

Räumliche Modelle als Entscheidungsgrundlage für die Inwertsetzung regional verfügbarer Energiepotenziale zur CO₂-neutralen Deckung des lokalen Wärmebedarfs

M. Biberacher, et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

56/2010

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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

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

Räumliche Modelle als Entscheidungsgrundlage für die Inwertsetzung regional verfügbarer Energiepotenziale zur CO₂-neutralen Deckung des lokalen Wärmebedarfs

Dr. Markus Biberacher, Mag. Sabine Gadocha,
Mag. Ingrid Schardinger, Mag. Daniela Zocher
Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH

DI Angela Dröscher, DI Dr. Richard Heimrath,
DI Dr. Hermann Schranzhofer
TU Graz, Institut für Wärmetechnik

DI Josef Bärnthaler
Energieagentur Obersteiermark

Ing. Karl Puchas, DI Alois Niederl
Lokale Energieagentur – LEA GmbH

In Zusammenarbeit mit
DI Wolfgang Jilek, Wolfgang Kleindienst (Land Steiermark)
DI Egon Dorner, DI Andreas Gößler (Energie Steiermark AG)

Salzburg, Juni 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

| | |
|--|-----|
| KURZFASSUNG | 6 |
| ABSTRACT | 8 |
| 1 EINLEITUNG | 10 |
| 1.1 Problembeschreibung..... | 10 |
| 1.2 Allgemeine Einführung in die Thematik | 12 |
| 2 Ziele des Projektes..... | 15 |
| 3 Inhalte und Methoden des Projektes..... | 16 |
| 3.1 Beschreibung von Vorarbeiten des Themas der Projektpartner..... | 18 |
| 3.2 Abgrenzung und Beschreibung der Untersuchungsregionen..... | 20 |
| 3.3 Verwendete Methoden und Daten..... | 25 |
| 3.3.1 Räumliches Modellkonzept..... | 26 |
| 3.3.1.1 Potenzialmodell..... | 27 |
| 3.3.1.2 Bedarfsmodell..... | 28 |
| 3.3.1.3 Dynamisches Deckungsmodell (RESRO)..... | 31 |
| 3.3.2 Diskussion der Datengrundlage..... | 33 |
| 4 Projektergebnisse..... | 36 |
| 4.1 Erneuerbare räumlich differenzierte Energiepotenziale..... | 36 |
| 4.1.1 Biomassepotenzial..... | 36 |
| 4.1.2 Solarpotenzial..... | 42 |
| 4.1.3 Umgebungswärme..... | 54 |
| 4.2 Räumlich differenzierte Wärme- und Kältenachfrage..... | 59 |
| 4.2.1 Nutzenergiebedarf der Gebäude..... | 59 |
| 4.2.2 Räumliche Verortung des Wärme- und Kältebedarfs..... | 64 |
| 4.3 Räumlich differenzierte Bedarfsdeckung..... | 71 |
| 4.3.1 Generische Beschreibung des Modells RESRO..... | 71 |
| 4.3.1.1 Einbindung der Potenziale in das dynamische Bedarfsdeckungsmodell RESRO..... | 73 |
| 4.3.1.2 Einbindung des Bedarfs in das RESRO Modell..... | 75 |
| 4.3.1.3 Einbindung der Haustechniken in das RESRO Modell..... | 76 |
| 4.3.2 Abbildung des Ist-Zustands der Wärme- und Kältebedarfsdeckung..... | 90 |
| 4.3.3 Dynamische Bedarfsdeckungsmodellierung - Szenarien zur Wärme- und Kältebedarfsdeckung..... | 94 |
| 4.4 Innovationen des Projektes..... | 109 |
| 5 Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie..... | 111 |
| 5.1 Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung..... | 111 |
| 5.2 Einbeziehung der Zielgruppen..... | 112 |
| 5.3 Weiterverwendung der Projektergebnisse und Umsetzungs-potenziale..... | 113 |
| 6 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen..... | 114 |
| 7 Ausblick und Empfehlungen..... | 116 |

| | | |
|---|----------------------------|-----|
| 8 | Glossar | 117 |
| 9 | Literaturverzeichnis | 120 |
| | Anhang | 124 |
| | Geodatenliste | 124 |

KURZFASSUNG

Mehr als die Hälfte des energetischen Endverbrauches wird in Österreich - und auch in der Steiermark - für Heizung, Klimatisierung, Warmwasserbereitung und Prozesswärme aufgewendet. Die Deckung dieses Bedarfs wird dabei nach wie vor von fossilen Energieträgern dominiert. Dies zeigt vor allem in Hinblick auf die Klimaproblematik sowie Fragen der Versorgungssicherheit, dass langfristig ein Ausbau der Nutzung von erneuerbaren, regional verfügbaren Energieträgern erforderlich ist.

Ziel dieses Projektes ist es, ein Modellframework zu entwickeln, das in der Lage ist, die Deckung eines bestehenden Energiebedarfs für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung in einer definierten Region auf einer räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Basis zu optimieren und zu visualisieren. Das entwickelte Modellframework wird in zwei Untersuchungsregionen (Murau, Steirisches Vulkanland) angewendet. In fünf Szenarien wird der Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Optimierung des gesamten Systems, und hierbei insbesondere auf die eingesetzten Wärmebereitstellungstechnologien ermittelt und analysiert. Kältebereitstellung wird generisch ebenfalls betrachtet. Zudem werden Auswirkungen der resultierenden optimierten Ausgestaltungen des regionalen Energiesystems auf Kosten und Treibhausgasemissionen dargestellt.

Der explizit räumliche Zugang stützt sich dabei auf die Methoden von geographischen Informationssystemen (GIS). Das entwickelte Modellkonzept gliedert sich in drei Module, das Potenzialmodell, das Bedarfsmodell und das dynamische Bedarfsdeckungsmodell, welche auf einer räumlichen Ebene von 250 m Rasterzellen operieren und deren zeitliche Auflösung ein Kalendermonat darstellt. Mit dem Potenzialmodell werden regional verfügbare erneuerbare Energiepotenziale aus Biomasse, Solarenergie und Umgebungswärme ermittelt. Das Bedarfsmodell stellt den monatlichen Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung (Prozesswärme wurde nicht berücksichtigt) dar und das Bedarfsdeckungsmodell ermittelt optimierte Szenarien zur Deckung dieses Bedarfs durch unterschiedliche Wärme- und Kältebereitstellungstechnologien. Das entwickelte Modellframework dient als Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Entwicklung eines regionalen Energiesystems, welches verstärkt regional verfügbare erneuerbare Energieträger einsetzt und fokussiert dabei insbesondere auf standortspezifische Charakteristika und deren Einfluss auf ein optimales regionales Energiesystem. Ein wesentlicher Aspekt in der Entwicklung des Modellkonzepts bestand in der einfachen Übertragbarkeit des Modells auf unterschiedliche Regionen.

Als Datengrundlage zur Abbildung des Ist-Zustandes im Modell dienten sowohl geographische Datensätze als auch Daten auf räumlich aggregierter Ebene. Dabei stellten Restriktionen in der Datenbereitstellung aufgrund von Datenschutz und Datenverfügbarkeit große Hürden dar. Während die energetischen Potenziale mit den verfügbaren Daten auf räumlicher Ebene gut abgebildet werden können, war die Ermittlung und Verortung des

Wärmebedarfes eine große Herausforderung. Es wurden Referenzgebäude entwickelt, welche anhand von Gebäudetyp und Nutzung, Qualität der Gebäudehülle und Standort einen individuellen Bedarf ausweisen. Der Bedarf wurde im Folgenden über die räumliche Identifikation des Gebäudebestands (auf Basis der Statistik-Daten) und eine Zuweisung zu den angenommenen Referenzgebäuden modelliert. Die zur Deckung des Bedarfes im Projekt berücksichtigten Technologien werden in Form von Referenztechnologien eingebunden. Eine Abbildung der räumlich verorteten Ist-Situation wurde hier ebenso über eine Interpretation von Statistikdaten vorgenommen.

Die räumlichen Energiepotenziale, der Bedarf und die derzeitige Struktur der Wärme- und Kältebereitstellungstechnologien werden im dynamischen Bedarfsdeckungsmodell zusammengeführt. In fünf Szenarien wird basierend auf unterschiedlichen Annahmen eine optimale Adaption des Energiesystems unter dem Aspekt minimaler Systemkosten ausgewiesen. Durch die Ergebnisse der Szenarien wird eine qualitative und quantitative Bewertung von Maßnahmen (z.B. Förderungen, Kosten für Treibhausgasemissionen) ermöglicht und mögliche Handlungsoptionen aufgezeigt.

ABSTRACT

More than the half of the energetic final consumption in Austria - as well as in Styria - is used for space heating, cooling, hot water preparation and process heating. The satisfaction of this energy demand is still dominated by fossil fuels. Bearing in mind the challenges of climate change or questions of security of supply, it is obvious that in the long term a rise of the use of renewable, regionally available energy sources will be necessary.

This project aims at the development of a model framework that is able to optimise and visualise the satisfaction of an existing energy demand for heating, cooling and hot water preparation within a defined region on a spatially and temporally highly disaggregated level. The developed model framework is applied to two testing regions (Murau and Steirisches Vulkanland). The influence of different parameters on the optimisation of the whole system and especially on the employed heating technologies is identified and analysed within five scenarios. Also the energy supply for cooling is considered, although in a more generic way. Furthermore effects of the resulting optimised setups of the regional energy system (regarding heating and cooling) on costs and greenhouse gas emissions are outlined.

The spatially explicit approach is based on methods of geographic information systems (GIS). The model concept developed consists of three modules, the potential model, the demand model and the dynamic demand satisfaction model. All three models operate on a spatial level of 250 m raster cells and have a temporal resolution of one calendar month. With the potential model the regionally available renewable energy potentials from biomass, solar and the ambient are computed. The demand model provides the monthly energy demand for space heating, cooling and hot water preparation. With the dynamic demand satisfaction model, optimised scenarios for the satisfaction of this demand using different technologies are evaluated. The developed model framework serves as a basis for decision-making regarding the future development of a regional energy system, with an enhanced use of renewable energy sources. It thereby focuses on site-specific characteristics and their influence on an optimised regional energy system. An essential requirement in the development of the model concept was to make it easily transferable to other regions.

The data used for the visualisation of the current situation of the energy system in the testing regions is geographically explicit as well as spatially aggregated. Lack of statistic data due to availability in general and data privacy has been a substantial problem. While the energetic potentials can be modelled on the spatial level quite good, the computation and spatial assignment of the heating and cooling demand was a great challenge. Reference buildings were developed that show an individual heating and cooling demand dependent on building type and use, quality of building envelope and location. The actual demand was then assigned by spatial identification of the building stock (on basis of the statistical data) and

allocation of the particular buildings to the reference buildings. The technologies for the satisfaction of the energy demand for space heating, cooling and hot water preparation considered in the project are included in the model using predefined reference technologies. The visualisation of currently used technologies on a spatially explicit level is also carried out by interpretation of statistical data.

The spatially explicit energy potentials, the demand and the current structure of the heating and cooling demand satisfaction are finally brought together in the dynamic demand satisfaction model. In five scenarios, based on different assumptions, an optimised adaptation of the energy system is computed under the aspect of system costs. On basis of the outcomes of the scenarios, a qualitative and quantitative assessment of measures (e.g. subsidies or costs for greenhouse gas emissions) can be performed and potential courses of action are outlined.

1 EINLEITUNG

1.1 Problembeschreibung

Die EU-Klimaziele sehen vor, den Anteil der erneuerbaren Energieträger am gesamten energetischen Endenergieverbrauch bis 2020 auf 20 % zu erhöhen. Für Österreich ist dabei im Rahmen der "Burden Sharing Vereinbarung zwischen den EU-Staaten ein Anteil der Bereitstellung des Endenergiebedarfs mit erneuerbaren Energieträgern in Höhe von 34 % vorgesehen. Dieser Anteil umfasst die drei Bereiche Strom, Wärme und Kälte. Die EU-Klimaziele sehen für Österreich zudem eine Verringerung der Treibhausgasemissionen in Höhe von 16 % im Vergleich zum Jahr 2005 vor. Im Rahmen des Kyoto-Protokolls hat sich die EU weiters zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen für die Periode 2008 – 2012 um 8 % im Vergleich zu 1990 verpflichtet. Für Österreich ist im Rahmen dieses Abkommens eine Reduktion der Emissionen in Höhe von 13 % in dieser Verpflichtungsperiode bindend. Allerdings zeigt ein Bericht der Europäischen Umweltagentur, dass Österreich diese Zielsetzung nach derzeitigem Stand nicht erreichen wird. Für Österreich wird eine Differenz zwischen den Emissionen des Kyoto Basisjahres und den Emissionen in der Kyoto-Verpflichtungsperiode 2008 – 2012 in Höhe von + 12,9 % (10,2 Mio. t CO₂-Äquivalent; für Sektoren, die nicht am Emissionshandel teilnehmen) prognostiziert (vgl. EEA, 2009 (a), EEA, 2009 (b)). Dies zeigt, dass die heimischen Anstrengungen zur Erreichung von Emissionsminderungszielen in der nahen Zukunft noch deutlich verstärkt werden müssen.

Derzeit wird in Österreich mehr als die Hälfte des energetischen Endverbrauches zur Bereitstellung von Raumheizung und Warmwasser inklusive Klimatisierung (~ 29 %) und Prozesswärme (~ 23 %) aufgewendet, wie auch in Abbildung 1 ersichtlich ist. Dieser hohe Anteil des Sektors Wärme- und Kältebereitstellung am energetischen Endverbrauch zeigt bereits die Relevanz von Maßnahmen insbesondere in diesem Bereich, da dort der Bedarf derzeit großteils mit fossilen Energieträgern gedeckt wird. Die Forcierung von CO₂-ärmeren beziehungsweise -neutralen Energieträgern und Technologien ist folglich unumgänglich.

Es ist zudem davon auszugehen, dass sich Veränderungen im Heiz- und Kühlbedarf von Gebäuden ergeben werden. Dies ist einerseits bedingt durch Änderungen im Verbraucherverhalten sowie eine Zunahme der zu kühlenden Flächen (sowohl im Wohnbereich als auch im Nichtwohn-Bereich), darüber hinaus zeigen Berechnungen eine deutliche Zunahme an Kühlgradtagen für Österreich bis zum Jahr 2050 (vgl. PRETTENTHALER ET AL. 2007).

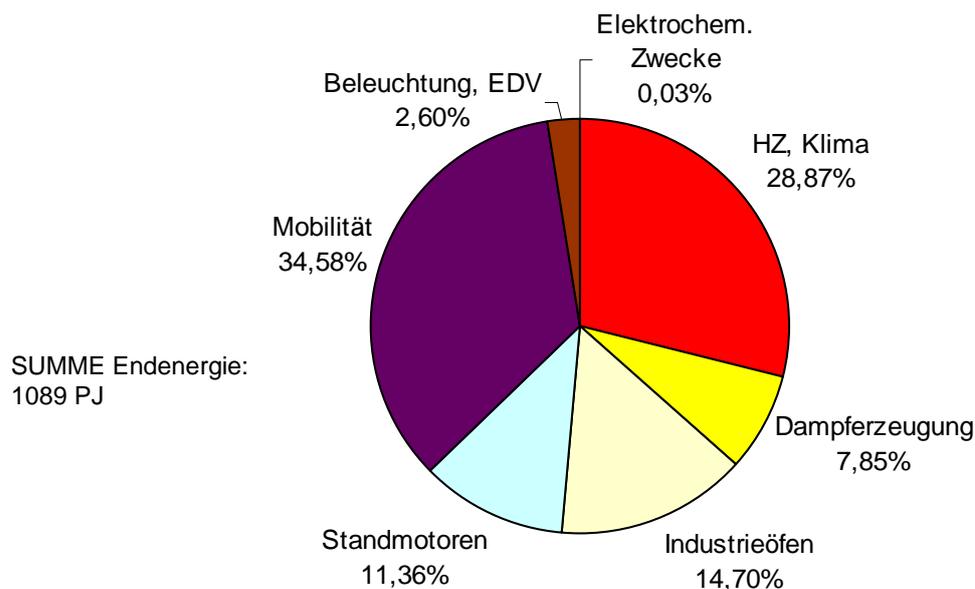


Abbildung 1: Anteile unterschiedlicher Sektoren am energetischen Endverbrauch in Österreich 2008 (Quelle: eigene Darstellung nach STATISTIK AUSTRIA 2009)

Für die Erreichung von Vorgaben und Zielen hinsichtlich Klimaschutz und Energieeffizienz kommt dem Heiz- und Kühlbereich eine zentrale Bedeutung zu. Mögliche Ansätze in diesem Zusammenhang liegen einerseits im vermehrten Einsatz von regionalen, erneuerbaren Energieressourcen zur CO₂-neutralen Deckung des Wärme- und Kältebedarfs und andererseits in einer Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden.

Neben der Einsparung von Treibhausgasemissionen können durch einen verstärkten Einsatz regional verfügbarer Energieträger noch weitere Herausforderungen adressiert werden. Dazu zählt insbesondere die Reduktion der Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern. Positive Effekte resultieren zudem aus einer Verringerung des Zahlungsabflusses an das Ausland sowie eine Erhöhung der inländischen Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen in der Region.

Derzeit existiert jedoch in den meisten Regionen keine langfristige Strategie, welcher eine integrative Berücksichtigung der Energiebedarfsverteilung im Raum, deren möglicher zukünftiger Änderung sowie die räumlichen Verfügbarkeit von erneuerbaren Energieträgern in einer hohen Auflösung zugrunde liegt.

Um langfristig eine optimale Strategie für die zukünftige Wärme- und Kälteversorgung unter dem Aspekt der Emissionsverminderung implementieren zu können, müssen die Rahmenbedingungen auf einer räumlich hoch aufgelösten Ebene bekannt sein. Derzeit wird der Wärmebedarf meist nur in sehr aggregierter Art und Weise, auf Länder-, Bezirks-, Regions- oder Gemeindeebene, erhoben und dargestellt. Für eine detaillierte Auswertung von möglichen Strategien, vor allem hinsichtlich einer Deckung des Bedarfs mit

erneuerbaren Energieträgern, sind jedoch räumlich explizite Berechnungen erforderlich. Dies ergibt sich vor allem daraus, dass bei einer Nutzung von erneuerbaren Energieträgern im Wärmebereich aus technischen und ökonomischen Gründen zumeist die räumliche Nähe zum Verbraucher erforderlich ist. Des Weiteren haben die meisten erneuerbaren Energieträger wie Sonnenenergie und Umgebungswärme im Gegensatz zu konventionellen Energieträgern ein jahreszeitlich stark schwankendes Angebot, was den Anspruch an die räumliche Nähe zusätzlich strapaziert. Aus der räumlichen Modellierung lassen sich Potenziale in der Substitution fossiler Energieträger in der Wärmebereitstellung sowie Potenziale hinsichtlich der Errichtung von Nahwärmenetzen bzw. dem Ausbau von Fernwärmenetzen ableiten und in ihrer räumlichen Ausprägung visualisieren.

1.2 Allgemeine Einführung in die Thematik

Der Wärme- und Kältebedarf, repräsentiert durch die Sektoren Klimatisierung (Heizung / Klima), Dampferzeugung und Industrieöfen nimmt in Österreich mehr als 50 % des gesamten Endenergiebedarfes ein. Der Sektor Klimatisierung, welcher in Österreich vorwiegend die Wärme- und Kühlbedarfsdeckung in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden beschreibt, liegt mit rund 29 % des gesamten Endenergiebedarfs hinter dem Bereich Mobilität an zweiter Stelle des Endenergiebedarfs (siehe Abbildung 2). Der Wärmebedarf von Industrie und Gewerbe ist in den beiden Sektoren Dampferzeugung und Industrieöfen dargestellt und beträgt rund 23 % des Endenergiebedarfes.

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist, wird ein Großteil des Wärme- und Kältebedarfes nach wie vor durch fossile Energieträger gedeckt. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger im Wärme- und Kältebereich betrug im Jahr 2008 rund 24,8 %, wobei hier ein etwaiger Anteil an erneuerbaren Energieträgern im elektrischen Strom oder der Fernwärme nicht berücksichtigt wurde.

Im Sektor Klimatisierung war im Jahr 2008 ebenfalls ein Anteil an erneuerbaren Energieträgern von rund 24,8 % enthalten. Im Jahr 2005 lag dieser Wert noch bei 22,6 % (vgl. STATISTIK AUSTRIA, 2009). Innerhalb der erneuerbaren Energieträger nimmt Brennholz (d.h. feste Biomasse in Form von Scheitholz, Hackschnitzel, Pellets, etc.) den höchsten Stellenwert ein, gefolgt von biogenen Brenn- und Treibstoffen und Umgebungswärme.

Der Bedarf an Dampf- und Prozesswärme sowie für Industrieöfen wurde 2008 mit einem Anteil von 24,7 % durch erneuerbare Energieträger gedeckt. Dieser Anteil hat sich seit dem Jahr 2005 von 22,8 % um rund 2 % erhöht. Im industriellen Bereich wird der Anteil der erneuerbaren Energieträger laut STATISTIK AUSTRIA (2009) hauptsächlich durch biogene Brenn- und Treibstoffe sowie brennbare Abfälle gedeckt.

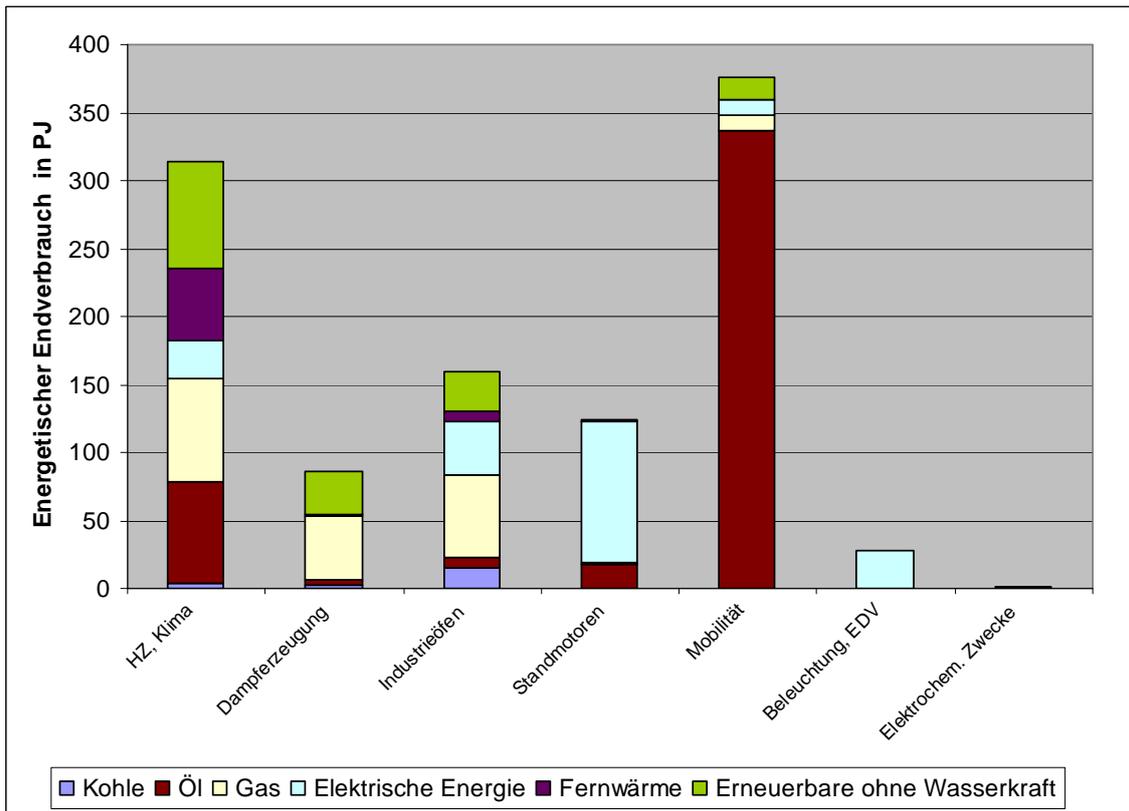


Abbildung 2 Struktur des Endenergiebedarfs in Österreich 2008 nach Energieträgern und Sektoren (Quelle: eigene Darstellung nach STATISTIK AUSTRIA, 2009)

Die Steiermark hatte im Jahr 2006 einen energetischen Endbedarf in Höhe von rund 162,8 PJ (vgl. STATISTIK AUSTRIA, 2009b). Auch die Steiermark stützt sich bei ihrem energetischen Endverbrauch nach wie vor hauptsächlich - nämlich zu 77 % - auf fossile Energieträger.

Die Deckung des Endenergiebedarfes nach Energieträgern in der Steiermark ist in Abbildung 3 dargestellt (SPITZER ET AL. 2008). Erdöl hat dabei einen Anteil von rund 40 %, Erdgas 20 % sowie Kohle 5 %. Weitere 10 % stammen aus der Erzeugung elektrischer Energie, ebenso beruhen 2 % der Fernwärme auf fossilen Rohstoffen. Der direkte Anteil der erneuerbaren Energieträger am energetischen Endverbrauch beträgt rund 12 %, zusätzlich stammen 2 % der Fernwärme sowie 9 % des elektrischen Stroms aus erneuerbaren Energiequellen. Somit werden rund 23 % des energetischen Endbedarfs in der Steiermark durch erneuerbare Energieträger gedeckt (vgl. SPITZER ET AL. 2008).

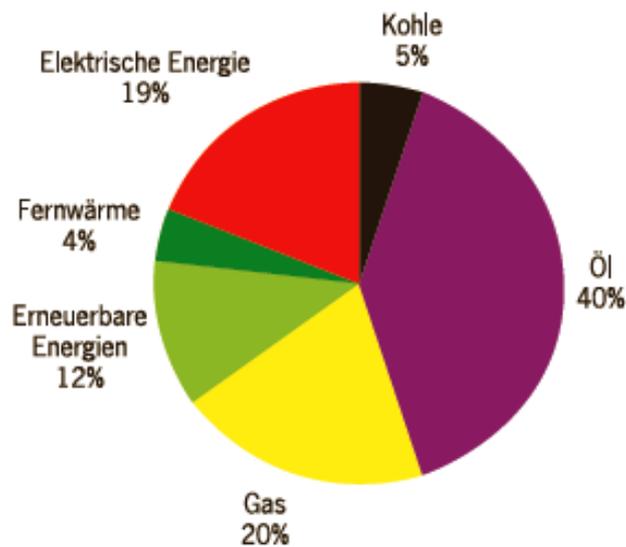


Abbildung 3 Anteile der Energieträger zur Deckung des Endenergiebedarfes in der Steiermark (Quelle: SPITZER ET AL. 2008)

In Hinblick auf die Erreichung von Klimazielen sowie die Gewährleistung der energetischen Versorgungssicherheit wird sich die zukünftige Energieversorgung verstärkt auf die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern stützen müssen sowie eine generelle Verstärkung der effizienten Verwendung von Energie gewährleistet werden. Auch zeigt der hohe Anteil des Wärme- und Kältebedarfs mit mehr als 50 % am gesamten energetischen Endverbrauch sowie die Tatsache, dass dieser derzeit hauptsächlich mit fossilen Energieträgern gedeckt wird, dass ein hohes Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasemissionen durch einen vermehrten Einsatz erneuerbarer Energieträger beziehungsweise durch Verbesserungsmaßnahmen im Gebäudebereich vorhanden ist.

Ziel des gegenständlichen Projektes ist es, eine objektive Entscheidungsgrundlage für potenzielle Adaptionen in regionalen Energiesystemen zur Verfügung zu stellen, um eine Reduktion der CO₂-Emissionen in der Wärme- und Kältebereitstellung zu erzielen und dabei die regionalen Gegebenheiten optimal zu nutzen. Um diesem Anliegen gerecht zu werden, werden mit analytischen Methoden der Geoinformatik übertragbare, räumliche Modelle entwickelt, die auf einer regionalen Basis aufzeigen sollen, inwieweit die Nachfrage nach Wärme und Kälte im Gebäudebereich durch regional verfügbare erneuerbare Energiequellen gedeckt werden kann, um daraus Aussagen über eine mögliche CO₂-neutrale Bedarfsdeckung treffen zu können.

Der Einsatz von geographischen Analysemethoden erlaubt durch Funktionen wie Datenverschneidung und –aggregation die Zusammenführung von relevanten technischen, rechtlichen, ökologischen und ökonomischen Einflussfaktoren auf Basis ihrer Lage im Raum. Dadurch lassen sich Informationen hinsichtlich einer optimierten Wärme- und Kältebedarfsdeckung mit einem erhöhten Einsatz an erneuerbaren Energieträgern ableiten und in einer räumlich hohen Auflösung darstellen.

2 Ziele des Projektes

Die grundlegende Idee des Projektes ist es, aufzuzeigen, welche Potenziale zu einer CO₂-neutralen Deckung des Wärme- und Kältebedarfes einer Region durch lokal verfügbare erneuerbare Energieträger bestehen. Zur Bearbeitung dieser Fragestellung wird im Projekt ein Modellierungsframework entwickelt, welches in der Lage ist, eine potenzielle Deckung des Wärme- und Kältebedarfes aus regionalen erneuerbaren Energieträgern auf einer räumlich hoch aufgelösten Ebene zu ermitteln und abzubilden. Das Modell soll als Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Entwicklung eines regionalen Energiekonzeptes, welches verstärkt lokal verfügbare erneuerbare Energieträger einsetzt, dienen.

Bisher wurden sowohl die Potenziale erneuerbarer Energieträger, wie auch die energetische Nachfrage, zumeist auf einer aggregierten Ebene (Landes-, Bezirks- oder Gemeindeebene) ermittelt und dargestellt (beispielsweise DUMKE ET AL. O.J., BRAINBOWS 2007, PRINZ ET AL. 2009, STATISTIK AUSTRIA 2009b). Insbesondere die erneuerbaren Energieträger bedürfen jedoch einer geografisch expliziten Betrachtung, da ihre räumliche Verteilung deutlichen Einfluss auf eine optimale Ausgestaltung des Energiesystems nimmt. Dies liegt im Fall von Biomasse unter anderem auch an deren relativ geringen Energiedichte, weshalb lange Transportdistanzen zu Verbrauchern bzw. Umwandlungsanlagen vermieden werden sollten. Die räumliche Nähe des Wärmebedarfes und des Wärmeangebotes spielen auch deshalb eine besondere Rolle, da die Verluste beim Transport von Wärme im Vergleich zu Strom höher sind. Dies trifft vor allem auf jene Energiequellen zu, die auf einem tiefen Temperaturniveau zur Verfügung stehen, wie z.B. die Umgebungswärme.

Ein weiteres innovatives Ziel des Projektes ist die zeitliche Auflösung von einem Kalendermonat (die meisten Statistikdaten liegen nur kumuliert für ein Kalenderjahr vor), was für eine qualitativ hochwertige Betrachtung jahreszeitlich stark differierender Energiepotenziale wie der Solarenergie unverzichtbar ist.

Der Schwerpunkt des Projektes liegt darauf, ein einfach auf weitere Regionen übertragbares Modell zu entwickeln, das in der Lage ist, die verfügbaren erneuerbaren Energiepotenziale sowie die Nachfrage nach Wärme und Kälte in der Untersuchungsregion räumlich explizit zu ermitteln und darzustellen. Zusätzlich soll das Modell eine dynamische räumliche Gegenüberstellung von Bedarf und Potenzial ermöglichen, um Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen in Szenarien darstellen und analysieren zu können.

Das Modell wird exemplarisch für die definierten Untersuchungsregionen des Projektes umgesetzt. Die Untersuchungsregionen umfassen den obersteirischen Bezirk Murau und das Steirische Vulkanland (im Wesentlichen die Bezirke Feldbach und Radkersburg), welche in Kapitel 3.2 detailliert vorgestellt werden.

Zur Erreichung des übergeordneten Ziels - der Entwicklung eines Modellframeworks zur Abbildung der regionalen Möglichkeiten einer CO₂-neutralen Deckung des Wärme- und Kältebedarfes auf einer räumlich expliziten Basis - wurden folgende Teilziele definiert:

- Definition und Akquise der erforderlichen (Geo-)Daten
- Analyse der Qualität der einzelnen Datensätze hinsichtlich Aktualität, Vollständigkeit, Kompatibilität, Aussagekraft, etc.
- Entwicklung räumlicher Modelle zur räumlich expliziten Ermittlung und Abbildung von regional verfügbaren erneuerbaren Energiepotenzialen
- Entwicklung eines Modells zur räumlich expliziten Abbildung des Wärme- und Kältebedarfs
- Entwicklung von Referenzgebäuden und Haustechniksystemen, welche zur Verteilung des Wärme- und Kältebedarfes im Raum herangezogen werden
- Darstellung des Ist-Zustandes in der Wärme- und Kältebedarfsdeckung in der Untersuchungsregion
- Entwicklung eines Modells zur dynamischen Abbildung von Möglichkeiten der Wärmebedarfsdeckung durch regionale erneuerbare Energieträger zur Ausweisung von Szenarien

Eine weitere Zielsetzung liegt in der Abbildung der Ergebnisse der räumlichen Modellierung als interaktives Auskunftssystem in einer WebGIS-Applikation. Darüber hinaus wurde angestrebt, Empfehlungen aus den im Projekt entwickelten Szenarien als unterstützenden Beitrag zur Entscheidungsfindung im Bereich regionaler Energiekonzepte abzuleiten.

3 Inhalte und Methoden des Projektes

Die Entwicklung des Modells zur Abbildung von optimierten Möglichkeiten zur Deckung des regionalen Wärme- und Kältebedarfs stützt sich auf geografische Analysemethoden und wird mit Hilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) umgesetzt.

Dazu werden einerseits regional verfügbare Potenziale der erneuerbaren Energieträger Sonne, Biomasse und Umgebungswärme berechnet und abgebildet, andererseits der Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitung sowie der Kältebedarf für Nichtwohngebäude ermittelt und räumlich explizit mittels GIS dargestellt. Prozesswärme wird in der aktuellen Ausführung nicht mitberücksichtigt, da keine entsprechende Datengrundlage zur Verfügung stand. Entsprechend sind die im Verlauf des Projektes ermittelten Resultate zu interpretieren.

Geografische Informationssysteme sind sowohl für die Erfassung, die Bearbeitung, das Management, die Analyse wie auch die Darstellung von raumbezogenen Daten geeignet. Durch diese vielfältigen Möglichkeiten stellen GIS ein wichtiges Instrument zur Entscheidungsunterstützung dar. GIS ermöglichen die Verknüpfung der Dimensionen Raum und Attribut, es kann also eine definierte räumliche Einheit mit spezifischer Information verbunden und gespeichert werden.

Um separat vorliegende Attributdaten einzubinden, kann wiederum die räumliche Lage als gemeinsamer Schlüssel herangezogen werden. Der Mehrwert von GIS ergibt sich hierbei aus der Verknüpfung von Objekten und Informationsschichten unterschiedlichster Kategorien über den räumlichen Schlüssel. Abbildung 4 zeigt schematisch die Darstellung verschiedener Informationsschichten in geografischen Layern. Durch eine Verschneidung dieser übereinandergelagerten Layer und deren Attribute lassen sich neue Informationen ableiten. Der Begriff Geo-Daten bezeichnet dabei Daten, die über eine eindeutige räumliche Verortung (Geo-Codes) zugeordnet werden können (vgl. LANG/BLASCHKE 2007).

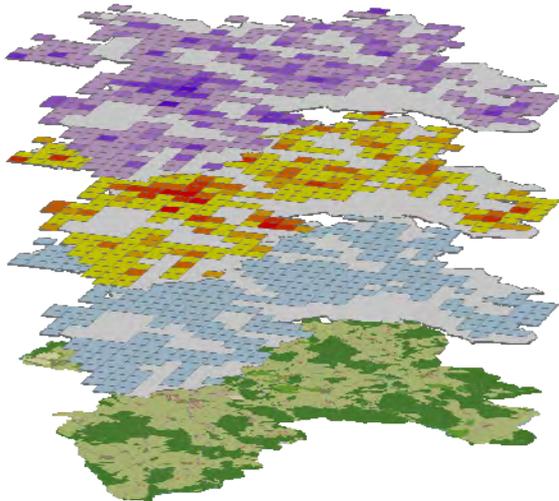


Abbildung 4 Darstellung von geographischen Layern
(Quelle: eigene Darstellung)

Die Verknüpfung von verschiedenen Attributen wie z.B. Seehöhe, Hangneigung, Niederschlag und Landbedeckung erlaubt in der Modellierung von energiewirtschaftlichen Aspekten eine adäquate Abbildung von komplexen Sachverhalten. So können insbesondere lokal und regional unterschiedliche Spezifika von Energiepotenzialen sowie auch des Energiebedarfes abgebildet werden (vgl. SCHARDINGER, 2009).

Zur Darstellung räumlicher Gegebenheiten wird im vorliegenden

Projekt ein Raster-Ansatz gewählt. Dabei wird das Untersuchungsgebiet in ein regelmäßiges Raster unterteilt, wobei jede Zelle des Rasters mit den Ausprägungen meist räumlich kontinuierlicher Phänomene verknüpft ist. Es können aber ebenso räumlich diskrete Eigenschaften im Rasteransatz dargestellt werden.

Die Ableitung der erforderlichen Inputdaten und Informationen des Modells wird über unterschiedliche Prozessketten durchgeführt. Diese Prozessketten werden im Modell festgelegt und verknüpft. Eine schematische Darstellung eines GIS-Modells ist in Abbildung 5 dargestellt.

