohstoffindustrie sowie die Eisen- und Stahlindustrie. Wie Abbildung 8 zeigt, haben diese Branchen einen durchschnittlichen Anteil von 6% am gesamten Energieverbrauch pro Gemeinde. Drei Viertel der Gemeinden weisen Anteile unter 4% auf. Die Gemeinden, in denen diese Branchen einen Anteil von mehr als 10% des Gesamtenergieverbrauchs haben, gelten als Ausreißer. In einzelnen Gemeinden kann dieser Anteil sogar wesentlich höher sein und im Extremfall über 70% liegen. Diese überdurchschnittlichen Anteile treten sowohl in kleineren Gemeinden als auch in mittelgroßen Städten auf und führen zur Unterrepräsentation der anderen Nutzungsarten. Diese Beobachtung ist nicht primär eine Folge der Siedlungsstrukturen, sondern spiegelt die Standorte einzelner energieintensiver Unternehmen wider.

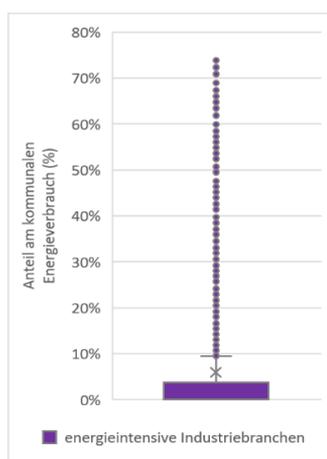


Abbildung 8: Die Bedeutung der energieintensiven industriell-gewerblichen Branchen für den Energieverbrauch.

3.5. Energieverbrauch und Verwendungszwecke

Die Tatsache, dass die verschiedenen Nutzungsarten in unterschiedlichem Maße zum Energieverbrauch beitragen, geht weitgehend mit unterschiedlichen Anteilen der Verwendungszwecke (Wärme, Prozesse und Transport) am Energieverbrauch einher. Abbildung 9 veranschaulicht, dass Wärme und Verkehr ein vergleichbares Muster mit durchschnittlichen Anteilen von 39% und 36% aufweisen. Prozesse sind im Durchschnitt für ca. 24% des Energieverbrauchs verantwortlich, und 75% der Gemeinden sind durch eher geringe Prozessanteile von bis zu 29% gekennzeichnet. Allerdings ist die Prozessenergie durch eine große Zahl an Ausreißern mit hohen Anteilen am Energieverbrauch gekennzeichnet. Dies ist eine Folge des besonderen Energieverbrauchs ausgewählter industriell-gewerblicher Branchen, der sich vornehmlich in einem hohen Prozessenergiebedarf äußert. Wärme und Transport sind in solchen Fällen eher Ausreißer nach unten.

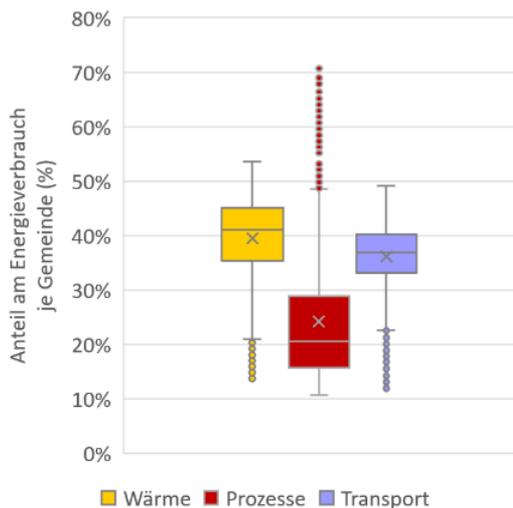


Abbildung 9: Der Anteil der Verwendungszwecke am kommunalen Energieverbrauch.

3.6. Treibhausgasemissionen in der Vision 2050

Basierend auf dem Ist-Zustand skizziert die Vision 2050 ein Zukunftsszenario, das von einer österreichweiten Verringerung der Treibhausgasemissionen um rund 80% gegenüber 1990 ausgeht. Die Vision 2050 zeigt eine mögliche Option auf, wie diese Zielsetzung erreicht werden könnte. Dabei wird berücksichtigt, dass in Zukunft die Treibhausgasemissionen einerseits von der räumlichen Dynamik bestimmt werden, andererseits vom Erfolg der Strategien zur Energiewende und zum Klimaschutz.

Die räumliche Dynamik äußert sich regional unterschiedlich in Zunahmen bzw. Abnahmen der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050: Die Gemeinden in den Zentralräumen und entlang der maßgeblichen Entwicklungsachsen innerhalb Österreichs sind durch eine positive räumliche Dynamik und zunehmende Treibhausgasemissionen gekennzeichnet. Gemeinden in stärker ländlich geprägten, eher peripher gelegenen und inneralpinen Regionen verzeichnen eine stagnierende oder rückläufige Dynamik und eine ebensolche Entwicklung der Treibhausgasemission. Das Verhältnis der Gemeinden mit positiver bzw. rückläufiger Dynamik ist ziemlich ausgewogen. Die relativen Zu- und Abnahmen zeigen durchaus vergleichbare Größenordnungen. Allerdings wird deutlich, dass aufgrund der positiven räumlichen Dynamik vornehmlich in den größeren Gemeinden eine erhebliche absolute Zunahme der Treibhausgasemissionen zu verzeichnen ist, während die Gemeinden im ländlichen Raum zwar eine rückläufige Entwicklung, aber angesichts der geringen Gemeindegröße nur geringfügig sinkende

Treibhausgasemissionen (in absoluter Höhe) verzeichnen. Demnach wären alleine aufgrund der räumlichen Dynamik in Österreich mittelfristig beträchtliche Zunahmen der Treibhausgasemissionen die Folge.

Die Strategien für eine Verringerung des Energieverbrauchs und der damit einhergehenden Treibhausgasemissionen setzen bei den verschiedenen Nutzungen an und berücksichtigen jeweils weitreichende Optionen zur Vermeidung von Energieverbrauch, zur Steigerung der Energieeffizienz und zum verstärkten Einsatz erneuerbarer Energieträger: Werden die spezifischen Potenziale der einzelnen Nutzungen ausgeschöpft, d.h. die besonderen Potenziale der Wohnnutzung hinsichtlich einer nachhaltigen Wärmeversorgung, jene der industriell-gewerblichen Nutzung betreffend den optimierten Einsatz der Prozessenergie, die vielfältigen Potenziale des Dienstleistungssektors sowie jene der Mobilität bezüglich des Einsatzes energieeffizienter Antriebstechnologien vornehmlich aus erneuerbaren Energieträgern begleitet von einer Verlagerung von Verkehrsleistungen auf den Umweltverbund, können die Treibhausgasemissionen der einzelnen Nutzungen in unterschiedlichem Maße verringert werden (Abbildung 10).

Die unter diesen Rahmenbedingungen zu erwartende Entwicklung der Treibhausgasemissionen aller österreichischen Gemeinden zeigt eine Abnahme um rund 80% auf. Die Vision 2050 legt dar, welcher erhebliche Handlungsbedarf in den einzelnen Verbrauchergruppen zur Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz und zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger besteht.

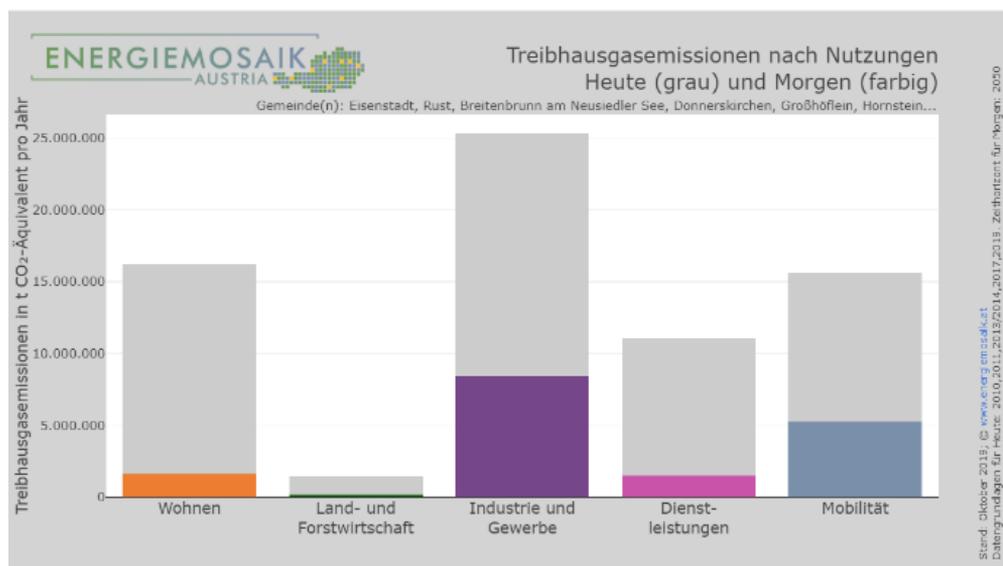


Abbildung 10: Treibhausgasemissionen nach Nutzungen im Ist-Zustand (grau) und in der Vision 2050 (farbig).