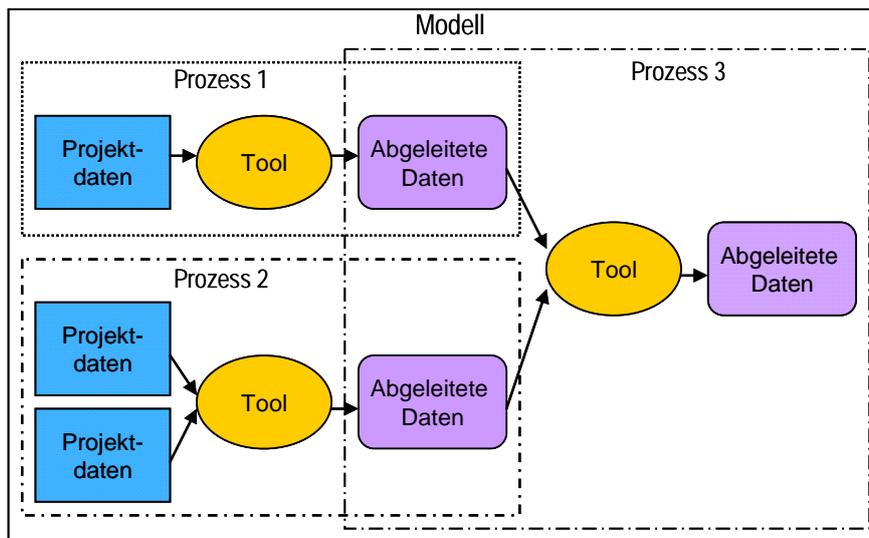


Abbildung 5 Schematische Darstellung eines geographischen Modells (Quelle: eigene Darstellung nach ArcGIS)

3.1 Beschreibung von Vorarbeiten des Themas der Projektpartner

Es kann auf einige Vorarbeiten im Bereich der Wärmebedarfsmodellierung sowie auch auf bereits entwickelte Methoden im Feld der Geoinformatik zur Abschätzung von erneuerbaren Energiepotenzialen zurückgegriffen werden. Einige Vorarbeiten, an denen die Projektpartner mitgewirkt haben, werden im Folgenden kurz dargestellt.

Energie und Raumentwicklung – Räumliche Potenziale erneuerbarer Energieträger, Projekt im Auftrag der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK) (2008)

Der Schwerpunkt des Projektes lag in der thematisch-inhaltlichen Verknüpfung der Bereiche „Raum“ und „Energie“. Es wurde erstmals ein integrativer und österreichweiter Ansatz entwickelt, der es erlaubt, räumlich hoch differenzierte Potenziale verschiedener erneuerbarer Energieträger systematisiert und miteinander vergleichbar für ganz Österreich kartographisch aufzubereiten (vgl. PRINZ ET AL. 2008). Die hier entwickelten Ansätze zur Potenzialermittlung werden im Projekt ReCO2NWK weiter ausgebaut und verfeinert.

EnergieRegion Rhein-Sieg, Projekt im Auftrag der Kreissparkasse Köln (2007/2008)

Mit diesem Projekt wurden unter Berücksichtigung von räumlichen Faktoren der Wert und die strukturellen Optionen einer regional organisierten Energieversorgung unter besonderer Beachtung erneuerbarer Energieträger dargestellt, um mit der ergänzenden geografischen Perspektive ein unterstützendes Instrument zur Entscheidungsfindung zu bieten (vgl. BIBERACHER ET AL. 2008). Dabei wurde ein erster Ansatz zur modelltechnischen Ableitung von räumlich differenzierten Energiedeckungsszenarien erarbeitet, welcher in das Projekt ReCO2NWK direkt einfließt und darin weiter ausgearbeitet wird.

Virtuelle Kraftwerke für Autarke Regionen (VKAR), Projekt im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ (2004/2005)

Im Rahmen dieses Projektes wurden erste GIS-Modelle zur Abbildung von Stromerzeugungspotenzialen aus den erneuerbaren Energieträgern Biomasse, Fotovoltaik, Wasserkraft und Windkraft sowie Strombedarfsstrukturen entwickelt. Das Ziel des Projektes lag darin, durch die Kombination der Potenziale der einzelnen erneuerbaren Energieträger zu virtuellen Kraftwerken und deren Korrelation mit der Strombedarfsstruktur in sich möglichst energetisch autarke Regionen zu modellieren. Die entwickelten Modelle wurden in einem Testgebiet (Salzburg/Bayern – hydrologisches Einzugsgebiet der Flüsse Saalach und Salzach) implementiert. Die entwickelten Modelle dienen als direkte Grundlage für die Weiterentwicklung des Geo-Analyseansatzes im Projekt ReCO2NWK.

Bereitstellung von Wärme und Klimatisierungsdienstleistungen im Österreichischen Wohn- und Dienstleistungsgebäudebestand bis zum Jahr 2050 (Heizen 2050), Projekt im Rahmen der Programmlinie „Energie der Zukunft“ durchgeführt (laufend).

Das Projekt „Heizen 2050“ hat zum Ziel, wesentliche Auswirkungen der Entwicklungen bis zum Jahr 2050 in Szenarien zu untersuchen und die Erkenntnisse an die Zielgruppen Forschung und technologische Entwicklung, Technologieproduzenten und energiepolitische Akteure zu transportieren. „Heizen 2050“ basiert methodisch auf der Anwendung eines disaggregierten Simulationsmodells mit einem betriebswirtschaftlichen Optimierungsalgorithmus, der die Wahl unterschiedlicher Zielfunktionen gestattet. Durch die Abbildung des gesamten österreichischen Gebäudebestands und der möglichen Wärmebereitstellungssysteme und die Modellierung der zukünftigen Entwicklung dieses Bestandes in Szenarien bis zum Jahr 2050 entstehen Aussagen über die mittel- bis langfristige Entwicklung der Raumkonditionierung in österreichischen Gebäuden.

Für die Ermittlung der wirtschaftlichen Randbedingungen wurden aus diesem Projekt für den Bereich der erneuerbaren Energieträger die Kosten herangezogen. Weiters wurden die im Projekt „Heizen 2050“ verwendeten Benutzungsfaktoren für die Korrektur der Energiebedarfswerte zu den Energieverbrauchswerten als Basis für die Korrektur der Bedarfswerte im Projekt ReCO2NWK genutzt.

Geothermiepotenzial Österreich (GeoPot) Projekt im Rahmen der Programmlinie „Energie der Zukunft“ durchgeführt (laufend).

Im Rahmen der Studie GeoPot wurde ein flächendeckendes Rasterzellenmodell im Maßstab 1:500.000 erarbeitet, das aufgrund der Verknüpfung von geowissenschaftlichen Basisdaten, technischen Modellen und raumplanerischen Kennwerten eine generalisierte Prognose zum Potenzial der oberflächennahen geothermischen Wärmebereitstellung in Österreich liefert. Die Grundlage des Rasterzellenmodells bildet ein raumplanerisches Modell, welches potenzielle Nutzungs- und Ausschlussflächen eingrenzt. Den dadurch bekannten und soweit geothermisch nutzbaren Flächen wurde ein generalisiertes Untergrundmodell zugewiesen, das die Berechnung der potenziellen technischen Entzugsleistung mithilfe der Simulation auf

Grundlage von Referenzgewinnungsanlagen (Tiefensonde, Flachkollektor) ermöglicht. Die Bestimmung des geothermischen Potenzials (technisches Potenzial, Deckungspotenzial) konnte in Kombination mit der erhobenen Bedarfssituation, d.h. der Identifizierung des ortsbezogenen Heizwärmebedarfs, bezogen auf siedlungsstrukturelle Einheiten, durchgeführt werden. Hierzu wurden aufgrund bautechnischer und standortbezogener Gebäudedaten Gebäudetypen definiert, denen unter Annahme einer thermischen Sanierung Heizwärmebedarfswerte zugewiesen wurden.

Vor allem im Bereich der simulationstechnischen Abbildung der Wärmepumpe im GIS wurde über das Institut für Wärmetechnik ein Know-How-Transfer zwischen den Projekten forciert. So wurde die Systematik der Berechnung aus ReCO₂NWK in GeoPot übernommen, im Gegenzug wurden die detaillierten Bodendaten aus GeoPot für die Testregionen in ReCO₂NWK genutzt.

Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich II (HEAT.at) *Projekt gefördert durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften (2009)*

Das Projekt HEAT.at untersucht die Auswirkungen des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich. Mithilfe von Referenzgebäuden wird der Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Heiz- sowie Kühlenergiebedarf für unterschiedliche Gebäudetypen analysiert. Die Berechnungen basieren auf den österreichischen Vorgaben zur EU-Gebäuderichtlinie (EPBD). Der gebäudespezifische Energieverbrauch wird mit einer im Rahmen des Projekts StartClim2006.F (StartClim ist ein von AustroClim initiiertes Forschungsprogramm) generierten regionalisierten Datenbasis zum derzeitigen Gebäudebestand sowie zu Heiz- und Kühlgradtagen zusammengeführt. Weiters werden in Szenarien die zukünftige Entwicklung des Klimas, des österreichischen Gebäudebestandes unter Berücksichtigung von Bevölkerungstrends, der gesetzlichen Rahmenbedingungen, sowie der Gebäudetechnik beschrieben und der Einfluss des Klimawandels auf die Nachfrage nach Heizenergieträgern und dem derzeit vorwiegend eingesetzten Kühlenergieträger Elektrizität untersucht.

Hieraus wurde für das vorliegende Projekt ReCO₂NWK vor allem die Methodik der Definition der Referenzgebäude, die automatisierte Berechnungsmethode sowie die klimatischen Grundlagen der EU-Gebäuderichtlinie übernommen.

3.2 Abgrenzung und Beschreibung der Untersuchungsregionen

Das im Rahmen des gegenständlichen Projektes erarbeitete Modellkonzept für die Ermittlung einer nach Möglichkeit CO₂-neutralen Deckung des Energiebedarfs für Heizen, Kühlen und Warmwasserbereitung wird exemplarisch in einer Region angewendet.

Die vorab definierten Untersuchungsregionen umfassen die Bezirke Murau und Feldbach / Radkersburg. Die Auswahl dieser Bezirke als Testregion erfolgte auf Grund der im Wärmebereich als hoch eingeschätzten erneuerbaren Energiepotenziale, welche derzeit noch ungenügend genutzt werden. Außerdem weisen die Teilregionen sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen in Bezug auf Topografie und Bevölkerungsdichte auf, wodurch der Einfluss dieser Gegebenheiten exemplarisch analysiert werden kann. Im Projektverlauf wurde beschlossen, die Teilregion Feldbach / Radkersburg auf die Region „Vulkanland“, in der es bereits Bestrebungen in Richtung der Erreichung einer 100 %-igen Versorgung durch erneuerbare Energieträger gibt, auszudehnen. Dadurch kommen noch 6 Gemeinden aus den Bezirken Fürstenfeld, Weiz und Leibnitz zur Testregion hinzu.

Rahmenbedingungen Bezirk Murau

Das gesamte Gebiet des Bezirks Murau (Abbildung 6) wird zum Alpenraum gezählt und umfasst eine Fläche von 1.385 km². Der Bezirk ist vor allem geprägt durch das Murtal sowie die Niederen Tauern. Südlich des Murtals befinden sich die Gurktaler Alpen, welche hochgebirgsartigen Charakter aufweisen. Die gebirgigen Geländeformen nehmen somit einen großen Anteil des Bezirkes in Anspruch, was sich auch auf den Dauersiedlungsraum auswirkt (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (A), O.J.). Nur 20,4 % der Fläche Muraus werden dem Dauersiedlungsraum zugerechnet, wodurch auch die Bevölkerungsdichte der Region mit 22 EinwohnerInnen je km² sehr niedrig ausfällt. Im Vergleich dazu liegt die Bevölkerungsdichte in der gesamten Steiermark bei 73 EinwohnerInnen je km² (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (B), O.J.).



Abbildung 6 Bezirk Murau (Quelle: eigene Darstellung)

Der Bezirk Murau umfasst 34 Gemeinden, davon die beiden Stadtgemeinden Murau und Oberwölz Stadt. Im Jahr 2007 lebten gemäß dem Melderegister 30.510 EinwohnerInnen im Bezirk (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (b), O.J.). Murau hatte in den Jahren von 1991 bis 2001 einen Rückgang der Wohnbevölkerung von 2,4 % zu verzeichnen, was deutlich über dem Durchschnitt in der gesamten Steiermark (- 0,1 %) liegt (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (a), O.J.). Dieser Trend verstärkte sich in den Jahren 2001 bis 2007, wo es einen Bevölkerungsrückgang von 3,1 % gab, während die gesamte Steiermark einen Bevölkerungszuwachs verzeichnen konnte (+ 1,7 %). Die ÖROK (Österreichische Raumordnungskonferenz) geht davon aus, dass es auch in den kommenden Jahren (2006 – 2031) zu einem Rückgang der Bevölkerung in der Region kommen wird, und zwar im Ausmaß von – 17,7 % (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (b), O.J.).

In Murau gibt es bereits seit 2003, mit der Formulierung der Energievision Murau, Bestrebungen, die Region vollständig mit Strom und Wärme aus erneuerbaren, regional verfügbaren Energieträgern zu versorgen. Der angestrebte Zeithorizont für dieses Vorhaben ist das Jahr 2015. Die Schwerpunkte zur Erreichung dieses Ziels liegen dabei auf einer verstärkten Nutzung von Biomasse in Nahwärmenetzen und Privatanlagen, Solaranlagen

(sowohl thermische Nutzung als auch Fotovoltaik) und Verbesserungen der Energieeffizienz im Gebäudebereich (vgl. ENERGIEAGENTUR OBERSTEIERMARK 2007).

Bezüglich der Biomassenutzung hat der Bezirk Murau eine günstige Ausgangslage, da 129.600 ha land- und forstwirtschaftliche Fläche (entspricht 93,5 % der Gesamtfläche Muraus, davon sind 56 % Forstfläche und 33 % Grünland) sowie 2.600 ha Ackerfläche (davon rund 96 % Getreide und Feldfutterbau) vorhanden sind (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (a) O.J.).

Dieser Sachverhalt hat unter anderem dazu beigetragen, dass die Anzahl der Biomasseanlagen in der Region Murau massiv gesteigert werden konnte. Während im Jahr 2003 47 % des gesamten Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energieträgern bereitgestellt wurden, konnte dieser Anteil bis zum Jahr 2006 auf 56 % gesteigert werden. Im Strombereich wurde die Autarkie in Murau bereits erreicht, was auf die große Anzahl an Kleinwasserkraftwerken zurückzuführen ist (vgl. ENERGIEAGENTUR OBERSTEIERMARK O.J.).

Rahmenbedingungen Vulkanland

Die Region Vulkanland umfasst derzeit 79 Gemeinden aus den Bezirken Feldbach, Radkersburg, Fürstenfeld, Weiz und Leibnitz. 78 dieser Gemeinden werden im vorliegenden Projekt berücksichtigt. Die Gemeinde St. Veit am Vogau kann im gegenständlichen Projekt nicht berücksichtigt werden, da diese erst nach der Übereinkunft, das Vulkanland mit den zu diesem Zeitpunkt registrierten 78 Gemeinden als Untersuchungsgebiet heranzuziehen, dem Steirischen Vulkanland beigetreten ist. Somit umfasst das Vulkanland in der Definition des Projektes alle Gemeinden der Bezirke Radkersburg und Feldbach sowie zusätzlich die Gemeinden Nestlbach im Ilztal, Ilz, Ottendorf und Söchau aus dem Bezirk Fürstenfeld sowie Sinabelkirchen und Markt Hartmannsdorf aus dem Bezirk Weiz (Abbildung 7).

Im Vulkanland wurde im Jahr 2005 die „EnergieVision für das Steirische Vulkanland 2025“ erstellt. Das strategische Ziel dieser Vision besteht in einer vollständigen Wärme-, Strom- und Treibstoffversorgung des Vulkanlandes mit regional verfügbaren erneuerbaren Energieträgern (vgl. VULKANLAND 2009).

Die Rahmenbedingungen in den beiden Bezirken Feldbach und Radkersburg werden im Folgenden näher analysiert.



Abbildung 7 Untersuchungsgebiet Steirisches Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

Feldbach

Der Bezirk Feldbach hat eine Fläche von 727 km² und ist gänzlich im Oststeirischen Hügelland gelegen. Ein großer Teil des oststeirischen Vulkanlandes liegt im Bezirk Feldbach, was sich in den zahlreichen typischen Vulkankegeln widerspiegelt (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (c), O.J.). Der Dauersiedlungsraum nimmt rund zwei Drittel der Gesamtfläche ein. Während das Hügelland von Streusiedlungen geprägt ist, bestehen im unteren Raabtal höhere Siedlungsdichten (Feldbach, Fehring). Feldbach und Fehring sind gleichzeitig die beiden Stadtgemeinden von den insgesamt 55 Gemeinden des Bezirks.

Im Jahr 2007 zählte der Bezirk Feldbach laut dem Zentralen Melderegister 67.626 EinwohnerInnen. In den Jahren 1991 – 2001 gab es einen Zuwachs der Bevölkerung in Höhe von 2,2 %. Dieser positive Trend hat sich zwar in den Jahren 2001 – 2007 fortgesetzt, jedoch mit + 0,6 % weitaus nicht mehr so stark wie zuvor. Für die Zukunft (2006 – 2031) prognostiziert die ÖROK sogar eine Umkehrung des positiven Trends in Form eines Bevölkerungsrückganges in der Höhe von 3,0 % (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (c), O.J. UND AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (d), O.J.).

Die land- und forstwirtschaftliche Fläche beträgt in Feldbach insgesamt rund 62.400 ha (entspricht 86 % der Gesamtfläche Feldbachs). Davon stellen rund 46 % Ackerland bzw. Dauerkulturen, 17 % Grünland und 34 % forstwirtschaftliche Flächen dar. Vom Ackerland werden rund 78 % für den Getreideanbau herangezogen.

Radkersburg

Die Gesamtfläche des Bezirks Radkersburg beträgt 337 km². Im Norden wird der Bezirk durch das Oststeirische Hügelland begrenzt, der südliche Teil wird zur Terrassenlandschaft des Murtales gezählt. Beinahe zwei Drittel der Gesamtfläche sind Dauersiedlungsraum. Die am dichtesten besiedelten Teile des Bezirks befinden sich einerseits um Bad Radkersburg, Halbenrain, Mureck und Murfeld im Murtal sowie in St.Peter am Ottersbach (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (e) O.J.). Die Siedlungsdichte beträgt 70 EinwohnerInnen je km². Insgesamt besteht der Bezirk Radkersburg aus 19 Gemeinden, davon zwei Stadtgemeinden (Bad Radkersburg, Mureck).

Das Zentrale Melderegister weist für das Jahr 2007 23.433 EinwohnerInnen in Radkersburg aus. Der Bezirk zeigt einen negativen Trend der Bevölkerungsentwicklung: zwischen 1991 und 2001 nahm die Bevölkerungszahl um 2,9 % ab, zwischen 2001 und 2007 um 2,6 %. Die Bevölkerungsprognose der ÖROK sagt eine weitere Abnahme der Bevölkerung um 11,1 % zwischen 2006 und 2031 voraus (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (e) O.J. und AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (f) O.J.).

Die land- und forstwirtschaftliche Fläche wird für Radkersburg mit 26.500 ha (entspricht 78,6 % der Gesamtfläche) angegeben. Davon sind rund 57 % Ackerland bzw. Dauerkulturen, 10 % Grünland und 31 % Forstfläche. Beim Ackerbau dominiert der Getreideanbau mit rund 71 % (vgl. AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (e) O.J.).

3.3 Verwendete Methoden und Daten

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Herangehensweise und die Methodik zur Erstellung des Modells zur räumlich expliziten Ermittlung und Abbildung einer möglichen CO₂-neutralen Wärme- und Kältebedarfsdeckung. Dazu wurde ein räumliches Modellkonzept entwickelt, dessen grundsätzlicher Aufbau und verwendete Methodik im Folgenden dargestellt werden.

3.3.1 Räumliches Modellkonzept

Im Projekt wurde ein Konzept für eine modelltechnische Erfassung eines Energiesystems im Bereich der Wärme- und Kälteversorgung entworfen, welches neben der Erfassung und Abbildung des derzeitigen Zustandes auch relevante Parameter hinsichtlich möglicher zukünftiger Entwicklungsszenarien eines Energiesystems umfasst.

Die Einbindung erneuerbarer Energieträger in ein bestehendes Energieversorgungssystem ist mit Herausforderungen gekoppelt, die über eine rein konventionelle Bedarfsdeckung durch fossile Energieträger hinausgehen. Insbesondere die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit und mitunter geringe Transportwürdigkeit erneuerbarer Energieträger zur Wärmebedarfsdeckung erfordern eine regional angepasste Strategie. Räumliche und zeitliche Korrelationen zwischen Bedarfs- und Angebotsstrukturen spielen hierbei eine wesentliche Rolle.

Das in diesem Projekt entwickelte Modell versucht, die räumlichen und zeitlichen Korrelationen zwischen erneuerbaren Energiepotenzialen und Nachfragestrukturen zur Wärme- und Kältebedarfsdeckung zu erfassen, um daraus explizite regionale Umsetzungsstrategien abzuleiten. Dazu werden einzelne räumliche Einheiten – im aktuellen Projekt 250 x 250 m Rasterzellen – unterschieden. Diese räumlichen Einheiten werden individuell in ihrer Verfügbarkeit erneuerbarer Energiepotenziale, ihrer Energiebedarfsstruktur sowie ihrer bestehenden Infrastruktur berücksichtigt. Zusätzlich kann die Kopplung einzelner räumlicher Einheiten hinsichtlich ihrer Anbindung an vorhandene Infrastruktur wie Gas- oder Fernwärmeversorgung betrachtet werden.

Das räumliche Modellkonzept gliedert sich in drei relevante Module:

- Potenzialmodell
- Bedarfsmodell
- Dynamisches Bedarfsdeckungsmodell

Diese drei Module werden im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben.

Zu Beginn der Erläuterungen zu den verwendeten Methoden für das räumliche Modellkonzept ist es notwendig, auf die verschiedenen Energieebenen, mit denen im vorliegenden Projekt gearbeitet wird, einzugehen. Abbildung 8 zeigt eine Energieumwandlungskette, in der die verschiedenen Energieebenen ausgewiesen sind. Eine Definition der relevanten Begriffe findet sich im Glossar am Ende des Berichts. Die wichtigsten Energieebenen im gegenständlichen Projekt sind die Primär- bzw. Sekundärenergie im Rahmen des Potenzialmodells und die Nutzenergie sowie die Endenergie im Rahmen des Bedarfsmodells. Das Bedarfsdeckungsmodell stellt die Schnittstelle zwischen Endenergie und Sekundärenergie dar. An geeigneter Stelle im Bericht werden die relevanten Begriffe anhand der konkreten Fälle anschaulich erläutert.

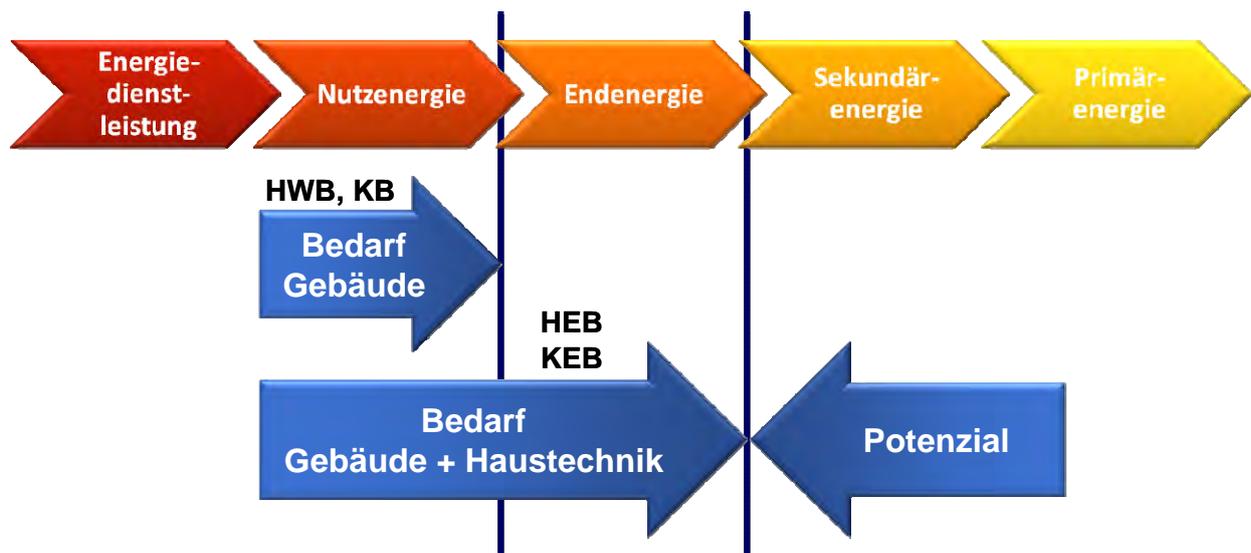


Abbildung 8 Energieumwandlungskette mit den einzelnen Energieebenen (Quelle: eigene Darstellung)

3.3.1.1 Potenzialmodell

Es wurde ein räumliches Modell zur Abbildung der in der Untersuchungsregion vorhandenen erneuerbaren Energieträger, die zur Deckung des Wärmebedarfs herangezogen werden können, entwickelt. Das Projekt behandelt hierbei die erneuerbaren Energieträger Biomasse, Solarenergie (thermische Nutzung) und Umgebungswärme. Umgebungswärme wird hinsichtlich einer Nutzung mittels Flächenkollektoren und Erdsonden berücksichtigt. Die Potenziale der konventionellen Energieträger, die nicht regional verfügbar sind, zur Energiebedarfsdeckung in einigen Szenarien jedoch benötigt werden, werden im dynamischen Deckungsmodell (s. Kap. 3.3.1.3) integriert.

Anhand geographischer sowie statistischer Inputdaten werden entlang einer je Energieträger definierten Prozesskette verschiedene Operationen mittels geographischer Methoden im GIS durchgeführt, aus denen sich schließlich die Potenziale der jeweiligen Energieträger ergeben. Als Dateninput im Potenzialmodell fungieren beispielsweise Topographie, Landnutzung, Globalstrahlung, Gebäudekataster, etc.

Dabei ist es erforderlich, dass alle Inputdaten die gleiche räumliche Auflösung aufweisen. Im gegenständlichen Projekt wird eine Rasterdarstellung mit einer Zellgröße von 250 x 250 m verwendet. Durch die Verschneidung und Prozessierung der Inputdaten können die nutzbaren Potenziale der betrachteten Energieträger Biomasse, Solarenergie und Umgebungswärme abgeleitet und auf Rasterebene räumlich aufgelöst visualisiert werden (Abbildung 9). Die Prozessketten und Ergebnisse der Potenzialmodellierung der einzelnen Energieträger werden in Kapitel 4.1 detailliert behandelt und dargestellt. Abbildung 9 zeigt schematisch den Ablauf im Potenzialmodell.

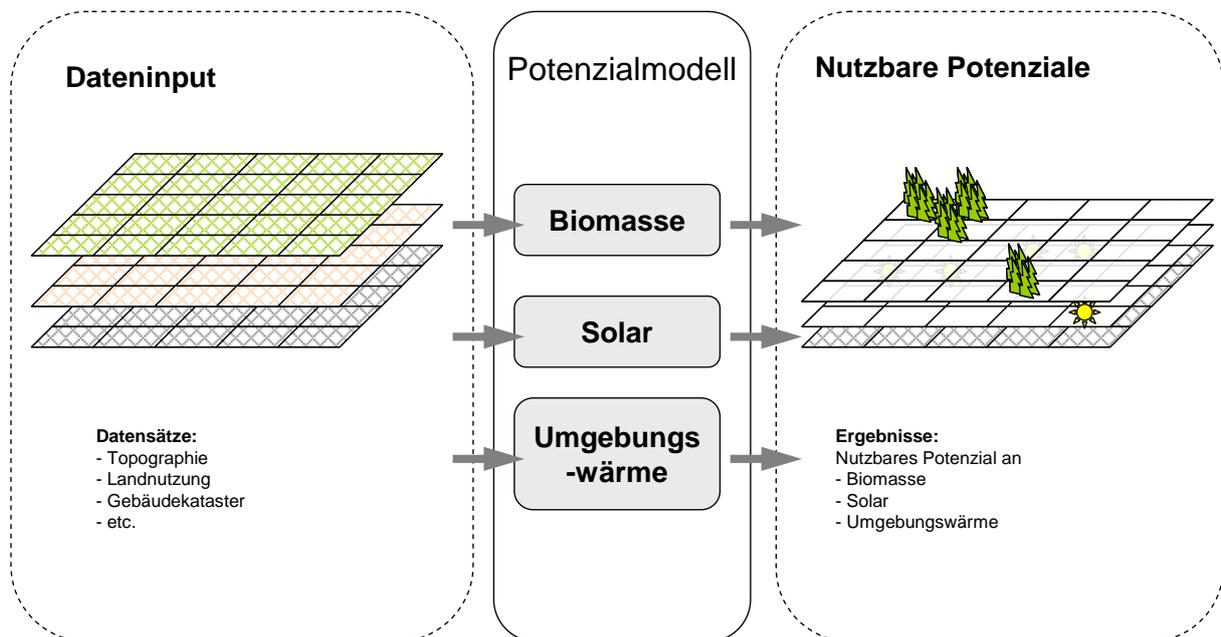


Abbildung 9 Potenzialmodell (Quelle: eigene Darstellung)

3.3.1.2 Bedarfsmodell

Zu Beginn der Darstellung der Methodik zum Bedarfsmodell sei auf den Unterschied zwischen "Bedarf" und "Verbrauch" in Bezug auf die verschiedenen Energieebenen (siehe auch Abbildung 8) im Gebäude hingewiesen:

Unter **Energieverbrauch** ist jene Energiemenge zu verstehen, die in einem Gebäude real verbraucht wird, so wie sie durch den verbrauchten Energieeinsatz (Brennstoff, elektrischer Strom) gemessen werden kann. Der Energieverbrauch wird auf Ebene der **Endenergie** ermittelt, d.h. sämtliche Verluste der Haustechnik sind darin enthalten. Der Endenergiebedarf wird maßgeblich von den Benutzern beeinflusst, da z.B. verschiedene Benutzer unterschiedlich viele Räume der Wohnung / des Hauses tatsächlich beheizen und verschiedene Innenraumtemperaturen einstellen; eine Senkung des Sollwertes für die Innenraumtemperatur um 1 K kann je nach Gebäude eine Einsparung von 6 % bis zu 20 % des Energiebedarfs bewirken. Je nach Benutzer können auch die inneren Wärmequellen in einem Gebäude sehr stark differieren. Die Problematik, den Verbrauch in einem Modell abzubilden, kann im Wesentlichen in zwei Punkten zusammengefasst werden: Erstens werden im gemessenen Verbrauch implizit jegliche Randbedingungen berücksichtigt, deren Zusammenhang unbekannt ist, sodass die Modellergebnisse nur sehr schwer interpretiert werden können, was insbesondere für die Szenarienentwicklung kritisch ist. Zweitens sind die notwendigen Verbrauchsdaten in den wenigsten Fällen verfügbar, sodass zur Modellierung einer gesamten Region wiederum zahlreiche Annahmen getroffen werden müssen, deren Realitätsbezug unbekannt ist.

Der **Energiebedarf** hingegen ist ein rechnerisch ermittelter Wert, der sowohl auf Ebene der Endenergie als auch der Nutzenergie bestimmt werden kann. Auf Nutzenergieebene ist der Bedarf jene Energiemenge, die ein Gebäude unter bestimmten klimatischen Bedingungen und einem standardisierten Nutzungsprofil zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Innenraumtemperatur benötigt, er wird Heizwärmebedarf genannt (vgl. ÖNORM B 8110-6). Dabei ist irrelevant, auf welche Art und Weise diese Energiemenge bereitgestellt wird. Im Bedarf auf Ebene der Endenergie, dem Heizenergiebedarf, werden zusätzlich zum Heizwärmebedarf die Verluste des Haustechniksystems (Energiebereitstellung, Speicherung und Verteilung) sowie die benötigte Energie zur Warmwasserbereitung berücksichtigt: "Der jährliche Heizenergiebedarf eines Gebäudes ist die rechnerisch unter Normnutzungsbedingungen ermittelte Wärmemenge, die im langjährigen Mittel während einer Heizsaison den Räumen des Gebäudes und dem Wasser zur Warmwasserbereitung zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf und den Warmwasser-Wärmebedarf decken zu können. Für die Ermittlung des Heizenergiebedarfs sind nur jene Systemteile zu berechnen, die das abzubildende Heizungssystem auch wirklich enthält" (VORNORM ÖNORM H 5056:2007).

Der Endenergiebedarf unterscheidet sich also für ein bestimmtes Gebäude je nach verwendeter Haustechnik. Darauf wird besonders deshalb hingewiesen, da in diesem Projekt Szenarien zur Energiebedarfsdeckung mit unterschiedlichen Energieträgern (also unterschiedlicher Haustechnik) aufgezeigt werden sollen. Die Berechnungen im gegenständlichen Projekt behandeln somit den hier beschriebenen rechnerisch ermittelten Energiebedarf sowohl auf Nutz- als auch auf Endenergieebene, wobei zur Szenarienentwicklung im dynamischen Deckungsmodell der Endenergiebedarf einzusetzen ist (siehe Beschreibung dort).

Das Ziel des in diesem Kapitel dargestellten Bedarfsmodells ist es, den Wärme-, Warmwasser und Kältebedarf auf Nutzenergieebene räumlich detailliert abzubilden. Dazu ist es erforderlich, spezifische Bedarfskennzahlen für unterschiedliche Gebäude zu ermitteln und diese dann räumlich zu verteilen. Die Methodik zur Berechnung des spezifischen Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarfs ist im Folgenden dargestellt. Der Ermittlung des Energiebedarfs zur Kältebereitstellung liegt die gleiche, im Folgenden beschriebene Methodik zugrunde.

Zur Abschätzung des Energiebedarfs von Gebäuden und ihren Nutzern gibt es verschiedene Methoden (z.B. JUNGMEIER ET AL., 1997a und 1997b, SCHRIEFL, 2007, TOEGLHOFER ET AL., 2009), die alle auf mehr oder weniger starken Vereinfachungen und Annahmen beruhen. Im gegenständlichen Projekt wurde der Ansatz über die Definition von Referenzgebäuden gewählt, wobei bereits bei dieser Definition die begrenzte Verfügbarkeit der erforderlichen räumlichen Daten berücksichtigt werden musste (siehe auch Kapitel 3.3.2). Die Methodik zur Ermittlung des Bedarfs auf Nutzenergieebene umfasst im Wesentlichen zwei Arbeitsschritte:

1. Definition von Referenzgebäuden und Berechnung ihres Nutzenergiebedarfs

Ein Raster von Referenzgebäuden wird definiert. In diesem Raster werden folgende Eigenschaften der Gebäude variiert:

- Geometrie und die Nutzung des Gebäudes, wobei die Geometrie des Gebäudes mit seiner Nutzung gekoppelt ist,
- Qualität der Gebäudehülle

Zur Bedarfsermittlung wurde der Energieausweis (ÖNORM H 5055, 2002) herangezogen. Unterstützend wurde die Simulationssoftware Polysun (VELASOLARIS, 2010) eingesetzt.

Der Energieausweis ist ein Instrument zur energetischen Bewertung von Gebäuden und deren Haustechnikinstallation unter standardisierten Bedingungen. Die Standardisierung bezieht sich dabei zum einen auf die Definition eines Referenzklimas, bei dem verschiedene Gebäude unabhängig von ihrem tatsächlichen Standort energetisch verglichen werden können. Zum anderen sind in der ÖNORM B 8110-5 Kennwerte für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs in Abhängigkeit der Gebäudenutzung (EFH, MFH, Büro, Krankenhaus, Hotel u.a.) definiert, welche als Standard-Nutzungsprofile betrachtet werden können. Damit wird eine typische Nutzung angenommen, die zwar bei den einzelnen Gebäuden nicht der Realität entsprechen wird, im Durchschnitt aber repräsentativ für die jeweilige Art der Nutzung ist.

2. Zuordnung realer Gebäude zu Referenzgebäudetypen

Jedes reale Gebäude, das über das Gebäudekataster der Statistik im Rahmen der räumlichen Auflösung von 250m identifiziert werden kann, wird einem Referenzgebäudetyp mit dem zugehörigen Heizwärme-, Warmwasserwärme- und Kühlbedarf (HWB, WWWB und KB) zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt über das Baujahr des Gebäudes (repräsentativ für die Qualität der Gebäudehülle) sowie über die Nutzung. Dies erfolgt anhand des räumlichen Bedarfsmodells.

Zur räumlich expliziten Abbildung des Wärme- (Raumwärme und Warmwasser) und Kältebedarfs wurde ein Bedarfsmodell in GIS entwickelt. Dies stützt sich im Wesentlichen auf Inputdaten mit einer räumlichen Auflösung von 250 x 250 m. Die räumlichen Inputdaten umfassen Topographie, regionalstatistische Daten, Gebäudekataster, etc. Zusätzlich werden in das Bedarfsmodell spezifische Bedarfskennzahlen von Gebäuden über die oben beschriebenen Referenzgebäude integriert. Durch die Verschneidung der spezifischen Bedarfswerte und der geographischen Dateninputs kann der Bedarf auf Nutzenergieebene räumlich in Rasterzellengröße aufgelöst verortet werden. Als Ergebnis liefert das Bedarfsmodell die räumlich und zeitlich aufgelöste Bedarfsstruktur in Form des monatlichen Bedarfs (HWB, WWWB und KB) je Gebäudetyp und je Rasterzelle.

Abbildung 10 zeigt das Setup des Bedarfsmodells. Die Ergebnisse aus der Anwendung des Bedarfsmodells auf die Testregionen sind in Kapitel 4.1 dargestellt.

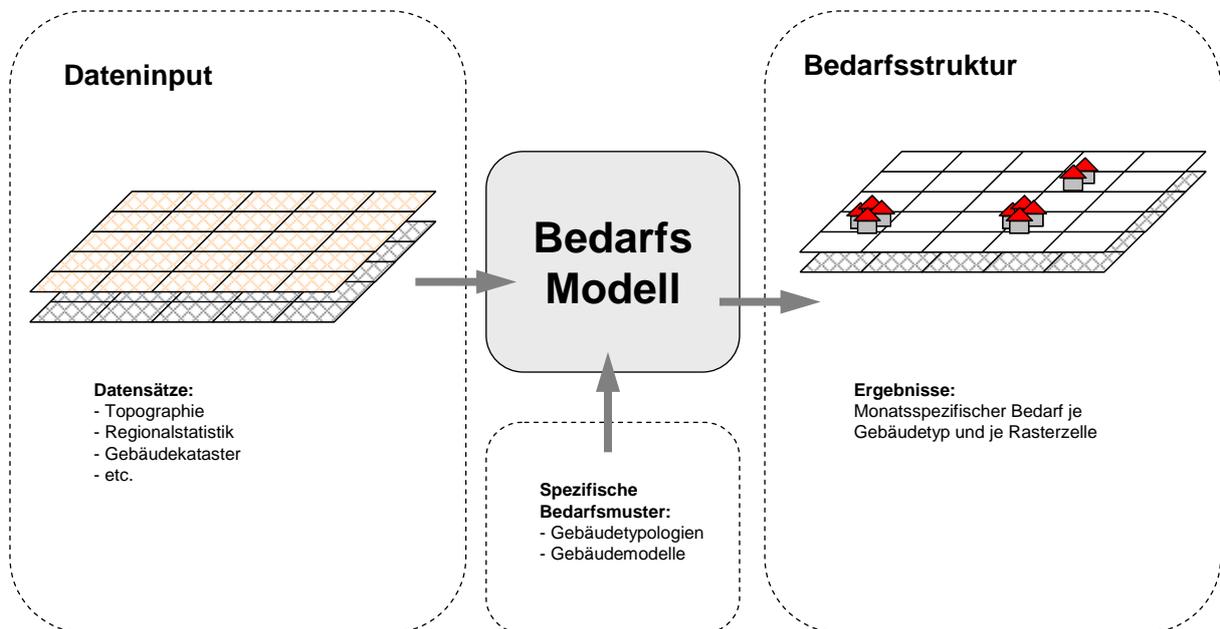


Abbildung 10 Bedarfsmodell (Quelle: eigene Darstellung)

3.3.1.3 *Dynamisches Deckungsmodell (RESRO)*

Das dynamische Deckungsmodell RESRO (Reference Energy System Regional Optimisation) stellt die Ergebnisse aus dem Potenzialmodell und dem Bedarfsmodell bilanzierend gegenüber und integriert noch zusätzliche Daten, wie die existierende Infrastruktur zur Bedarfsdeckung (Haustechnik, Fernwärmenetze, Gasleitungen u.ä.) und spezifische Parameter unterschiedlicher Wärmebereitstellungstechnologien wie Kosten, Effizienzen und CO₂-Emissionen (Abbildung 11). Das Modell optimiert den Wärme- und Kältebedarf auf Endenergieebene und bezieht somit auch die Verluste der verwendeten Bereitstellungstechnologien (Haustechnik) in die Modellierung mit ein. Zur Integration der Wärmebereitstellungssysteme und -technologien (Haustechnik) sind zwei Schritte erforderlich:

1. Definition von Haustechnik-Referenzsystemen

Analog zu den Referenzgebäuden wird ein Raster aus Referenzsystemen für die Haustechnik definiert. Variiert werden dabei der Energieträger, das Temperaturniveau im Wärmeverteilsystem (Temperaturen Vorlauf / Rücklauf) und die Dämmstärken der Leitungen. Die Dimensionierung der Haustechnik-Systeme (Kesselleistung, Leitungslängen, Speichergrößen u.ä.) ergeben sich aus den Dimensionen der jeweiligen Referenzgebäude.

2. Zuordnung der Haustechnik-Referenzsysteme zu Gebäudetypen

Für jedem Gebäudetyp werden verschiedene mögliche Haustechnik-Referenzsysteme zur Wärmeversorgung entsprechend dem Gebäudealter und –nutzung vorgesehen. Das Gebäudealter ist dabei repräsentativ für das Temperaturniveau im Heizkreis. Die anteilige Zuordnung der Haustechnik Referenzsysteme zu den Gebäuden erfolgt auf räumlicher Ebene und ist Teil der Optimierung im Rahmen des dynamischen Bedarfsdeckungsmodells RESRO.

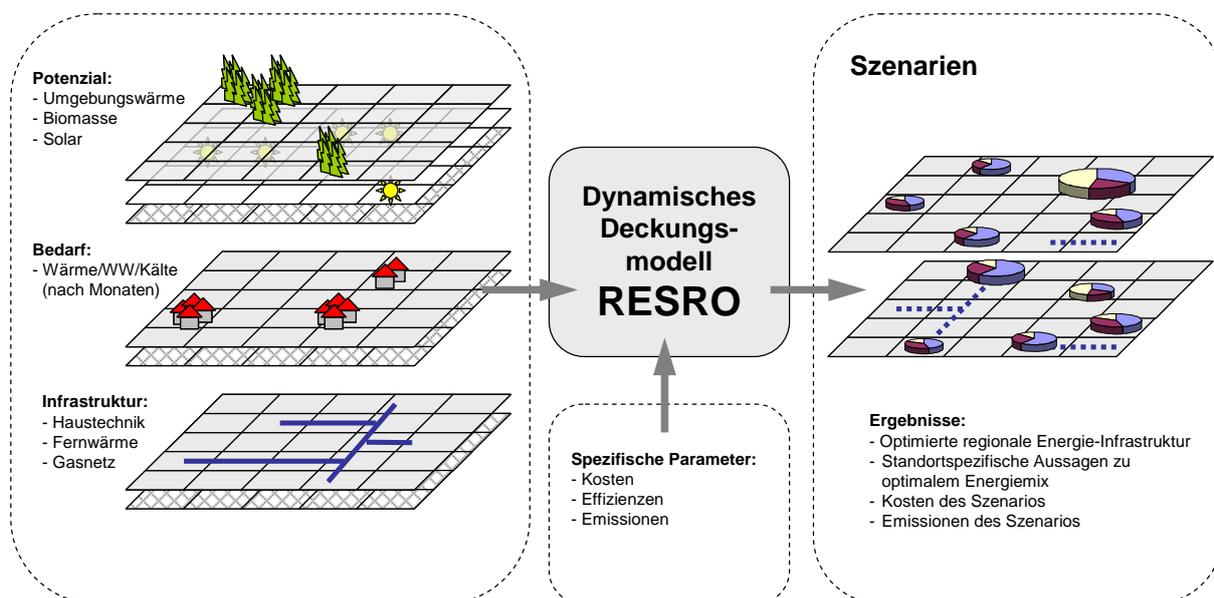


Abbildung 11 Dynamisches Deckungsmodell RESRO (Quelle: eigene Darstellung)

Das Modell RESRO besteht aus einem linearen Optimierungsmodell, welches nach den spezifischen Parametern Kosten, Effizienzen und CO₂-Emissionen eine Optimierung der Energiebereitstellung im Bereich Wärme und Kälte durchführt. Es bedient sich dabei der Software GAMS (General Algebraic Modeling System). Die Optimierung wird auf Rasterzellenbasis (250 m x 250 m) vorgenommen.

Als Ergebnis liefert das RESRO Modell ein Set an Szenarien, welche die optimale Energiebereitstellung für jede einzelne Rasterzelle des Untersuchungsgebietes unter den jeweils getroffenen Annahmen ausweisen. Die resultierenden Szenarien umfassen die optimierte regionale energetische Infrastruktur inklusive möglicher Technologie-Substitutionen, sowie standortspezifische Aussagen über das optimale Ausmaß der Inwertsetzung von regional verfügbaren erneuerbaren Energieträgern zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs. Die einzelnen Szenarien werden gemeinsam mit den verbundenen Systemkosten und -emissionen ausgewiesen.

Das Modell RESRO ist in der Lage, in jedem Szenario für jede Rasterzelle die Höhe des monatlichen Bedarfs an Wärme, Warmwasser und Kälte sowie dessen optimale Deckung durch die verschiedenen Energieträger auszuweisen (Abbildung 12).

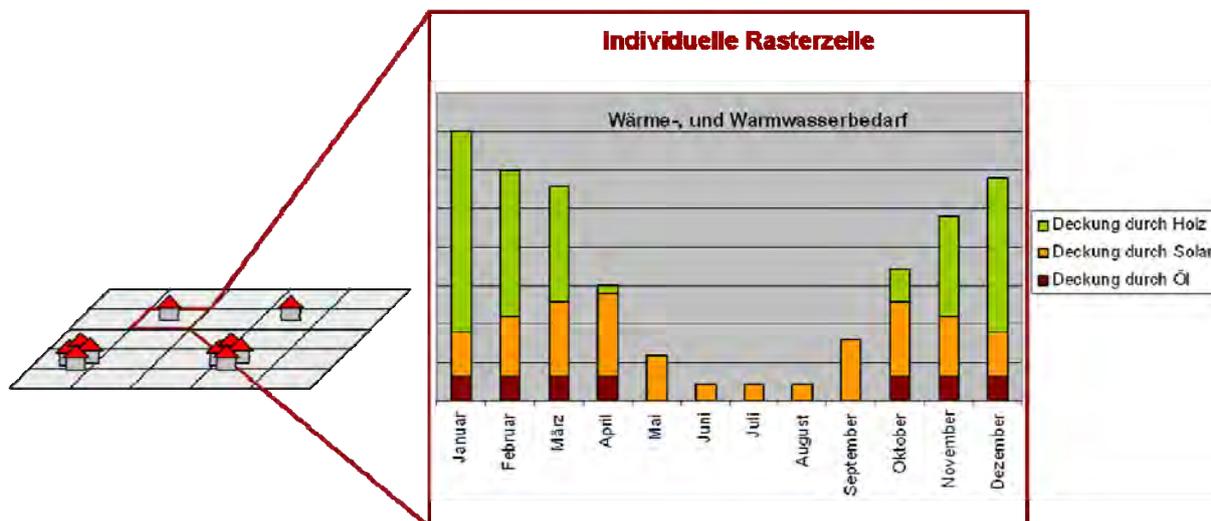


Abbildung 12 Exemplarische Darstellung der optimalen Deckung des monatlichen Wärme- und Warmwasserbedarfs je Rasterzelle (Quelle: eigene Darstellung)

3.3.2 Diskussion der Datengrundlage

Die Qualität der Modellergebnisse hängt wesentlich von der Verfügbarkeit und Qualität der Eingabedaten ab. Da Fragestellungen der Energiebedarfsdeckung eine hohe räumliche Auflösung in der Modellierung erfordern, sind fundierte räumlich verortete Daten unerlässlich. Zur Datenverfügbarkeit muss generell festgestellt werden, dass sie weit unter den Erwartungen liegt, beziehungsweise der Zukauf von relevanten regionalstatistischen Rasterdaten der Statistik Austria mit hohen Kosten verbunden ist. Aus diesem Grund muss ein Kompromiss aus erforderlichen Modellierungsgrundlagen und finanziellem Aufwand gefunden werden.

Als beträchtliches Hindernis bei der Erzielung realitätsnaher Ergebnisse haben sich die Datenschutzbestimmungen für die regionalstatistischen Rasterdaten erwiesen, da für Rasterzellen, in denen weniger als vier Gebäude/Wohnungen (je nach Basis) gemeldet sind, keine weitere Differenzierung von Attributen erfolgt. Für das gegenständliche Projekt bedeutet dies, dass für Rasterzellen mit weniger als vier Nennungen von Gebäuden bzw. Wohnungen nur die Anzahl an Gebäuden/Wohnungen verfügbar sind, jedoch keine weiteren Angaben wie Nutzflächen, Baualter etc.. Dadurch ergeben sich bei der im Projekt verwendeten Rasterzellengröße von 250 x 250 m Datenlücken für 31 % der Gebäude und für 26 % der Wohnungen. Werden Rasterzellen mit 1000 m Seitenlänge verwendet, sinkt der Anteil der nicht genauer definierten Gebäude und Wohnungen auf ca. 1 %, gleichzeitig ist damit die räumliche Auflösung entsprechend gröber.

Durch eine Kombination der Daten aus beiden Rastergrößen (250 m und 1000 m) bzw. der verfügbaren Daten auf Gemeindeebene und einer angenommenen Verteilung in den verbleibenden Rasterzellen können die Datenlücken mit entsprechender Unschärfe gefüllt werden. Insbesondere bei einer punktuellen Betrachtung einzelner Rasterzellen ist zu beachten, dass diese Annäherungen mitunter zu erheblichen Abweichungen führen kann.

In den statistischen Daten ist das Gebäude jene Einheit, für die die überwiegende Art der Nutzung (Wohngebäude mit klassifizierter Anzahl der Wohnungen, Büro, Handel, Kultur / Freizeit / Bildung / Gesundheit u.a.) angegeben wird. Alle anderen Angaben wie klassifiziertes Baujahr, klassifizierte Nutzfläche und überwiegender Energieträger zur Wohnraumbeheizung liegen auf Basis der Wohnungen vor. Dabei gilt bezüglich des Datenschutzes wiederum, dass die Anzahl der Wohnungen für jede Rasterzelle bekannt ist, die genannten Eigenschaften jedoch nur für die Wohnungen in jenen Rasterzellen, in denen bei der GWZ (Gebäude- und Wohnungszählung) 2001 mindestens vier Wohnungen und davon mindestens eine Wohnung mit Hauptwohnsitz gezählt wurden.

Eine Abschätzung des Heizwärmebedarfs (HWB) ist aufgrund der Angaben zu den Wohnungen möglich, jedoch wäre eine eindeutige Zuordnung der Wohnungen zu den Gebäuden wünschenswert, da mehrere Wohnungen im Gebäudeverband aufgrund der geringeren Außenflächen einen niedrigeren HWB aufweisen als gleichartige freistehende Wohnungen. Des Weiteren wird in den meisten Fällen nicht nur eine Wohnung, sondern ein gesamtes Gebäude mit einem einzigen Haustechniksystem versorgt. Bezüglich des benötigten Endenergieeinsatzes, der sämtliche Verluste des Haustechniksystems mitberücksichtigt, ergibt sich ein wesentlicher Unterschied, ob je Wohnung eine eigene Wärme-/Kältebereitstellungsanlage installiert ist oder ob diese je Gebäude, also für mehrere Wohnungen zusammen, besteht.

Für einen weiteren wesentlichen Modellparameter, die Nutzfläche je Gebäude, stehen ebenfalls keine detaillierten Informationen zur Verfügung. Aus dem Gebäudekataster kann lediglich die Grundfläche der Gebäude räumlich verortet werden. Aus dieser Grundfläche kann jedoch keine Nutzfläche abgeleitet werden, da keine Angaben zu den genutzten Geschossen vorhanden sind. Bei den regionalstatistischen Rasterdaten kommt neben den Datenschutzeinschränkungen zusätzlicher Informationsverlust durch Klassifizierungen zum Tragen, d. h. es liegen keine diskreten sondern lediglich klassifizierte Werte vor und Abweichungen innerhalb einer statistischen Klasse führen zu zusätzlichen Unschärfen in den Ergebnissen.

Die eingeschränkte Verfügbarkeit und Genauigkeit von relevanten Daten wirkt sich hindernd auf die methodischen Möglichkeiten aus. Ein Beispiel für die methodischen Anpassungen kann bezüglich der Qualität der Gebäudehülle gegeben werden: Für die Berechnung des Wärmebedarfs hat es den gleichen Effekt, wenn ein durchschnittlicher u-Wert für das Gebäude und seine gesamte Außenfläche angegeben wird, wie wenn die u-

Werte und die Größen der verschiedenen Außenflächen einzeln angegeben werden. Mehr Flexibilität ist gefordert, wenn weder die eine noch die andere Angabe verfügbar ist. Dann müssen Zusammenhänge zwischen gewünschten, aber nicht verfügbaren und vorhandenen Daten gefunden werden. Für das Beispiel der Bestimmung der Gebäudehüllenqualität bedeutet dies: u-Werte der Wände sind nicht verfügbar, allerdings kann von einem engen Zusammenhang zwischen u-Werten und dem Baujahr des Gebäudes ausgegangen werden. Diese Verknüpfung spiegelt eine durchschnittliche Tendenz der Qualität der Gebäudehülle wieder und kann sehr effizient im Modell abgebildet werden. Anzumerken ist, dass bei punktueller Betrachtung von Realität und Modell auch aufgrund dieser Annahmen erhebliche Unterschiede in den Ergebnissen auftreten können.

Neben den zuvor genannten Problemstellungen zu Daten, die zwar rasterbasiert vorhanden sind, aber in unvollständiger Form vorliegen bzw. erst aufwändig aufbereitet werden müssen, sind einige relevante Informationen überhaupt nicht auf Rasterebene verfügbar (z.B. Alter von Haustechnikanlagen, Gebäude mit Bauperiode). Teilweise kann auf Daten, die auf Gemeindeebene vorliegen, zurückgegriffen werden, zu einigen energetisch ausschlaggebenden Parametern gibt es jedoch keinerlei Angaben. Die Integration von gemeindeebene-basierten Daten bringt jedenfalls insbesondere in den sehr heterogenen ländlichen Siedlungsstrukturen weitere räumliche Ungenauigkeiten mit sich.

In der Potenzialmodellierung treten ähnliche Problemstellungen in der Datenverfügbarkeit beziehungsweise der Datenqualität auf. Z.B. im Biomassebereich sind die räumlich hoch aufgelösten INVEKOS Daten im Rahmen dieses Projektes nicht zugänglich. INVEKOS ist das Akronym für INteгриertes VErwaltungs- und KOntrollSystem und dient der Abwicklung und Kontrolle der EU-Fördermaßnahmen in der Landwirtschaft. Diese Daten der Agrar Markt Austria sind parzellenscharf abgegrenzt und unterliegen ebenfalls den Datenschutzbestimmungen. Somit muss auf weniger detaillierte Daten zurückgegriffen werden, wodurch sich Unschärfen mit einem in der Realität vorhandenen Potenzial ergeben. Im Rahmen der Solarpotenzialmodellierung sind detaillierte Daten zu Dachflächen und deren Ausrichtung nicht vorhanden, wodurch diese nur näherungsweise abgeschätzt werden können.

Details zu den jeweils verwendeten Daten finden sich im Kapitel 4 in der Beschreibung der Projektergebnisse. Eine detaillierte Datenliste ist dem Anhang zu entnehmen.

4 Projektergebnisse

Dieses Kapitel stellt die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse vor. Die Darstellung der Ergebnisse folgt im Wesentlichen dem in Kapitel 3.3.1 präsentierten modularen Aufbau des Modellframeworks mit den Modulen Potenzialmodell, Bedarfsmodell und dynamisches Bedarfsdeckungsmodell RESRO.

4.1 Erneuerbare räumlich differenzierte Energiepotenziale

Für jeden der betrachteten erneuerbaren Energieträger Biomasse, Solarenergie und Umgebungswärme wurde im Potenzialmodell ein eigener Workflow (vgl. Abbildung 5) entwickelt und zur Verwertung im Modell RESRO aufbereitet. Im folgenden Kapitel ist der detaillierte Ansatz des Potenzialmodells der betrachteten erneuerbaren Energieträger sowie die auf diese Weise ermittelten Ergebnisse auf Primär- bzw. Sekundärenergieebene in den Untersuchungsregionen dargestellt.

4.1.1 Biomassepotenzial

Im gegenständlichen Projekt werden sowohl das verfügbare landwirtschaftliche als auch das forstwirtschaftliche Biomassepotenzial in den Untersuchungsregionen ausgewiesen.

Als Geo-Datenbasis zur Ermittlung des Biomassepotenzials dienen einerseits Fernerkundungsdaten aus dem Projekt CORINE (2006) sowie andererseits ein Digitales Höhenmodell (DHM). Die CORINE Daten basieren auf klassifizierten Satellitenbildern und weisen die Landbedeckung in 44 Klassen aus. Die kleinste kartierte Einheit beträgt 25 ha (vgl. dazu die Fläche der Rasterzellen im Projekt mit 6,25 ha). Das für die Auswertung verwendete DHM liegt in einer Auflösung von 100m Rasterzellen vor und weist pro Rasterzelle eine gemittelte Seehöhe in Metern aus.

Für das landwirtschaftliche Biomassepotenzial werden die folgenden Klassen berücksichtigt:

- Grünland
- komplexe Struktur
- landwirtschaftliche Fläche mit natürlicher Vegetation und
- Acker

Dabei wird angenommen, dass die dort verfügbare Biomasse - zumindest teilweise - zur Vergärung zu Biogas verwendet wird.

Zur Ermittlung des forstwirtschaftlichen Biomassepotenzials werden die Klassen

- Laub-,

- Nadel- und
- Mischwald

herangezogen.

Den relevanten Landbedeckungsklassen aus dem CORINE-Datensatz (landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Flächen) werden spezifische Flächenertragswerte aus der Literatur zugewiesen und daraus das Biomassepotenzial wie folgt abgeleitet.

Landwirtschaftliches Biomassepotenzial

Für die Ermittlung des theoretischen Potenzials der landwirtschaftlichen Flächen wird davon ausgegangen, dass die Zuwächse und damit die Erträge für die Klassen "Grünland" sowie "komplexe Struktur" je nach Höhenlage unterschiedlich ausfallen. Es werden drei Höhenstufenklassen unterschieden: < 900 m, 900 – 1.100 m sowie > 1.100 m. Für Ackerflächen wird keine Höhendifferenzierung der Erträge durchgeführt, da angenommen wird, dass in Höhenlagen über 900 m Ackerflächen zur Biomassegewinnung nicht relevant sind. Die Erträge der Klasse "landwirtschaftliche Flächen mit natürlicher Vegetation" werden ebenfalls nicht nach der Höhe differenziert ausgewiesen, da die Erträge in Summe verhältnismäßig gering sind und somit die Höhenabhängigkeit der Erträge vernachlässigt werden kann.

In Tabelle 1 sind die Erträge für die jeweiligen Corine Landcover Klassen angegeben. Die Ernteverluste werden in Höhe von 10 % des Brutto-Energieertrages angenommen.

Tabelle 1: Landwirtschaftliche Biomasseerträge auf Primärenergieebene (Quelle: eigene Darstellung nach BUCHGRABER ET AL. 2003, SCHARDINGER 2007)

| CORINE-Landcover-Klasse | Höhenlage [m] | Trockenmasse [kg/(m ² a)] | Brutto-Energieertrag [kWh/(m ² a)] | Netto-Energieertrag* [kWh/(m ² a)] |
|---|---------------|--------------------------------------|---|---|
| Grünland | < 900 | 0,73 | 2,03 | 1,83 |
| | 900 – 1.100 | 0,5 | 1,39 | 1,25 |
| | > 1.100 | 0,4 | 1,11 | 1,0 |
| Komplexe Struktur | < 900 | 1,02 | 3,07 | 2,76 |
| | 900 – 1.100 | 0,69 | 2,08 | 1,87 |
| | > 1.100 | 0,56 | 1,69 | 1,52 |
| Landwirtschaftliche Fläche mit natürlicher Vegetation | - | 0,14 | 0,39 | 0,35 |
| Acker | - | 1,41 | 4,57 | 4,11 |

* abzüglich 10% Ernteverluste des Brutto-Energieertrages

In die Berechnung des theoretischen landwirtschaftlichen Biomassepotenzials fließen alle verfügbaren Flächen nach obiger Klassifizierung gemeinsam mit den jeweiligen Erträgen aus Tabelle 1 ein. Eine konkurrierende stoffliche Nutzung, Lebensmittel- oder Futterproduktion wird dabei nicht berücksichtigt. Die Berechnung und Visualisierung des Potenzials erfolgt auf Basis von 250 m Rasterzellen. Das theoretische Potenzial ist in Abbildung 13 für die Testregionen dargestellt. Die Abbildung zeigt die strukturellen Unterschiede der beiden Untersuchungsregionen in der Landwirtschaft sehr deutlich auf. Murau verfügt über einen geringen Anteil an landwirtschaftliche Flächen, von denen die meisten aufgrund ihrer Widmung und Höhenlage auch ein geringeres Potenzial aufweisen.

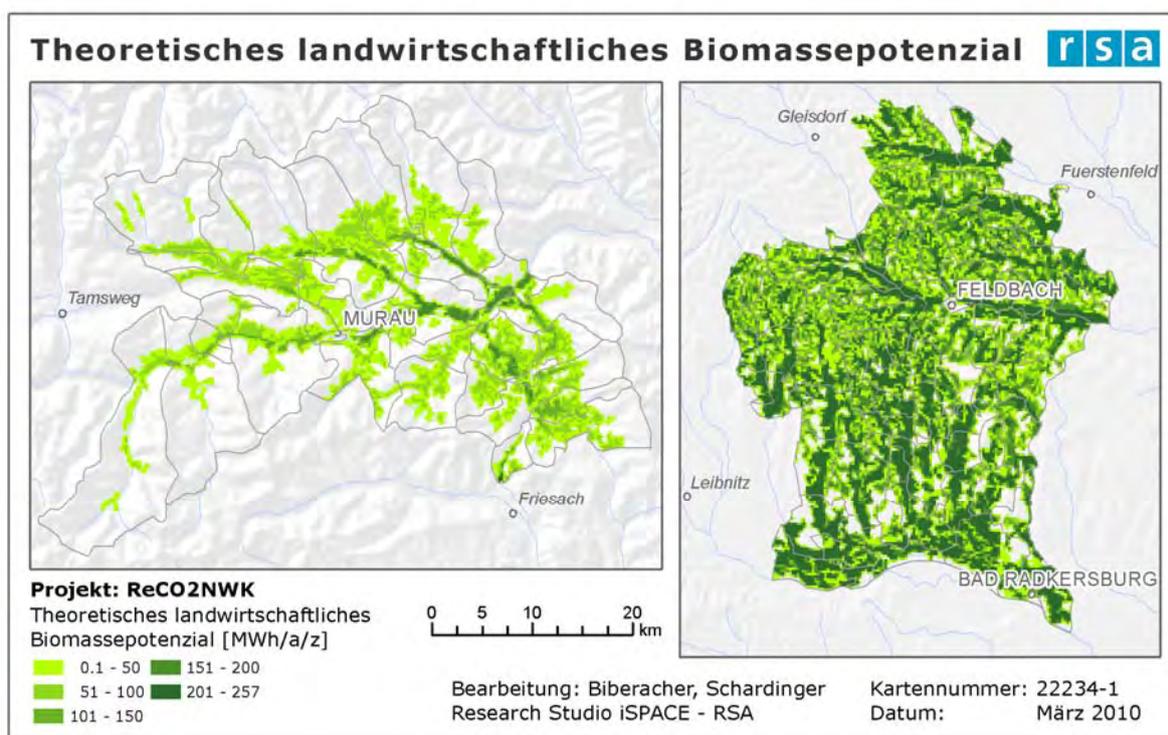


Abbildung 13: Theoretisches landwirtschaftliches Biomassepotenzial in Murau und dem Vulkanland; z ... 250 m - Zelle (Quelle: eigene Darstellung)

Anschließend wird das theoretische Potenzial durch Berücksichtigung technischer Restriktionen vermindert und somit das technische landwirtschaftliche Biomassepotenzial ermittelt. Die Restriktionen sind dabei hauptsächlich durch die Topographie sowie durch Schutzgebiete gegeben.

Technische Einschränkungen für Biomassegewinnung aus der Landwirtschaft:

- Flächen mit einer Hangneigung von > 35 Grad gelten als nicht (wirtschaftlich) nutzbar.
- Flächen die über einer Seehöhe von 1500 m liegen werden ebenfalls als nicht (wirtschaftlich) nutzbar deklariert.

- Schutzgebiete (Biotope, Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete, Natura 2000 Gebiete mit speziellen Managementplänen) werden ausgeschlossen.

In der Ermittlung des technischen Potenzials werden keine Effizienzen und Wirkungsgrade von Nutzungstechnologien für landwirtschaftliche Biomasse integriert, da in diesem Berechnungsschritt nicht einbezogen wird, welche Umwandlungstechnologien zum Einsatz kommen. Diese Wirkungsgrade werden erst im Rahmen der Zuweisung der Heiztechnik im Optimierungsmodell RESRO mit GAMS ermittelt (vgl. Abbildung 8). Ebenso werden Annahmen zum energetisch nutzbaren Anteil der landwirtschaftlichen Biomasse erst in der Szenariengenerierung integriert. Das technische Potenzial wird somit in dieser Betrachtung als obere Grenze eines technisch nutzbaren Potenzials verstanden, welchem Einschränkungen bezüglich der Anbaumöglichkeit und Ernte zugrunde liegen. Abbildung 14 zeigt das ermittelte technische landwirtschaftliche Biomassepotenzial auf Primärenergieebene.

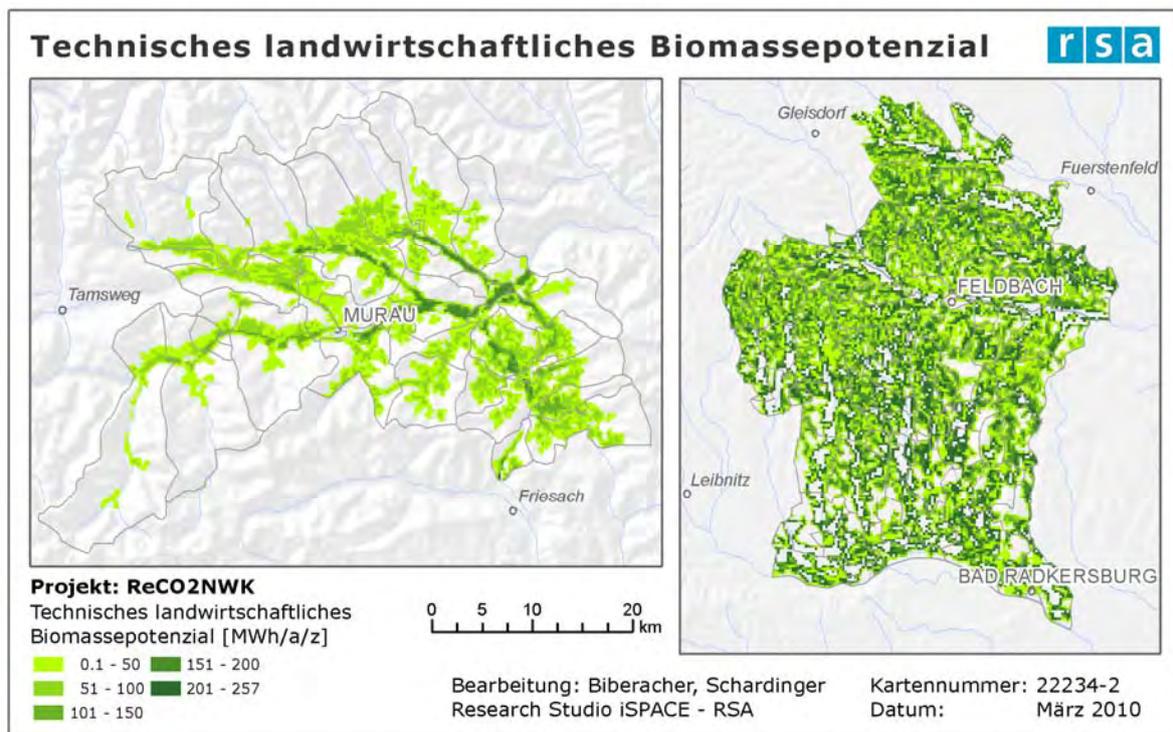


Abbildung 14: Technisches landwirtschaftliches Biomassepotenzial in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

Forstwirtschaftliches Biomassepotenzial

Das theoretische forstwirtschaftliche Biomassepotenzial wird durch die Verknüpfung von Zuwachsraten und Ertragsdaten von verschiedenen Waldklassen sowie den verfügbaren Flächen der jeweiligen Waldklassen auf Rasterbasis ermittelt. Die herangezogenen forstlichen Zuwächse und Energieertragsdaten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Zuwächse und Energieinhalt forstlicher Biomasse (Quellen: BFW 2009, SCHARDINGER 2009, BMLFUW 2008, MITTLBÖCK 2006)

| CORINE-Landcover-Klasse | [Vfm/(ha*a)] | [Efm/(ha*a)] | Energieertrag [kWh/(ha*a)] | Energieertrag [kWh/(m²a)] |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---|
| Laubwald | 8,69 | 7,23 | 18975 | 1,90 |
| Nadelwald | 9,8 | 8,16 | 15870 | 1,58 |
| Mischwald | - | - | 17422 | 1,74 |

In der Ermittlung des theoretischen forstwirtschaftlichen Biomassepotenzials werden alle verfügbaren Waldflächen und deren gesamter Energieertrag aus dem jährlichen Zuwachs berücksichtigt. Es geht keine konkurrierende Nutzung industrieller oder stofflicher Art ein. Aus diesem Grund kann das theoretische Potenzial als Obergrenze des verfügbaren forstlichen Biomassepotenzials für alle Nutzungen bezeichnet werden.

In Abbildung 15 ist das theoretische forstwirtschaftliche Biomassepotenzial auf Primärenergieebene visualisiert. Darin zeichnet sich der deutlich höhere Waldanteil in der Region Murau und das damit verbundene höhere Potenzial im Vergleich zum Vulkanland aus.

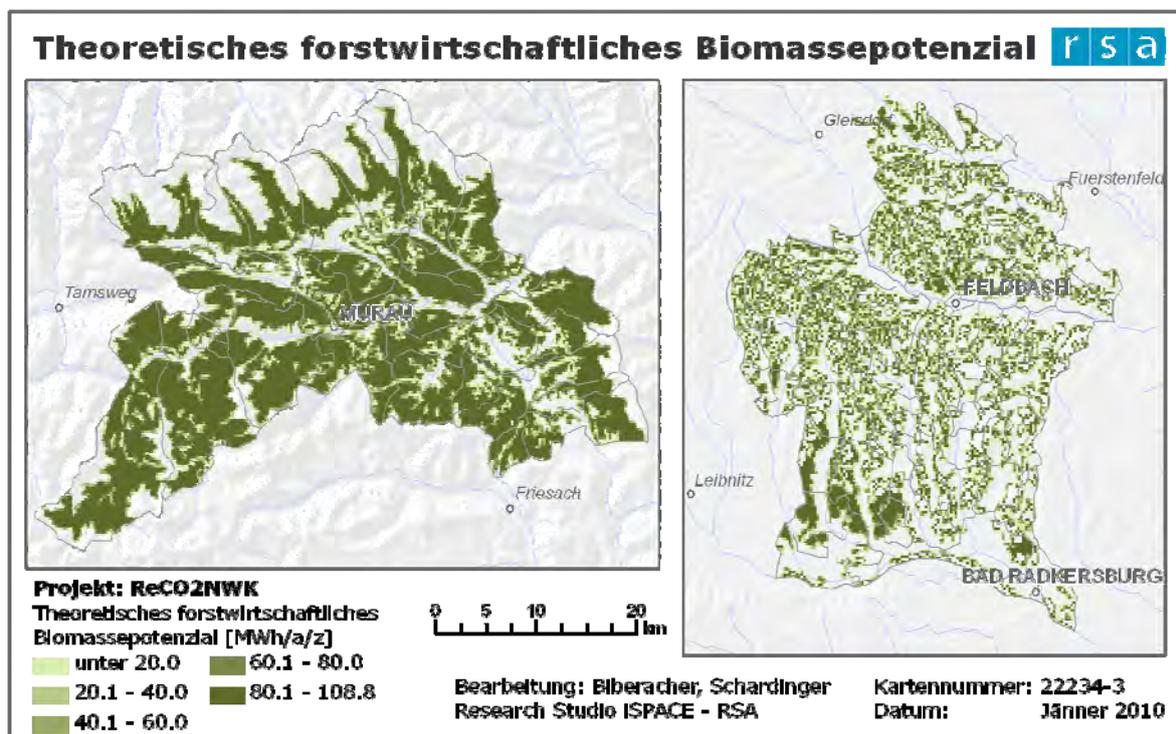


Abbildung 15: Theoretisches forstwirtschaftliches Biomassepotenzial in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

Das theoretische Potenzial wird wiederum durch einige Einschränkungen auf ein technisches Potenzial reduziert. Die einschränkenden Faktoren betreffen wie auch bei der

landwirtschaftlichen Biomasse einerseits die Topographie und andererseits den Ausschluss von Schutzgebieten.

Technische Einschränkungen für Biomassegewinnung aus der Forstwirtschaft sind:

- Flächen mit Hangneigungen über 50 Grad werden als nicht (wirtschaftlich) nutzbar angenommen.
- Flächen, die über einer Seehöhe von 1800 m liegen, werden ausgeschlossen, da diese als nicht (wirtschaftlich) nutzbar eingestuft werden.
- Schutzgebiete (Biotope, Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete, Natura 2000 Gebiete mit speziellen Managementplänen, schutzwirksame Wälder) werden für eine Nutzung ausgeklammert.