3.7. Geodatenbank und Webseite

Die auf Basis der Geodatenbank erarbeitete Webseite www.energiemosaik.at bereitet die Ergebnisse des Projekts in vier Bereichen (Menüpunkten) auf:

1. Einbettung der Inhalte in für Laien verständliche Texte und Erklärungen (Storylines).
2. Karten, die gemeindespezifische Ergebnisse in einen räumlichen Zusammenhang stellen.
3. Daten zur Darstellung des komplexen Datensatzes (nach Kategorien aufbereitet und durchsuchbar).
4. Portfolios, die wesentliche Ergebnisse für einzelne oder mehrere Gemeinden übersichtlich darstellen.

Die Storylines führen in das Thema „Energiewende und Klimaschutz“ ein und beleuchten den Datensatz aus unterschiedlichen Perspektiven. Hier wird auch anschaulich gezeigt, wie sich die Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung der räumlichen Dynamik bzw. im Falle einer erfolgreichen Umsetzung von Energiewende- und Klimaschutzstrategien bis 2050 entwickeln könnten. Die Karten geben einen österreichweiten Überblick über alle klima- und energierelevanten Daten auf Gemeindeebene. Darüber hinaus können die Datensätze auch im Detail abgefragt werden. Karten und Daten stehen mehrheitlich für den Ist-Zustand zur Verfügung, für die Treibhausgasemissionen werden sie auch für die Vision 2050 sowie für die Entwicklung bis 2050 angeboten. Die Portfolios vermitteln die wichtigsten Aussagen aus dem Energiemosaik in Texten, Diagrammen, Tabellen und Karten. Alle Informationen können auch auf regionaler Ebene abgefragt werden.

Die Bereiche Karten und Daten bieten weiters zahlreiche kontextspezifische Visualisierungen als interaktive Diagramme an. Diese stellen die Daten sowohl einzelner Gemeinden als auch mehrerer Gemeinden in Summe bzw. im Vergleich anschaulich dar. Sämtliche Karten, Daten, Diagramme und Portfolios können heruntergeladen werden. Je nach Inhalt werden verschiedene Formate angeboten z.B. für Karten und Diagramme ein Download als Bilddatei oder für Daten das CSV-Format, welches von gängigen Tabellenkalkulationen gelesen werden kann. Darüber hinaus wird ein Download des gesamten Datensatzes als Paket sowie aufgeschlüsselt nach Bundesländern angeboten. Die Portfolios werden als PDF zum Download bereitgestellt. Für die Einbettung der Karten in ein GIS Programm oder in eigene Webseiten werden sämtliche Karten auch als OGC-konforme Webservices angeboten.

3.8. Bezug zum Programm „Stadt der Zukunft“ und seinen Zielen

Das Programm „Stadt der Zukunft“ stellt den Anspruch, maßgeblich zum Transformationsprozess in Richtung nachhaltiger, ressourcen- und energieeffizienter städtischer Strukturen beizutragen und dafür adäquate Lösungswege aufzuzeigen. Damit ist auch der Anspruch verknüpft, Aussagen über die Ausgangssituation betreffend den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen in den österreichischen Städten und Gemeinden zu treffen und damit eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung und Umsetzung energie- und klimapolitischer Strategien bereitzustellen.

Insofern leistet das Energiemosaik Austria einen Beitrag zum Ziel 1 des Programms, das die Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile verfolgt: Voraussetzung für eine Entwicklung in Richtung Ressourcen- und Energieeffizienz sowie für die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energieträger sind ausreichend detaillierte Informationen über den Ist-Zustand betreffend die Höhe des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen, und zwar differenziert nach Verbrauchergruppen, Verwendungszwecken und Energieträgern. Diese umfassende Datenbasis wird mit dem Energiemosaik Austria für alle Städte und Gemeinden in Österreich zur Verfügung gestellt.

Das Wissen um den Status-quo ist grundlegend für eine resiliente und tragfähige Energiezukunft. Eine solche bildet die Vision 2050 ab: Damit wird eine mögliche Option zur Diskussion gestellt, wie die internationalen Verpflichtungen zum Klimaschutz in Österreich umgesetzt werden könnten. Der umfassend definierte Handlungsbedarf erstreckt sich dabei auch auf Strategien zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastrukturen und Energieversorgungssysteme, beispielsweise zur Adaptierung bzw. Erweiterung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung. Diese soll vornehmlich im Falle des Einsatzes erneuerbarer Energieträger oder im Falle der Abwärmenutzung aus Industrie und Gewerbe sowie technischer Infrastrukturanlagen forciert werden. Damit trägt das Energiemosaik

Austria zur Erreichung von Ziel 2 des Programms bei, das in besonderem Maße auf die künftige Gestaltung der städtischen Infrastruktur abzielt.

Mit dem Energiemosaik Austria kann sich die Universität für Bodenkultur Wien im Hinblick auf den „spatial turn“ und die raumbezogene Modellierung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen im internationalen Wettbewerb der Universitäten positionieren und leistet damit einen Beitrag zum Ziel 3 des Programms, der Stärkung der österreichischen Forschungslandschaft. Besonders unterstrichen wird dabei der hohe Stellenwert, den die Verfügbarkeit quantitativer Planungsgrundlagen in raumordnungs- und umweltpolitischen Entscheidungsprozessen einnimmt. Die Universität für Bodenkultur ist sich dabei ihrer besonderen Rolle für die Initiierung und professionelle Begleitung einer nachhaltigen Entwicklung bewusst und nimmt auch ihre gesellschaftliche Verantwortung insofern wahr, als sie mit dem Energiemosaik Austria nicht nur eine unerlässliche Planungs- und Entscheidungsgrundlage bereitstellt, sondern auch einen Beitrag zur Sensibilisierung von energie-, klima-, raum-, umwelt- und mobilitätsrelevanten Akteuren sowie der interessierten (Fach-)Öffentlichkeit leistet und die Einleitung von Lernprozessen über die räumliche Dimension von Energiewende und Klimaschutz unterstützt.

4. Schlussfolgerungen aus dem Energiemosaik Austria

4.1. Die Neuartigkeit des Energiemosaiks Austria

Die Notwendigkeit, einen neuartigen Ansatz zur Modellierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen zu entwickeln, resultiert aus dem Umstand, dass die Bundesländer in Österreich die niedrigste Verwaltungsebene bilden, auf der Daten zum Energieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen verfügbar sind [23,60]. Auf kommunaler Ebene existieren weder statistische Daten zum Energieverbrauch noch Angaben zu den Treibhausgasemissionen. Um diese Lücke zu schließen, wurde das Energiemosaik Austria entwickelt, das einen umfassenden Einblick in den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen auf der Ebene der Gemeinden bietet. Damit soll das Energiemosaik Austria insbesondere den Anforderungen der Akteure in der lokalen Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft gerecht werden, die den Handlungsbedarf zur Verringerung des Klimawandels erkennen [18], denen aber eine landesweite energie- und klimabezogene Bestandsaufnahme für Städte und Gemeinden fehlt. In diesem Zusammenhang ist aber auch zu bedenken, dass die Ausweisung der kommunalen Treibhausgasemissionen nur teilweise die Verantwortung auf kommunaler Ebene für eine Verringerung der Treibhausgasemissionen widerspiegelt. Daneben spielen externe Faktoren eine nicht unerhebliche Rolle, beispielsweise Energiepreise, Bauvorschriften, der technologische Fortschritt, individuelle Verhaltensmuster oder meteorologische Schwankungen [27].

Das Energiemosaik Austria befasst sich mit dem Energiesystem auf einer detaillierteren räumlichen Ebene im Vergleich zu Energiemodellen, die Energiesysteme auf globaler, internationaler, nationaler oder regionaler Ebene untersuchen. Andererseits weist das Energiemosaik Austria eine gröbere Auflösung als die Energiemodelle auf Projektebene auf [16,30,32,34,39,40]. Wie die meisten Energiemodelle verzichtet das Energiemosaik Austria auf die Verwendung von strukturellen Abgrenzungen, beispielsweise beziehungsweise auf Siedlungsstrukturen, und hält sich angesichts von Überlegungen zur Datenverfügbarkeit und Datenqualität an administrative Grenzen [41]. Da das Energiemosaik Austria alle Gemeinden in Österreich basierend auf einem standardisierten Ansatz abdeckt, ist ein Vergleich des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen unter den Gemeinden gerechtfertigt. Die Vergleichbarkeit ist eines der Hauptmerkmale bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen nach dem IPPC-Leitfaden [61].

Das Energiemosaik Austria gehört zu jenem Typ von Energiemodellen, die Energiesysteme aus ökologischer, wirtschaftlicher oder sozialer Sicht analysieren. Zu diesen Aspekten zählen beispielsweise direkte und indirekte Kosten, Finanzierung, Steuern, öffentliche Akzeptanz, Umweltverschmutzung, Beeinträchtigung von Flora und Fauna oder Klimaveränderung [30]. Letztere kennzeichnet den thematischen Schwerpunkt des Energiemosaiks Austria. Das Energiemosaik Austria befasst sich nicht mit technologischen Fragen wie der Entwicklung, der Umsetzung oder der Optimierung des Energiesystems unter Berücksichtigung des spezifischen Energieangebots und der Nachfragemuster in einer detaillierten raum-zeitlichen Auflösung [30].