Diese technischen Einschränkungen betreffen vor allem die Ernte und Bringung des Holzes. Es werden in diesem Berechnungsschritt keinerlei Effizienzen und Wirkungsgrade von Nutzungstechnologien sowie ein energetisch genutzter Anteil integriert. Die Berücksichtigung derartiger Einschränkungen erfolgt im Optimierungsmodell beziehungsweise als Annahme in der Szenariengenerierung.

Das technische Potenzial, welches in Abbildung 16 für das Untersuchungsgebiet ausgewiesen ist, kann somit als obere Grenze eines aus technischer Sicht sinnvoll ernt- und bringbaren Potenzials verstanden werden.

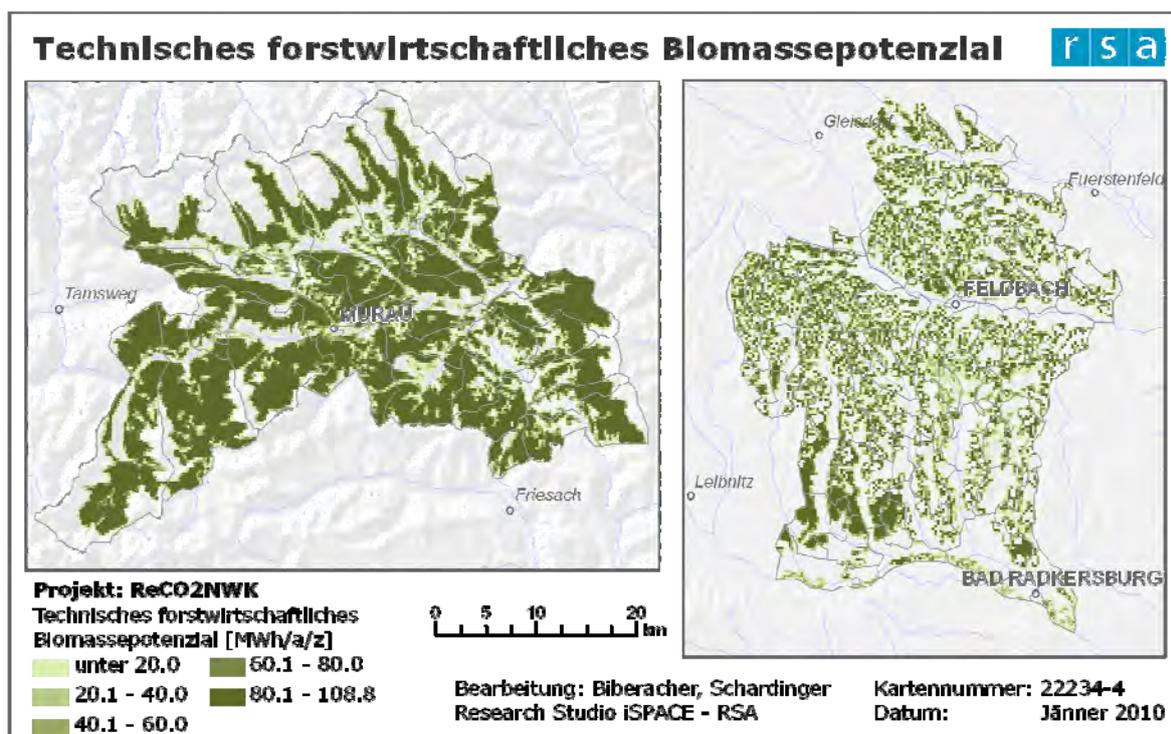


Abbildung 16 Technisches forstwirtschaftliches Biomassepotenzial in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

4.1.2 Solarpotenzial

Der Ermittlung des verfügbaren Solarpotenzials liegt das räumlich und zeitlich hoch differenzierte Angebot an Globalstrahlung in der Untersuchungsregion auf Basis der Tages- und Jahreszeiten sowie der Geländeform zugrunde. Die Globalstrahlung setzt sich aus der direkten und indirekten (diffusen) Sonnenstrahlung zusammen, die auf die Erdoberfläche auftrifft. Die Haupteinflussparameter auf die verfügbare Globalstrahlung sind neben der Tages- und Jahreszeit auch die geographische Breite sowie die Geländeform (Verschattung).

Die Globalstrahlung wird mittels *Solar Analyst*, einem Tool zur räumlich disaggregierten Berechnung der Solarstrahlung, als Summe von direkter und diffuser Strahlung ermittelt. Zur Modellierung der direkten Strahlung wird der Sonnenverlauf in Bezug auf die Tages- und Jahreszeit unter Berücksichtigung der geographischen Breite des Untersuchungsgebietes (Steiermark: 46,99° nördliche Breite) ermittelt. Zusätzlich wird der Faktor der Transmissivität, also der Transparenz der Atmosphäre in Hinblick auf eine ungehinderte Einstrahlung, sowie der Anteil der diffusen Strahlung an der Globalstrahlung in die Berechnung integriert. Die Werte für die Transmissivität sowie den Anteil der diffusen Strahlung, die im *Solar Analyst* angegeben wurden, wurden aus Schaumberger (2006) entnommen und sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Einstellung der Parameter „Diffuser Strahlungsanteil“ und „Transmissivität“ für jeden Monat (Quelle: SCHAUMBERGER 2006)

| | Jan | Feb | Mar | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|-------------------------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| <i>Anteil Diffusstrahlung</i> | 0,35 | 0,35 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,35 | 0,35 |
| <i>Transmissivität</i> | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |

Mittels des Sonnenverlaufs wird für jede Rasterzelle aus dem digitalen Höhenmodell (DHM) unter Berücksichtigung der Abschattungseffekte, bedingt durch die Topographie, im Sinne der Sichtbarkeitsanalyse die verfügbare direkte Sonnenstrahlung ermittelt. Der Sonnenstand wird dabei halbstündlich ermittelt und daraus das Potenzial der direkten Solarstrahlung je m² auf die horizontale Fläche jeder Rasterzelle pro Tag abgeleitet. Dieses direkte Strahlungspotenzial wird anschließend auf einen Monatswert für jede einzelne Rasterzelle kumuliert. Während die direkte Strahlung vom Sonnenstand abhängig ist, hat diffuse Strahlung ihren Ursprung aufgrund der Streuung an Wolken oder Staub in der Atmosphäre in allen Himmelsrichtungen. Für die Ermittlung der diffusen Strahlung wird der gesamte Himmel über einer Rasterzelle in Sektoren eingeteilt, welche durch Zenit- und Azimutwinkel bestimmt sind. Die diffuse Strahlung wird für jeden Sektor auf Basis der Richtung (Zenit und Azimut) kalkuliert. Ebenso wie für die Ermittlung der direkten Strahlung wird auch in der Berechnung der diffusen Einstrahlung der Sichtbarkeitsbereich jeder Zelle berücksichtigt. Durch die Summierung der Ergebnisse für die direkte und indirekte Strahlung kann im

Anschluss die monatlich verfügbare Globalstrahlung auf die horizontale reale Fläche für jede Rasterzelle im Untersuchungsgebiet ausgewiesen werden.

Im ersten Schritt des Solarpotenzialmodells des gegenständlichen Projektes wird ein theoretisches Solarpotenzial berechnet. Dazu wird die im Untersuchungsgebiet vorhandene Globalstrahlung mittels des bereits erwähnten Programms Solar Analyst ermittelt. Der Solar Analyst benötigt als Eingangsdatensatz ein digitales Höhenmodell (DHM) des Untersuchungsgebietes und der direkten Umgebung dieses Gebietes. Die Berücksichtigung des DHM des Untersuchungsgebiets sowie der direkten Umgebung ist erforderlich, da die verfügbare Sonneneinstrahlung mit der Seehöhe variiert und über die Topographie auch Abschattungseffekte in die Berechnung integriert werden, die ihren Ursprung auch außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes haben können. In höheren Lagen besteht ein größeres Angebot an Globalstrahlung, da durch den kürzeren Weg der Strahlung durch die Atmosphäre weniger Verluste entstehen.

Relief- und Höhenunterschiede bewirken ein räumlich stark divergierendes Globalstrahlungspotenzial, was sich in einer deutlich geringeren Globalstrahlung an nördlich exponierten Lagen zeigt. Das Höhenmodell geht mit einer Rasterzellengröße von 50 m in das Modell ein. Die Berechnung der Globalstrahlung erfolgt zunächst für die gesamte *reale* (geneigte) Fläche des Untersuchungsgebietes, was bedeutet, dass Strahlungswerte unter Berücksichtigung der Neigung und des Azimut basierend auf der Topographie ausgewiesen werden. Daraufhin ist ein direkter Vergleich mit den gemessenen realen Strahlungswerten des Klimaatlas Steiermark (ZAMG 2007) möglich. Im zweiten Schritt wird die Strahlung für die *ebene* (d.h. projizierte) Fläche ermittelt, wofür die Berechnung der Solarstrahlung im *Solar Analyst* ohne Berücksichtigung des DHM durchgeführt wird. Diese Strahlungswerte stehen weder unter dem Einfluss der Neigung noch der Ausrichtung der Oberfläche.

Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen die Globalstrahlung auf der ebenen Fläche exemplarisch für die Monate Januar sowie Juli. Im Januar beträgt die mittlere Globalstrahlung in beiden Untersuchungsgebieten 50 kWh/(m²Monat) auf die ebene Fläche. Im Juli weist Murau in vielen Gebieten eine deutlich höhere mittlere Globalstrahlung auf die horizontale Fläche auf als das Vulkanland, was sich vor allem durch die Seehöhe ergibt. Es werden maximale Strahlungswerte von 174 kWh/(m²Monat) erreicht.

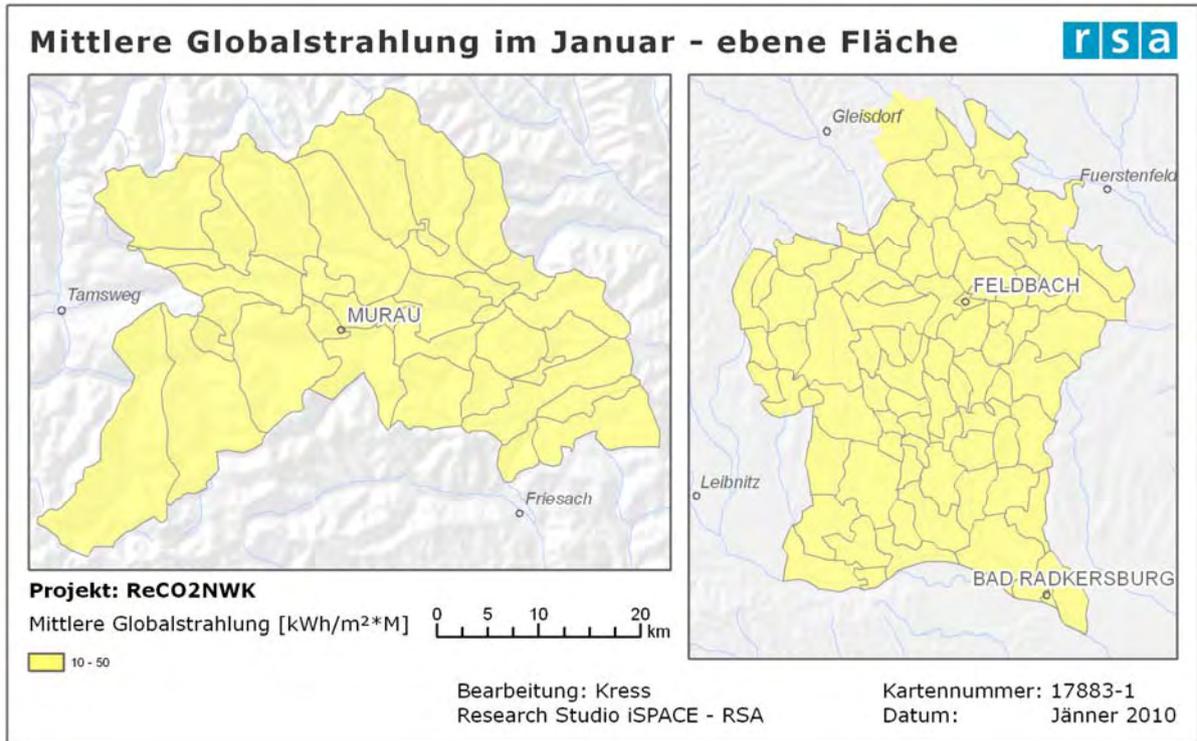


Abbildung 17: Mittlere Globalstrahlung im Januar auf die ebene Fläche in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

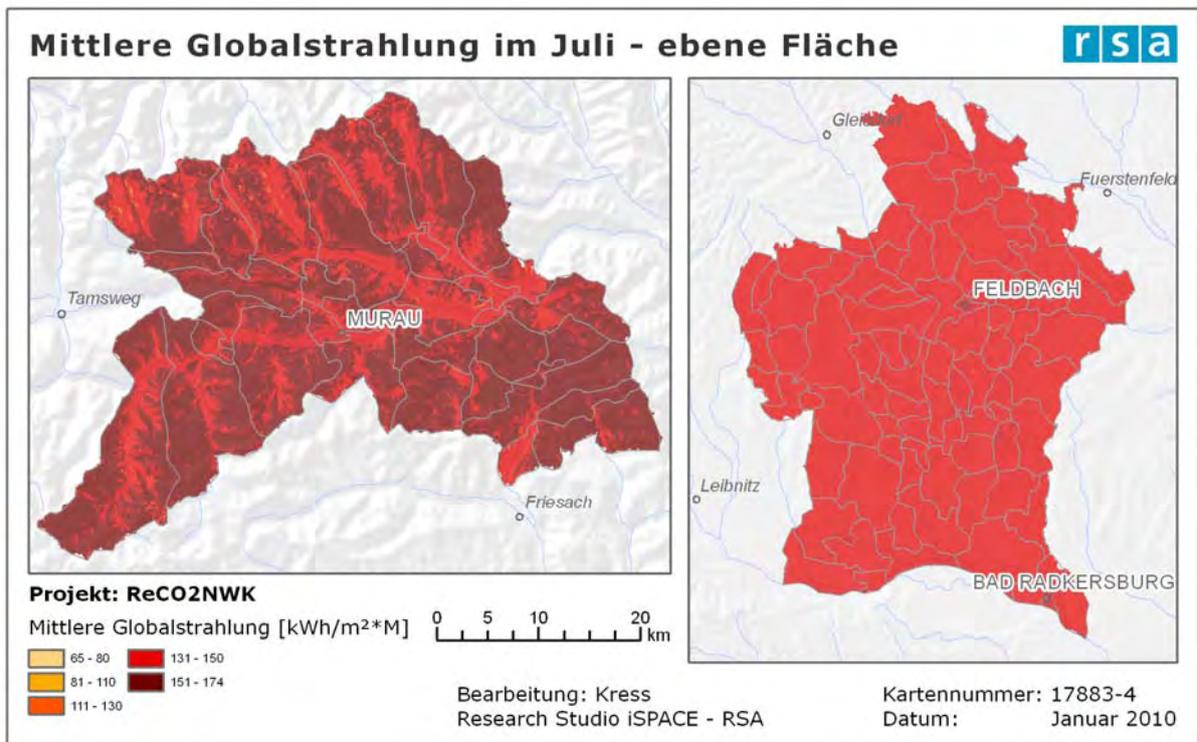


Abbildung 18: Mittlere Globalstrahlung im Juli auf die ebene Fläche in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

Die normierten Globalstrahlungswerte auf die horizontale Oberfläche spiegeln die Einstrahlung auf Flächen wider, welche, sowohl in der Ebene als auch am Hang, horizontal ausgerichtet sind. Diese Werte können analog zum Biomassepotenzial als theoretisches Potenzial betrachtet werden, das unabhängig davon ist, wie es schließlich genutzt wird.

Zur weiteren Verwendung im Modell ist dieser Wert jedoch ungeeignet, da in der Realität die Art der Nutzbarmachung des theoretischen Potenzials einen signifikanten Einfluss auf die Größe des nutzbaren, technischen Potenzials hat. Aus diesem Grund wird bereits an dieser Stelle im Potenzialmodell auf Randbedingungen aus der Haustechnik, die andernfalls erst im dynamischen Deckungsmodell berücksichtigt werden, vorgegriffen. Dies betrifft den Azimutwinkel (Abweichung von südlicher Ausrichtung) und den Neigungswinkel (Winkel zur Horizontalen) der Solarkollektoren. Diese beiden Parameter beeinflussen wesentlich die Stärke der Einstrahlung auf ein Objekt. Es wird angenommen, dass die Solarkollektoren in südlicher Ausrichtung und mit einer Neigung von 45° oder 60° - je nachdem, ob eine reine Warmwasserbereitung oder auch eine Nutzung zur teilsolaren Raumheizung erfolgen soll - installiert werden.

Zur Berechnung der Einstrahlung auf geneigte und südlich ausgerichtete Objekte werden Transpositionsfaktoren herangezogen. Diese sind in der ÖNORM B 8110-5 (2007) enthalten und sind seehöhen- und monatsabhängig. Die ermittelte Globalstrahlung auf die ebene Fläche pro Monat je Rasterzelle wird mit dem entsprechenden Transpositionsfaktor multipliziert. Die Transpositionsfaktoren für eine Seehöhe im Bereich zwischen 750 bis 1250 m sind in Tabelle 4 dargestellt.

$$\text{Einstrahlung auf geneigte Fläche} = I_S * \text{Transpositionsfaktor}$$

$$I_S : \text{Mittlere Monatssumme der Globalstrahlung (kWh/m}^2\text{*M)}$$

Im gegenständlichen Projekt wurden in die Berechnung der verfügbaren Solarstrahlung die Transpositionsfaktoren bei südlicher Ausrichtung für eine Neigung von 45° und 60° miteinbezogen. Die Ergebnisse für 45° Neigung (-> reiner WWB) sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 für Januar und Juli dargestellt. Die Ergebnisse für 60° Neigung (-> WWB + TSRH) sind in Abbildung 21 und Abbildung 22 visualisiert.

Die Werte auf die geneigten Flächen liegen höher im Vergleich zur ebenen Fläche: bei einem Neigungswinkel von 45° im Januar zwischen 15 kWh/m² und 94 kWh/m² und bei einem Neigungswinkel von 60° noch etwas höher, zwischen 15 kWh/m² und 101 kWh/m². Auf Grund des Sonnenverlaufs bzw. des Sonnenstandes im Januar mit einem verkürzten Tagesgang können bei einem größeren Neigungswinkel auch höhere Strahlungswerte erzielt werden, jedoch wird dieser praktisch nicht umgesetzt, da nicht nur die Werte im Januar ausschlaggebend sind.

Im Juli treten aufgrund des hohen Sonnenstandes auf die geneigte Fläche niedrigere Einstrahlungswerte als auf die horizontale Fläche auf: bei 45° Neigung Werte bis maximal 157 kWh/m² (Abbildung 21), bei 60° Neigung Werte bis maximal 138 kWh/m² (Abbildung 22).

Tabelle 4 Transpositions-Faktoren für eine Seehöhe von 1000 m (Quelle: ÖNORM B 8110-5, 2007)

| | Azimut | | | | |
|-----------|---------|---------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | Neigung | 0° S | +22,5° SSW + SSO | +45,0° SW + SO | +67,5° WSW + OSO |
| Januar | 60° | 2,31 | 1,87 | 1,99 | 1,23 |
| | 45° | 1,20 | 1,78 | 1,55 | 1,25 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Februar | 60° | 1,53 | 1,53 | 1,34 | 1,10 |
| | 45° | 1,59 | 1,51 | 1,35 | 1,14 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| März | 60° | 1,24 | 1,19 | 1,09 | 0,97 |
| | 45° | 1,77 | 1,23 | 1,14 | 1,03 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| April | 60° | 0,38 | 0,97 | 0,93 | 0,88 |
| | 45° | 1,26 | 1,04 | 1,01 | 0,95 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Mai | 60° | 0,31 | 0,82 | 0,83 | 0,81 |
| | 45° | 0,32 | 0,92 | 0,91 | 0,89 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Juni | 60° | 0,77 | 0,78 | 0,79 | 0,79 |
| | 45° | 0,39 | 0,89 | 0,89 | 0,88 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Juli | 60° | 0,30 | 0,80 | 0,81 | 0,80 |
| | 45° | 0,31 | 0,91 | 0,90 | 0,89 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| August | 60° | 0,30 | 0,90 | 0,88 | 0,85 |
| | 45° | 1,20 | 0,98 | 0,97 | 0,93 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| September | 60° | 1,28 | 1,05 | 0,99 | 0,91 |
| | 45° | 1,14 | 1,11 | 1,06 | 0,98 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Oktober | 60° | 1,47 | 1,39 | 1,25 | 1,05 |
| | 45° | 1,47 | 1,40 | 1,27 | 1,10 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| November | 60° | 1,38 | 1,76 | 1,52 | 1,20 |
| | 45° | 1,79 | 1,89 | 1,49 | 1,22 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Dezember | 60° | 2,38 | 1,94 | 1,64 | 1,26 |
| | 45° | 1,35 | 1,84 | 1,60 | 1,27 |
| | 0° | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

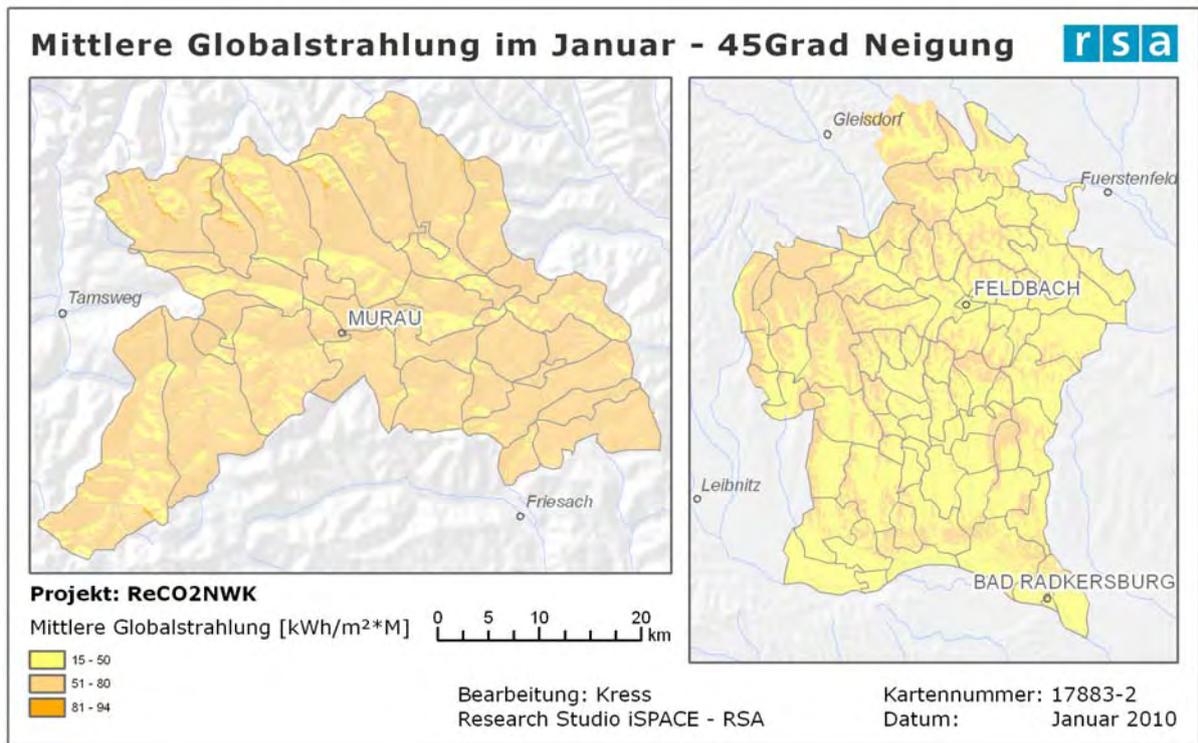


Abbildung 19 Mittlere Globalstrahlung im Januar - 45° Neigung in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

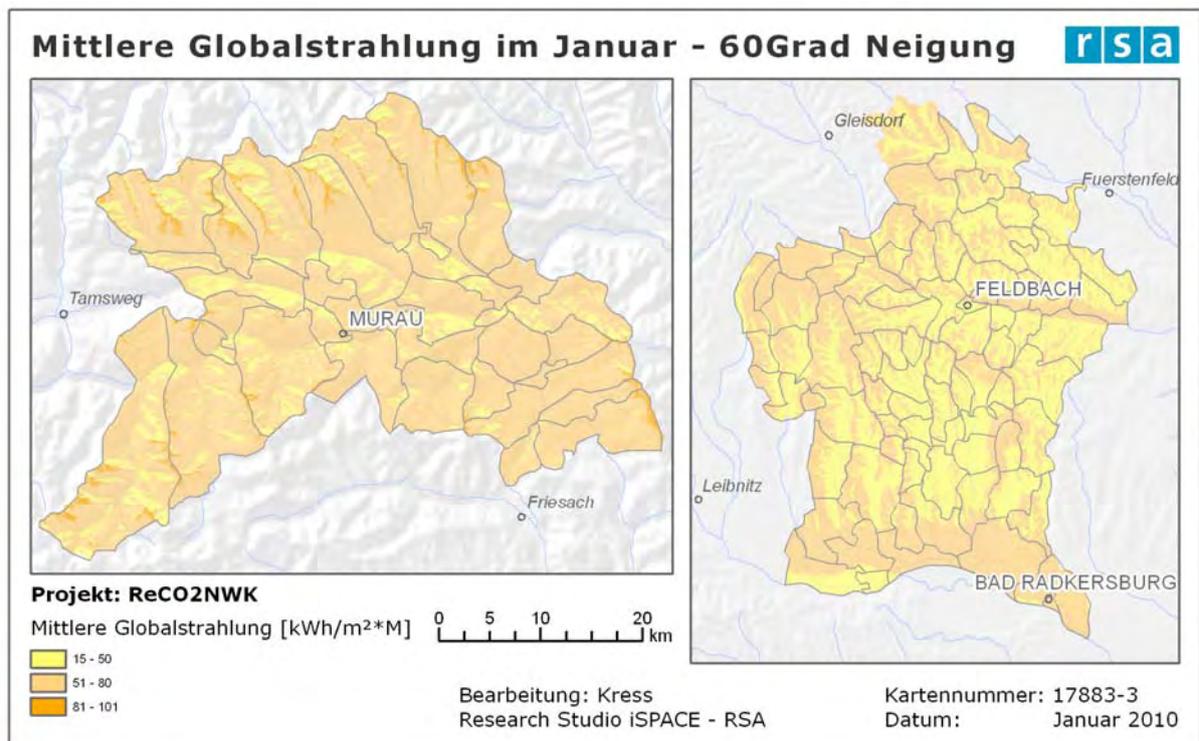


Abbildung 20 Mittlere Globalstrahlung im Januar - 60° Neigung in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

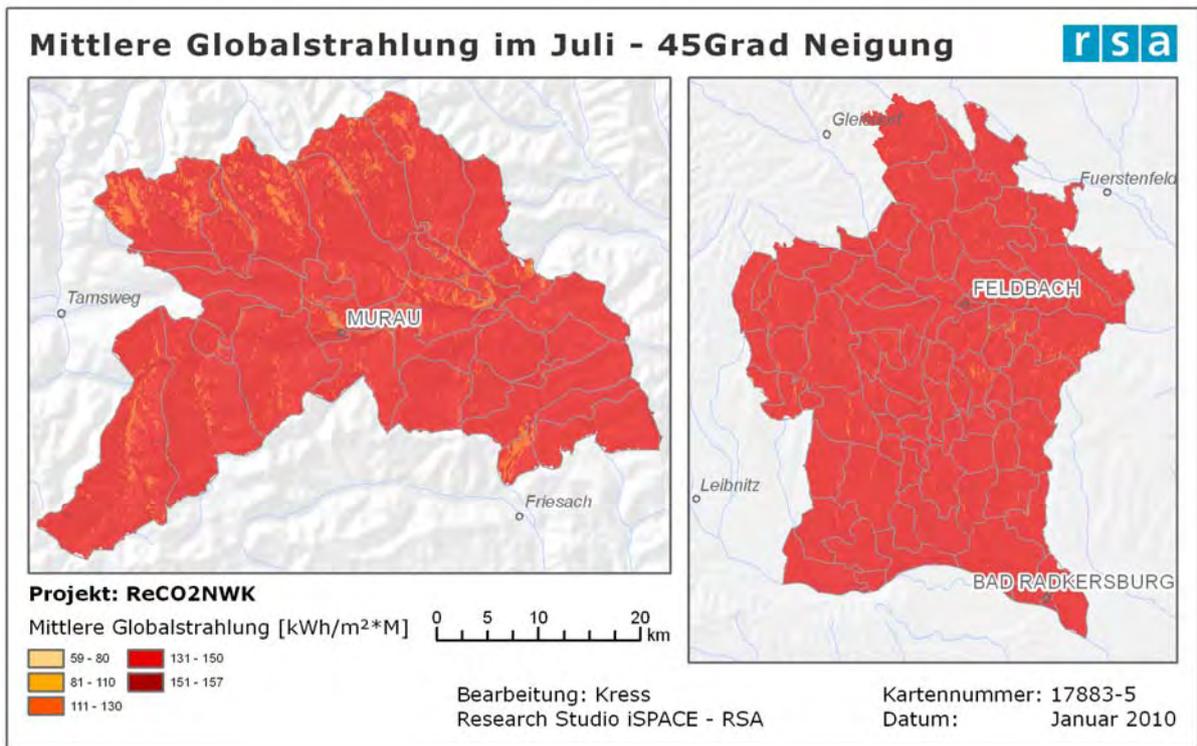


Abbildung 21 Mittlere Globalstrahlung im Juli - 45° Neigung in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

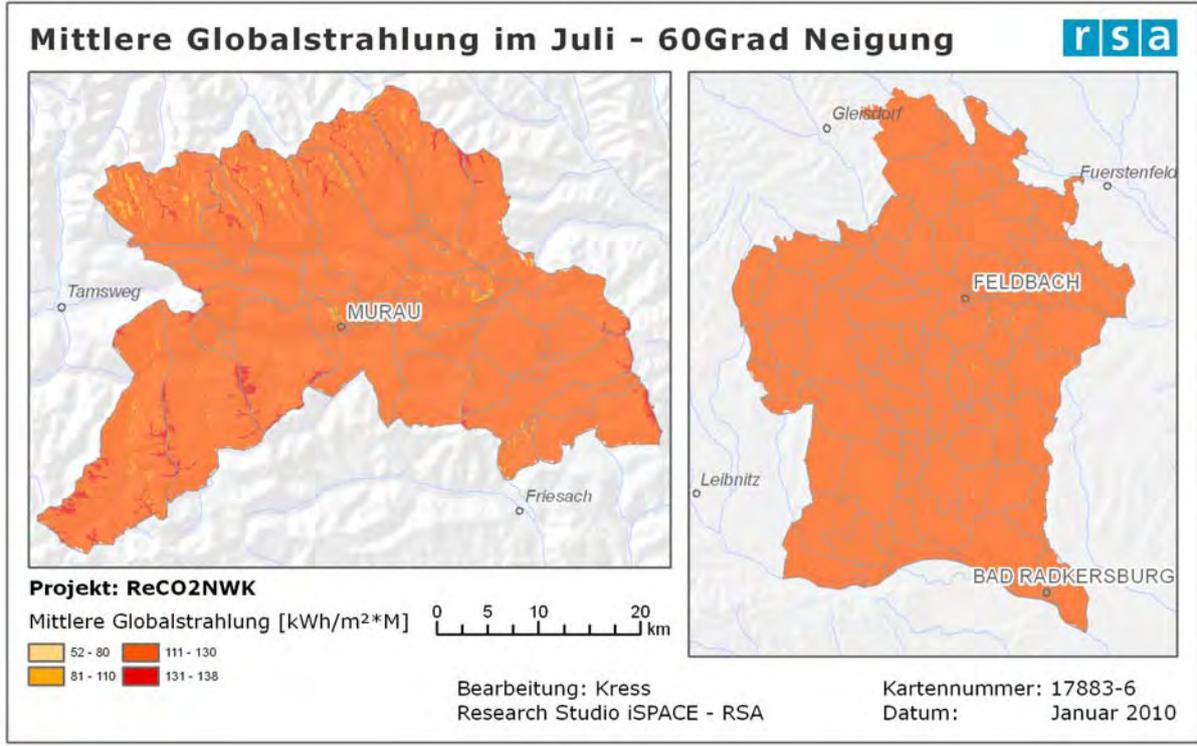


Abbildung 22 Mittlere Globalstrahlung im Juli - 60° Neigung in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

Technisches Solarpotenzial

An dieser Stelle ist das Solarpotenzial bereits auf die beiden als möglich angenommenen Neigungen und die Süd-Ausrichtung bezogen. Zur Ermittlung des technischen Solarpotenzials wird in weiterer Folge angenommen, dass für die Installation von Solarkollektoren nur südlich ausgerichtete Dachflächen herangezogen werden können. Eine Installation von Solarkollektoren auf Freiflächen wird im gegenständlichen Projekt nicht berücksichtigt. Dazu werden die verfügbaren und geeigneten, also südlich ausgerichteten, Dachflächen im Untersuchungsgebiet abgeschätzt. Diese Abschätzung erfolgt anhand der Gebäudegrundflächen aus dem Gebäudekataster, welche der Dachfläche entsprechend angenommen wird. Jener Anteil mit südlicher Ausrichtung der gesamten Dachfläche wird über einen Faktor ermittelt. Die Festlegung dieses Faktors stützt sich auf eine detaillierte Analyse eines repräsentativen Teilbereichs des Untersuchungsgebietes und basiert auf einem Testdatensatz eines hoch aufgelösten Oberflächenmodells. Die Vorgehensweise zur Ermittlung des Faktors ist im folgenden Abschnitt dargestellt.

Ermittlung des Faktors für geeignete Dachflächen

Von der ENERGIE STEIERMARK AG wurde ein aus einem Bildmatching-Verfahren generiertes Oberflächenmodell mit einer Auflösung von 0,5 m² für einen kleinen Teilbereich des Testgebietes zur Verfügung gestellt. Abbildung 23 zeigt das Oberflächenmodell, die Helligkeit bezeichnet dabei die Höhe der jeweiligen Fläche.



Abbildung 23 Räumlich hoch aufgelöstes Oberflächenmodell für einen Ausschnitt aus dem Vulkanland (Quelle: ENERGIE STEIERMARK AG)

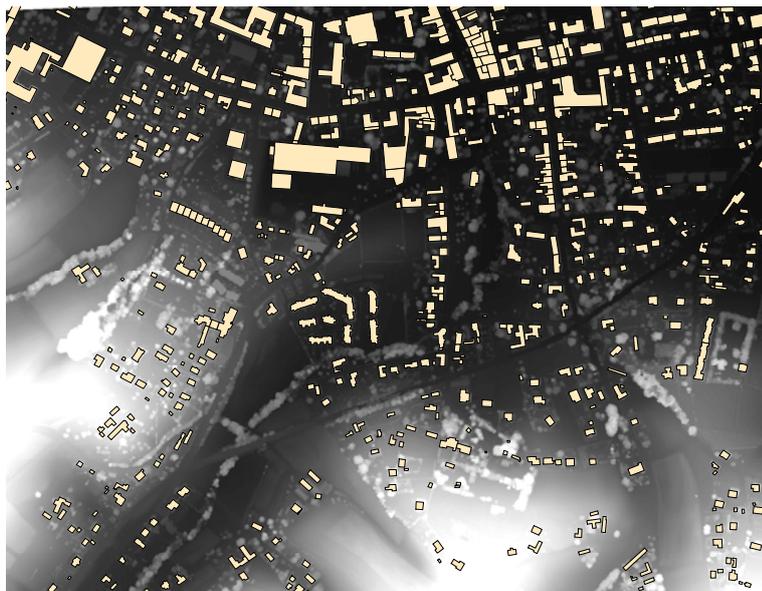


Abbildung 24 Oberflächenmodell mit überlagertem Gebäudekataster
(Quelle: eigene Darstellung basierend auf ENERGIE STEIERMARK AG)

Im GIS wurden die Daten des Oberflächenmodells mit den Gebäudeflächen aus dem Gebäudekataster (Abbildung 24) verschnitten, wodurch die vorhandenen Dachflächen in dem Testdatensatz näherungsweise ausgewiesen werden können. In diesem vereinfachten Ansatz wird davon ausgegangen, dass die Gebäudegrundfläche aus dem Gebäudekataster auch der Ausdehnung der Dachfläche entspricht. Es werden somit keine Dachvorsprünge und dergleichen berücksichtigt. Ebenso werden keine Einschränkungen von

Dachflächen durch Gaupen oder Kamine integriert. Aus den auf diese Weise identifizierten Dachflächen werden jene Flächen selektiert, die nach Süden, Süd-Osten oder Süd-Westen ausgerichtet sind. Zusätzlich wurde für jede 250 m Rasterzelle das Verhältnis der gesamten Dachflächen zu südseitig ausgerichteten Dachflächen ausgewiesen, um für das restliche Testgebiet des Projektes einen repräsentativen Faktor bezüglich der möglichen Solarkollektorfläche auf geeigneten Dachflächen in Relation zur gesamten Dachfläche zu erhalten (Abbildung 25).

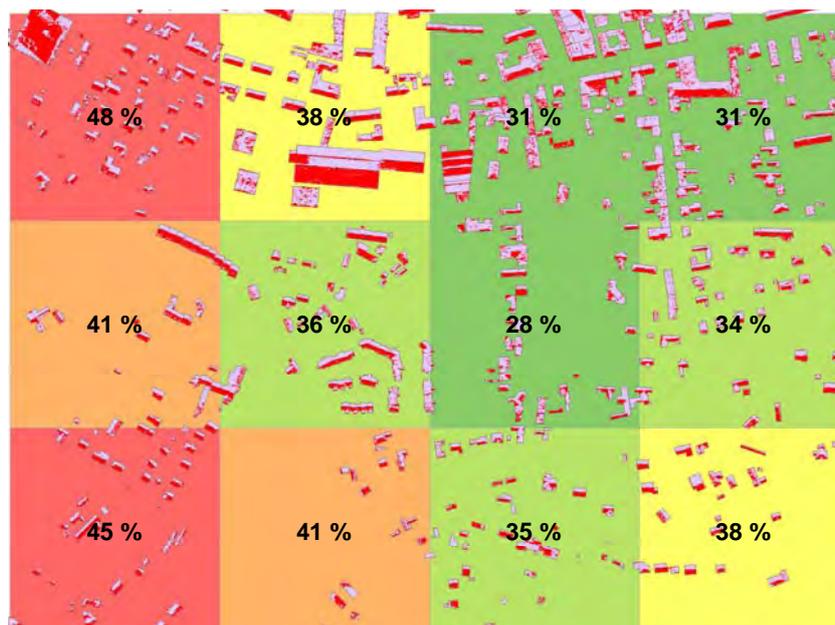


Abbildung 25 Darstellung südseitig ausgerichteter Dachflächen und deren Anteil an der gesamten Dachfläche je Rasterzelle (Quelle: eigene Darstellung basierend auf ENERGIE STEIERMARK AG)

Aus den Ergebnissen der Anteile der südlich ausgerichteten Dachflächen im Vergleich zu den gesamten Dachflächen wurde ein durchschnittlicher Anteil von 35 % abgeleitet und für das restliche Untersuchungsgebiet als konstant angenommen.

Mit Hilfe des Oberflächenmodells lässt sich nicht nur die Ausrichtung der Flächen, sondern auch deren Neigung ermitteln. In Abbildung 26 sind die Neigungen der relevanten Flächen dargestellt. Durch die Berechnung der Dachneigungen lassen sich die Einstrahlungswerte auf die reale Fläche und somit das technische Solarpotenzial ermitteln. Zusätzlich lassen sich anhand der ermittelten Neigungen der relevanten Dachflächen beispielsweise Kosten abschätzen, die sich für eine Installation von Solarkollektoren durch eine etwaig erforderliche Aufständigung der Kollektoren ergeben. Dieser Aspekt wird jedoch im gegenständlichen Projekt nicht berücksichtigt.

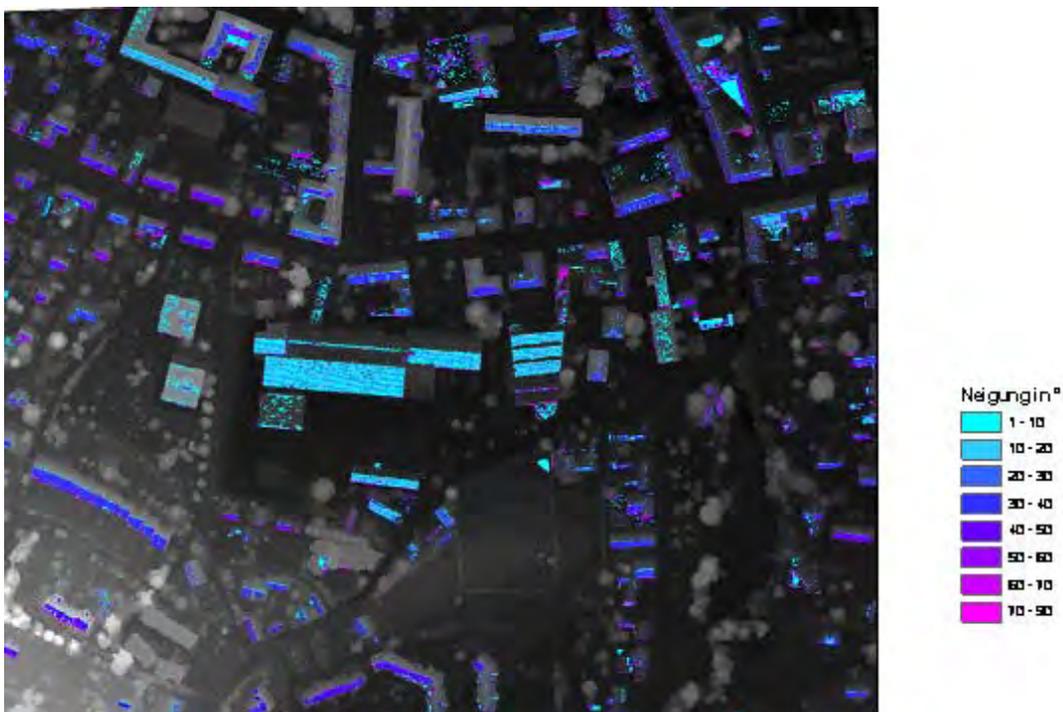


Abbildung 26 Neigung südlich ausgerichteter Dachflächen (Quelle: eigene Darstellung basierend auf ENERGIE STEIERMARK AG)

Mit den getroffenen Annahmen lässt sich nun das technische Solarpotenzial ermitteln. Dazu werden wie beschrieben die gesamten Dachflächen im Untersuchungsgebiet, basierend auf den Grundflächen aus dem Gebäudekataster, ermittelt und mit dem Faktor für südlich ausgerichtete Dachflächen von 35 % multipliziert. Daraus ergibt sich das maximale Potenzial, welches auf den südlich ausgerichteten Dachflächen im Untersuchungsgebiet jeweils bei einer Kollektorneigung von 45° beziehungsweise 60° erzielt werden kann. Die Potenziale sind in Abbildung 27 und Abbildung 28 für eine Neigung von 45° in den Monaten Januar und Juli und in Abbildung 29 und Abbildung 30 für eine Neigung von 60° dargestellt.

Diese Werte werden für alle Monate berechnet und an das dynamische Deckungsmodell übergeben.

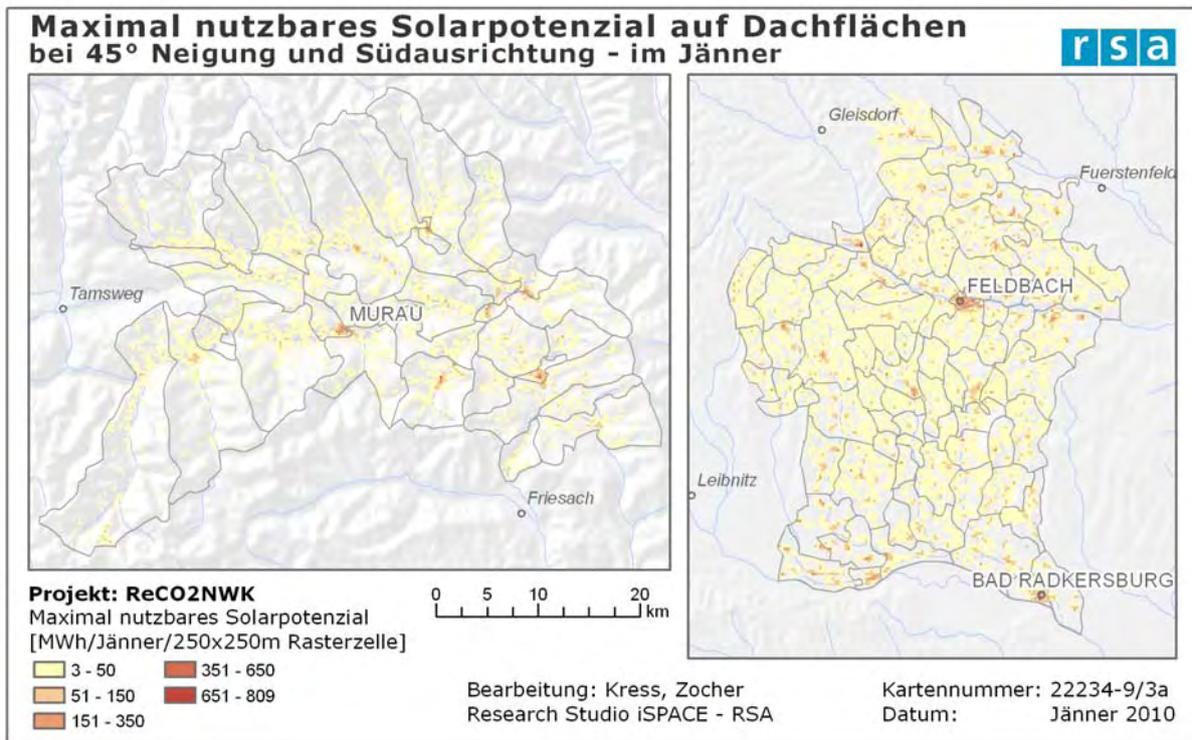


Abbildung 27 Maximal nutzbares Solarpotenzial auf südlich ausgerichteten Dachflächen bei 45° Neigung im Jänner in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

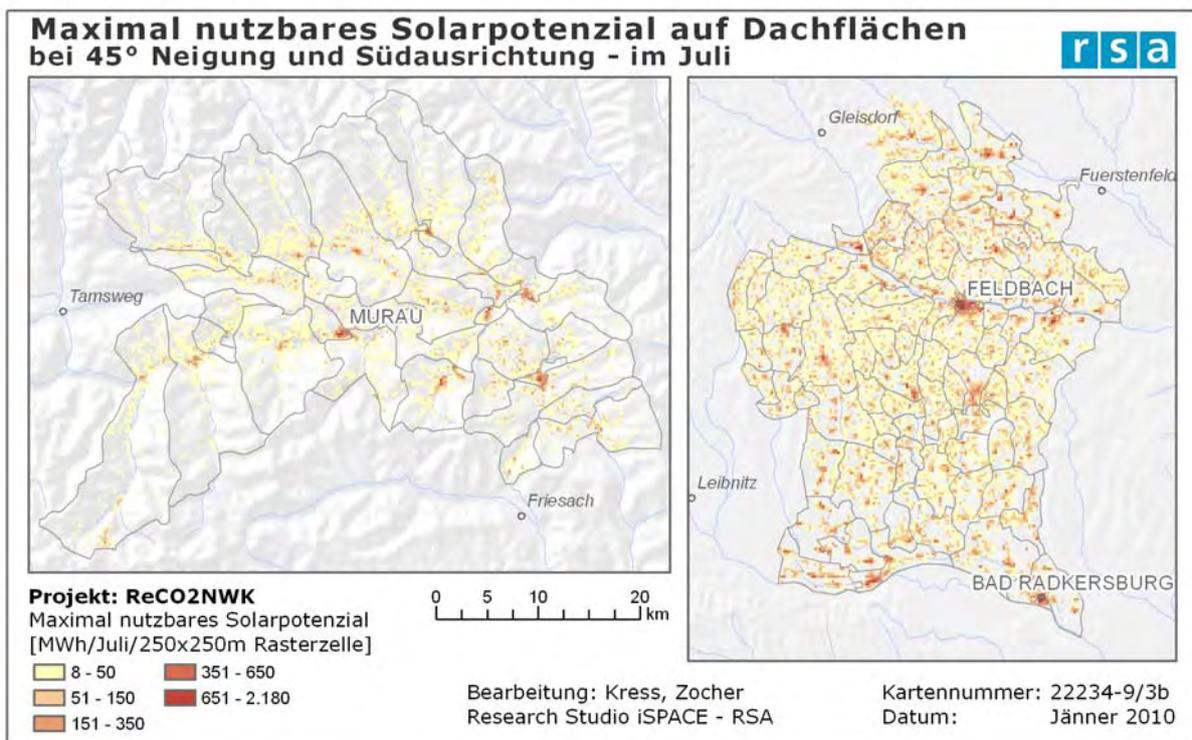


Abbildung 28 Maximal nutzbares Solarpotenzial auf südlich ausgerichteten Dachflächen bei 45° Neigung im Juli in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

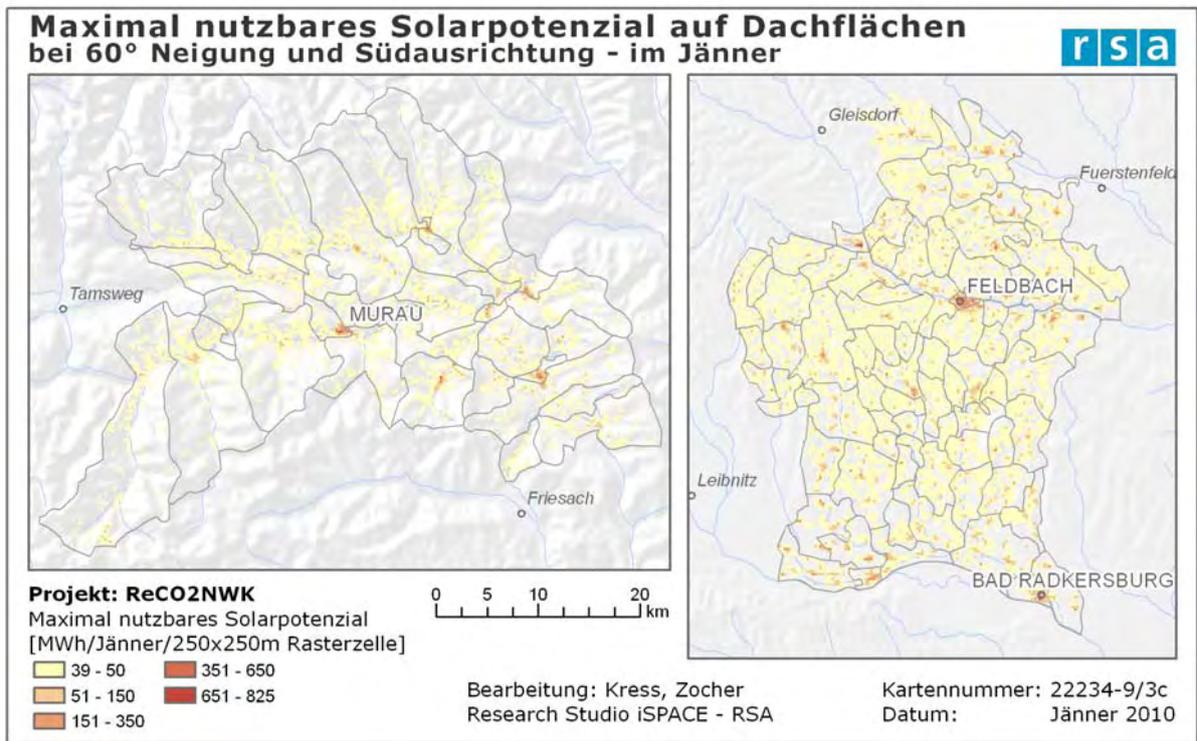


Abbildung 29 Maximal nutzbares Solarpotenzial auf südlich ausgerichteten Dachflächen bei 60° Neigung im Jänner in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

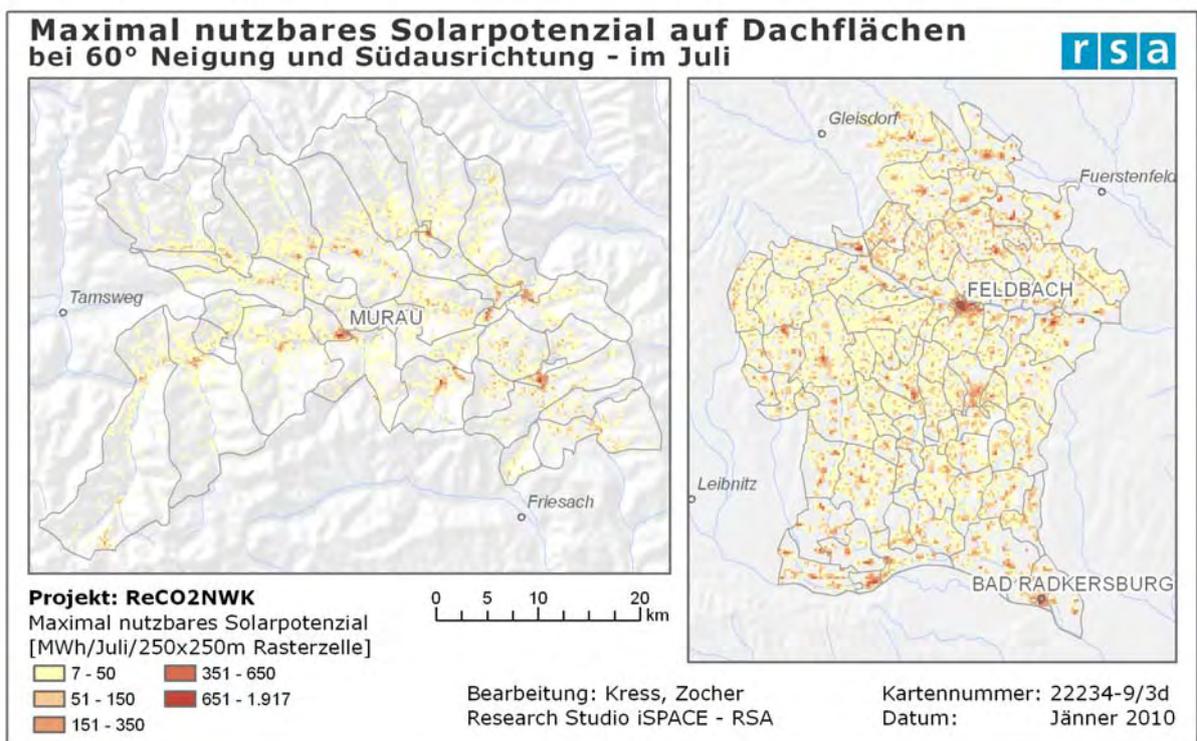


Abbildung 30 Maximal nutzbares Solarpotenzial auf südlich ausgerichteten Dachflächen bei 60° Neigung im Juli in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

4.1.3 Umgebungswärme

Solare Wärme ist in der Luft, in Wasser (Oberflächengewässer, Grundwasser) sowie in den oberen Schichten des Erdreichs gespeichert. Die im Erdreich vorhandene Wärme besteht bis ca. 15 m Tiefe hauptsächlich aus gespeicherter Sonnenenergie, erst darunter kommt Energie aus dem Erdinneren zum Tragen. Aus diesem Grund spiegelt die Temperatur in den obersten Erdschichten den jahreszeitlichen Temperaturverlauf wider. Die Temperatur der oberen Erdschichten ist mit 8 – 12°C zu niedrig, um direkt zum Heizen verwendet zu werden. Die gespeicherte Wärme kann jedoch mit Hilfe der Wärmepumpentechnologie auf höhere Temperaturen (je nach Anwendung auf 35 – 55°C) angehoben und somit für Heizzwecke nutzbar gemacht werden. In der vorliegenden Studie werden Erdwärmeflächenkollektoren und Erdwärmesonden zur Nutzung oberflächennaher Geothermie betrachtet.

In einem ersten Arbeitsschritt werden die für die Installation der unterschiedlichen Systeme verfügbaren Flächen ermittelt. Dabei ist darauf zu achten, dass Erdwärme aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus nur in direkter Nähe zum Abnehmer sinnvoll eingesetzt werden kann. Aus diesem Grund werden nur jene Grundstücksflächen als nutzbar betrachtet, welche einem Adresspunkt direkt zuordenbar sind. Alle weiteren Randbedingungen, die für Flächenkollektoren und Sonden unterschiedlich einzubeziehen sind, werden im Folgenden diskutiert. Die Annahmen zur Berechnung der Wärmepumpen stützen sich auf die Richtlinie VDI 4640.

Erdwärmeflächenkollektoren

Erdwärmeflächenkollektoren sind rohrförmige, sole- oder kältemitteldurchflossene Wärmetauscher, die in Schlaufen in einer Tiefe von 1,2 – 1,5 m verlegt werden. Die Rohre werden dabei derart ausgelegt, dass die Wärme dem Erdreich möglichst gleichmäßig entzogen wird und sich das Erdreich in den Sommermonaten wieder vollständig regenerieren kann. Es sollte darauf geachtet werden, dass alle Rohrschleifen die gleiche Länge bzw. den gleichen Druckverlust haben, damit sie gleichmäßig durchflossen werden. Die Schlaufenlänge sollte 120 m beziehungsweise 200 m (bei dickeren Rohren) nicht überschreiten. Damit kann theoretisch eine Fläche mit einem Radius von rund 60 m abgedeckt werden. Der erforderliche Abstand zwischen den Rohren ist abhängig vom Rohrdurchmesser und bewegt sich zwischen 0,3 – 1,2 m. In der vorliegenden Flächenberechnung wird ein Mindestabstand von 0,8 m eingesetzt. Üblicherweise laufen die Kollektorschleifen in einen Sammler, der in einem Abstand von 1 – 2 m Entfernung zum Gebäude positioniert ist, zusammen.

Bei der Verlegung von Flächenkollektoren sind neben den Mindestabständen zwischen den Rohren auch Abstände zu den Grundstücksgrenzen sowie zum Gebäude selbst einzuhalten. Für die Flächenberechnung werden ein Mindestabstand zu Gebäuden von 1,5 m sowie ein Abstand von mindestens 1 m zur Grundstücksgrenze vorgegeben. Flächen, die eine Breite

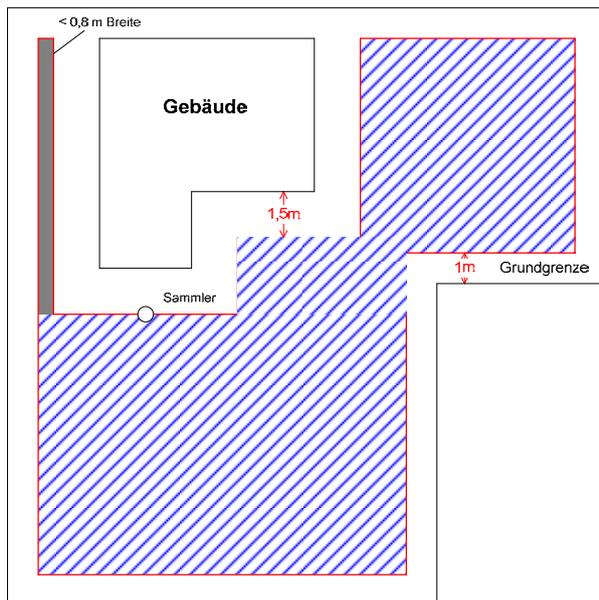


Abbildung 31 Darstellung verfügbarer Flächen für die Installation von Flächenkollektoren (Quelle: eigene Darstellung)

von 0,8 m unterschreiten, werden als nicht nutzbar eingestuft, da der Mindestabstand zwischen den Rohrleitungen nicht eingehalten werden kann.

Es wird im Projekt davon ausgegangen, dass für die Installation von Flächenkollektoren eine real zur Verfügung stehende Mindestfläche von 150 m^2 vorhanden sein muss (Mindestabstände bereits berücksichtigt). Dies beruht auf der Annahme, dass mindestens die doppelte bis dreifache Größe der zu beheizenden Grundfläche des Gebäudes für die Installation der Kollektoren zur Verfügung stehen muss.

Abbildung 31 zeigt ein Beispiel zur Berechnung der verfügbaren Fläche für die Installation von Flächenkollektoren.

Weitere Flächen, die als nicht geeignet für die Installation von Erdwärmeflächenkollektoren erachtet werden, sind Alpe, Gewässer, Verkehrsflächen, Wasserschutzgebiete und Waldflächen, welche anhand des Katasters identifiziert werden können. Die Neigung der Grundstücksflächen wird als nebensächlich betrachtet, da im gegenständlichen Projekt davon ausgegangen wird, dass keine Direktverdampfungs-Anlagen, sondern nur soledruchströmte Kollektoren installiert werden.

Auf Basis der genannten Annahmen können die verfügbaren Flächen zur Installation von Erdwärmeflächenkollektoren in der Untersuchungsregion ausgewiesen werden. Welcher Anteil der verfügbaren Fläche zur Deckung des Wärmebedarfs der Gebäude tatsächlich erforderlich ist, ergibt sich einerseits aus der möglichen Wärmeentzugsleistung aus dem Boden und andererseits aus der benötigten Wärme der zu versorgenden Gebäude.

Tabelle 5 Entzugsleistungen für Flächenkollektoren je Bodentyp (Quelle: Bodentyp nach HAÖ ATLAS, Entzugsleistung nach VDI 4640)

| Bodentyp | Entzugsleistung [W/m^2] |
|-------------------------------------|---|
| Braunerde | 20 |
| Tschernoseme | 20 |
| Redzinen | 8 |
| Rohböden | 8 |
| Auböden | 32 |
| Moore | 32 |
| Podsole | 8 |
| Pseudogleye | 32 |
| Sonstige (v.a. anstehendes Gestein) | 0 |

Die Ermittlung des technisch verfügbaren Erdwärmepotenzials aus Flächenkollektoren erfolgt durch die Verschneidung der ausgewiesenen möglichen Flächen zur Installation von Flächenkollektoren mit der spezifischen Entzugsleistung des jeweilig vorherrschenden Bodentyps. Die Bodentypen (gemäß HAÖ-Atlas) mit den jeweiligen spezifischen Entzugsleistungen (nach VDI 4640 Blatt 2, für 2400 Betriebsstunden) sind in Tabelle 5 ausgewiesen.

Dieses Potenzial stellt ein maximales Potenzial dar, da angenommen wird dass die gesamte geeignete Grundstücksfläche zur Installation von Flächenkollektoren herangezogen wird. Zur Deckung des Bedarfs eines Gebäudes ist jedoch nicht immer die gesamte Grundstücksfläche erforderlich. Das in den Untersuchungsregionen ermittelte Potenzial ist in Abbildung 32 dargestellt.

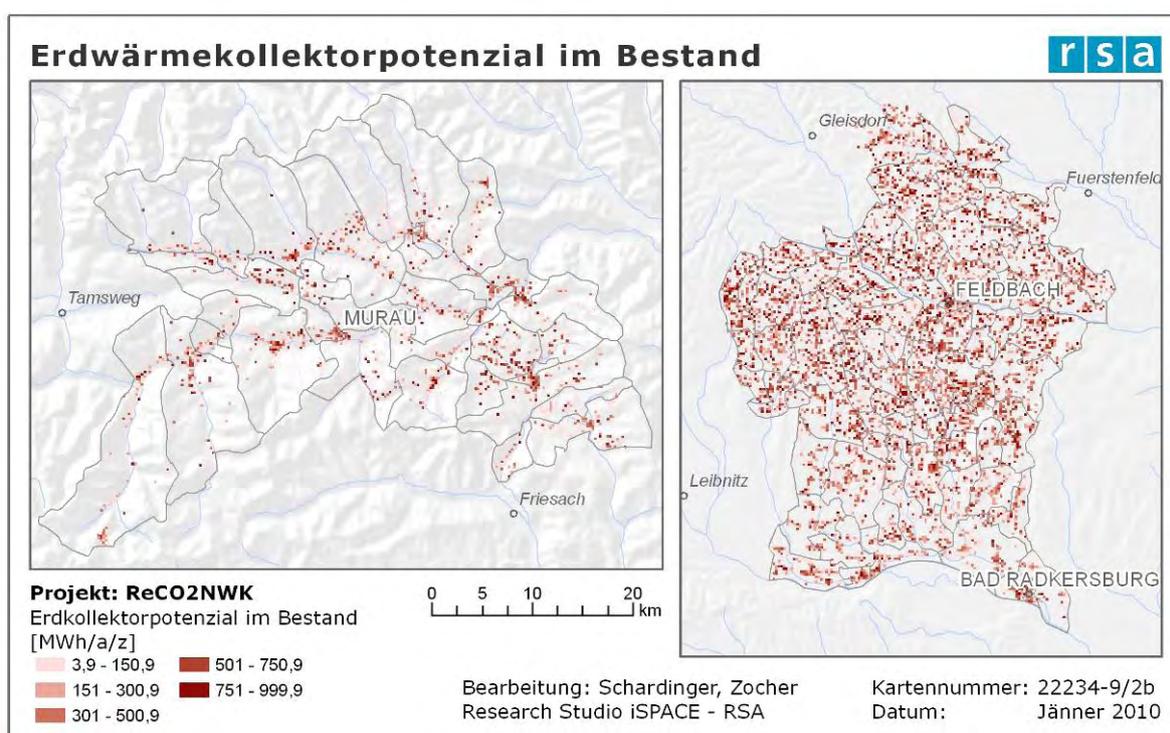


Abbildung 32 Umgebungswärmepotenzial aus Flächenkollektoren im Gebäudebestand in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

Erdwärmesonden

Für Erdwärmesonden werden vertikale Bohrungen ausgeführt, die aus genehmigungsrechtlichen Gründen sowie Kostengründen i.A. eine Tiefe von 100 m nicht überschreiten. In die Bohrungen werden Doppel-U-Sonden oder Koaxialsonden als Wärmetauscher eingeführt. Das zirkulierende Wärmeträgermedium ist meist, wie auch bei Flächenkollektoren, Sole. Der Bedarf eines Einfamilienhauses kann üblicherweise mit 1 bis 2 Sonden gedeckt werden.

Für die Installation von Erdwärmesonden ist - mehr noch als bei den Flächenkollektoren - nicht nur die Größe der zur Verfügung stehenden Fläche, sondern auch deren Form von Bedeutung. Dies ergibt sich daraus, dass der Abstand zwischen einzelnen Erdwärmesonden bei einer Bohrtiefe von 50 bis 100 m mindestens 6 m betragen muss (VDI 4640), damit diese sich nicht gegenseitig beeinträchtigen. Daraus ergeben sich Zellen von 6 x 6 m, in deren Mitte je eine Sonde installiert werden kann. Neben den zu berücksichtigenden Mindestabständen zwischen den Sonden ist zudem auch zu Gebäuden sowie Grundgrenzen ein Abstand von 3 m einzuhalten (Abbildung 33).

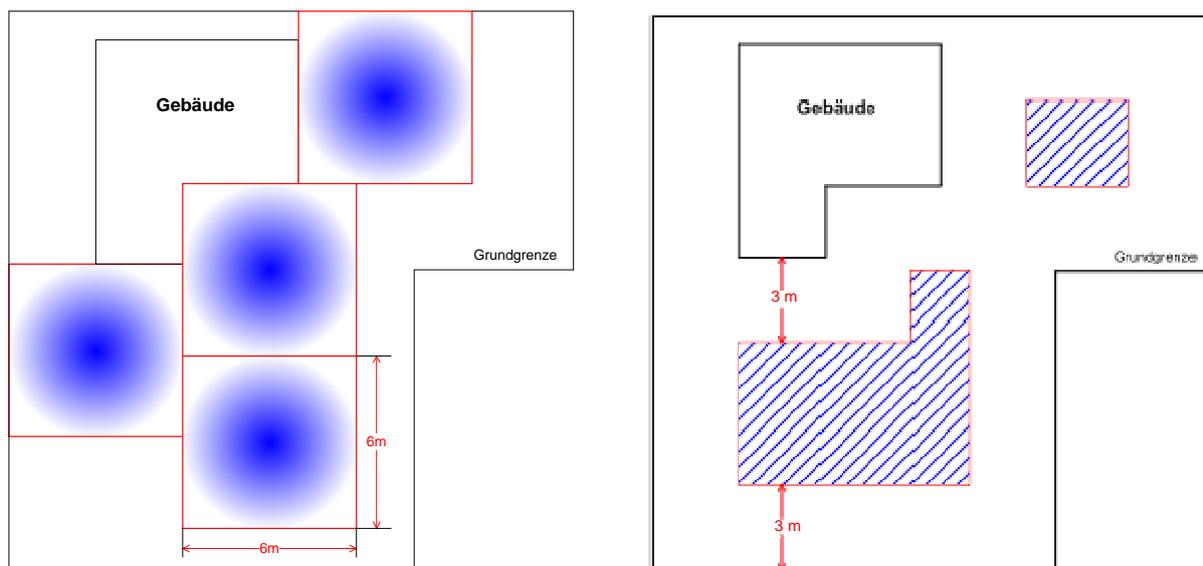


Abbildung 33 Mindestabstände von Erdwärmesonden (Quelle: eigene Darstellung)

Im ersten Schritt werden unter Berücksichtigung der Mindestabstände zwischen den Sonden sowie zu den Grundstücksgrenzen und Gebäuden die verfügbaren Restflächen für die Installation von Erdsonden für die jeweiligen Adresspunkte im GIS ermittelt. Für die derart ermittelte maximal zur Verfügung stehende Grundfläche wird die maximal installierbare Anzahl an Sonden rein über den Flächenbedarf der Sonden – ohne Berücksichtigung der Grundstücksform – ermittelt. Einschränkungen, die sich durch die Form der verfügbaren Fläche ergeben, werden in einem zweiten Berechnungsschritt berücksichtigt. Dazu werden die verfügbaren Grundflächen mit einem regelmäßigen Punktraster im Abstand von 6 m überlagert. Daraus lässt sich die Mindestanzahl der installierbaren Sonden ableiten, die Maximalanzahl wird mit 20 begrenzt. Durch die Bildung des Mittelwerts zwischen Mindest- und Maximalanzahl wird die Anzahl der installierbaren Erdsonden abgeschätzt.

Wie viele Sonden für die Wärmeversorgung eines Gebäudes tatsächlich benötigt werden, ergibt sich, wie auch bei den Erdwärmeflächenkollektoren, aus dem Heizwärmebedarf bzw. der Heizlast des jeweiligen Gebäudes sowie der erzielbaren Wärmeentzugsleistung des vorherrschenden Bodentyps.

Über mittlere Entzugsleistungen nach VDI 4640 Blatt 2 (für 2400 Betriebsstunden), die den geologischen Untergrundtypen aus dem Hydrologischen Atlas Österreichs zugeordnet wurden (siehe Tabelle 6), lässt sich mit der ermittelten maximal installierbaren Sondenanzahl

(Sondenlänge 80 m) je Grundstück das maximale technisch mögliche Erdwärmepotenzial aus Erdsonden ermitteln.

Tabelle 6 Mittlere Entzugsleistung in Abhängigkeit des geologischen Untergrunds (Quelle: Gesteine nach HAÖ ATLAS, mittlere Entzugsleistung eigene Berechnung basierend auf der mittleren Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen gemäß VDI 4640)

| Klasse | Gestein | mittlere Entzugsleistung [W/m] |
|--------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Kies und Sand | 80 |
| 2 | üw. Kies und Sand, lokal Moräne | 80 |
| 3 | Kalkstein | 58 |
| 4 | üw. Karbonatgestein | 58 |
| 5 | Dolomit | 58 |
| 6 | üw. Karbonatgestein (+Marmor) | 53 |
| 7 | üw. Ton, Mergel, Sand, Kies (lokal) | 47 |
| 8 | üw. Mergel, Sandstein | 47 |
| 9 | üw. Tonschiefer und Sandstein | 49 |
| 10 | üw. Phyllit und Schiefer | 47 |
| 11 | üw. Granit, Gneis und Schiefer | 58 |
| 12 | Vulkanit | 30 |

In Abbildung 34 ist das technisch maximale Umgebungswärmepotenzial aus Erdsonden gemäß den zuvor genannten Randbedingungen in den Untersuchungsgebieten dargestellt.

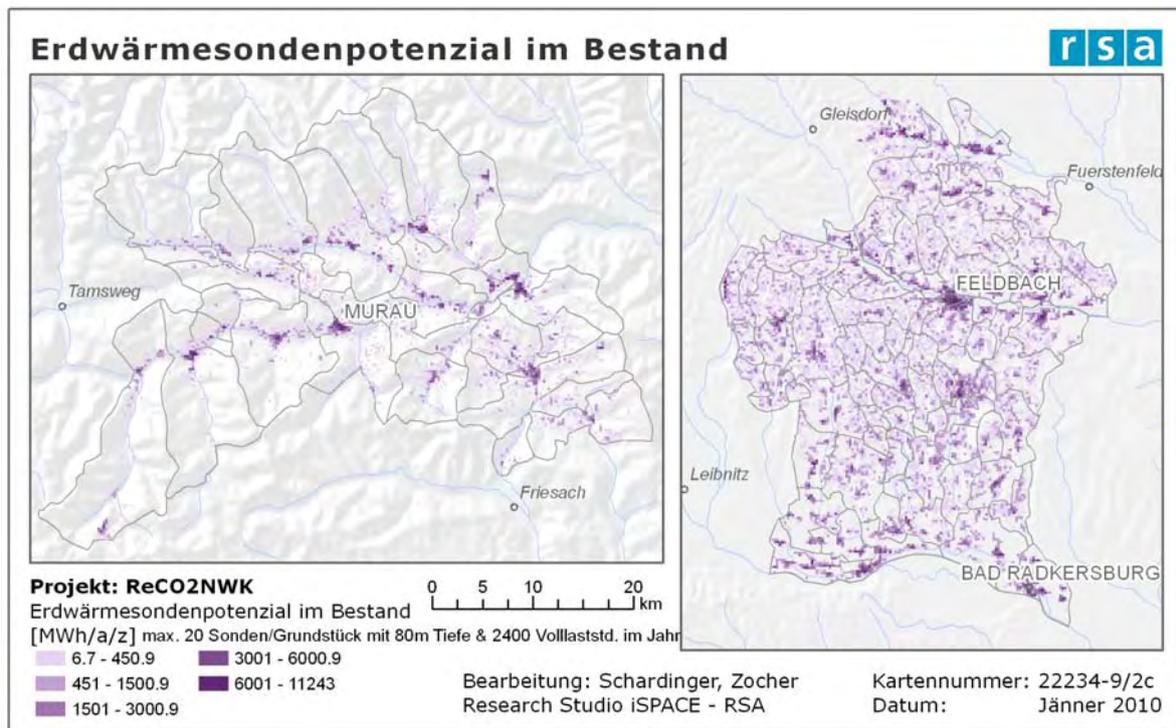


Abbildung 34 Maximales Erdwärmesondenpotenzial im Gebäudebestand in Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

4.2 Räumlich differenzierte Wärme- und Kältenachfrage

Ziel des Bedarfsmodells ist es, den Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung in Kilowattstunden je Rasterzelle und Monat [kWh/(z*M)] abzubilden. Der Bedarf auf Ebene der Nutzenergie (siehe auch Kapitel 3.3.1.2) ist jene Energiemenge, die raumseitig erforderlich ist, um die zu konditionierenden Räume auf die gewünschte Temperatur zu klimatisieren (Heizwärmebedarf HWB bzw. Kühlbedarf KB) bzw. jene Energiemenge, die bei der Entnahme von warmem Trinkwasser "verbraucht" wird (Warmwasserwärmebedarf, WWWB). Dieser Nutzenergiebedarf ist abhängig vom Gebäude mit seinen Charakteristika Konstruktion (Geometrie, thermische Qualität der Gebäudehülle), Standort und Nutzungsprofil.