4.2. Der Raumbezug des Energiemosaiks Austria

Der Ansatz des Energiemosaiks Austria basiert auf einer raumplanerischen Perspektive, die den Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen mit den räumlichen Strukturen verknüpft. Dadurch wird die bestmögliche Anpassung der Modellierung an die lokale Situation

gewährleistet und eine solide, räumlich differenzierte Grundlage für die Gestaltung von Strategien für die Energiewende und den Klimaschutz geschaffen. Die österreichweite Umsetzung des Ansatzes führt zu einer gemeinsamen Ausgangsbasis für alle Gemeinden. Darüber hinaus können übergeordnete Planungsebenen wie Regionen, Bundesländer und der Bund von dem Wissen um die möglichen Beiträge unterschiedlicher räumlicher Strukturen in Zentren, Kleinstädten, suburbanen und ländlichen Gemeinden zu den übergeordneten klima- und energiebezogenen Strategien profitieren. Das Energiemosaik Austria ermöglicht eine enge Verknüpfung von bestehenden räumlichen Strukturen oder absehbaren räumlichen Entwicklungen mit zukünftigen Szenarien zur Energieversorgung. Damit wird eine wesentliche Grundlage für die Umsetzung der Energiewende mit möglichst geringen Treibhausgasemissionen geschaffen.

Das Energiemosaik Austria wendet den konzeptionellen Rahmen des "spatial turn" an und unterstreicht die zentrale Bedeutung von Land und Raum in der Energie- und Klimapolitik. Die zunehmende Berücksichtigung der räumlichen Dimension besteht dabei in der Entwicklung energieoptimierter Siedlungsstrukturen, die mit formal-regulatorischen Veränderungen (z.B. bezüglich der Bauvorschriften) sowie mit gesellschaftlichen Prozessen (z.B. im Hinblick auf die Bewusstseinsbildung und das gesellschaftliche Lernen über die räumlichen Dimensionen des Energiewandels) einhergehen.

Das Energiemosaik Austria betrachtet alle relevanten Nutzungsarten, d.h. die Wohnnutzung, wirtschaftliche Nutzungen und die damit verbundenen Mobilitätsbedürfnisse, gleichrangig. Sie konzentriert sich auf die Struktur und die Muster des Endenergieverbrauchs und die gesamten (direkten und indirekten) Treibhausgasemissionen auf lokaler Ebene. Daher betrachtet das Energiemosaik Austria alle Energieträger als Grundlage für die Abschätzung der Treibhausgasemissionen und berücksichtigt alle Verwendungszwecke (Wärme, Prozesse, Transport). Damit unterscheidet sich das Energiemosaik Austria wesentlich von der Mehrzahl der Energiemodelle, die entweder eine einzelne Verbrauchergruppe, insbesondere die Wohnnutzung oder die Mobilität, auswählen [34] oder ausgewählte Verwendungszwecke wie die Raumwärme oder die Prozessenergie oder ausgewählte Energieträger, insbesondere Öl, Biomasse oder Elektrizität, berücksichtigen. Durch die Fokussierung auf bestimmte Segmente können die Energiemodelle spezifische, eng gefasste Fragen beantworten. Diese Modelle werden oft für bestimmte Zwecke und eine bestimmte Zielgruppe entwickelt. Die multisektoralen und größeren, integrierten Modelle wie das Energiemosaik Austria sind jedoch von besonderer Relevanz für politische und strategische Entscheidungsprozesse [41].

Das Energiemosaik Austria deckt das gesamte Energiesystem ab und ist somit vollständig hinsichtlich der Energieverbraucher und der relevanten Verursacher von Treibhausgasemissionen. Die Vollständigkeit ist ein weiteres Schlüsselmerkmal bei der Berechnung von Treibhausgasemissionen nach den IPPC-Richtlinien [61]. Das Energiemosaik Austria befasst sich mit der Energienachfrage, die als Schlüsselkomponente für die Förderung eines kohlenstoffarmen Energiesystems anerkannt ist [30]. In dieser Hinsicht folgt das Energiemosaik Austria der Überlegung, den Energiebedarf als Ausgangspunkt einer energiebezogenen Analyse zu verwenden [39]. Aus der Perspektive der Energieversorgung sind dagegen die technischen Aspekte und die Frage, ob das Energieangebot die gegebene Nachfrage deckt, relevant [39].

4.3. Der quantitative Ansatz des Energiemosaiks Austria

Energiemodelle verwenden je nach Forschungsfrage entweder qualitative, quantitative oder gemischte Methoden. Die qualitativen Methoden unterstützen die Diskussion über Werte, Normen oder

Ziele, indem sie Einflussvariablen offenlegen, die Richtungen des Einflusses dieser Variablen beschreiben oder subjektive Meinungen aufdecken [34,62,63]. Die quantitativen Ansätze können numerische Daten verarbeiten und verknüpfen, indem sie Gleichungen oder Ungleichungen verwenden, um Ergebnisse zu generieren. Insbesondere die quantitativen Modelle hängen sowohl von den Eingangsdaten als auch von den systeminternen Überlegungen ab. Im Zuge der Modellentwicklung ist zu entscheiden, ob den späteren Anwendern erlaubt wird, in das Modell einzugreifen (exogene Modelle) oder nicht (endogene Modelle). Die exogenen Modelle eignen sich besonders dann, wenn die verfügbaren Datensätze unvollständig sind und die Nutzer fehlende Informationen, z.B. Vor-Ort-Wissen, ergänzen können. Im Gegensatz dazu sind die rein endogenen Modelle frei von externen, benutzerabhängigen Inputs [39,41].

Das Energiemosaik Austria stellt ein endogenes, quantitatives Modell dar, das ausschließlich auf der Eingabe statistischer Daten basiert und weder auf benutzerdefinierten Eingaben noch auf individuellen Erhebungen oder Messungen beruht. Die Verfügbarkeit der notwendigen Eingangsdaten ist ein entscheidender Faktor bei der Modellierung von Energiesystemen. Die Datenqualität sowie die Kosten für die Datenbeschaffung müssen dabei berücksichtigt werden. Darüber hinaus müssen die Herkunft der Daten und Lizenzfragen geklärt werden [29,40,41]. Das Energiemosaik Austria basiert auf systematischen und konsistenten Daten aus vergleichbaren Quellen für alle Verbrauchergruppen, d.h. für alle Nutzungsarten, die alle österreichischen Gemeinden abdecken. Die Verantwortung für die Daten liegt bei der Statistik Austria, die eine hohe Qualität der Datensätze und deren regelmäßige Veröffentlichung sicherstellt. Letzteres bietet die Möglichkeit, in regelmäßigen Abständen Energie- und Treibhausgasdatenbanken zu aktualisieren. Diese Tatsachen werden als Schlüsselfaktoren anerkannt, wenn statistische Daten für Energiemodelle verwendet werden [16]. Die statistischen Daten zu den verschiedenen Nutzungsarten auf kommunaler Ebene werden durch die österreichweite Mobilitätshebung „Österreich Unterwegs“ mit Ergebnissen auf Landesebene ergänzt [50]. Die Kombination dieser Inputs ebnet den Weg für einen innovativen Ansatz zur Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der alltäglichen Personenmobilität unter Berücksichtigung der räumlichen Strukturen innerhalb der Gemeinden. Dennoch kann selbst für einen quantitativen Ansatz wie für jenen, der dem Energiemosaik Austria zugrunde liegt, nicht vollkommene Richtigkeit in Anspruch genommen werden: Einerseits sind die Eingabedaten mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Andererseits kann die standardisierte Modellierung nicht alle Details und Veränderungen der Nutzungen in Raum und Zeit, des individuellen Verhaltens oder der technischen Innovation abbilden. Schließlich sind Modelle grundsätzlich nicht in der Lage, Situationen vollständig zu beschreiben, die nicht einmal genau beobachtet oder gemessen werden können [30].

4.4. Das Top-Down- und Bottom-Up-Modell des Energiemosaiks Austria

Das Energiemosaik Austria basiert auf einer intelligenten Verknüpfung von top-down- und bottom-up-basierten Rechengängen. Diese Verknüpfung stützt sich auf eine Vielzahl von Parametern, die auf harten, statistischen Daten basieren und auf kommunaler Ebene für ganz Österreich verfügbar sind. Diese Parameter ermöglichen eine profunde Charakterisierung der Gemeinden hinsichtlich der energie- und klimarelevanten Ausgestaltung der Nutzungsstrukturen einschließlich der Mobilität. Die Vielzahl der Werte stellt eine zuverlässige Grundlage für die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen auf kommunaler Ebene dar. Die Verwendung von disaggregierten Daten ist ein Hauptmerkmal von Bottom-up-Modellen [39]. Die Energiekennzahlen hingegen stammen aus einem Top-down-Ansatz. Dieser Schritt ist mit dem Nachteil verbunden, dass die Energiekennzahlen die spezifischen Technologien [39] und die Besonderheiten der einzelnen Gemeinden nicht explizit

abbilden können. Der große Vorteil dieser Methode ist jedoch die Konsistenz der Datenbank auf kommunaler Ebene mit den Datensätzen auf der Ebene der Bundesländer: Im Falle der Aggregation der kommunalen Werte resultieren die Werte auf Landesebene. Dies gilt sowohl für die Verkehrsleistungen der verschiedenen Wegezwecke als auch für den Energieverbrauch der verschiedenen Nutzungsarten (ohne Mobilität) und für die Treibhausgasemissionen, soweit ein Vergleich zwischen dem Energiemosaik Austria und der Bundesländer-Schadstoffinventur möglich ist. In dieser Hinsicht erfüllt das Energiemosaik Austria die Anforderung, auf verschiedenen räumlichen Ebenen konsistente Ergebnisse zu erzielen. Die gemischten Ansätze, die Bottom-up- und Top-down-Methoden miteinander verbinden, gelten im Allgemeinen als die beste Option, um die größtmögliche Genauigkeit von Datenbanken sicherzustellen [43].