Der Nutzenergiebedarf kann mit Hilfe verschiedener Haustechnik-Systeme gedeckt werden. Davon abhängig ergibt sich schließlich der Heizenergiebedarf (HEB) beziehungsweise der Kühlenergiebedarf (KEB) auf Ebene der Endenergie, der vom Heiz- bzw. Kühlsystem bereitgestellt und auch die auftretenden Verluste im System decken muss. Der HEB beinhaltet sowohl den Bedarf für die Raumheizung als auch den für die Warmwasserbereitung. Der Kühlbedarf wird nur für Nichtwohngebäude angegeben.

Wie bereits erwähnt wird industrieller Prozesswärmebedarf in der Abbildung des Gesamtbedarfs nicht mit berücksichtigt, da dies durch die für dieses Projekt verfügbaren Daten nicht abgedeckt ist. Da aber Prozesswärme ohnehin eine Sonderstellung in der regionalen Wärmebedarfsdeckung hat, ist hierfür auch eine gesonderte Betrachtung notwendig.

4.2.1 Nutzenergiebedarf der Gebäude

Zur Ermittlung des Nutzenergiebedarfs der Gebäude wurde der Energieausweis (ÖNORM H 5055) herangezogen. Mit dem Energieausweis können in einem Monatsbilanzverfahren die monatlichen Werte des Energiebedarfs sowohl auf Ebene der Nutzenergie als auch der Endenergie berechnet werden. Als Berechnungstool wurde in diesem Projekt das Energieausweis-Berechnungsprogramm GEQ (ZEHENTMAYER, 2009) verwendet.

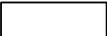
Da die verfügbare Datengrundlage im Projekt nur einen Bruchteil der für die genaue Berechnung eines Energieausweises notwendigen Daten enthält (siehe auch Kapitel 3.3.2), wurden Referenzgebäude erstellt, die die Gebäude mit den bekannten Daten möglichst gut abbilden. Folgende Eigenschaften der Gebäude wurden variiert:

- Nutzung / Gebäudetyp
 - Wohngebäude (WG): Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH)
 - Nichtwohngebäude (NWG): Bürogebäude
- Qualität der Gebäudehülle in Abhängigkeit des Baujahres
- Standort

Nutzung / Gebäudetyp

Mit der Nutzung wurde gleichzeitig die Geometrie der Gebäude festgelegt, welche für alle Altersklassen gleich angenommen wurde. Die Geometrien sind in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellt, Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Wandflächen je Orientierung, und in Tabelle 8 sind die Fensterflächen angegeben.

Legende

-  Fassade Süd
-  Fassade West
-  Dachfläche Süd, 30°
-  Oberste Geschoßdecke

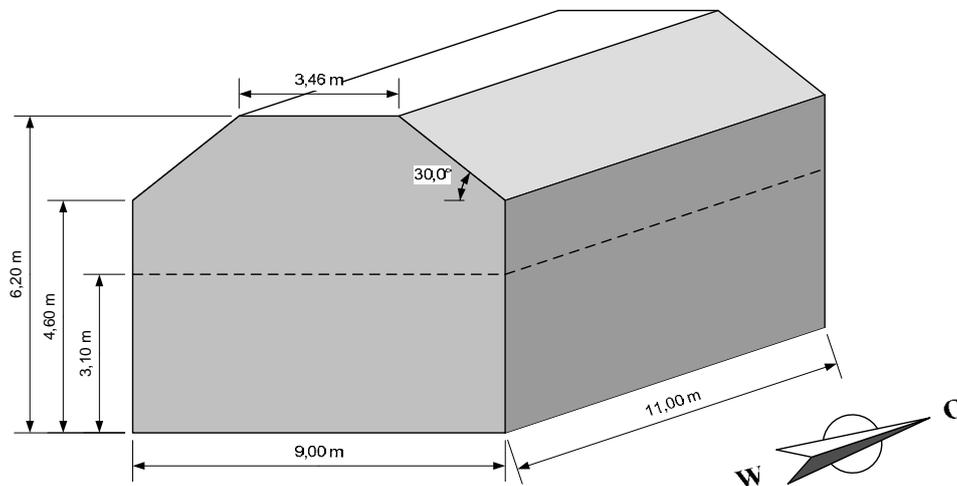


Abbildung 35 Geometrie des Referenzgebäudes "EFH"

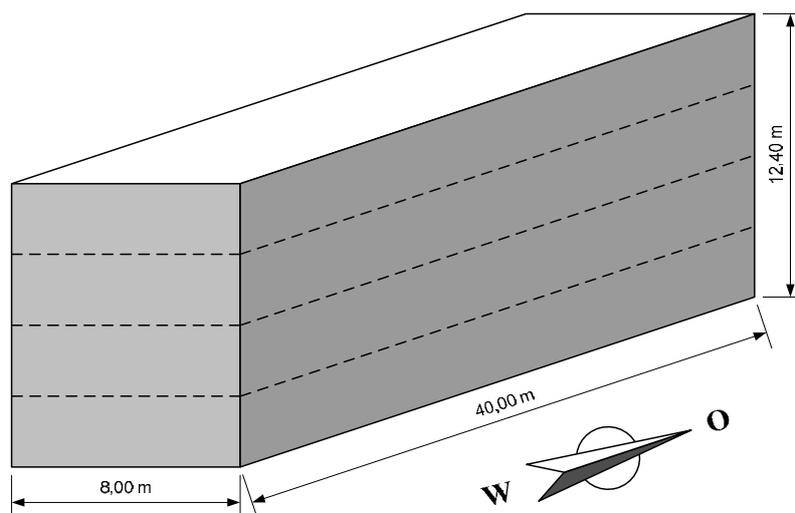


Abbildung 36 Geometrie des Referenzgebäudes "MFH" und "NWG" (Büro)

Tabelle 7 Flächen und Volumina der Referenzgebäude (BGF: Bruttogrundfläche)

| | <i>Außen- wand S+ N je</i> | <i>Außen- wand O+W je</i> | <i>ob. Geschoß- decke</i> | <i>Dach- fläche</i> | <i>Keller- decke</i> | <i>kond. BGF</i> | <i>kond. Brutto- Volumen</i> |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Abk. f. zugehörigen u-Wert | AW | AW | OD | DG | KD | - | - |
| <i>Einheit</i> | <i>m²</i> | <i>m²</i> | <i>m²</i> | <i>m²</i> | <i>m²</i> | <i>m²</i> | <i>m³</i> |
| EFH | 50.60 | 51.37 | 38.06 | 35.20 | 99.00 | 198.00 | 565.30 |
| MFH, NWG | 496.00 | 99.20 | 320.00 | - | 320.00 | 1280.00 | 3968.00 |

Tabelle 8 Fensterflächen (Anteile an den Gesamtflächen je Orientierung) der Referenzgebäude

| <i>Fensterflächen [%]</i> | Orientierung | | |
|---------------------------|---------------------|---------------|----------|
| | S | O+W je | N |
| EFH | 30 | 20 | 10 |
| MFH | 30 | 15 | 10 |
| NWG | 30 | 30 | 15 |

Für alle Gebäude wurde eine mittelschwere Bauweise angenommen. Die Nutzungsprofile wurden gemäß der ÖNORM B 8110-5 für Wohngebäude bzw. Bürogebäude (stellvertretend für alle Nichtwohngebäude) berücksichtigt.

Qualität der Gebäudehülle

Die Qualität der Gebäudehülle ist, wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, im Allgemeinen hauptsächlich vom Baualter des Objektes abhängig. Diese Annahme erlaubt trotz fehlender Angaben zur tatsächlichen Qualität der Gebäudehülle eine Abschätzung der Eigenschaften, die sich in der Praxis bewährt hat. Sollen in einer Weiterentwicklung des Modells auch Sanierungen berücksichtigt werden, kann dies in einer ersten Näherung mit einer Neu-Zuordnung des Gebäudes zu einer jüngeren Bauperiode erfolgen. In der verfügbaren Datengrundlage sind die Wohngebäude in folgende Altersklassen (Baujahr) unterteilt; für die Nichtwohngebäude wurde keine Unterteilung vorgenommen:

- vor 1945
- 1945 bis 1980
- 1981 bis 1990
- 1991 bis 2001
- nach 2001

Die Qualität der Gebäudehülle ist durch ihre U-Werte bzw. in Bezug auf die Fenster auch des g-Wertes definiert. Für die genannten Altersklassen wurden in Anlehnung an den OIB-Berechnungsleitfaden (OIB-BERECHNUNGSLEITFADEN, 2007) die in Tabelle 9 aufgelisteten U-Werte und g-Werte angenommen. Für das NWG wurden die Werte für die Altersklasse 1981-1990 verwendet.

Tabelle 9 U-Werte der Wände und Fenster sowie g-Werte der Fenster je Bauperiode

| | Kellerdecke | Außenwand | Ob. Geschoß- decke | Dachfläche | Fenster | |
|------------------|-------------|-----------|-----------------------|------------|---------|--------|
| | KD | AW | OD | DG | FE_u | FE_g |
| Bauperiode | u-Werte | | | | u-Wert | g-Wert |
| bis 1945 | 1.25 | 1.55 | 0.90 | 0.90 | 2.50 | 0.65 |
| 1945-1980 | 1.10 | 1.20 | 0.55 | 0.55 | 2.50 | 0.65 |
| 1981-1990 | 0.60 | 0.70 | 0.30 | 0.30 | 2.50 | 0.65 |
| 1991-2001 | 0.45 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 1.90 | 0.65 |
| nach 2001 | 0.40 | 0.35 | 0.20 | 0.20 | 1.40 | 0.62 |

Der Raster der Gebäudetypen und Altersklassen kann in dieser Modellstruktur grundsätzlich beliebig verfeinert werden, in diesem Forschungsprojekt war ein feineres Raster jedoch nicht sinnvoll, da die Datengrundlage nur im oben beschriebenen 250 m Raster als feinsten Auflösung vorliegt.

Es ist zu beachten, dass, auch wenn räumlich feiner aufgegliederte Daten verfügbar sind, abgewogen werden muss, ob ein feineres Raster im Modell den Aufwand rechtfertigt. Jede Verfeinerung bringt längere Rechenzeiten mit sich beziehungsweise kann das Gesamtmodell unter Umständen nicht mehr als Ganzes prozessiert werden, sondern muss in kleinere Regionen unterteilt werden, was in vielen Fällen das ursprüngliche Ziel der Modellierung verfehlen wird. Außerdem ist in Frage zu stellen, bis zu welchem Grad eine höhere räumliche Auflösung im Modell tatsächlich realitätsnähere Ergebnisse bringt - im Modell müssen auch bei einem hochauflösenden Raster immer Annahmen in Bezug auf die Realität getroffen werden, beziehungsweise können komplexe Zusammenhänge nur begrenzt abgebildet werden.

Standort

Der Standort eines Gebäudes ist gemäß Energieausweis mit der Angabe der Klimazone und der Seehöhe definiert.

Im Klimamodell, das dem Energieausweis zugrunde liegt, ist Österreich in 7 Klimazonen unterteilt, wobei die Testregionen des vorliegenden Projektes in den Klimazonen "alpine Zentrallage, ZA" (Murau) bzw. "Südost-südlicher Teil, S/SO" (Vulkanland) liegen. Jeder Rasterzelle des 250 m x 250 m Rasters ist aus den zur Verfügung gestellten Geodaten eine mittlere Seehöhe zugeordnet, die hier in die Berechnung einfließt.

Mit der Angabe der genannten drei Eigenschaften (Nutzung/Gebäudetyp, Baujahr und Standort) kann der Heizwärmebedarf eines Gebäudes berechnet werden. Eine Besonderheit stellt dabei die Seehöhe dar, da dieser Wert im Gegensatz zu den restlichen Parametern nicht nur diskrete Werte annimmt, sondern kontinuierlich verläuft. Das Klimamodell im Energieausweis ist zusätzlich zu den Klimazonen noch in drei Höhenbereiche unterteilt (<750 m, 750-1500 m, >1500 m), innerhalb derer der HWB eines Gebäudes einen linearen Verlauf in Abhängigkeit der Höhe aufweist. Damit kann der HWB für jedes Gebäude in einer beliebigen Seehöhe durch lineare Interpolation berechnet werden. Analog dazu kann der

Kühlbedarf (KB) berechnet werden. In Abbildung 37 ist der Verlauf des HWB über die Höhe für verschiedene Gebäude in den Klimazonen ZA und S/SO grafisch dargestellt.

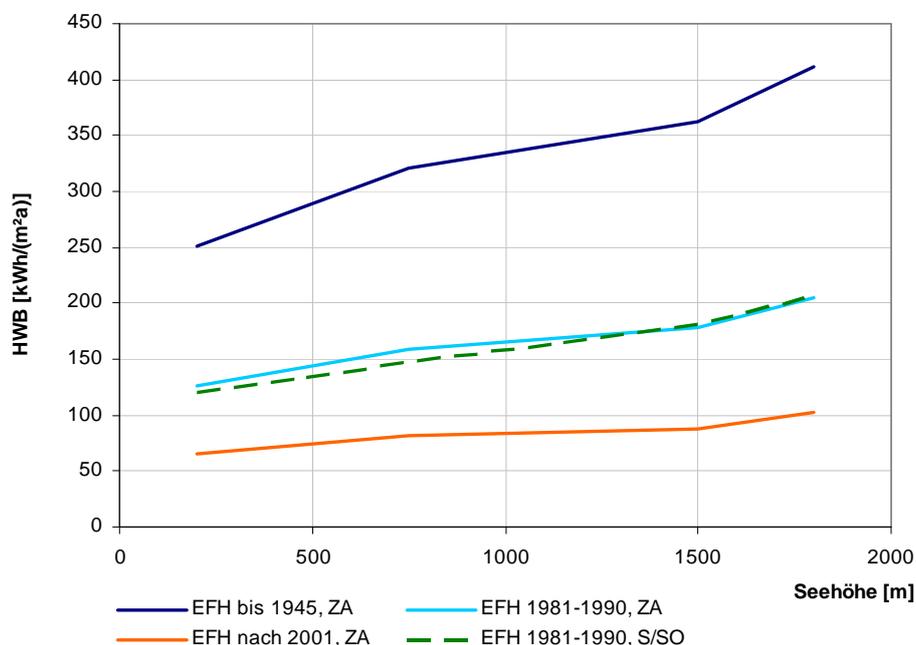


Abbildung 37 Verlauf des jährlichen HWB über die Seehöhe für verschiedene Altersklassen von EFH in den Klimazonen ZA und S/SO

Dem Energieausweis können sowohl Jahres- als auch Monatswerte entnommen werden, ebenso werden zonenbezogene wie auch spezifische Werte (pro m²) ausgegeben. Die zeitliche Auflösung im Projekt ist der Kalendermonat, weshalb eine Modellierung des HWB im Jahresverlauf erfolgen muss. Dieser Verlauf ist vom Gebäude sowie vom Standort abhängig, wobei zur korrekten Berücksichtigung der Seehöhe wiederum eine lineare Interpolation notwendig wäre. Die Seehöhe hat jedoch von allen Faktoren den geringsten Einfluss auf den Jahresverlauf des HWB, gleichzeitig würde ihre Berücksichtigung bereits diesen ersten Berechnungsschritt erheblich komplexer werden lassen. Aus diesem Grund wurde für das Projekt die folgende Vorgangsweise gewählt:

1. Berechnung des jährlichen HWB und KB in Abhängigkeit des Gebäudetyps, des Baujahres und des Standortes, wobei der KB nur für Nichtwohngebäude berechnet wird. Zur Verdeutlichung des Einflusses des Gebäudetyps und des Baujahres auf den HWB sind in Tabelle 10 die Werte für HWB und KB bei Referenzklima (s. ÖNORM B 8110-5) angegeben. Der Einfluss des Standortes wurde bereits in Abbildung 37 dargestellt.
2. Berechnung der monatlichen Verteilung des HWB und KB nach einem typischen Verlauf, der je Klimazone einmalig für die mittlere, meistbesiedelte Höhe (ZA: 900 m, S/SO: 400 m) evaluiert wurde. In Abbildung 38 sind beispielhaft die monatlichen

Anteile am jährlichen HWB für die Gebäude "EFH bis 1945" und "EFH nach 2001", also das älteste und das jüngste Gebäude, am Standort ZA, 900 m dargestellt.

Tabelle 10 HWB und KB der verschiedenen Altersklassen bei Standort Referenzklima

| | EFH | MFH | Büro | |
|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | HWB | HWB | HWB | KB |
| <i>Bauperiode</i> | kWh/(m ² a) | kWh/(m ² a) | kWh/(m ² a) | kWh/(m ² a) |
| bis 1945 | 242.2 | 181.5 | | |
| 1945-1980 | 190.4 | 145.3 | | |
| 1981-1990 | 121.5 | 95.3 | 94.1 | 10.2 |
| 1991-2001 | 86.9 | 67.6 | | |
| nach 2001 | 62.8 | 48.0 | | |

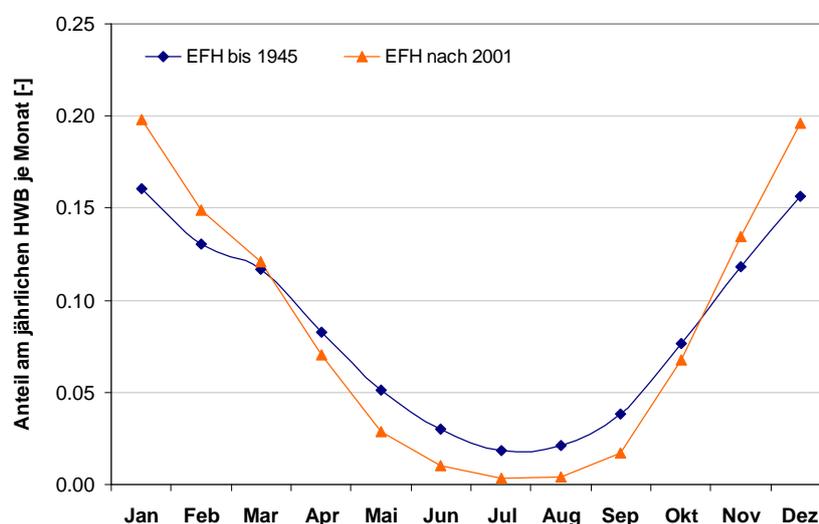


Abbildung 38 Monatlicher Verlauf des HWB für die Gebäude "EFH bis 1945" und "EFH nach 2001" am Standort ZA, 900 m

Der Warmwasserwärmebedarf (WWWB) ist nur vom Nutzungsprofil abhängig und beträgt gemäß Energieausweis für Wohngebäude 0,035 kWh/(m²d) und für Bürogebäude 0,013 kWh/(m²d).

Mit den drei Werten für HWB, WWWB und KB ist der Nutzenergiebedarf der Gebäude festgelegt und kann in das dynamische Deckungsmodell eingebunden werden.

4.2.2 Räumliche Verortung des Wärme- und Kältebedarfs

Die räumliche Verortung des berechneten Wärme- und Kältebedarfs basiert im Wesentlichen auf regionalstatistischen Daten zu Gebäuden beziehungsweise Wohnungen der Statistik Austria. Die verwendeten Daten stammen aus der Gebäude- und Wohnungszählung aus

dem Jahr 2001 und sind räumlich aufgelöst auf 250 m Rasterbasis bei der Statistik Austria erhältlich. Wie bereits in Kapitel 3.3.2 erwähnt, ist die Qualität dieser Daten einigen Restriktionen unterworfen. Aus Datenschutzgründen sind detaillierte Angaben zu den Gebäuden nur in dicht besiedelten Gebieten verfügbar, in weniger dicht besiedelten Bereichen ergeben sich sehr hinderliche Datenlücken. Beispielsweise werden Gebäude nur dann nach ihrem Baujahr differenziert ausgewiesen, wenn sich in der Rasterzelle mindestens vier Gebäude befinden, wobei es in dünn besiedelten Gebieten einige Rasterzellen gibt, die diese Bedingung nicht erfüllen. Für diese Rasterzellen ist also nur die Anzahl der Gebäude, aber keine weitere Differenzierung von Attributen verfügbar. Als Inputdaten zur räumlich expliziten Darstellung des Wärmebedarfs stehen in gegenständlichem Projekt aus der Statistik zwei Rasterdatensätze zur Verfügung:

Tabelle 11 Mögliche Attributkombinationen für Wohnungen mit HWS und deren Anzahl gemäß Statistik Austria (eigene Darstellung nach STATISTIK AUSTRIA, o.J.)

| | vor 1945 | 1945 - 1980 | 1981 - 1990 | nach 1991 | Alter nicht verfügbar |
|---------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------------------|
| Whg_HWS_Wgeb_1 bis2Whg. | 5576 | 10656 | 4118 | 2309 | 1620 |
| Whg_HWS_Wgeb_3 bis10Whg. | 1178 | 1920 | 1193 | 497 | 1278 |
| Whg_HWS_Wgeb_1 1plusWhg. | 249 | 1119 | 325 | 66 | 155 |
| Whg_HWS_NWGeb | 371 | 462 | 150 | 45 | 50 |

Inputdatensatz 1 enthält die Anzahl der gemeldeten Wohnungen je Rasterzelle. Sind in einer Rasterzelle mindestens vier Wohnungen ausgewiesen, so wird für diese Zelle auch die Anzahl der Wohnungen mit mindestens einem gemeldeten Hauptwohnsitz angegeben. Sind in einer Zelle Wohnungen mit Hauptwohnsitz vorhanden, werden zudem noch die Attribute Bauperiode und Gebäudenutzung angegeben. Tabelle 11 zeigt die möglichen Attributkombinationen und deren Anzahl in den beiden Testregionen für jene Rasterzellen, welche Wohnungen mit Hauptwohnsitz enthalten.

Tabelle 12 Gebäudenutzungsklassen (eigene Darstellung nach STATISTIK AUSTRIA, o.J.)

| ID | Gebäudenutzung |
|-----------|--|
| 1 | Wohngebäude mit 1 od. 2 Wohnungen, |
| 2 | Wohngebäude mit 3 bis 10 Wohnungen, |
| 3 | Wohnungen mit 11 od. mehr Wohnungen, |
| 4 | Wohngebäude von Gemeinschaften, |
| 5 | Hotel oder ähnliche Gebäude, |
| 6 | Bürogebäude, |
| 7 | Gebäude des Groß- od. Einzelhandels, |
| 8 | Gebäude des Verkehrs- oder Nachrichtenwesens, |
| 9 | Werkstätte, Industrie- oder Lagerhalle, |
| 10 | Geb.f.Kultur/Freizeit,Bildungs/Gesundheitswesen, |
| 11 | sonstige Gebäude |

Inputdatensatz 2 gibt Auskunft über die Gesamtanzahl der Gebäude je Rasterzelle. Befinden sich mindestens vier Gebäude in einer Rasterzelle, werden auch Informationen zur Nutzung der Gebäude angeführt. Dazu werden die Gebäude in elf Gebäudeklassen nach der Nutzung eingeteilt, wie in Tabelle 12 dargestellt ist.

Im Projekt werden nur die Gebäudetypen Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH) und Nicht-Wohngebäude (NWG) und deren Baualter als Klassifizierungen und Zuweisungsschlüssel zu den Bedarfsstrukturen der Referenzgebäude verwendet. Deshalb werden zur Vereinfachung der weiteren Berechnungen die beiden Inputdatensätze auf eine geringere Anzahl der jeweiligen Klassen aggregiert:

- In Inputdatensatz 1 werden die Wohngebäude mit 1 – 2 Wohnungen als Einfamilienhaus (EFH) und die Wohngebäude mit 3 – 10 Wohnungen sowie mit mehr als 11 Wohnungen als Mehrfamilienhaus (MFH) klassifiziert. Bei den Nichtwohngebäuden (NWG) ergibt sich keine Änderung, da hier von vornherein keine weitere Unterscheidung vorliegt. Beim Merkmal Baualter werden in einem ersten Schritt die beiden Klassen „Vor 1945“ und „1945 – 1980“ zur Klasse „Vor 1980“ zusammengefasst und im Weiteren – zur Reduktion der Komplexität – auf eine Klasse reduziert. In einem zweiten Schritt wird die Klasse „Alter nicht verfügbar“ dieser Klasse „Bis 1980“ zugeordnet.
- In Inputdatensatz 2 werden ebenfalls Klassen zusammengefasst und als Gebäudetypen ausgewiesen, wie in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13 Aggregation der Gebäudenutzungskategorien zu Gebäudetypen

| ID | Gebäudenutzung | Aggregierte Gebäudetypen |
|----|--|--------------------------|
| 1 | Wohngebäude mit 1 od. 2 Wohnungen, | EFH |
| 2 | Wohngebäude mit 3 bis 10 Wohnungen, | MFH |
| 3 | Wohnungen mit 11 od. mehr Wohnungen, | |
| 4 | Wohngebäude von Gemeinschaften, | NWG |
| 5 | Hotel oder ähnliche Gebäude, | |
| 6 | Bürogebäude, | |
| 7 | Gebäude des Groß- od. Einzelhandels, | |
| 8 | Gebäude des Verkehrs- oder Nachrichtenwesens, | |
| 9 | Werkstätte, Industrie- oder Lagerhalle, | |
| 10 | Geb.f.Kultur/Freizeit,Bildungs/Gesundheitswesen, | |
| 11 | sonstige Gebäude | |

Um den Wärmebedarf räumlich zuweisen zu können, müssen aus den beiden vorhandenen Inputdatensätzen Gebäude mit gemeldetem Hauptwohnsitz nach Bauperiode abgeleitet werden. Dazu werden beide aggregierten Datensätze mit Hilfe von GIS-Methoden verschnitten. Daraus ergibt sich die Anzahl der Gebäude nach Gebäudetyp und Bauperiode je Rasterzelle, welche nicht unter den Datenschutz fallen. Für Nichtwohngebäude wird eine Zuteilung zu Bauperioden vernachlässigt.

Auf Grund des Datenschutzes ergibt sich vor allem in dünn besiedelten Gebieten eine Lücke in den Angaben zu Gebäuden mit HWS nach der Bauperiode. Die zugewiesenen Gebäude decken rund 61 % der insgesamt in der Statistik ausgewiesenen Gebäude ab. Um die verbleibende Lücke zu schließen, wurde ein Datensatz vom LAND STEIERMARK (GIS STEIERMARK 2009) verwendet, der je 250 m Rasterzelle folgende relevante Informationen OHNE Einschränkungen durch den Datenschutz enthält:

- Anzahl Hauptwohnsitz (HWS)
- Anzahl Nebenwohnsitz (NWS)
- Anzahl Haushalte
- Anzahl Gebäude
- Anzahl Wohngebäude
- Anzahl Wohnungen

Über die in diesem Datensatz enthaltene Anzahl der Gebäude, der Wohngebäude und der Wohnungen kann eine Zuteilung nach den Gebäudetypen EFH, MFH und NWG erfolgen. Die NWG werden hierbei über die Differenz der Gebäude und Wohngebäude je Rasterzelle abgeleitet. Für die Wohngebäude wird geprüft, ob sich in der jeweiligen Rasterzelle ein HWS befindet; falls nicht, wird die betreffende Zelle in der Ermittlung des Wärme- und Kältebedarfs ausgeschlossen. Dies erfolgt auf Grund der Annahme, dass der Wärme- und Kältebedarf für Nebenwohnsitze im Vergleich zum Bedarf der Hauptwohnsitze vernachlässigt werden kann.

Aus dieser Zuteilung der fehlenden Gebäude nach EFH, MFH und NWG lässt sich allerdings die Bauperiode nicht ermitteln. Es wird deshalb die vereinfachte Annahme getroffen, dass sich alle fehlenden Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser in der Bauperiode „1981 – 1990“ befinden. Diese Zuteilung entfällt für NWG, da für diese die Bauperiode grundsätzlich nicht unterschieden wird.

Aus den beschriebenen Schritten zur Datenaufbereitung ergibt sich Tabelle 14, welche die im weiteren Projektverlauf zugrunde gelegte und räumlich verortete Anzahl an Gebäuden nach Gebäudetyp und Baualter für beide Testregionen enthält. Die räumliche Verortung der zugeordneten Gebäudetypen je Baualter wird im GIS verwaltet, die darin enthaltene Anzahl an Gebäuden ist in Tabelle 14 aufgelistet.

Tabelle 14 Abgeleitete Gesamtanzahl der verorteten Gebäude nach Gebäudetyp und Baualter (Quelle: eigene Berechnung nach STATISTIK AUSTRIA 2001)

| | Bis 1980 | 1981 – 1990 | Nach 1991 |
|------------|-----------------|--------------------|------------------|
| EFH | 15.999 | 4.572 | 1.967 |
| MFH | 886 | 313 | 94 |
| NWG | 4.430 | | |

Im Anschluss können den einzelnen Rasterzellen anhand der Anzahl der Gebäude je Typ und Bauperiode der Wärme- und Kältebedarf mittels der entsprechenden Bedarfskennzahlen

der Referenzgebäude (HWB und WWWB bzw. KB, siehe Kapitel 4.2.1) zugewiesen werden. Der Bedarf ist somit als Wert in kWh je Zelle und Monat verfügbar und der Jahresgang kann detailliert abgebildet werden.

Durch die beschränkte verfügbare Datengrundlage ist in der Ausweisung der Ergebnisse zum Wärme- (HWB und WWWB) und Kühlbedarf in den einzelnen Rasterzellen zu beachten, dass diese die Realität nicht exakt abbilden können. Mit einer verbesserten Datengrundlage, welche in einfacher Weise in das Modell integriert werden kann, kann die Abbildung des räumlich verorteten Wärme- und Kältebedarfs deutlich verbessert werden.

Abbildung 39 zeigt den monatlichen Heizwärme- und Warmwasserbedarf für die einzelnen Gebäudetypen EFH, MFH und NWG und den monatlichen Kühlbedarf für NWG für einen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes. Die Darstellung zeigt sehr deutlich die Variation des Heizwärme- sowie des Kühlbedarfes im Jahresgang. Der Warmwasserbedarf hingegen bleibt über das Jahr hinweg konstant.

Die räumliche Verteilung des Wärme- und Warmwasserbedarfs für Einfamilienwohngebäude, Mehrfamilienwohngebäude und Nicht-Wohngebäude in den Untersuchungsregionen ist in Abbildung 40 visualisiert. Die Verteilung des Wärmebedarfs folgt der Verteilung der Gebäude im Raum und zeigt somit für Murau auch die im Vergleich zum Vulkanland geringe Siedlungsdichte.

Abbildung 41 zeigt die räumliche Verteilung des Kühlbedarfs, welcher nur für Nicht-Wohngebäude berechnet wird.

Wärme- inkl. Warmwasser- und Kältebedarf in monatlicher Auflösung

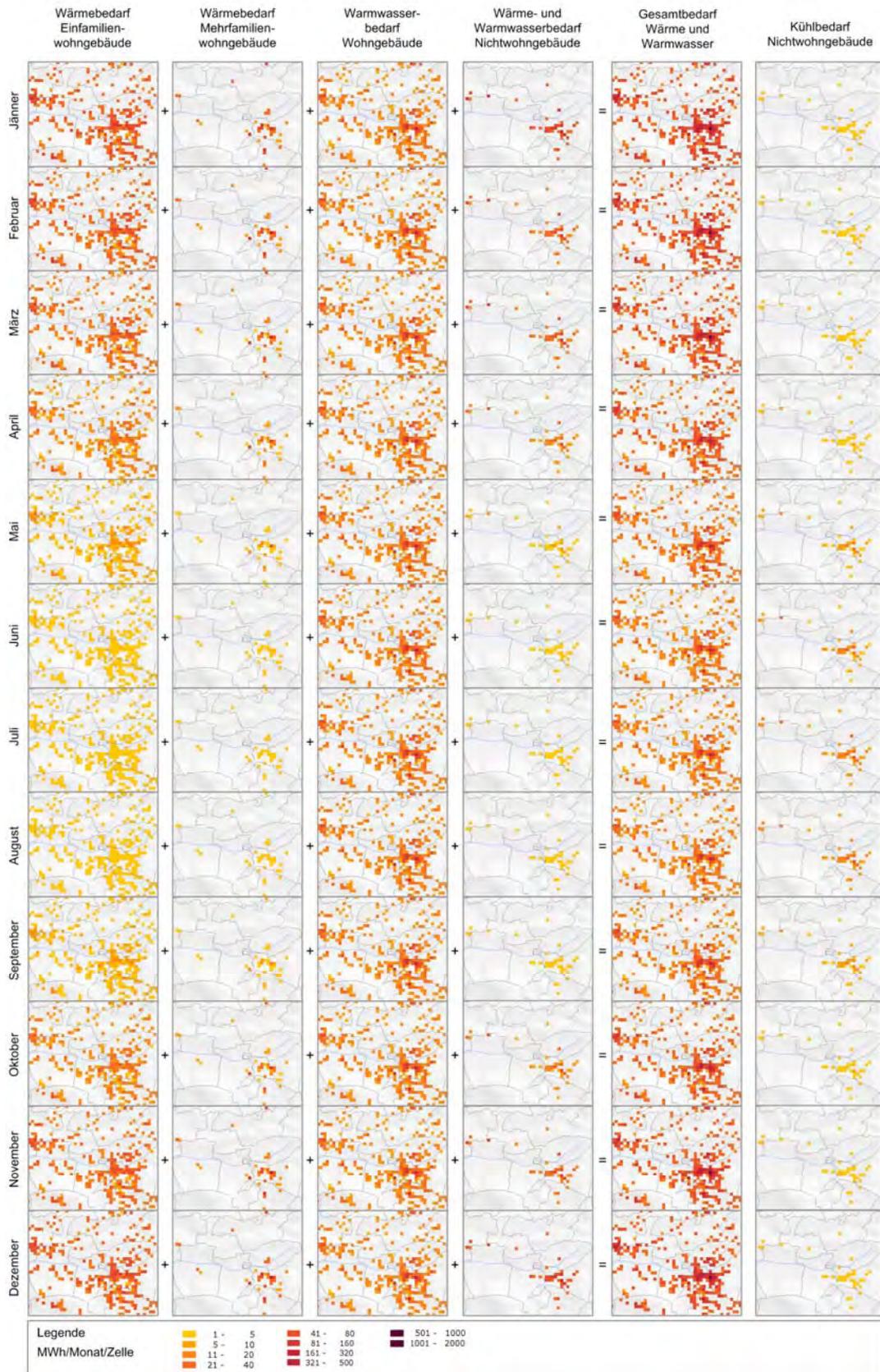


Abbildung 39 Darstellung des monatlichen Wärmebedarfs (inklusive WWWB) für EFH, MFH, NWG und den Gesamtgebäudebestand sowie des monatlichen Kühlbedarfs für NWG auf einer 250m Rasterbasis(Quelle: eigene Darstellung)

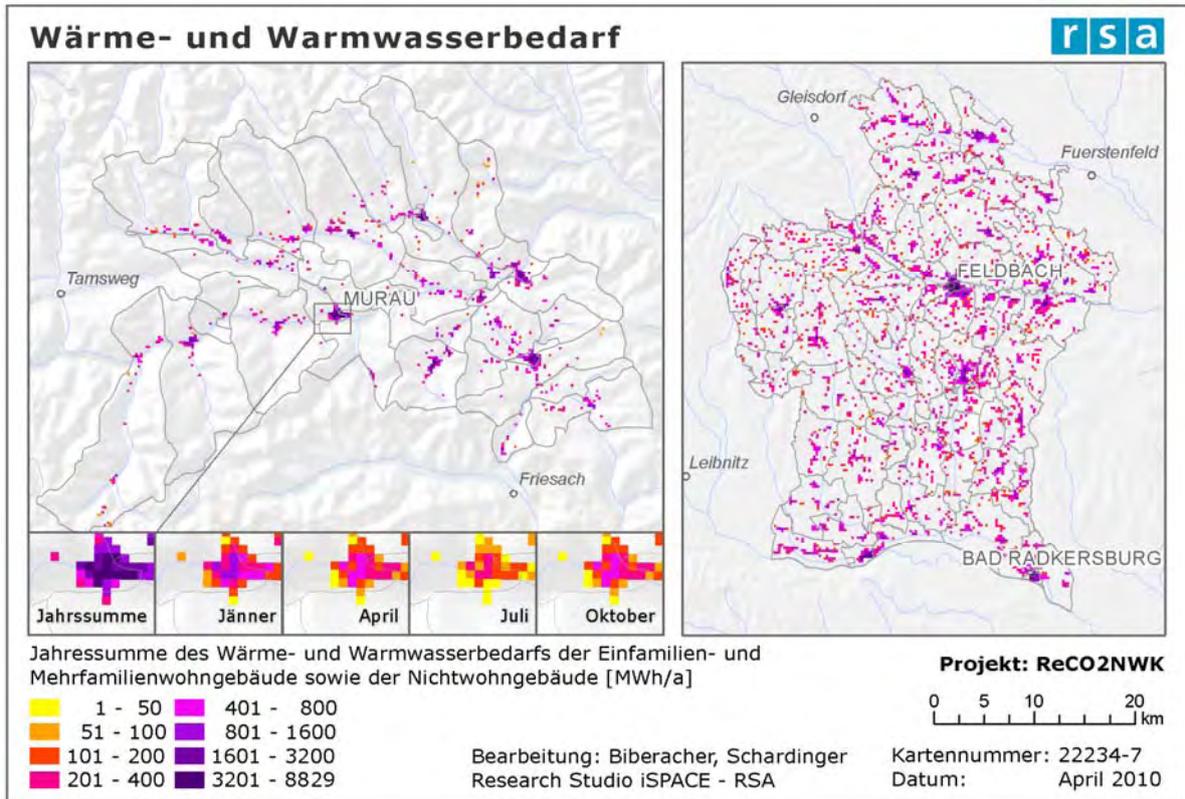


Abbildung 40 Räumliche Verteilung der Jahressumme des Wärme- und Warmwasserbedarfs von EFH, MFH und NWG in den Untersuchungsregionen Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