Der Vorzug des kombinierten Ansatzes aus bottom-up und top-down orientierten Rechengängen besteht demnach in der Konsistenz der Ergebnisse des Energiemosaiks Austria mit anerkannten landes- bzw. österreichweiten Angaben zum Energieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen. Anhand von drei Größen soll anschaulich gezeigt werden, dass die im Energiemosaik Österreich für alle österreichischen Gemeinden ausgewiesenen Daten in Summe den diesbezüglichen, andernorts publizierten Werten entsprechen.

Dies trifft beispielsweise auf das zentrale Ergebnis des Energiemosaiks Austria zu, den energetischen Endverbrauch: Werden die im Energiemosaik Austria ausgewiesenen Daten zum Energieverbrauch aller österreichischen Gemeinden summiert, dann resultiert ein energetischer Endverbrauch, der um 5,6% unter dem Energieverbrauch liegt, der in der österreichischen Nutzenergieanalyse [23] ausgewiesen ist (Tabelle 2). Die Differenz geht vornehmlich auf die Mobilität zurück, die sich in der Nutzenergieanalyse am Ausmaß der abgesetzten Treibstoffe orientiert, während das Energiemosaik Austria einen fahrleistungsabhängigen Ansatz in Abhängigkeit der gemeindespezifischen Nutzungen zugrunde legt (und daher den Kraftstoffexport ins Ausland nicht einschließt). Für die übrigen Nutzungsarten spiegelt sich der gesamte Energieverbrauch Österreichs in den Datensätzen aller österreichischen Städte und Gemeinden wider.

Tabelle 2: Hauptergebnisse der Plausibilitätsprüfung des Energiemosaiks Austria.

	Energiemosaik Austria	publizierte Werte *)	Modell in % der publizierten Werte *)
Endenergieverbrauch insgesamt	278.477.000 MWh	294.973.000 MWh	94,4%
Verkehrsleistungen der Alltagsmobilität	99 Mrd. pkm	104 Mrd. pkm	95,2%
Treibhausgasemissionen der Mobilität	15.640.000 t CO ₂ -Äqu.	15.041.000 t CO ₂ -Äqu.	104,0%

**) Die publizierten Werte stammen aus der Nutzenergieanalyse Österreich [23], dem Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich Unterwegs 2013/2014“ [50] sowie der Bundesländer Luftschadstoff-Inventur [60]*

Für die Mobilität kann eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen dem Energiemosaik Austria und den Ergebnissen der Mobilitätserhebung „Österreich Unterwegs“ [50] im Hinblick auf die Verkehrsleistungen aufgezeigt werden: Im Energiemosaik Austria werden in Summe über alle Gemeinden jährliche Verkehrsleistungen der alltäglichen Personenmobilität in der Höhe von 99 Mrd. Personenkilometer ausgewiesen. Dies entspricht 95% des Wertes, der auch in der Mobilitätserhebung „Österreich Unterwegs“ dargelegt ist (Tabelle 2). Weiters zeigt die Gegenüberstellung der mobilitäts-

bedingten Treibhausgasemissionen, die in Summe über alle österreichischen Gemeinden im Energiemosaik Austria ausgewiesen sind, nur eine geringfügige Abweichung von der „Second Estimate“-Abschätzung der Bundesländer Luftschadstoff-Inventur [60] (Tabelle 2). Die dargelegte Differenz in der Höhe von 4% geht insbesondere darauf zurück, dass im Energiemosaik Austria auch die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen des schienengebundenen Verkehrs berücksichtigt sind, während die Bundesländer Luftschadstoff-Inventur nur auf den Straßenverkehr Bezug nimmt.

Diese Konsistenz des Energiemosaiks Austria gilt nicht nur für die österreichweiten Angaben, sondern auch für jene auf der Ebene der Bundesländer.

4.5. Die Genauigkeit des Energiemosaiks Austria

Das Energiemosaik Austria stellt eine Energie- und Treibhausgasdatenbank dar, die weder eine generelle Über- noch eine Unterschätzung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen aufweist. Im Rahmen der Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen auf der Ebene einzelner Gemeinden oder für einzelne Parameter kann es jedoch zu Ungenauigkeiten kommen, insbesondere aufgrund der möglichen Unschärfe einiger Energiekennzahlen.

Grundsätzlich basiert die Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen für das Energiemosaik Austria auf einer Vielzahl von Parametern, um die Unsicherheit der Ergebnisse zu minimieren. Dieser Umstand ermöglicht die Anwendung möglichst spezifischer und präziser Energiekennzahlen und gewährleistet minimale Abweichungen der tatsächlichen Werte von der jeweiligen Energiekennzahl im Modell. Darüber hinaus wird eine hohe Genauigkeit der Modellierung dadurch erreicht, dass der Gesamtenergieverbrauch und das gesamte Ausmaß an Treibhausgasemissionen einer Gemeinde auf der Aggregation über eine Vielzahl von Parametern beruht, so dass sich die möglichen Unterschiede zwischen realen und simulierten Werten für die einzelnen Parameter im Durchschnitt ausgleichen können. Die Genauigkeit ist ein weiteres Schlüsselmerkmal bei der Berechnung von Treibhausgasemissionen nach den IPPC-Richtlinien [61]. Aufgrund der Sensitivitätsanalyse, die ein geeignetes Verfahren zur Bestimmung derjenigen Eingangsdaten darstellt, die den größten Einfluss auf das Ergebnis haben [41], muss der Schwerpunkt innerhalb des Energiemosaiks Austria auf den Parametern mit entweder hohen Energiekennzahlen (z.B. energieintensive industriell-gewerbliche Branchen) oder mit großen Mengen (z.B. Verkehrsleistungen) oder auf den Emissionsfaktoren (z.B. abhängig vom Strommix) liegen, um Unsicherheiten zu reduzieren. Ansonsten hat die Modifikation einzelner Parameter in der Regel nur marginale Auswirkungen auf die Ergebnisse.

4.6. Die Simulationstechnik des Energiemosaiks Austria

Das Energiemosaik Austria umfasst eine detaillierte Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen basierend auf einer Vielzahl von Eingangsdaten, d.h. aus umfangreichen Datensätzen zu den Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen der österreichischen Gemeinden werden unter Berücksichtigung der wichtigsten Merkmale des Energiesystems der Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen auf kommunaler Ebene ermittelt. In dieser Hinsicht kann das Energiemosaik Austria den Berechnungsmodellen zugeordnet werden [16]. Darüber hinaus baut das Energiemosaik Austria auf Simulationstechniken auf, d.h. das Ergebnis des Modells kann als das Ergebnis einer Reihe komplexer Simulationen auf der Grundlage der Eingangsdaten verstanden werden [32]. In diesem Sinn kann das Energiemosaik Austria als ein deskriptives Simulationsmodell

klassifiziert werden, das auf einer logischen Darstellung des Energiesystems basiert [34,39]. Das Energiemosaik Austria stellt kein Optimierungsmodell dar, das die beste Lösung für das zukünftige Energiesystem im Hinblick auf vordefinierte Kriterien und bestehende Ziele definiert [29,30].

Da sich das Energiemosaik Austria auf verlässliche statistische Daten und standardisierte Berechnungen bzw. Simulationen stützt, weist es ein hohes Maß an Konsistenz auf und stellt sicher, dass die unter den Gemeinden zu verzeichnenden Unterschiede in den Ergebnissen weitgehend die tatsächlichen Unterschiede im Energieverbrauch oder in den Treibhausgasemissionen widerspiegeln. Allfällige Inkonsistenzen hinsichtlich der Eingangsdaten und der Modellierung können als potenzielle Quellen für Unterschiede in den Ergebnissen weitgehend ausgeschlossen werden. Konsistenz ist auch ein Schlüsselmerkmal bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen gemäß den IPPC-Richtlinien [61].

Das Energiemosaik Austria simuliert das Energiesystem vornehmlich für den Ist-Zustand. Daher kann es den statischen Modellen zugeordnet werden. Sie verwenden Daten für einen einzelnen Zeithorizont, z.B. aus einer einzelnen Erhebung, als Grundlage für die Modellierung. Die dynamischen Modelle dagegen beruhen auf regelmäßig aktualisierten Eingangsdaten, z.B. aufgrund einer kontinuierlichen Überwachung, und können zeitliche Entwicklungen darstellen. Die semidynamischen Modelle bilden Zeitreihen aus mehreren aufeinanderfolgenden Zeithorizonten ab [30,40].

Die Energiemodelle befassen sich entweder mit vergangenen, gegenwärtigen oder zukünftigen Energiesystemen. Je nach gewähltem Zeithorizont können die Energiemodelle für die Zukunft dem Backcasting, der Szenarioanalyse oder der Prognose zugeordnet werden [16,30,32,34,39,40]. Das Energiemosaik Austria konzentriert sich auf den aktuellen Stand und bildet einen österreichweiten Bezugsrahmen für zukünftige energie- und klimabezogene Aktivitäten. Die Modellierung ist aber auch für andere Zeithorizonte anwendbar. In diesem Fall kann sie entweder einen Einblick in die Entwicklung des Energiesystems über Jahrzehnte hinweg geben, wobei aufgrund des Top-Down-Ansatzes zur Ableitung der Energiekennzahlen das Energiemosaik Austria für ein Monitoring auf Gemeindeebene nicht geeignet ist. Andererseits kommt mit der Entwicklung der Vision 2050 die Backcasting-Methode [64] zum Einsatz, die für das Jahr 2050 einen angestrebten Zustand im Hinblick auf das Ausmaß an Treibhausgasemissionen formuliert und darauf basierend notwendige Änderungen im Energiesystem darlegt.

4.7. Die Vision 2050 des Energiemosaiks Austria

Für die Entwicklung der Vision 2050 wird entsprechend dem zielorientierten Ansatz des Backcasting [64] ausgehend von den internationalen Klimaschutzverpflichtungen eine Option aufgezeigt, welche energie- und klimapolitischen Strategien in den nächsten Jahrzehnten verfolgt werden müssten, um eine 80%-ige Verringerung der Treibhausgasemissionen in Österreich gegenüber 1990 zu gewährleisten. Methoden, die für Überlegungen eingesetzt werden, welche Modellinputs zu einem bestimmten, vordefinierten Modelloutput führen, werden in Sensitivitätsanalysen auch als „factor mapping“ [65] bezeichnet. Dieser Ansatz rückt demnach nicht einzelne energie- und klimapolitische Maßnahmen und ihre Wirkung auf die Treibhausgasemissionen in den Vordergrund der Betrachtungen, sondern veranschaulicht den erheblichen Handlungsbedarf bezüglich der Energiewende und des Klimaschutzes und stellt ein Bündel von Strategien zur Diskussion, das die erforderliche Verringerung der Treibhausgasemissionen gewährleisten kann. Die Entwicklung der Vision 2050 folgt demnach einer „Storyline“ [34], nämlich dem Ziel einer 80%-igen Verringerung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050, und setzt das Modell diesem Fokus entsprechend für die Simulation eines entsprechenden Szenarios

ein. Dabei zeigt es eine (von mehreren) möglichen Optionen auf, wie das genannte Ziel erreicht werden kann.

Der Vorteil dieser Herangehensweise besteht darin, dass sich die Aussagen zur Vision 2050 nicht auf eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen stützen, die für eine derart weitreichende Veränderung des Energiesystems erforderlich wären, aber zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht klar definiert und bezüglich ihrer Wirkungen auf die Verringerung der Treibhausgasemissionen im Detail kaum beurteilt werden können. Vielmehr soll eine Debatte eröffnet werden, welche Strategien bzw. Maßnahmen (weiter)entwickelt und umgesetzt werden müssten, um dem Anspruch einer 80%-igen Verringerung der Treibhausgasemissionen gerecht zu werden. Dazu wird es auch der intensiven (Weiter)Entwicklung innovativer Technologien bedürfen, wie beispielsweise zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Nutzung erneuerbarer Energie oder für den verbesserten Einsatz von Speicherlösungen. In diesem Zusammenhang ist künftig insbesondere zu erörtern, welchen Beitrag die einzelnen Verbrauchergruppen leisten können und in welchem Verhältnis die Strategien zur Vermeidung von Energieverbrauch, die Optionen zur Steigerung der Energieeffizienz und die Maßnahmen zur Substitution fossiler durch erneuerbare Energie zur Zielerreichung beitragen und daher in den nächsten Jahrzehnten umgesetzt werden sollen.

In diesem Zusammenhang gilt es jedenfalls auch, sich der Bedeutung der räumlichen Dynamik bewusst zu werden. Die künftig absehbare Entwicklung von Bevölkerung, Wirtschaft und Verkehr führt jedenfalls zu einer Zunahme der Treibhausgasemissionen in Österreich, wenn keine umfassenden Maßnahmen zum Klimaschutz getroffen werden. Dieser Umstand macht einerseits deutlich, dass bei der Formulierung von Strategien zur Verringerung der Treibhausgasemissionen nicht der Status-quo die maßgebliche Größe ist, sondern die räumliche Dynamik stets berücksichtigt werden muss. Andererseits sind unübersehbar erhebliche Anstrengungen erforderlich, um die künftige räumliche Entwicklung selbst möglichst energiesparend und klimafreundlich zu realisieren.

Die derzeitigen Bemühungen zum Klimaschutz müssen demnach um eine Vielzahl innovativer Technologien und alternativer Lebensstile ergänzt werden. Nur ein weitreichender Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft kann mittelfristig eine klimafreundliche Entwicklung gewährleisten. Eine besondere Unsicherheit spielt dabei das individuelle Verhalten der Bevölkerung und der Akteure in der Wirtschaft sowie dessen Veränderungen über die Zeit. Dabei spiegeln sich Haushalts- und Unternehmerentscheidungen nicht nur in einer einzelnen Einflussgröße wider, sondern zeigen auf zahlreiche Parameter Wirkung. Verhaltensänderungen sind über die Zeit schwer zu quantifizieren, bilden aber einen elementaren Bestandteil interdisziplinärer Modellansätze [32] wie des Energiemosaiks Austria.

4.8. Räumlich differenzierte Ergebnisse des Energiemosaiks Austria

Wie im Ergebnisteil gezeigt, sind die Zusammenhänge zwischen räumlichen Strukturen und Mustern des Energieverbrauchs deutlich zu beobachten. Auf der kommunalen Ebene tragen die verschiedenen Nutzungsarten in unterschiedlichem Maße zum Energieverbrauch und zu den Treibhausgasemissionen bei. Die Interpretation der Ergebnisse erfordert eine Diskussion vor dem Hintergrund der damit verbundenen räumlichen Strukturen. Dazu umfasst die Datenbank alle zugrundeliegenden, energie- und klimabezogenen Parameter und liefert weitere Attribute für jede Gemeinde, wie z.B. Gesamtbevölkerung, Fläche oder die Kennzeichnung als städtische oder ländliche bzw. zentrale oder periphere Gemeinde. Die umfangreiche Datenbasis ist ein besonderer Vorzug des Energiemosaiks Austria und eine wesentliche Voraussetzung für aussagekräftige, gemeindeübergreifende Vergleiche [16].

Diese Überlegungen führen zur Entwicklung von Gemeindetypen durch den k-Mittel-Algorithmus [66] entsprechend den Anteilen des Energieverbrauchs, den die verschiedenen Nutzungsarten am kommunalen Energieverbrauch insgesamt aufweisen. Dieser Clustering-Algorithmus ermöglicht die Aufteilung des österreichweiten Datensatzes in einen Satz von mehreren Clustern, wobei die Anzahl der Cluster (k) vorgegeben wird. Somit klassifiziert der k-Mittel-Algorithmus die Gemeinden in k Cluster so auf, dass die Gemeinden innerhalb desselben Clusters ähnlicher sind als die Gemeinden in unterschiedlichen Clustern.

Nach diesem Algorithmus werden alle österreichischen Gemeinden neun verschiedenen Gemeindetypen mit ähnlichen Mustern des Energieverbrauchs bzw. der zugrunde liegenden räumlichen Strukturen zugeordnet (Abbildung 11). In Gemeinden der Typen I und II, die zusammen 42% der Gemeinden umfassen, weisen die Wohnnutzung und die Mobilität dominierende Anteile am Energieverbrauch auf; die beiden Typen unterscheiden sich wenig im Hinblick auf den ohnehin geringen Anteil von Industrie und Gewerbe. Die Gemeinden der Typen III bis V repräsentieren 18% aller österreichischen Gemeinden und sind wiederum durch hohe Anteile der Wohnnutzung und der Mobilität gekennzeichnet, zeigen jedoch auch auffällige Anteile der Land- und Forstwirtschaft (Typ III), der Dienstleistungen (Typ IV) oder von Industrie und Gewerbe und Dienstleistungen (Typ V). Die Gemeindetypen VI und VII bestehen aus Gemeinden mit einer bemerkenswerten Bedeutung von öffentlichen und privaten Dienstleistungen und unterscheiden sich hinsichtlich des industriell-gewerblichen Anteils. Diese Typen bilden nur 7% der Gemeinden ab. Dennoch sind sie aus raumplanerischer Sicht insofern bedeutsam, als sie entweder die großen Zentren mit einer ausgewogenen Mischung verschiedener Nutzungsarten oder die Hotspots des Tourismus, die durch eine erhebliche räumliche und zeitliche Konzentration einer einzelnen Nutzung gekennzeichnet sind, oder ausgewählte Standorte von Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen darstellen. Schließlich weisen Industrie und Gewerbe einen (sehr) dominierenden Anteil des Energieverbrauchs in Gemeinden der Typen VIII und IX auf, die in der Regel Standorte von Produktionsanlagen aus energieintensiven Branchen umfassen und 33% der Gemeinden repräsentieren. Für die Darstellung auf der Webseite wurden die Gemeindetypen teilweise aggregiert.