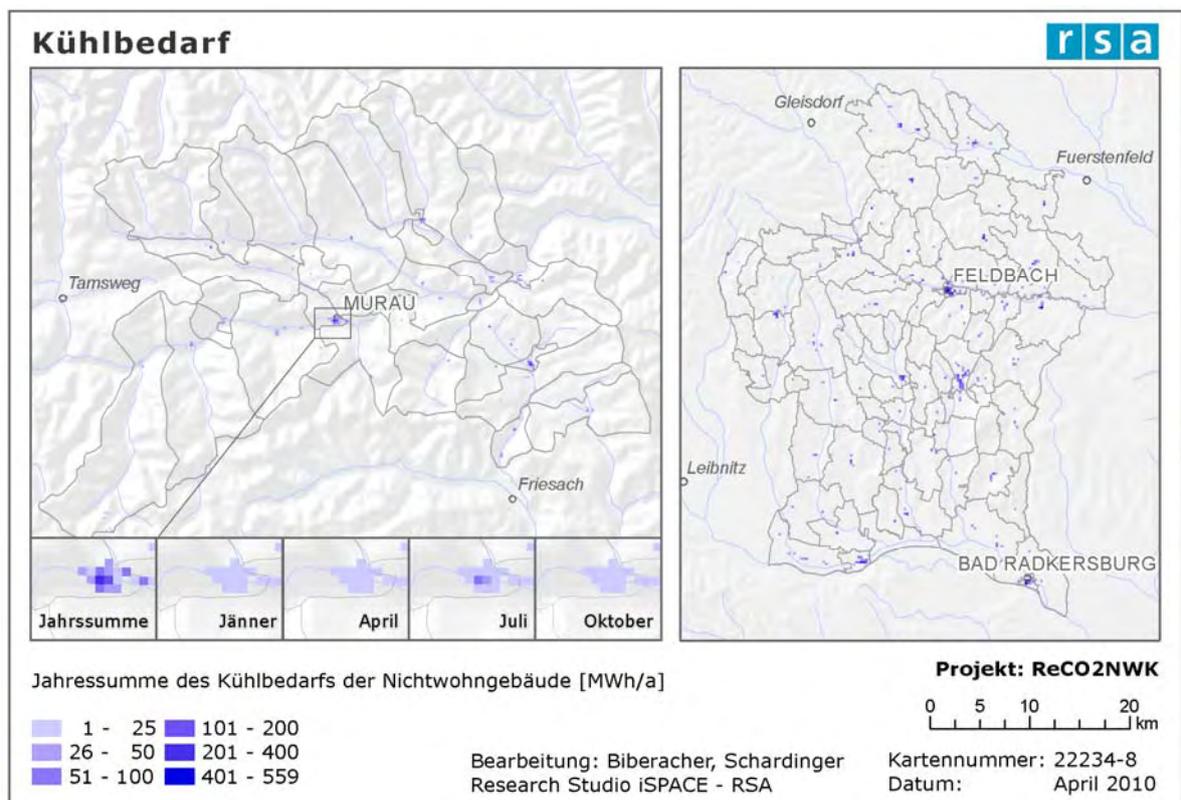


Abbildung 41 Räumliche Verteilung der Jahressumme des Kühlbedarfs für NWG in den Untersuchungsregionen Murau und dem Vulkanland (Quelle: eigene Darstellung)

4.3 Räumlich differenzierte Bedarfsdeckung

Dieses Kapitel zeigt die Zusammenführung der Ergebnisse aus den Sub-Modellen Potenzialmodell und Bedarfsmodell im dynamischen Bedarfsdeckungsmodell, dem Modell RESRO (Reference Energy System Regional Optimisation). Dazu werden die Ergebnisse zu den regional vorhandenen erneuerbaren Energiepotenzialen und der räumlich differenziert ausgewiesene Wärme- und Kühlbedarf auf Nutzenenergieebene zusammengeführt und die Deckung dieses Bedarfes mittels der in Kapitel 4.3.1.3 definierten unterschiedlichen Energiesysteme (Haustechnik) mit ihren Attributen Effizienz und CO₂-Emissionen auf einer räumlich expliziten Ebene optimiert. Diese Optimierung wird auf Basis von Kosten durchgeführt, wodurch die Gesamtkosten für optimierte Energiesystem-Setups je nach den gewählten Annahmen aufgezeigt werden können. Da die Haustechniksysteme auch mit spezifischen Werten zu CO₂-Emissionen versehen sind, lassen sich für die jeweiligen Szenarien auch die damit verbundenen Emissionen aufzeigen.

4.3.1 Generische Beschreibung des Modells RESRO

Ausgehend von identifizierten Rahmenbedingungen bezüglich der Verfügbarkeit von Energiepotenzialen sowie der zu deckenden Bedarfsprofile in jeder individuellen Rasterzelle wird über das Modell RESRO ein optimierter Einsatz von Technologien zur Wärme- und Kältebereitstellung für jede Rasterzelle ausgewiesen.

Das Modell RESRO ist in ein Softwareframework eingebunden, welches aus den Softwarepaketen ArcGIS, Microsoft EXCEL und der Modellierungssprache GAMS besteht (Abbildung 42).

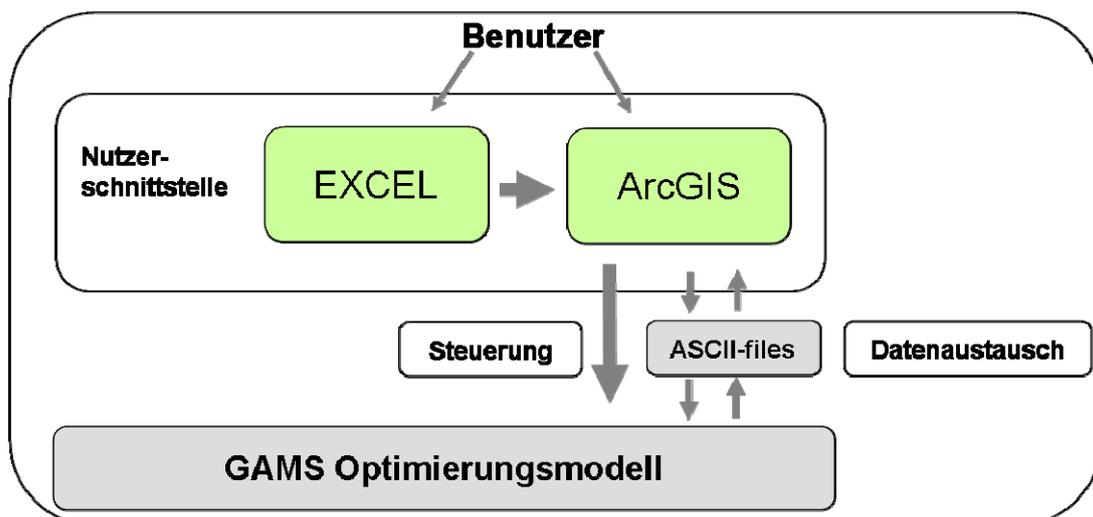


Abbildung 42 RESRO Softwareframework

Bezüglich der Verwaltung der Input-Daten des Modells werden räumlich explizite Daten (verfügbare erneuerbare Energiepotenziale, Wärmebedarf, etc.) und räumlich nicht explizite Daten (spezifische Technologieabhängige Emissionen, Kosten, Effizienzen, etc.)

unterschieden. Die genannten Charakteristika werden in den folgenden Kapiteln erläutert. Eine Übersicht über alle im Modell relevanten Daten wird in einzelnen Microsoft Excel Tabellen verwaltet. Dazu werden die in Tabelle 15 aufgeführten Klassifizierungen unterschieden.

Tabelle 15 Im Modell berücksichtigte Parameter-Ebenen

| Klassifizierung | Parameter im Modell | Beschreibung |
|---|---|--|
| Allgemeine Parameter | CST (Kosten) | Regional gültige, systemübergreifend relevante Parameter wie CO ₂ -Emissions-Kosten, etc. |
| Technologie spezifische Parameter (dezentral) | CAP, IVC, OMC, ESC, AEL, EEF, EMI | Spezifikation von Wärme- und Kältebereitstellungstechnologien (Haustechnik) |
| Technologie spezifische Parameter (zentral) | CAP, IVC, OMC, ESC, EEF, POS, MIN, EMI | Spezifikation von Netz-Einspeisepunkten (Heizwerken, etc.) |
| Netzspezifische Parameter | CAP, IVC, EEF, MIN | Das Netz beschreibende Parameter wie längenspezifische Installationskosten, Effizienzen, etc. |
| Zeitunabhängige Limitierungen | RAS, ALL | Rasterzellenspezifische und regional spezifische Limits für die Nutzung von regionalen Potenzialen (z.B. regionales Biomassepotenzial) |
| Zeitlich variierende Verfügbarkeiten | 001, 002, 003, 004, 005, 006, 007, 008, 009, 010, 011, 012 | Monatlich variierende Verfügbarkeit von Potenzialen (z.B. Solarthermie) |
| Zeitlich variierender Bedarf | 001, 002, 003, 004, 005, 006, 007, 008, 009, 010, 011, 012 | Monatlich variierender Bedarf an Wärme-, Warmwasser- und Kälte nach Gebäudetypen |

Wobei gilt:

| | |
|-------------|---|
| CST | nicht-technologiespezifische Kosten |
| CAP | installierte Kapazität |
| IVC | spezifische Investitionskosten |
| OMC | spezifische Betriebskosten |
| ESC | spezifische Brennstoffkosten |
| AEL | spezifischer Strombedarf je Technologie |
| EEF | spezifischer Wirkungsgrad je Technologie |
| EMI | spezifische CO ₂ Emissionen |
| MIN | spezifische Minimalinstallation für Neuinstallationen |
| POS | Standort Freigabe für Neuinstallation |
| RAS | in Rasterzelle wirksames Limit |
| ALL | kumuliert auf Region wirksames Limit |
| 001 ... 012 | pro Monat individuell gültige Parameter |

Das Modell RESRO ist als lineares Optimierungsmodell implementiert. Das bedeutet, dass alle Relationen, die in der Entwicklung von Szenarien berücksichtigt werden, in erster Näherung als linear angenommen werden.

Schwerpunkt im Modell ist die Berücksichtigung von standortspezifischen Charakteristika sowohl bezüglich der Nutzung von regionalen Energiepotenzialen als auch der Deckung von energetischem Bedarf. Dazu unterscheidet das Modell individuelle räumliche Einheiten (Rasterzellen) und ermittelt für jede räumliche Einheit eine optimierte Bedarfsdeckung. Das

Biomassepotenzial

Im Potenzialmodell wurde ein technisches Biomassepotenzial auf Primärenergieebene für Forstwirtschaft sowie Landwirtschaft ermittelt. Bei der Einbindung in das Bedarfsdeckungsmodell wird nun eine weitere Einschränkung dieses Potenzials vorgenommen, da davon ausgegangen wird, dass aufgrund von Konkurrenznutzung nur ein gewisser Prozentsatz des technischen Potenzials für energetische Zwecke genutzt werden kann. Die Einschränkung auf ein energetisch nutzbares Potenzial erfolgt dynamisch in der Einbindung in das RESRO-Modell. Dies erlaubt die Betrachtung individueller Szenarien mit variierenden Annahmen zu einer regionalen Flächenkonkurrenz.

Zu beachten ist hier, dass Umwandlungsverluste von Primärenergie zu Endenergie noch gesondert zu berücksichtigen sind da nicht a-priori bereits in der Ausweisung des Potenzials inkludiert.

Das derart eingeschränkte Potenzial stellt schließlich die in der Optimierung eingesetzte Obergrenze einer möglichen Nutzung des regionalen Biomassepotenzials dar und geht als Wert in kWh/Rasterzelle in das Bedarfsdeckungsmodell ein. Es ist zu beachten, dass Pellets als Abfallprodukt aus der stofflichen Nutzung von Biomasse oder als Importware betrachtet werden und somit nicht als Bestandteil des regional angenommenen energetischen Nutzungsfaktors von Biomasse in die regionale Bilanz eingerechnet werden.

Solarpotenzial

In das Bedarfsdeckungsmodell gehen die im Potenzialmodell ermittelten

- verfügbaren Dachflächen mit südlicher Ausrichtung in $\text{m}^2/\text{Rasterzelle}$ sowie
- die monatliche mittlere Globalstrahlung für Kollektoren mit 45° Neigung und mit 60° Neigung in kWh/m^2

ein.

Den limitierenden Faktor im Bedarfsdeckungsmodell stellen somit die verfügbaren geeigneten Dachflächen je Rasterzelle dar. Welcher Anteil der Dachflächen je Rasterzelle zur Deckung des Bedarfs in Wert gesetzt werden soll, wird im Rahmen der Optimierung ermittelt. Welche Dachflächenanteile für Kollektoren mit 45° oder 60° Neigung verwendet werden, wird ebenfalls mit Hilfe des Optimierungsmodells RESRO entschieden und ist abhängig davon, ob nur eine Warmwasserbereitstellung oder eine teilsolare Raumheizung installiert wird.

Umgebungswärme

Für die im Potenzialmodell eruierte maximal verfügbare Fläche wurde eine Entzugsleistung für Flächenkollektoren sowie ein konstanter Faktor, welcher das Verhältnis der Entzugsleistung von Flächenkollektoren zur Entzugsleistung von Erdsonden wiedergibt, ermittelt. Als limitierende Flächen wurden die Flächen aus der Erdwärmekollektorberechnung festgelegt, da die Kollektornutzung flächensensitiver ist als die Verwendung von Erdsonden und zudem aus Kostengründen eher Flächenkollektoren als Erdsonden installiert werden.

Für die Entzugsleistung wurden als Basis die Entzugsleistungen für Flächenkollektoren angenommen. Um für eine Nutzung von Erdwärmesonden auf die entsprechend höhere flächenbezogene Entzugsleistung zu schließen, wurde ein Multiplikationsfaktor von 5.38 ermittelt. Dieser Faktor wurde anhand der Bildung eines Mittelwertes der Entzugsleistung von Kollektoren und Sonden in den einzelnen Rasterzellen abgeleitet. Hierzu wurden für eine Erdsonde eine mittlere Länge von 80 m und ein Flächenbedarf von 31, 2 m² angenommen. Zur Ermittlung des Flächenbedarfs wurde wie folgt vorgegangen: Der Mindestabstand zwischen den einzelnen Sonden beträgt 6 m, wodurch eine einzelne Sonde zumindest die Fläche eines Kreises von 3 m Radius benötigt, was einer Fläche von 28, 3 m² entspricht. Da sich zwischen den einzelnen Kreisen nicht nutzbare Flächen ergeben, erhöht sich der praktische Platzbedarf einer einzelnen Sonde. Bei der Verlegung der Sonden in einem regelmäßigen Punktraster würde der Platzbedarf einer Sonde somit einem Quadrat von 6 x 6 m entsprechen. Werden die Sonden versetzt, angenähert an eine Sechseckstruktur angeordnet, reduziert sich die ungenutzte Fläche, da die Sondenreihen durch die versetzte Lage leicht überlappen können, wodurch der Abstand der einzelnen Punktreihen anstatt 6 m 5,2 m entspricht. Innerhalb einer Reihe bleibt der Abstand zwischen den Sondenmittelpunkten allerdings 6 m. Bedingt durch diese optimale Verteilung der Sonden ergibt sich ein Platzbedarf von 6 x 5,2 m, was einer Fläche von 31,2 m² entspricht.

4.3.1.2 Einbindung des Bedarfs in das RESRO Modell

Der im Bedarfsmodell ermittelte räumlich aufgelöste monatliche Wärme- und Kältebedarf je 250 m Rasterzelle, angegeben in kWh/Monat, wird über eine Schnittstelle mit dem GIS direkt in das RESRO Modell integriert.

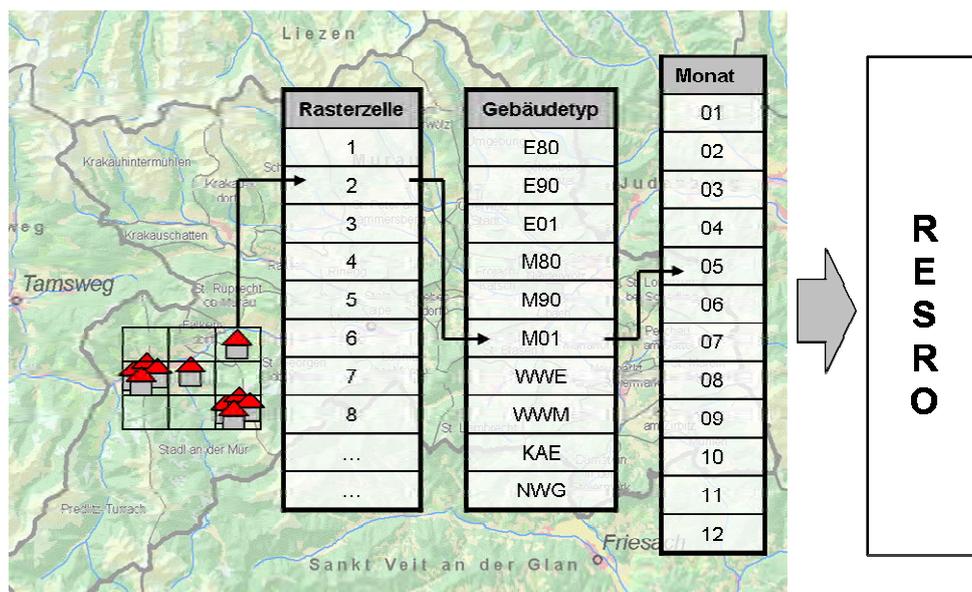


Abbildung 44 Verwaltung des Wärme-, Warmwasser- und Kältebedarfs im RESRO

Abbildung 44 zeigt die Verwaltung des Bedarfs. Für jede individuelle räumliche Einheit wird dabei der Bedarf für die unterschiedlichen Bedarfstypen für jeden Monat ausgewiesen und geht in dieser Detailtreue auch in die Modellierung von Szenarien ins Model RESRO ein.

4.3.1.3 Einbindung der Haustechniken in das RESRO Modell

Wie bereits erwähnt und in Abbildung 8 gezeigt, stellt die Haustechnik das Bindeglied zwischen Bedarf auf Nutzenergieebene und Potenzial auf Sekundärenergieebene dar.

Der Wärme- und Kältebedarf, dessen Modellierung auf Nutzenergieebene in Kapitel 4.2.1 beschrieben wurde, kann mit Hilfe verschiedener Technologien gedeckt werden. Diese Technologien unterscheiden sich hinsichtlich Energieträger und Temperaturniveau der Wärmeabnahme. Die Summe der notwendigen Energie wird auf Ebene der Endenergie abgebildet, der Faktor zwischen Nutzenergie und Endenergie ist der Jahresnutzungsgrad und wird in weiterer Folge als EFF für den Hauptenergieträger und AEL für den notwendigen Stromeinsatz bezeichnet und in diesem Kapitel näher erläutert.

Zur Ermittlung des Endenergiebedarfs an Wärme und Kälte wurden in analoger Weise zu den Referenzgebäuden Haustechnik-Referenzsysteme erstellt, die typische Konfigurationen repräsentieren. Dies ist einerseits notwendig, um die Komplexität des Modells in bewältigbaren Grenzen zu halten, andererseits waren Daten für eine genauere Modellierung nicht vorhanden (vgl. Kapitel 3.3.2). Die Eigenschaften der Haustechnik-Referenzsysteme werden im Folgenden behandelt.

Konfigurationen der Haustechnik-Systeme

Die Referenz-Haustechniksysteme sind primär durch ihren Energieträger und ihr Temperaturniveau charakterisiert. Das Temperaturniveau (z.B. 90/70) bezeichnet dabei die Vor- und Rücklauftemperatur im Heizkreis im Auslegungsfall und ist typischerweise vom Alter der Haustechnikanlage abhängig. Dieses wiederum wurde, da derartige Daten nicht verfügbar waren, als gleich mit dem Alter des Gebäudes angenommen. In Tabelle 16 bis Tabelle 18 sind die im Projekt definierten Referenz-Haustechniksysteme aufgelistet. Die Kreuze in den Spalten „Gebäudealter“ kennzeichnen jene Kombinationen zwischen Gebäudealter und Haustechnik-System die aus gebäude- und wärmetechnischer Sicht als realistisch und sinnvoll identifiziert wurden. In der rechtsten Spalte wird die mögliche Kopplung einer Solaranlage als Option angegeben, was zur Evaluierung der möglichen Deckungsszenarien als Restriktion herangezogen wird.

Für EFH wurde bei allen Systemen außer System 6 (holzbefeuertes Einzelofen) eine kombinierte Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasserbereitung (WWB) angenommen. Die Warmwasserverteilung wurde ohne Zirkulation angenommen. Bei Verwendung von System 6 wird von einer dezentralen direktelektrischen Warmwasserbereitung (sogenannte "E-Boiler") ausgegangen.

Tabelle 16 Zuordnung von möglichen Haustechniksystemen zu Altersklassen für EFH (Quelle: eigene Annahmen)

| System | Energieträger | Temp. niveau | bis 1945 | 1945 - 1980 | 1981 - 1990 | 1991 - 2001 | nach 2001 | Option Solaranlage |
|--------|---------------------|--------------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|
| 1 | Gas | 90/70 | x | x | | | | Unterstützung WWB |
| | Hack | 90/70 | x | x | | | | Unterstützung WWB |
| | HEL | 90/70 | x | x | | | | Unterstützung WWB |
| | Kohle | 90/70 | x | x | | | | - |
| | Holz | 90/70 | x | x | | | | Unterstützung WWB |
| 2 | Gas | 70/55 | | | x | x | | Unterstützung WWB |
| | Hack | 70/55 | | | x | | | Unterstützung WWB |
| | HEL | 70/55 | | | x | x | | Unterstützung WWB |
| | Pellets | 70/55 | | | | x | | Unterstützung WWB |
| | Holz | 70/55 | | | x | x | | Unterstützung WWB |
| 3 | Gas | 40/30 | | | | x | x | Unterstützung WWB + TSRH |
| | HEL | 40/30 | | | | x | x | Unterstützung WWB + TSRH |
| 4 | Gas | 70/55 | | | | x | | - |
| 5 | Fernwärme | 70/55 | | x | x | x | x | - |
| 6 | Holz | --- | x | x | x | | | - |
| 8 | WP Sole/Wasser Hor. | 40/30 | | | | x | x | - |

Tabelle 17 Zuordnung von möglichen Haustechniksystemen zu Altersklassen für MFH (Quelle: eigene Annahmen)

| System | Energieträger | Temp. niveau | WWB dezent. direktel. | bis 1945 | 1945 - 1980 | 1981 - 1990 | 1991 - 2001 | nach 2001 | Option Solaranlage |
|--------|--------------------------|--------------|-----------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|
| 1 | Gas | 90/70 | x | x | x | | | | Unterstützung WWB |
| | Hack | 90/70 | x | x | x | | | | Unterstützung WWB |
| | HEL | 90/70 | x | x | x | | | | Unterstützung WWB |
| 2 | Gas | 70/55 | x | | | x | | | Unterstützung WWB |
| | Hack | 70/55 | x | | | x | | | Unterstützung WWB |
| | HEL | 70/55 | x | | | x | | | Unterstützung WWB |
| 2a | Gas | 55/45 | x | | | | x | x | Unterstützung WWB + TSRH |
| | HEL | 55/45 | x | | | | x | x | Unterstützung WWB + TSRH |
| | Pellets | 55/45 | x | | | | x | x | Unterstützung WWB + TSRH |
| 4 | Gaskombi | 70/55 | komb | | x | x | x | | - |
| 5 | Fernwärme | 70/55 | komb | | x | x | x | x | Unterstützung WWB + TSRH |
| 5a | Fernwärme | 70/55 | x | | x | x | x | x | - |
| 6 | Öl (Verdampfungsbrenner) | --- | x | x | x | | | | - |
| | Kohle | --- | x | x | x | | | | - |
| | Holz | --- | x | x | x | | | | - |
| 6a | Strom | --- | x | | x | | | | - |
| 8 | WP Sole/Wasser Tiefens. | 40/30 | x | | | | x | x | - |

Bei MFH wurde generell von einer getrennten Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasserbereitung ausgegangen, ausgenommen davon sind die Systeme 4 (Gas-Kombitherme) und 5 (Fernwärme). Für die Fernwärme sind allerdings beide Optionen (gemeinsame und getrennte Bereitstellung) vorgesehen. Bei gemeinsamer Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser wurde eine Zirkulationsleitung

angenommen. Diese Unterscheidung der getrennten und kombinierten Wärmebereitstellung ist in den Statistik-Daten nicht vorhanden, daher kann einerseits der Anteil nur geschätzt werden, andererseits ist die Abbildung beider Optionen für die Szenarienentwicklung aufgrund verschiedener Effizienzen von Bedeutung. Bei getrennter Wärmebereitstellung wird für die Warmwasserbereitung ebenso wie beim EFH von dezentraler direktelektrischer Bereitstellung ohne Zirkulation ausgegangen.

Tabelle 18 Mögliche Haustechniksystemen für NWG (Bürogebäude) (Quelle: eigene Annahmen)

| System | Energieträger | Temp. niveau | alle Altersklassen |
|--------|-------------------------|--------------|--------------------|
| 2 | Gas | 70/55 | x |
| | Pellets | 70/55 | x |
| | HEL | 70/55 | x |
| 5a | Fernwärme | 70/55 | x |
| 6a | Strom | --- | x |
| 8 | WP Wasser/Wasser | 40/30 | x |
| | WP Sole/Wasser Tiefens. | 40/30 | x |

Für die Referenzsysteme wurden jene Default-Systeme gewählt, die in der Energieausweis-Software GEQ vordefiniert sind. Angepasst wurden das Alter der Heizkessel an das Gebäudealter und der Speicher sowie die Dicke der Leitungsdämmung. Die Leitungsdämmung wurde abhängig vom Temperaturniveau gemäß Tabelle 19 angenommen.

Tabelle 19 Angenommene Leitungsdämmung in Abhängigkeit des Temperaturniveaus (Quelle: eigene Annahmen)

| Temperaturniveau | Leitungsdämmung |
|------------------|-----------------|
| 90/70 | 0/3 |
| 70/55 | 1/3 |
| 55/45 | 2/3 |
| 40/30 | 2/3 |

Auch für die Option der Solaranlage wurden Referenzsysteme definiert, welche in Tabelle 20 beschrieben sind.

Eine thermische Solaranlage deckt in der Realität den Wärmebedarf nicht zu 100 %, sondern sie wird zusätzlich zu einem anderen Heizungssystem installiert und steht mit diesem System und dem Gebäude in Wechselwirkung. Aus diesem Grund ist eine getrennte Betrachtung von thermischer Solaranlage und konventionellem Wärmebereitstellungssystem problematisch. Aus der Berechnungsstruktur des Deckungsmodells entstand jedoch die Forderung, die thermische Nutzung der Solarenergie als eigenständige Technologie zu betrachten. Um dennoch realistische Ergebnisse zu erhalten, müssen bei der getrennten Betrachtung der thermischen Solaranlage deshalb einige einschränkende Annahmen getroffen werden wie beispielsweise ein realistischer maximaler solarer Deckungsgrad (siehe Beschreibung zu Tabelle 24).

Tabelle 20 Eigenschaften der Referenzsysteme für thermische Solaranlagen (Quelle: eigene Annahmen)
(WWB: Warmwasserbereitung; TSRH: teilsolare Raumheizung)

| | | Ausrichtung | Neigungswinkel | Aperturfläche | Speicher |
|------------|-------------------|-------------|----------------|--------------------|---------------------------------|
| EFH | <i>nur WWB</i> | Süd | 45° | 6 m ² | 400 l |
| | <i>WWB + TSRH</i> | Süd | 60° | 15 m ² | 1200 l |
| MFH | <i>nur WWB</i> | Süd | 45° | 45 m ² | 2000 l + 1000 l Nachheizvol. |
| | <i>WWB + TSRH</i> | Süd | 60° | 100 m ² | 5000 l |

Für die Deckung des Kühlbedarfs, der nur für Nichtwohngebäude ermittelt wurde, wurde vereinfacht eine einzige Technologie zur Kältebereitstellung modelliert. Es handelt sich dabei um einzelne Split-Klimageräte, die mit Hilfe der Außenluft die Raumluft kühlen. Der Energieträger zum Betrieb dieser Geräte stellt somit ausschließlich Strom dar. Da die Nichtwohngebäude nicht in Altersklassen unterteilt sind, gibt es keine weiteren Einschränkungen für den Einsatz dieser Technologie.

Faktoren zwischen Nutz- und Endenergie

Damit im dynamischen Deckungsmodell die Potenziale mit dem Bedarf zur Deckung gebracht werden können, muss nun der Endenergiebedarf für die verschiedenen Gebäude-Haustechnik-Kombinationen berechnet werden. Für jedes Kreuz in Tabelle 16 bis Tabelle 18 wurde dafür mit Hilfe des Energieausweises (GEQ) der Heizenergiebedarf (also der Bedarf des Gebäudes auf Endenergieebene) berechnet.

Zur Berechnung des Heizenergiebedarfs (HEB) ist anzumerken, dass dieser im Energieausweis als Summe aus Strombedarf und Bedarf an "Hauptenergieträger" (Gas, Öl, Pellets u.ä.) abzüglich der Beiträge aus einer thermischen Solaranlage und der Umweltwärme bei Verwendung einer Wärmepumpe definiert ist. Die Anforderung im vorliegenden Projekt war, den Energiebedarf getrennt nach elektrischem Strom und "Hauptenergieträger" sowie nach Solarenergie bzw. Umweltwärme auszuweisen. Es wurden die Faktoren EFF und AEL eingeführt, die wie folgt definiert sind:

$$EFF_{\text{Jahr}} = \frac{HEB_{\text{Hauptenergieträger, Jahr}}}{(HWB + WWWB)_{\text{Jahr}}}$$

$$AEL_{\text{Jahr}} = \frac{HEB_{\text{el. Strom, Jahr}}}{(HWB + WWWB)_{\text{Jahr}}}$$

Aus mehreren Studien (JUNGMEIER ET AL., 1997a, SCHRIEFL, 2007) ist bekannt, dass der reale Energieverbrauch zur Wohnraumbeheizung (gemessen auf Endenergie-Ebene) meist

unter den berechneten Werten liegt. Als Grund für diese Differenz wird das Benutzerverhalten angegeben, das zwar von Haushalt zu Haushalt verschieden ist, bei dem sich aber im Durchschnitt ein eindeutiger Trend ablesen lässt. Der Faktor zwischen berechnetem Wert und gemessenem Wert wird als "Benutzungsfaktor" oder "Servicefaktor" bezeichnet, ist jedoch in keiner Norm definiert. Er bezieht sich nur auf die Wohnraumbeheizung, nicht auf die Warmwasserbereitung.

Großen Einfluss auf den Benutzungsfaktor hat die Art der Beheizung (automatisch / nicht automatisch), die Temperaturregelung (automatisch / nicht automatisch) sowie die tatsächliche Nutzung und Konditionierung der Räume (z.B. unbeheiztes Schlafzimmer). Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, diese Parameter zu berücksichtigen, im vorliegenden Projekt wurde der Ansatz aus SCHRIEFL (2007) gewählt, in den als Parameter der Gebäudetyp (EFH, MFH), der berechnete HWB und die Automatisierung der Heizungsanlage (automatisch / nicht automatisch) eingehen. Für NWG wurde der Benutzungsfaktor konstant mit 0,9 angenommen.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass mit dieser teilweisen Berücksichtigung des Benutzerverhaltens ein Schritt weg vom Energieausweis, der den Bedarf unter standardisierten Bedingungen angibt, in Richtung einer Verbrauchsberechnung geschieht, die das reale Nutzerverhalten einzubeziehen versucht. Folglich werden die Ergebnisse aus dieser Berechnung zwischen den Werten aus dem Energieausweis und den realen Werten liegen.

Die beiden Faktoren EFF und AEL können sowohl als durchschnittlicher Wert über das ganze Jahr oder auch je Monat berechnet werden. In der Übergangszeit sowie im Sommer sind die Werte dieser Faktoren höher, da durch geringere Ausnutzung des Haustechniksystems die Verluste im Verhältnis zur benötigten Nutzenergie höher sind als bei hoher Ausnutzung im Winter. Der jährliche Verlauf dieser Faktoren hängt weiters davon ab, wie die Heizperiode definiert ist und ob die Warmwasserbereitung kombiniert oder getrennt von der Wohnraumbeheizung erfolgt, da dies für die Aufteilung zwischen EFF und AEL eine wesentliche Rolle spielt. Die zeitliche Auflösung im Modell ist mit einem Monat festgelegt, in erster Näherung werden die Werte für EFF und AEL jedoch über das Jahr konstant angenommen.

Die Werte für EFF und AEL unterscheiden sich bei Anwendung eines Haustechnik-Systems auf verschiedene Gebäudealtersklassen um durchschnittlich 12 % für EFF bei Einfamilienhäusern und 9 % für EFF bei Mehrfamilienhäusern. Für den Faktor AEL liegt eine höhere Streuung vor, sie liegt sowohl für Einfamilienhäuser als auch für Mehrfamilienhäuser durchschnittlich bei 25 %. Trotz dieser Diskrepanz wurde für die erste Version des Modells jeweils der Mittelwert für EFF und AEL aus den Werten für die verschiedenen Gebäudealtersklassen gebildet, sodass im RESRO-Modell die Faktoren EFF und AEL unabhängig vom Gebäudealter eingesetzt werden können.

EFF und AEL sind weiters abhängig vom Standort des Gebäudes, da je nach Klima die zuvor genannte Auslastung des Haustechniksystems variiert und auch die nutzbaren zurückgewinnbaren Verluste des Systems (also Verluste der Leitungen innerhalb der konditionierten Zone, die folglich zur Wohnraumbeheizung genutzt werden können, vorausgesetzt es besteht zeitgleich ein Heizwärmebedarf) mit höherem Heizwärmebedarf steigen. Vereinfachend wurden die Faktoren EFF und AEL für einen Standort ausgewertet. Repräsentativ wurde der Standort Murau (Klimazone lt. Energieausweis: Zentralalpen ZA), 900 m gewählt. Dies ist laut Statistikdaten jener Höhenbereich im Bezirk Murau mit der höchsten Anzahl an Wohngebäuden. Tabelle 21 bis Tabelle 23 zeigen die berechneten Werte für EFF und AEL je Haustechniksystem an diesem Standort (konstant über das Jahr und gemittelt für alle Gebäudealtersklassen).