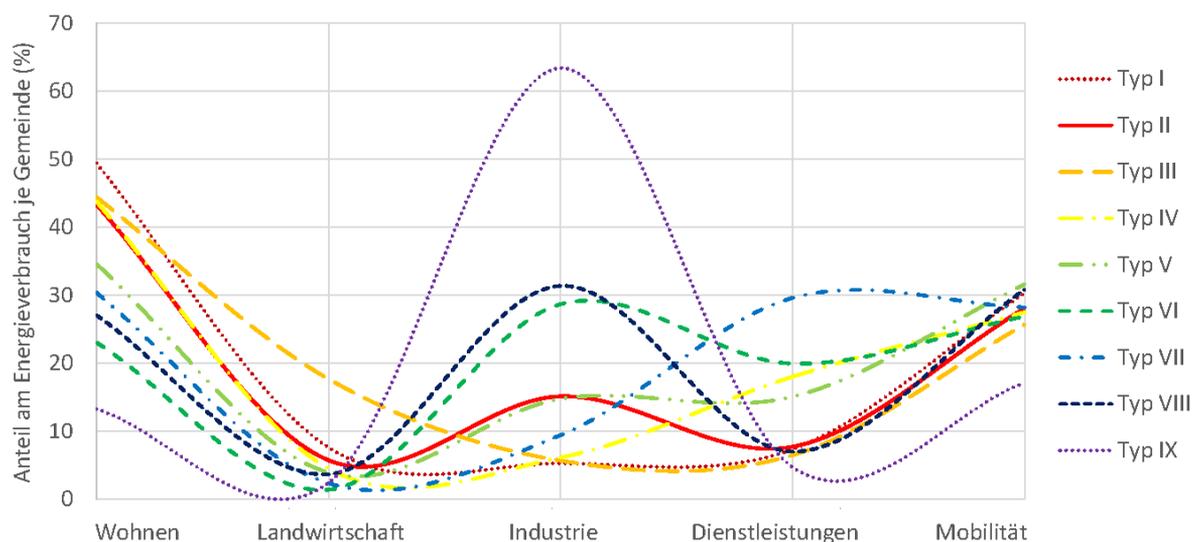


Abbildung 11: Gemeindetypen mit ähnlichen Mustern des Energieverbrauchs.

Diese Gemeindetypologie zeigt anschaulich, in welchem Maße verschiedene räumliche Strukturen zu unterschiedlichen Mustern des Energieverbrauchs auf kommunaler Ebene führen. Gemeinden mit

weitgehend homogenen Energieintensitäten, wirtschaftlichen Aktivitäten und Lebensstilen [16] sind jeweils einem Gemeindetyp zugeordnet. Eine Gegenüberstellung der Energieverbrauchsmuster innerhalb der einzelnen Typen bzw. gemeindetypenübergreifend zeigt, dass die Werte innerhalb der Gemeindetypen deutlich geringer voneinander abweichen als dies im Vergleich zu anderen Typen oder zu den österreichweiten Werten der Fall ist. Das Wissen um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Gemeinden bietet eine gute Grundlage für die Entwicklung von Strategien zugunsten der Energieeffizienz und des Klimaschutzes innerhalb der Gemeinden und über Gemeindegrenzen hinweg.

4.9. Technische Umsetzung des Energiemosaiks Austria

Im gewählten iterativen und inkrementellen Ansatz für den Aufbau der Energiemosaik-Datenbank auf Gemeindeebene wurden die einzelnen Schritte von der Anforderung bis zum ersten Ergebnis sequenziell durchlaufen. Dieser Prozess wurde solange wiederholt, bis am Ende eine finale räumlich-zeitliche Datenbank mit einer performanten Datenabfrage und -verwaltung vorlag.

Ungeachtet dessen, dass sich die technische Umsetzung des Energiemosaiks zum großen Teil mit Standard-Komponenten bzw. -Methoden durchführen ließ, war die fachliche Komplexität überaus hoch. Die große Herausforderung bestand in der Aufbereitung / Kommunikation des Fachwissens (seitens der BOKU) für ein technisch geprägtes Team zur Entwicklung der Geodatenbank und der Webseite (auf Seiten von SPASE/Z_GIS).

Es stellte sich schnell heraus, dass eine einfache Kartenanwendung mit ergänzenden interaktiven Diagrammen der fachlichen Komplexität des Themas nicht gerecht werden würde. Der Ansatz der Teilung der Webseite in einen Einführungsteil für Laien mit wenig Möglichkeiten zur nicht zielgerichteten Interaktion mit dem zugrundeliegenden Datenmodell (Storylines) und einen Teil (Daten / Karten) für erfahrenere Anwender, in dem der Datensatz in seiner ganzen Komplexität erforscht werden kann, hat sich als sehr geeignet erwiesen und wird in Zukunft öfter verfolgt werden.

4.10. Weiterverwendung, Verbreitung und Verwertung des Energiemosaiks Austria

Das IRUB bringt die Ergebnisse des Energiemosaiks Austria unmittelbar in weitere Projekte der Energieraumplanung ein. Die Aufgabenstellungen umfassen dabei insbesondere die flächendeckende Modellierung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in einem 250m-Raster, die darauf basierende Beurteilung der Eignung von Siedlungsgebieten für die leitungsgebundene Wärmeversorgung und die klimafreundliche Mobilität, die Ausweisung energieraumplanerischer Standorträume als Grundlage für die Integration energie- und klimapolitischer Zielsetzungen in die örtliche Raumplanung, die Energiezonenplanung mit Aussagen zur wirtschaftlichen Realisierbarkeit von Wärmeversorgungsnetzen in Abhängigkeit der Siedlungsstrukturen oder die Gegenüberstellung von Energiebedarf und solarem Energieangebot in hoher raumzeitlicher Auflösung.

Das Energiemosaik Austria bietet in diesen Fällen eine unerlässliche Orientierungshilfe und Grundlage für die detaillierte Bearbeitung der Aufgabenstellungen. Im Gegenzug eröffnet der Einsatz des Energiemosaiks Austria in verschiedenen räumlichen Kontexten und mit unterschiedlichen Partnern bzw. Anwendern stets Optionen zur Plausibilitätsprüfung des Energiemosaiks Austria und zur Weiterentwicklung der Modellierung.

Das Energiemosaik Austria stellt eine strategische Planungs- und Orientierungshilfe für die künftige Energie- und Klimapolitik vornehmlich auf lokaler und regionaler Ebene dar und spricht daher in hohem

Maße Akteure in verschiedenen kommunal- und regionalpolitischen Aufgabenfeldern an. Dazu zählen insbesondere die Erarbeitung von Energiekonzepten und Klimaschutzstrategien, die Infrastruktur-entwicklung, die Raumplanung, die Erstellung integrierter Mobilitätskonzepte oder die Regional-entwicklung. Darüber hinaus lässt sich auch auf den übergeordneten Planungs- und Entscheidungsebenen abschätzen, welchen Beitrag Gemeinden und Regionen zur Energiewende und zum Klimaschutz leisten können.

Als Zielgruppen des Energiemosaiks Austria können Akteure aus Politik und Verwaltung, Wissenschaft und Praxis, Planung und Wirtschaft sowie der (Fach-)Öffentlichkeit angesprochen werden. Das Energiemosaik Austria beschreibt für alle österreichischen Gemeinden umfassend den Status-quo im Hinblick auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen differenziert nach Verbrauchergruppen, Verwendungszwecken sowie Energieträgern und stellt damit den betreffenden Akteuren eine Referenz für die Formulierung energie- und klimarelevanter Strategien zur Verfügung.

Die Aktivitäten zur Verwertung und Weiterverbreitung der kommunalen Energie- und Treibhausgasdatenbank erfolgen im Sinne der Open Research Data Initiative unter der Bezeichnung „Energiemosaik Austria“ mit dem Hinweis auf die Webseite www.energiemosaik.at. Neben der internationalen Publikation der Methoden und Ergebnisse des Projekts steht die Präsentation des Energiemosaiks Austria sowohl an wissenschaftlichen Konferenzen als auch besonders im Kreis potenzieller Nutzer bzw. der interessierten (Fach-)Öffentlichkeit im Vordergrund der Verbreitungsaktivitäten. Aufgrund der hohen gesellschaftlichen Relevanz des Themas wird außerdem der Öffentlichkeitsarbeit sowie dem aktiven Herantragen der Ergebnisse an Gemeinden, Regionen und Länder besondere Bedeutung beigemessen. Eine weitere Zielgruppe mit nicht unbeträchtlichem Multiplikatoreffekt sind energie-, klima- und raumrelevante Studiengänge. Das Hauptaugenmerk der künftigen Verbreitung und Verwertung gilt der Präsenz innerhalb der wissenschaftlichen Community und in der Fachöffentlichkeit sowie verschiedenen Adressatengruppen auf kommunaler und regionaler Ebene.

Um die bestmögliche Anwendung des Energiemosaiks Austria zu gewährleisten, wird in der Kommunikation mit den betreffenden Zielgruppen (derzeit und künftig) großer Wert darauf gelegt, die Ansätze und methodischen Herangehensweisen zu vermitteln, die dem Energiemosaik Austria zugrunde liegen und damit die Aussagekraft der Ergebnisse maßgeblich bestimmen. Um Missverständnisse und Missinterpretationen zu vermeiden, kommt dabei einerseits Definitionen besondere Bedeutung zu (beispielsweise der Feststellung, dass es sich bei den Datensätzen zum Energieverbrauch um den energetischen Endverbrauch bzw. bei den Treibhausgasemissionen um die Summe von direkten und indirekten Emissionen handelt). Andererseits sind Systemgrenzen klar zu kommunizieren. Hier gilt es beispielsweise festzuhalten, dass das Energiemosaik Austria auf dem Verursacherprinzip beruht und den Energieverbrauch sowie die damit verbundenen Treibhausgasemissionen konsequent den einzelnen Verbrauchergruppen zuordnet. Dies bedeutet etwa für die Strom- und Wärmeerzeugung, dass die Emissionen nicht den Standortgemeinden der Kraft- und Heizwerke zugeordnet sind, sondern den betreffenden Strom- und Wärmeverbrauchern. Und für die Mobilität folgt daraus, dass der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen nicht jenen Gemeinden zugeordnet werden, in denen die betreffenden Verkehrsleistungen zurückgelegt werden, sondern den Standortgemeinden jener Nutzungen, die den Verkehr verursachen.

In diesem Zusammenhang können den Zielgruppen auch die Vorteile eines Modells gegenüber der Erfassung von Realdaten aufgezeigt werden, die einerseits in der Vollständigkeit und Konsistenz der Modellierung bestehen und andererseits darin, dass die von Jahr zu Jahr zu verzeichnenden,

witterungsbedingten und konjunkturellen Schwankungen im Zuge der Modellierung ausgeglichen werden.

Letztlich können die Zielgruppen auch verstärkt auf die strategische Bedeutung des Energiemosaiks Austria hingewiesen werden. Sie besteht darin, dass das Energiemosaik Austria den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen unter anderem basierend auf durchschnittlichen Energiekennzahlen ausweist. Abweichungen der modellierten Werte von Messwerten oder von den Ergebnissen einer Erhebung können daher eine besondere strategische Bedeutung aufweisen. Zeigt beispielsweise eine Analyse der Feuerungen durch die Rauchfangkehrer, dass der Anteil der erneuerbaren Energieträger zur Bereitstellung von Wärme (Raumheizung und Warmwasser) in einer Gemeinde über den Werten der Modellierung liegt, kann dies als außergewöhnliche Stärke und besonderer Beitrag dieser Gemeinde zum Klimaschutz interpretiert werden.

Die Webseite www.energiemosaik.at wird von SPASE weiter gehostet, sodass die kommunale Geo-Datenbank auch künftig bereitgestellt wird. Darüber hinaus wird das Projekt als Referenzprojekt im Portfolio von SPASE Einzug halten, um zu demonstrieren, wie komplexe fachliche Inhalte technisch adäquat und modern einem breiten Publikum zugänglich gemacht werden können.

5. Ausblick und Empfehlungen

Der intensive Dialog, der bisher über das Energiemosaik Austria geführt worden ist und künftig wohl noch geführt wird, eröffnet vielfältige Möglichkeiten, Feedback aufzugreifen und vor dem Hintergrund neu zu definierender Forschungsfragen Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung der dem Energiemosaik Austria zugrundeliegenden Modellierung zu sammeln. In diesem Zusammenhang wäre auch die Integration verfeinerter Eingangsdaten in die Modellierung von besonderem Interesse, der allerdings teilweise Anliegen der Geheimhaltung entgegenstehen.

Da die Datenbank in hohem Maße auf umfangreichem Zahlenmaterial der Registerzählung beruht, erscheint eine entsprechende Aktualisierung des Energiemosaiks im Anschluss an die nächste Registerzählung 2021 jedenfalls geboten. Dieses Zehn-Jahresintervall entspricht dem Zeithorizont jener mittelfristigen Pläne und Programme, die im Allgemeinen für die Entwicklung von energie- und umweltrelevanten Strategien herangezogen werden. Ein aktualisierter Datenstand wäre eine solide Basis für die Fortschreibung dieser Instrumente und würde die Interpretation räumlich differenzierter Zeitreihen erlauben.

Als Grundlage für die Entwicklung staatenübergreifender Strategien zur Energiewende und zum Klimaschutz wäre eine Adaptierung der Methode entsprechend der außerhalb Österreichs verfügbaren Eingangsdaten und damit die Entwicklung vergleichbarer kommunaler Energie- und Treibhausgasdatenbanken für andere Länder von Interesse.

6. Verzeichnisse

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Ansatz des Energiemosaiks Austria.....	16
Abbildung 2: Jährliche Treibhausgasemissionen pro Gemeinde.	27
Abbildung 3: Die Korrelation zwischen den jährlichen Treibhausgasemissionen und der Anzahl der Einwohner (a) und der Beschäftigten (b); (ohne Linz, das außerordentlich hohe Treibhausgasemissionen aus der Industrie aufweist).....	28
Abbildung 4: Jährlicher Energieverbrauch pro Gemeinde.	29
Abbildung 5: Die Bedeutung der Nutzungsarten für den Energieverbrauch in verschiedenen Gemeindegrößenklassen.....	29
Abbildung 6: Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen nach Nutzungsarten. (a) Gemeinde Angerberg; (b) Gemeinde Hennersdorf; (c) Gemeinde Gröbming; (d) Gemeinde Hennersdorf ohne energieintensive Branchen.....	30
Abbildung 7: Die Bedeutung der Nutzungsarten für den Energieverbrauch der Gemeinden: Durchschnitt, Minimal- und Maximalanteil sowie die Häufigkeitsverteilung.....	31
Abbildung 8: Die Bedeutung der energieintensiven industriell-gewerblichen Branchen für den Energieverbrauch.	32
Abbildung 9: Der Anteil der Verwendungszwecke am kommunalen Energieverbrauch.	33
Abbildung 10: Treibhausgasemissionen nach Nutzungen im Ist-Zustand (grau) und in der Vision 2050 (farbig).....	34
Abbildung 11: Gemeindetypen mit ähnlichen Mustern des Energieverbrauchs.	44

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Eingabedaten zur Charakterisierung der Nutzungs- und Mobilitätsstrukturen auf Gemeindeebene.....	18
Tabelle 2: Hauptergebnisse der Plausibilitätsprüfung des Energiemosaiks Austria.	40

6.3. Literaturverzeichnis

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2015.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working group I to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2014.

- [3] Furtak, F.T. Internationale Organisationen: Staatliche und nichtstaatliche Organisationen in der Weltpolitik; Springer: Berlin/Heidelberg, Deutschland, 2015.
- [4] United Nations. Paris Agreement; UN: New York, NY, USA, 2015.
- [5] United Nations. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change; UN: New York, NY, USA 1998.
- [6] European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. The Paris Protocol—A Blueprint for Tackling Global Climate Change Beyond 2020. COM (2015) 81 Final/2 2015. Verfügbar online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2015%3A81%3AFIN> (abgerufen am 8. Mai 2019).
- [7] UNFCC. Adoption of the Paris Agreement; UNFCC: Bonn, Germany, 2015.
- [8] Döring, J.; Thielmann, T. Spatial Turn: Das Raumparadigma in den Kultur- und Sozialwissenschaften; Transcript: Bielefeld, Deutschland, 2015.
- [9] Warf, B.; Arias, S. The Spatial Turn: Interdisciplinary Perspectives; Routledge studies in human geography; Routledge: London, UK, 2009.
- [10] Löschner, L. The Spatial Turn in flood Risk Management. A Case Study of Austria's Changing Flood Policies; University of Natural Resources and Life Sciences: Vienna, Austria, 2018.
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Technical Summary; IPCC: Geneva, Switzerland, 2015.
- [12] Stöglehner, G.; Mitter, H.; Weiß, M.; Neugebauer, G.; Narodoslowsky, M.; Niemetz, N.; Kettl, K.-H.; Eder, M.; Sandor, N.; Baaske, W.; et al. ELAS—Energetische Langzeitanalyse von Siedlungsstrukturen; Klima- und Energiefonds: Wien, Österreich, 2011.
- [13] Stöglehner, G.; Narodoslowsky, M.; Steinmüller, H.; Steininger, K.; Weiss, M.; Mitter, H.; Neugebauer, G.; Weber, G.; Niemetz, N.; Kettl, K.-H.; et al. PlanVision—Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung; Klima- und Energiefonds: Wien, Österreich, 2011.
- [14] Stöglehner, G.; Neugebauer, G.; Erker, S.; Narodoslowsky, M. Integrated Spatial and Energy Planning: Supporting Climate Protection and the Energy Turn with Means of Spatial Planning; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2016.
- [15] European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Energy Roadmap 2050. Verfügbar online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52011DC0885> (abgerufen am 8. Mai 2019).
- [16] Parshall, L.; Gurney, K.; Hammer, S.A.; Mendoza, D.; Zhou, Y.; Geethakumar, S. Modeling energy consumption and CO₂ emissions at the urban scale: Methodological challenges and insights from the United States. *Energy Policy* 2010, 38, 4765–4782.
- [17] Oudes, D.; Stremke, S. Spatial transition analysis: Spatially explicit and evidence-based targets for sustainable energy transition at the local and regional scale. *Landsc. Urban Plan.* 2018, 169, 1–11.
- [18] European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Policy Framework for Climate and Energy in the Period from 2020 to 2030. Verfügbar online:

- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52014DC0015> (abgerufen am 8. Mai 2019).
- [19] European Commission. European Energy Security Strategy; Centre for European Policy: Freiburg im Breisgau, Germany, 2014.
- [20] European Commission. EC an EU Strategy on Heating and Cooling; European Union: Brussels, Belgium, 2012.
- [21] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. #Mission2030. Die Klima- und Energiestrategie der Österreichischen Bundesregierung; Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus: Wien, Österreich, 2018.
- [22] European Commission. Energy Statistics. Verfügbar online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy> (abgerufen am 25. Juni 2019).
- [23] Statistik Austria. Nutzenergieanalyse für die neun österreichischen Bundesländer 2011. Verfügbar online: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html (abgerufen am 14. Februar 2018 und am 13. Januar 2019).
- [24] Statistik Austria. Energiegesamtrechnung Österreich 2011. Verfügbar online: **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (abgerufen am 14. Februar 2018).
- [25] The Organisation for Economic Co-operation and Development. Cities and Climate Change; OECD: Paris, France, 2010.
- [26] Ibrahim, N.; Sugar, L.; Hoornweg, D.; Kennedy, C. Greenhouse gas emissions from cities: Comparison of international inventory frameworks. *Local Environ.* 2012, 17, 1–19.
- [27] Kaselofsky, J.; März, S.; Schüle, R. Bottom-up monitoring of municipal energy and climate policy: More than an alternative to top-down approaches? *Prog. Ind. Ecol. Int. J.* 2014, 8, 279.
- [28] Kennedy, C.; Steinberger, J.; Gasson, B.; Hansen, Y.; Hillman, T.; Havránek, M.; Pataki, D.; Phdungsilp, A.; Ramaswami, A.; Mendez, G.V. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. *Energy Policy* 2010, 38, 4828–4837.
- [29] Pfenninger, S.; Hirth, L.; Schlecht, I.; Schmid, E.; Wiese, F.; Brown, T.; Davis, C.; Gidden, M.; Heinrichs, H.; Heuberger, C.; et al. Opening the black box of energy modelling: Strategies and lessons learned. *Energy Strategy Rev.* 2018, 19, 63–71.
- [30] Pfenninger, S.; Hawkes, A.; Keirstead, J. Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 33, 74–86.
- [31] DeCarolis, J.F.; Hunter, K.; Sreepathi, S. The case for repeatable analysis with energy economy optimization models. *Energy Econ.* 2012, 34, 1845–1853.
- [32] Lopion, P.; Markewitz, P.; Robinius, M.; Stolten, D. A review of current challenges and trends in energy systems modeling. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 96, 156–166.
- [33] Helm, D. Energy policy: Security of supply, sustainability and competition. *Energy Policy* 2002, 30, 173–184.
- [34] Hall, L.M.H.; Buckley, A.R. A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation. *Appl. Energy* 2016, 169, 607–628.

- [35] Hoffert, M.I.; Caldeira, K.; Jain, A.K.; Haites, E.F.; Harvey, L.D.D.; Potter, S.D.; Schlesinger, M.E.; Schneider, S.H.; Watts, R.G.; Wigley, T.M.L.; et al. Energy implications of future stabilization of atmospheric CO₂ content. *Nature* 1998, 395, 881.
- [36] The World Energy Council. *World Energy Trilemma Index 2018*; WEC: London, UK, 2018.
- [37] United Nations Sustainable Development Knowledge Platform. Sustainable Development Goals. Verfügbar online: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs> (abgerufen am 8. Mai 2019).
- [38] Brooks, R.J.; Tobias, A.M. Choosing the best model: Level of detail, complexity, and model performance. *Math. Comput. Model.* 1996, 24, 1–14.
- [39] Beeck, V. Classification of Energy Models 1999. Verfügbar online: **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (abgerufen am 15. Mai 2019).
- [40] Connolly, D.; Lund, H.; Mathiesen, B.V.; Leahy, M. A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Appl. Energy* 2010, 87, 1059–1082.
- [41] Keirstead, J.; Jennings, M.; Sivakumar, A. A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 3847–3866.
- [42] Lyden, A.; Pepper, R.; Tuohy, P.G. A modelling tool selection process for planning of community scale energy systems including storage and demand side management. *Sustain. Cities Soc.* 2018, 39, 674–688.
- [43] Bader, N.; Bleischwitz, R. Measuring Urban Greenhouse Gas Emissions: The Challenge of Comparability. *SAPIENS Surv. Perspect. Integr. Environ. Soc.* 2009, 2, 1-15.
- [44] Statistik Austria. Registerzählung 2011: Einwohner. Verfügbar online: http://www.statistik.at/web_de/services/statcube/index.html (abgerufen am 13. Februar 2018).
- [45] Statistik Austria. Gebäude- und Wohnungszählung 2011: Wohnnutzflächen. Verfügbar online: http://www.statistik.at/web_de/services/statcube/index.html (abgerufen am 13. Februar 2018).
- [46] Statistik Austria. Arbeitsstättenzählung: Arbeitsstätten und Beschäftigte. Verfügbar online: http://www.statistik.at/web_de/services/statcube/index.html (abgerufen am 13. Februar 2018).
- [47] Statistik Austria. Registerzählung 2011: Pendler. Verfügbar online: http://www.statistik.at/web_de/services/statcube/index.html (abgerufen am 13. Februar 2018).
- [48] Statistik Austria. Agrarstrukturerhebung 2010—Überblick: Landwirtschaftliche Kulturflächen. Verfügbar online: http://www.statistik.at/web_de/services/statcube/index.html (abgerufen am 15. Februar 2018).
- [49] European Commission RAMON. Reference and Management of Nomenclatures. Verfügbar online: https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST_NOM_DTL&StrNom=NACE_REV2&StrLanguageCode=FR (abgerufen am 25. Juni 2019).
- [50] Tomschy, R.; Herry, M.; Sammer, G.; Klementsitz, R.; Riegler, S.; Follmer, R.; Gruschwitz, D.; Josef, F.; Gensasz, S.; Kirnbauer, R.; et al. Österreich Unterwegs 2013/2014. Ergebnisbericht zur Österreichweiten Mobilitätserhebung “Österreich Unterwegs 2013/2014”. Im Auftrag von: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierung-Aktiengesellschaft, Österreichische Bundesbahnen Infrastruktur AG, Amt der

- Burgenländischen Landesregierung, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Amt der Tiroler Landesregierung; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Wien, Austria, 2016.
- [51] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer: Berlin/Heidelberg, Deutschland, 2016.
- [52] European Commission. Eurostat Energy, Transport and Environment Indicators: 2018 Edition; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2018.
- [53] Li, J.; Yang, X. Monitoring and Modeling of Global Changes: A Geomatics Perspective; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015.
- [54] Lee, S.; Noh, D.-W.; Oh, D. Characterizing the Difference between Indirect and Direct CO₂ Emissions: Evidence from Korean Manufacturing Industries, 2004–2010. Sustainability 2018, 10, 2711.
- [55] Bundeskanzleramt Austria. Österreichischer Baukulturreport 2011; Bundeskanzleramt Austria: Wien, Österreich, 2011.
- [56] Bundesministerium für Finanzen; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Agrardieselerordnung: Verordnung des Bundesministers für Finanzen im Einvernehmen mit dem Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vergütung der Mineralölsteuer für Agrardiesel (Agrardieselerordnung; nicht mehr in Rechtskraft); BGBl. II Nr. 506/2004.
- [57] Umweltbundesamt. CO₂-Rechner. Verfügbar online: https://www.umweltbundesamt.at/thg_emissionsrechner (abgerufen am 18. April 2018).
- [58] Mair am Tinkhof, O.; Strasser, H.; Prinz, T.; Herbst, S.; Schuster, M.; Tomschy, R.; Figl, H.; Fellner, M.; Ploß, M.; Roßkopf, T. Richt- und Zielwerte für Siedlungen zur integralen Bewertung der Klimaverträglichkeit von Gebäuden und Mobilitätsinfrastruktur in Neubausiedlungen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung; 39/2017; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Wien, Österreich, 2017.
- [59] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. TREMOD. Transport Emission Model. Data and Calculation Model: Pollutant Emissions from Motorized Traffic in Germany 1960–2030. Ongoing Work on Behalf of the Federal Environment Agency since 1993. Verfügbar online: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/entwicklung-des-spezifischen-energieverbrauchs-im> (abgerufen am 6. April 2017).
- [60] Umweltbundesamt. Bundesländer Luftschadstoff-Inventur (BLI) 1990–2016); Umweltbundesamt: Wien, Österreich, 2018.
- [61] Intergovernmental Panel on Climate Change; National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; WMO: Geneva, Switzerland, 2006.
- [62] Adam, D. Planung und Entscheidung: Modelle—Ziele—Methoden; Springer: Berlin/Heidelberg, Deutschland, 2013.
- [63] Taylor, G.R. Integrating Quantitative and Qualitative Methods in Research; University Press of America: Lanham, MD, USA, 2005.

- [64] Robinson, J.B. Energy Backcasting: A Proposed Method of Policy Analysis, *Energy Policy*, 1982, Vol.10, No.4, 337–345.
- [65] Saltelli, A.; Ratto, M.; Andres, T.; Campolongo, F.; Cariboni, J.; Gatelli, D.; Saisana, M.; Tarantola, S. *Global sensitivity analysis: the primer*. Wiley Blackwell, 2008.
- [66] Nisbet, R.; Elder, J.; Miner, G. *Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2009.

A large, light blue geometric shape, resembling a right-angled triangle or a trapezoid, is positioned on the right side of the page. It has a vertical right edge and a horizontal top edge, with a diagonal line connecting the top-left corner to the bottom-right corner.

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

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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