Tabelle 21 Werte für EFF und AEL je Haustechnik-Referenzsystem für EFH am Standort Murau (ZA, 900 m)
(Quelle: eigene Berechnungen)

| System | Energieträger | Temp.- niveau | Faktor Strom AEL | Faktor E-Träger EFF |
|---------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 1 | Gas | 90/70 | 0.016 | 1.250 |
| | Hack | 90/70 | 0.088 | 1.146 |
| | HEL | 90/70 | 0.054 | 1.269 |
| | Kohle | 90/70 | 0.016 | 1.183 |
| | Holz | 90/70 | 0.016 | 1.183 |
| 2 | Gas | 70/55 | 0.031 | 1.177 |
| | Hack | 70/55 | 0.086 | 1.260 |
| | HEL | 70/55 | 0.066 | 1.203 |
| | Pellets | 70/55 | 0.099 | 1.337 |
| | Holz | 70/55 | 0.031 | 1.373 |
| 3 | Gas | 40/30 | 0.051 | 0.996 |
| | HEL | 40/30 | 0.080 | 1.009 |
| 4 | Gas | 70/55 | 0.011 | 0.779 |
| 5 | Fernwärme | 70/55 | 0.007 | 0.801 |
| 6 | Holz | --- | 0.129 | 0.711 |
| 8 | WP Sole/Wasser Hor. | 40/30 | 0.495 | 0.807 |

Tabelle 22 Werte für EFF und AEL je Haustechnik-Referenzsystem für MFH am Standort Murau (ZA, 900 m)
(Quelle: eigene Berechnungen)

| System | Energieträger | Temp.- niveau | Faktor Strom AEL | Faktor E-Träger EFF |
|---------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 1 | Gas | 90/70 | 0.089 | 1.101 |
| | Hack | 90/70 | 0.151 | 1.205 |
| | HEL | 90/70 | 0.120 | 0.950 |
| 2 | Gas | 70/55 | 0.147 | 0.912 |
| | Hack | 70/55 | 0.194 | 0.980 |
| | HEL | 70/55 | 0.175 | 0.919 |
| 2a | Gas | 55/45 | 0.229 | 0.771 |
| | HEL | 55/45 | 0.253 | 0.780 |
| | Pellets | 55/45 | 0.268 | 0.828 |
| 4 | Gas | 70/55 | 0.006 | 1.297 |
| 5 | Fernwärme | 70/55 | 0.006 | 1.300 |
| 5a | Fernwärme | 70/55 | 0.176 | 0.827 |
| 6 | Öl (Verdampfungsbrenn | --- | 0.087 | 0.768 |
| | Kohle | --- | 0.087 | 0.870 |
| | Holz | --- | 0.087 | 0.870 |
| 6a | Strom | --- | 0.706 | 0.000 |
| 8c | WP Sole/Wasser Tiefen | 40/30 | 0.458 | 0.679 |

Tabelle 23 Werte für EFF und AEL je Haustechnik-Referenzsystem für NWG am Standort Murau (ZA, 900 m)
(Quelle: eigene Berechnungen)

| System | Energieträger | Temp.- niveau | Faktor Strom AEL | Faktor E-Träger EFF |
|---------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 2 | Gas | 70/55 | 0.069 | 1.098 |
| | Pellets | 70/55 | 0.112 | 1.140 |
| | HEL | 70/55 | 0.095 | 1.109 |
| 5a | Fernwärme | 70/55 | 0.068 | 0.973 |
| 6a | Strom | --- | 0.916 | 0.000 |
| 8.b | WP Wasser/Wasser | 40/30 | 0.248 | 0.727 |
| 8.c | WP Sole/Wasser Tiefen | 40/30 | 0.312 | 0.669 |

Die Faktoren für den Einsatz einer thermischen Solaranlage wurden in ähnlicher Art und Weise ermittelt. Es ist hier zu beachten, dass als Nutzenergie, also jenem Wert, der bei der Berechnung von EFF unter dem Bruchstrich steht, jene Energiemenge betrachtet wird, die von der Solaranlage in den Speicher geliefert wird. Für die Endenergie, also den Wert, der beim Faktor EFF über dem Bruchstrich steht, wird die Globalstrahlung auf die geneigte Fläche herangezogen. Zur Bestimmung dieser Faktoren wurde unterstützend das Programm Polysun (VELASOLARIS, 2010) herangezogen. Die Werte sind in Tabelle 24 aufgelistet.

Tabelle 24 Werte für EFF und AEL bei Einsatz einer thermischen Solaranlage (Quelle: eigene Berechnungen);
 WWB ... Warmwasserbereitung, TSRH ... teilsolare Raumheizung.

| | | AEL | EFF |
|---------|------------|------------|-------------|
| EFH_SOL | WWB | 0.0 | 3.20 |
| | WWB + TSRH | 0.0 | 3.85 |
| MFH_SOL | WWB | 0.0 | 4.3 |
| | WWB + TSRH | 0.0 | 33.2 |
| NWG_SOL | WWB | 0.0 | 3.85 |

Es gilt als Richtwert, dass mit der Solaranlage im Fall einer reinen Warmwasserbereitung max. 70 % des WWWB einer Zelle und im Fall einer WWB und teilsolaren Raumheizung max. 30 % des WWWB + HWB mit der Solaranlage gedeckt werden kann. Bei zusätzlichem Einsatz einer thermischen Solaranlage bleiben also die Faktoren für den "Hauptenergieträger" unverändert, auch die Werte für AEL - ausgenommen der Variante WWB + TSRH im MFH: hier wird bei Installation einer Solaranlage davon ausgegangen, dass von der bisherigen dezentralen direktelektrischen Warmwasserbereitung auf ein Zweileiter-Netz umgestellt wird, weshalb der Faktor AEL des konventionellen Systems auf 0,01 reduziert wird. Die zusätzlichen Verluste im Verteilnetz werden der Solaranlage zugerechnet, was auch den außergewöhnlich hohen Wert für EFF erklärt.

Die Deckung des Kühlbedarfs wird in diesem Projekt zweitrangig behandelt und die dafür notwendige Haustechnik in einem einzigen Referenzsystem angenommen und als einzelne Split-Klimageräte mit Außenluft als Wärmesenke vereinfacht dargestellt. Da die Außenluft als Wärmesenke unendlich angenommen wird, braucht dem Faktor EFF in diesem Fall kein Wert zugewiesen werden. Die notwendige Energie zum Kühlen muss folglich nur als elektrischer Strom bereitgestellt werden, die Faktor AEL wurde einem durchschnittlichen Wert von 3 angenommen.

Der Grund für diese radikale Vereinfachung im Vergleich zur Wärmebedarfsdeckung ist die mangelnde Informationsdichte bezüglich der Input-Daten, welche eine genauere Abbildung des Kühlenergiebedarfs auf Ebene der Endenergie kaum sinnvoll möglich macht. Des Weiteren ist mit dem Energieausweis die Berechnung des Kühl(energie)bedarfs nur für Nichtwohngebäude vorgesehen, die in diesem Projekt aber nur einen sehr geringen Anteil des Gebäudebestandes ausmachen (die relevanten Daten sind in der Statistik nur für jene NWG verfügbar, in denen mindestens ein Hauptwohnsitz gemeldet ist). Auch gibt es in der Statistik keinerlei Angaben zur Haustechnik, die zur Deckung des Kühlbedarfs verwendet wird; für die Heizung wurden zumindest die Heizungsart und der überwiegend verwendete Brennstoff angegeben. Ein feineres Raster bei den Referenzsystemen zur Kühlung würde folglich für das Modell eine höhere Komplexität bedeuten, die Abbildung aufgrund fehlender Input-Daten aber nicht unbedingt realitätsnäher machen.

Spezifische Kosten und CO₂-Emissionen

Um die Heizungssysteme hinsichtlich ihrer Investitionskosten und laufenden Kosten beurteilen zu können, wurden alle verwendeten Heizungssysteme mit entsprechenden Kosten hinterlegt.

Aus der Berechnungsstruktur im RESRO-Modell ergibt sich die Anforderung an die Aufbereitung der Kostendaten, dass diese als spezifischer Gesamtbetrag für das jeweilige Heizungssystem angegeben werden müssen. Dadurch kommt es zu beträchtlichen Unschärfen in der monetären Bewertung der Heizungssysteme, da nicht in Leistungsklassen unterschieden werden kann. Die Konsequenz ist, dass Heizungssysteme kleiner Leistungsklassen tendenziell zu günstig und Heizungssysteme großer Leistungsklassen (Einsatz in MFH und Bürogebäuden) tendenziell zu teuer bewertet werden.

In Tabelle 25 sind die Kosten für Investition und Wartung der Heizungssysteme (ohne Wärmeverteilung und Wärmeabgabe) angegeben. Die Investitionskosten sind in Euro je kW Heizlast aufbereitet, damit sie direkt im Modell verwendet werden können. Es zeigt sich wie erwartet, dass die Installation von Heizungssystemen mit konventionellen Energieträgern (Öl, Gas, u.a.) deutlich günstiger ist als jener, die hauptsächlich erneuerbare Energieträger nutzen (Pellets, WP, u.a.). Die Fernwärme wurde aufgrund des starken Einflusses der Leistungsklasse auf die Kosten je installierter kW Heizleistung in Kosten für die Heizleistung eines EFH und eines MFH geteilt.

Tabelle 25 Der Kosten der Wärmeerzeuger [€/kW] und der jährlichen Wartung in [€/a] für unterschiedliche Heizungssysteme. (Quelle: BIERMAYER, 2009, BAUMANN 2009, ENERGIE AG OBERÖSTERREICH 2009, SCHRIEFL 2007, VKI 2003-2009, VDI 2067, 2000)

| Heizungssystem | Kosten | Kosten |
|--|-----------------------------|-----------------------|
| | Wärmeerzeuger ¹⁾ | Wartung ²⁾ |
| | [€/kW] | [€/a System] |
| Pelletsbrenner | 1158 | 398 |
| Hackschnitzel | 740 | 235 |
| Stückholz | 697 | 274 |
| WP_Direktverdampfer | 1220 | 77 |
| WP_Sole_Wasser_Flachkollektor | 989 | 77 |
| WP_Sole_Wasser_Tiefensonde | 1289 | 77 |
| WP_Wasser_Wasser | 1457 | 77 |
| WP_Luft_Wasser | 972 | 77 |
| Ölkessel | 704 | 330 |
| Gaskessel | 619 | 205 |
| Flüssiggas | 727 | 205 |
| Elektroheizung | 472 | 20 |
| Koks / Kohle - Kessel | 552 | 274 |
| Fernwärme EFH ³⁾ | 370 | 127 |
| Fernwärme MFH ⁴⁾ | 85 | 127 |
| Solar_WWB_EFH (6 m ² / 400 l) ⁵⁾ | 806 | 24 |
| Solar_TSRH_EFH (15 m ² / 1200 l) ⁵⁾ | 622 | 47 |
| Solar_WWB_MFH (45 m ² / 3000 l) ⁶⁾ | 787 | 177 |
| Solar_TSRH_MFH (100 m ² / 5000 l) ⁶⁾ | 596 | 298 |

¹⁾ Die Kosten der Wärmeerzeuger sind immer mit einem Warmwasserspeicher aber ohne einem Wärmeabgabesystem gerechnet (exkl. MWST)

²⁾ Die Wartungskosten beziehen sich auf ein Heizungssystem je Jahr (exkl. MWST)

³⁾ Fernwärmeübergabestation für ein EFH (5-25 kW) ⁴⁾ Fernwärmeübergabestation für ein MFH (30-60 kW)

^{5), 6)} Solaranlage zur WWB und TSRH für ein EFH und ein MFH; die Kollektorleistung wird mit 0,7 kW je m² Kollektorfläche definiert

Die thermische Solaranlage stellt wie im vorigen Kapitel beschrieben ein "add-on" an ein bestehendes Heizungssystem dar. Zur Kostenermittlung wurden für ein EFH und ein MFH typische Solarsysteme zur reinen Warmwasserbereitung (WWB) und zur WWB + teilsolaren Raumheizung (TSRH) definiert und monetär bewertet. Auch hier wurden die Kosten auf die installierte Leistung des Heizungssystems bezogen, wobei der Umrechnungsfaktor von 0,7 kW_{th} pro m² Kollektorfläche (Quelle: www.iea-shc.org) eingesetzt wurde. Durch die zusätzliche Installation einer thermischen Solaranlage steigen die Gesamt-Investitionskosten für das Heizungssystem, während sich die laufenden Betriebskosten des Basis-Heizungssystems reduzieren.

Die Kosten für die Wartung des Heizungssystems und der zugehörigen Infrastruktur (Kamin, Öltank, Pellets-Lager u.ä.) sind als Kosten je System und Jahr angegeben.

Die zeitliche Preisentwicklung der Investitionskosten und auch der Wartungskosten über die letzten Jahre zeigt sich deutlich weniger dynamisch als die Preisentwicklung der laufenden Kosten, welche sich hauptsächlich aus den Brennstoffkosten ergibt.

Der Brennstoffpreis unterliegt zum einen einer starken zeitlichen (auch jahreszeitlichen) Schwankung und zum anderen gibt es deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verfügbarkeit von belastbaren und aktuellen Werten. Die angeführten Werte in Tabelle 26 decken den Zeitraum vom 4. Quartal 2009 bis zum 1. Quartal 2010 ab. Die Basis bilden die Erhebungen des Vereins für Konsumenteninformation (VKI, 2009-2010), ergänzt mit anderen im Internet verfügbaren Quellen wie www.e-control.at, www.propellets.at, www.oil-gas.at und verschiedenen Landesenergieversorgern. In Tabelle 26 sind Brennstoffpreise in €/kWh für die verschiedenen Energieträger angegeben, wobei Min, Mittel und Max die Bandbreite der in den verschiedenen Quellen vorgefundenen Angaben bezeichnen.

Tabelle 26 Der Brennstoffpreis in [€/kWh] für unterschiedliche Energieträger (Quelle: basierend auf [VKI 2009-2010](#) ergänzt mit www.e-control.at, www.propellets.at, www.oil-gas.at und Angaben von Landesenergieversorgern)

| Brennstoffpreis | | | |
|-------------------------------|------------|---------------|------------|
| Energieträger | Min | Mittel | Max |
| | [€/kWh] | [€/kWh] | [€/kWh] |
| Heizöl | 0.066 | 0.071 | 0.078 |
| Erdgas | 0.065 | 0.066 | 0.067 |
| Flüssiggas | 0.066 | 0.071 | 0.074 |
| Kohle, Koks | 0.055 | 0.064 | 0.073 |
| Strom (Tagstrom) | 0.153 | 0.163 | 0.180 |
| Strom (Nachstrom) | 0.124 | 0.132 | 0.146 |
| Scheitholz (0,33 - 1m) | 0.017 | 0.030 | 0.037 |
| Hackgut (Jahresmenge) | 0.016 | 0.019 | 0.022 |
| Pellets | 0.042 | 0.042 | 0.043 |
| Fernwärme (groß u. konv.) | 0.083 | 0.089 | 0.093 |
| Fernwärme (klein u. Biomasse) | 0.073 | 0.091 | 0.095 |

Abbildung 45 zeigt die Lage der Brennstoffkosten für die verschiedenen Energieträger in €/kWh zueinander. Zusätzlich ist die Bandbreite dargestellt, in der die Angaben zu den Kosten in den verschiedenen Literaturquellen variieren. Im Gegensatz zu den Kosten der Heizungssysteme können hier die erneuerbaren Energieträger mit geringen Brennstoffkosten punkten: Die konventionellen Energieträger (Heizöl, Gas und Kohle) sind um den Faktor 1,5 bis 2 teurer als die erneuerbaren Energieträger. Die Kosten für Fernwärme und insbesondere für Strom liegen schließlich deutlich über den konventionellen Energieträgern.

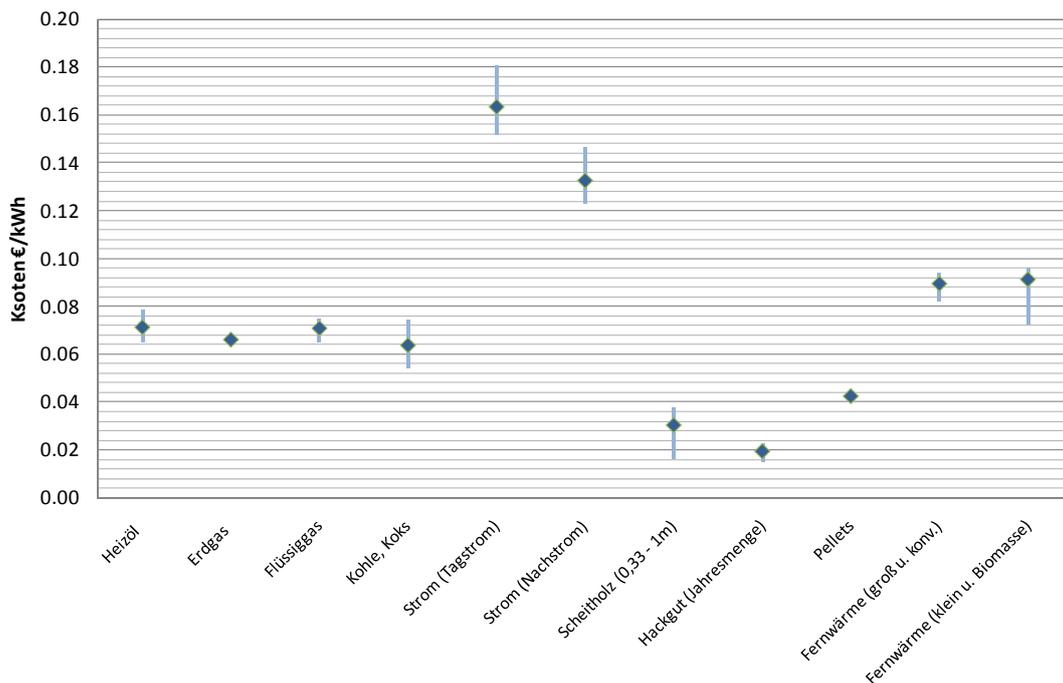


Abbildung 45: Der Brennstoffpreis in [€/kWh] für unterschiedliche Energieträger (Quelle: BIERMAYER 2009, BAUMANN 2009, ENERGIE AG OBERÖSTERREICH, 2009, SCHRIEFL 2007, VKI 2009-2010)

Um eine Beurteilung hinsichtlich der Umwelteigenschaften der verwendeten Heizungssysteme vornehmen zu können, ist es notwendig, eine adäquate Bewertungsgröße einzuführen. Im gegenständlichen Projekt wurde hierzu das relative Treibhauspotential, auch als CO₂-Äquivalent bekannt, herangezogen.

Das relative Treibhauspotenzial (engl.: Global Warming Potential oder GWP) oder CO₂-Äquivalent gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Als Vergleichswert dient Kohlendioxid, die Abkürzung lautet CO₂e. Der Wert beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung im Vergleich zu CO₂ über einen bestimmten Zeitraum, zumeist werden 100 Jahre betrachtet.

In Tabelle 27 sind die CO₂-Äquivalente für die Erzeugung von Wärme aus verschiedenen Energieträgern auf Basis mehrerer Literaturquellen zusammengestellt. Die sich ergebenden Bandbreiten sind bedingt durch unterschiedliche zu Grunde gelegte Rohstoffe, Produktions- und Umwandlungsverfahren. Weiters unterscheiden sich die Berechnungsmethoden, wobei im Europäischen Raum zumeist mit Gemis (www.oeko.de), Umberto (www.umberto.de) oder Ecolnvent (www.ecoinvent.ch) gerechnet wird.

Tabelle 27: Das Treibhauspotenzial (GWP) oder CO₂-Äquivalent für unterschiedliche Energieträger zur Wärmezeugung. (Quelle: FRITSCH 2007, FRITSCH 2008, JUNGMEIER ET AL. 1997a, JUNGMEIER ET AL. 1997b, OBERNBERGER 2009, SCHINNERL 2009 UND WIESER 2004)

| Wärme | CO₂-Äquivalent | | |
|------------------------------------|---|--|---|
| | Min [kg CO ₂ /MWh] | Mittel [kg CO ₂ /MWh] | Max [kg CO ₂ /MWh] |
| Heizöl | 228 | 285 | 330 |
| Gas | 181 | 229 | 277 |
| Kohle, Koks | 360 | 414 | 467 |
| Fernwärme Biomasse | 8 | 14 | 20 |
| Fernwärme (Kalorisch) | 198 | 287 | 406 |
| Fernwärme (Abwärme Kohlekraftwerk) | 99 | 134 | 190 |
| Pellets | 11 | 17 | 33 |
| Stückholz (Buche, Tanne) | 5 | 18 | 38 |
| Waldhackgut | 2 | 8 | 16 |
| Sonnenenergie | 0 | 0 | 0 |
| Geothermie | 0 | 0 | 0 |

In Tabelle 28 sind die CO₂-Äquivalente für die Stromerzeugung unter Verwendung verschiedener Technologien dargestellt. Zumeist wird von einem Strommix unbekannter Herkunft ausgegangen und das CO₂-Äquivalent für den österreichischen Strommix nach ENTSO (www.entsoe.eu) herangezogen. Aufgrund der schwankenden Zusammensetzung in der Stromerzeugung im Laufe des Jahres und verschiedener Literaturquellen ergibt sich die gezeigte Bandbreite von 270 bis 617 kg CO₂/MWh für den Energiemix UCTE / ENTSO.

Tabelle 28: Das Treibhauspotenzial (GWP) oder CO₂-Äquivalent für unterschiedliche Energieträger zur Stromerzeugung (Quelle: FRITSCH 2007, FRITSCH 2008, JUNGMEIER 1997a, JUNGMEIER 1997b LENZEN 2008, OBERNBERGER 2009, SCHINNERL 2009 UND WIESER 2004, ÖNORM EN ISO 15603:2008)

| Elektrizität | CO₂-Äquivalent | | |
|---|---|--|---|
| | Min [kg CO ₂ /MWh] | Mittel [kg CO ₂ /MWh] | Max [kg CO ₂ /MWh] |
| Wasserkraftwerk | 7 | 18 | 44 |
| Kernkraftwerk | 16 | 67 | 130 |
| Kohlekraftwerk (Steinkohle, Braunkohle) | 863 | 1052 | 1340 |
| Energiemix UCTE / ENTSO | 270 | 398 | 617 |
| Biomassekraftwerk | 15 | 17 | 20 |
| Windkraftwerk | 11 | 17 | 24 |
| Photovoltaik | 46 | 91 | 130 |

In Abbildung 46 sind die CO₂-Äquivalente für die unterschiedlichen Energieträger zur Bereitstellung von Wärme und Strom aufgetragen (Werte aus Tabelle 27 und Tabelle 28). Regenerative Energieträger sind dabei mit Werten deutlich unter 100 kg CO₂/MWh zu finden. Das CO₂-Äquivalent für Strom aus Kernkraftwerken liegt ebenfalls knapp unter 100 kg CO₂/MWh, wobei neue Studien zeigen, dass aufgrund des immer geringeren Urangehaltes der verfügbaren Erze der Aufwand der Aufbereitung massiv steigt und damit auch das CO₂-Äquivalent für die Stromerzeugung aus Kernkraftwerken in Zukunft steigen wird (vgl. LENZEN 2008).

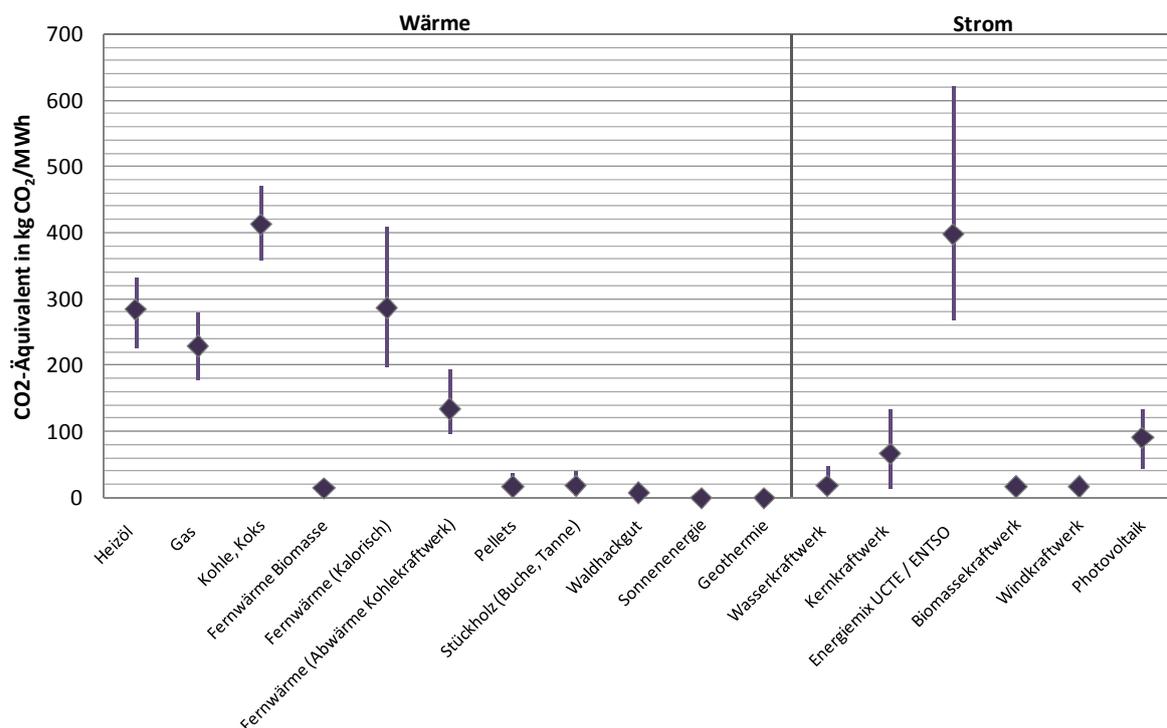


Abbildung 46 Das CO₂-Äquivalent für unterschiedliche Energieträger zur Wärme- und Stromerzeugung im Überblick (Quelle: FRITSCH 2007, FRITSCH 2008, JUNGMEIER 1997a, JUNGMEIER 1997b, OBERNBERGER 2009, SCHINNERL 2009 UND WIESER 2004)

Datenschnittstelle und Einbindung der Daten in das RESRO-Modell

Die räumliche Verknüpfung der Daten erfolgt über die im RESRO-Modell integrierte Schnittstelle im GIS. Die Maske des RESRO-Modells ist in Tabelle 29 dargestellt. In dieser Tabelle sind alle Technologien mit den relevanten im Modell angenommenen Parametern aufgelistet. Zu erwähnen ist hier, dass Investitionskosten (IVC) und Betriebskosten (OMC) nicht direkt an die spezifisch installierte Kapazität in Kilowatt gekoppelt sind, sondern an das Maß eines maximalen monatlichen Outputs in kWh unter Berücksichtigung von Monatsvolllaststunden. Diese Adaption ist durch die Struktur des Modells erforderlich.

Für räumliche Einheiten individuell variierende Parameter sind in Tabelle 29 mit einem x gekennzeichnet und werden im GIS-Interface des Modells verwaltet. Primär trifft dies auf

bereits existierende Installationen der einzelnen Haustechniken in individuellen räumlichen Einheiten zu (siehe Spalte CAP in Tabelle 29).

Tabelle 29 Verknüpfung von Bedarf und Haustechnik mit den zugehörigen Kosten und Emissionen (Quelle: eigene Darstellung)

| | CAP | IVC | OMC | ESC | AEL | EEF | EMI | Beschreibung | Temperaturniveau |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|-----|---------------------|------------------|
| EG9 | x | 0,113 | 0,050 | 0,066 | 0,016 | 2,262 | 277 | Gas | 90/70 |
| EB9 | x | 0,159 | 0,067 | 0,022 | 0,088 | 2,482 | 4 | Hack | 90/70 |
| EO9 | x | 0,106 | 0,080 | 0,070 | 0,054 | 2,301 | 330 | HEL | 90/70 |
| EK9 | x | 0,143 | 0,078 | 0,055 | 0,016 | 2,566 | 450 | Kohle | 90/70 |
| EH9 | x | 0,150 | 0,078 | 0,037 | 0,016 | 2,566 | 13 | Holz | 90/70 |
| EG7 | x | 0,113 | 0,050 | 0,066 | 0,031 | 1,868 | 277 | Gas | 70/55 |
| EB7 | x | 0,159 | 0,067 | 0,022 | 0,086 | 2,080 | 4 | Hack | 70/55 |
| EO7 | x | 0,106 | 0,080 | 0,070 | 0,066 | 1,912 | 330 | HEL | 70/55 |
| EP7 | x | 0,248 | 0,114 | 0,043 | 0,099 | 2,076 | 27 | Pellets | 70/55 |
| EH7 | x | 0,150 | 0,078 | 0,037 | 0,031 | 2,204 | 13 | Holz | 70/55 |
| EG4 | x | 0,113 | 0,050 | 0,066 | 0,051 | 1,408 | 277 | Gas | 40/30 |
| EH4 | x | 0,106 | 0,080 | 0,070 | 0,080 | 1,429 | 330 | HEL | 40/30 |
| EGC7 | x | 0,113 | 0,050 | 0,066 | 0,011 | 1,507 | 277 | Gas - Kombi | 70/55 |
| EF7 | x | 0,053 | 0,036 | 0,092 | 0,007 | 1,537 | 132 | Fernw ärme | 70/55 |
| EH0 | x | 0,150 | 0,078 | 0,037 | 0,129 | 1,578 | 13 | Holz | - |
| MG9 | x | 0,113 | 0,011 | 0,066 | 0,089 | 1,789 | 277 | Gas | 90/70 |
| MB9 | x | 0,159 | 0,014 | 0,022 | 0,151 | 1,973 | 4 | Hack | 90/70 |
| MO9 | x | 0,106 | 0,017 | 0,070 | 0,120 | 1,524 | 330 | HEL | 90/70 |
| MG7 | x | 0,113 | 0,011 | 0,066 | 0,147 | 1,388 | 277 | Gas | 70/55 |
| MB7 | x | 0,159 | 0,014 | 0,022 | 0,194 | 1,504 | 4 | Hack | 70/55 |
| MO7 | x | 0,106 | 0,017 | 0,070 | 0,175 | 1,401 | 330 | HEL | 70/55 |
| MG5 | x | 0,133 | 0,013 | 0,066 | 0,229 | 1,086 | 277 | Gas | 55/45 |
| MO5 | x | 0,106 | 0,017 | 0,070 | 0,253 | 1,101 | 330 | HEL | 55/45 |
| MP5 | x | 0,248 | 0,024 | 0,043 | 0,268 | 1,179 | 27 | Pellets | 55/45 |
| MGC7 | x | 0,113 | 0,011 | 0,066 | 0,006 | 1,941 | 277 | Gas - Kombi | 70/55 |
| MFC7 | x | 0,012 | 0,008 | 0,092 | 0,006 | 1,784 | 132 | Fernw ärme - Kombi | 70/55 |
| MF7 | x | 0,012 | 0,008 | 0,092 | 0,176 | 1,221 | 132 | Fernw ärme | 70/55 |
| MK0 | x | 0,143 | 0,017 | 0,055 | 0,087 | 1,497 | 450 | Kohle | - |
| MH0 | x | 0,150 | 0,017 | 0,037 | 0,087 | 1,497 | 13 | Holz | - |
| ME0 | x | 0,172 | 0,002 | 0,153 | 0,091 | 1,000 | 617 | Strom | - |
| UWEF4 | 0 | 0,123 | 0,013 | 0,000 | 0,495 | x | 0 | WP Sole/Wasser Hor. | 40/30 |
| UWES4 | 0 | 0,160 | 0,013 | 0,000 | 0,495 | x | 0 | WP Sonde | 40/30 |
| ES0 | 0 | 0,201 | 0,020 | 0,000 | 0,01 | 3,198 | 0 | Solar WWB | |
| ETS0 | 0 | 0,156 | 0,016 | 0,000 | 0,01 | 3,848 | 0 | Solar WWB+TSRH | |
| MS0 | 0 | 0,197 | 0,020 | 0,000 | 0,01 | 4,282 | 0 | Solar WWB | |
| MST0 | 0 | 0,149 | 0,015 | 0,000 | 0,01 | 33,200 | 0 | Solar WWB+TSRH | |
| NG7 | x | 0,133 | 0,013 | 0,066 | 0,069 | 1,098 | 277 | Gas | |
| NP7 | x | 0,248 | 0,114 | 0,043 | 0,112 | 1,140 | 27 | Pellets | |
| NO7 | x | 0,106 | 0,017 | 0,070 | 0,095 | 1,109 | 330 | HEL | |
| NF7 | x | 0,012 | 0,008 | 0,092 | 0,068 | 0,973 | 132 | Fernw ärme | |
| UCLIO | 0 | 0,123 | 0,013 | 0,000 | 0,33 | 0,66 | 0 | Klimaanlage | |

4.3.2 Abbildung des Ist-Zustands der Wärme- und Kältebedarfsdeckung

Die Darstellung des Ist-Zustands der Wärmebedarfsdeckung dient als Ausgangspunkt für die Erstellung von optimierten Energiesystemausgestaltungen hinsichtlich der Deckung des Wärme - und Kältebedarfs der Untersuchungsregionen Murau und Vulkanland, wie sie mit dem dynamischen Bedarfsdeckungsmodell RESRO durchgeführt werden können. Basierend auf dem derzeit vorhandenen Energiesystem können Substitutionen von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energieträger und die damit verbundenen verringerten Treibhausgasemissionen und etwaige Kostenänderungen auf räumlicher Ebene abgebildet werden.

Die Darstellung des Ist-Zustandes der Wärmebedarfsdeckung in den Untersuchungsgebieten stützt sich vor allem auf einen Rasterdatensatz der STATISTIK AUSTRIA (STATISTIK AUSTRIA 2009 GIS), welcher die Hausanschlüsse für gemeldete Hauptwohnsitze (HWS) je Rasterzelle und die jeweilige Bauperiode bis zum Jahr 2001 angibt. Hier ist wiederum zu beachten, dass aus Datenschutzgründen nur für jene Zellen, in denen sich mindestens 4 gemeldete Wohnungen befinden auch die Anzahl der gemeldeten HWS in diesen Rasterzellen sowie eine weitere Differenzierung nach verwendetem Energieträger und Bauperiode angegeben ist.

Tabelle 30 zeigt die verfügbaren Merkmalskombinationen von Bauperiode und verwendetem Energieträger für gemeldete HWS und deren Anzahl gemäß Statistik Austria.

Tabelle 30 Anzahl der gemeldeten Anschlüsse je Energieträger und Bauperiode in Bezug auf HWS (Quelle: eigene Darstellung nach STATISTIK AUSTRIA 2009 GIS)

| Energieträger | Bauperiode | | | | |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|-----------|-----------------------|
| | Vor 1945 | 1945 – 1980 | 1981 - 1990 | nach 1991 | Alter nicht verfügbar |
| Fernwärme | 256 | 594 | 329 | 140 | 435 |
| Heizöl | 2460 | 6673 | 2678 | 1877 | 1924 |
| Holz | 3677 | 4480 | 1618 | 621 | 372 |
| Kohle | 279 | 568 | 225 | 37 | 20 |
| Strom | 321 | 999 | 724 | 48 | 139 |
| Gas | 237 | 663 | 125 | 120 | 144 |
| Alternativ | 23 | 54 | 39 | 25 | 16 |
| Hackschnitzel/Pellets | 353 | 463 | 237 | 178 | 133 |
| Sonstige | 26 | 79 | 15 | 3 | 13 |

Für die weitere Berechnung im Projekt werden die beiden Klassen „Vor 1945“ und „1945 – 1980“ zur Klasse „Bis 1980“ aggregiert. Die Klasse „Alter nicht verfügbar“ wird in die Klasse „Bis 1980“ integriert.

Für jene Rasterzellen, für die die in Tabelle 30 ausgewiesenen Information vorliegen, werden im Folgenden die ausgewiesenen Anschlüsse je Energieträger und Bauperiode entsprechend ihrem relativen Anteil an der Gesamtzahl der Anschlüsse in dieser Rasterzelle für die Deckung des ausgewiesenen Wärme- beziehungsweise Kältebedarfs angenommen. Somit wird für jede Rasterzelle der im Rahmen der Bedarfsmodellierung (siehe Kapitel 4.2) zugewiesene Wärme- und Warmwasserbedarf des jeweiligen Gebäudetyps anteilig durch die in der Statistik für die Rasterzelle ausgewiesenen Energieträger gedeckt. Hinsichtlich des Kältebedarfs wird angenommen, dass nur NWG einen Kühlbedarf aufweisen und dieser ausschließlich durch Strom gedeckt wird. Als Ergebnis ergibt sich in jeder Rasterzelle für jeden Gebäudetyp der Anteil des Wärme- und Kältebedarfs, der durch einen in der Statistik Austria ausgewiesenen Energieträger gedeckt wird.

Da es auch innerhalb der Energiebereitstellungstechnologien je nach Bauperiode und Gebäudetyp eine Differenzierung der möglichen Haustechniksysteme gibt (siehe Kapitel

4.3.1.3), wird der Anteil des Wärme- bzw. Kältebedarfs je Gebäudetyp und Energiebereitstellungstechnologie nochmals anteilig auf die vorhandenen Bauperioden des Gebäudetyps in der Rasterzelle verteilt. Dadurch können den Energiebereitstellungstechnologien innerhalb einer Rasterzelle auch die entsprechenden spezifischen Eigenschaften wie die verbundenen Temperaturniveaus, Effizienzen, Emissionen sowie Kosten zugeteilt werden.

Durch die Einschränkungen der Input-Datensätze aufgrund des Datenschutzes ergeben sich Lücken in der räumlichen Abbildung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Gebäude. Für diese Rasterzellen wurde wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben ein Wärme- und Kältebedarf ermittelt und angenommen, dass dieser jeweils zur Hälfte durch Öl und Holz gedeckt wird. Die genannten Einschränkungen in den Eingangsdaten beeinflussen die Möglichkeiten der realitätsgetreuen Abbildung der derzeitigen Wärmebedarfsdeckung in erheblichem Ausmaß. Es können jedoch wenn detailliertere Daten vorhanden sind, diese einfach in das Modellframework integriert werden, wodurch eine genauere räumliche Abbildung des Wärme- und Kältebedarfs ermöglicht wird.

Wie in Kapitel 4.3.1.2 beschrieben, sind die Heiztechniksysteme auch mit spezifischen Eigenschaften wie Effizienzen, Kosten, Emissionen und Strombedarf zum Betrieb verknüpft. Die Zuteilung im RESRO-Modell ist in Tabelle 29 dargestellt. Somit können die Gesamtkosten wie auch die verbundenen Emissionen des bestehenden Wärme- und Kälte-Versorgungssystems ermittelt werden. Die oben genannten Einschränkungen hinsichtlich einer realitätsgetreuen Zuweisung der bestehenden Haustechnik-Systeme und eingesetzten Energieträger zu Gebäuden beeinflussen dementsprechend auch die Ausweisung der Kosten und Emissionen des Wärme- und Kältebedarfsdeckungssystems. Somit müssen die für die Untersuchungsgebiete ausgewiesenen Kosten und Emissionen als Näherung der tatsächlichen Gegebenheiten verstanden werden.

Abbildung 47 zeigt den IST-Zustand der Wärmebereitstellung in den Untersuchungsregionen Murau und dem Vulkanland bezogen auf das Jahr 2001.

Wärme- und Warmwasserversorgung: IST

rsa iSPACE

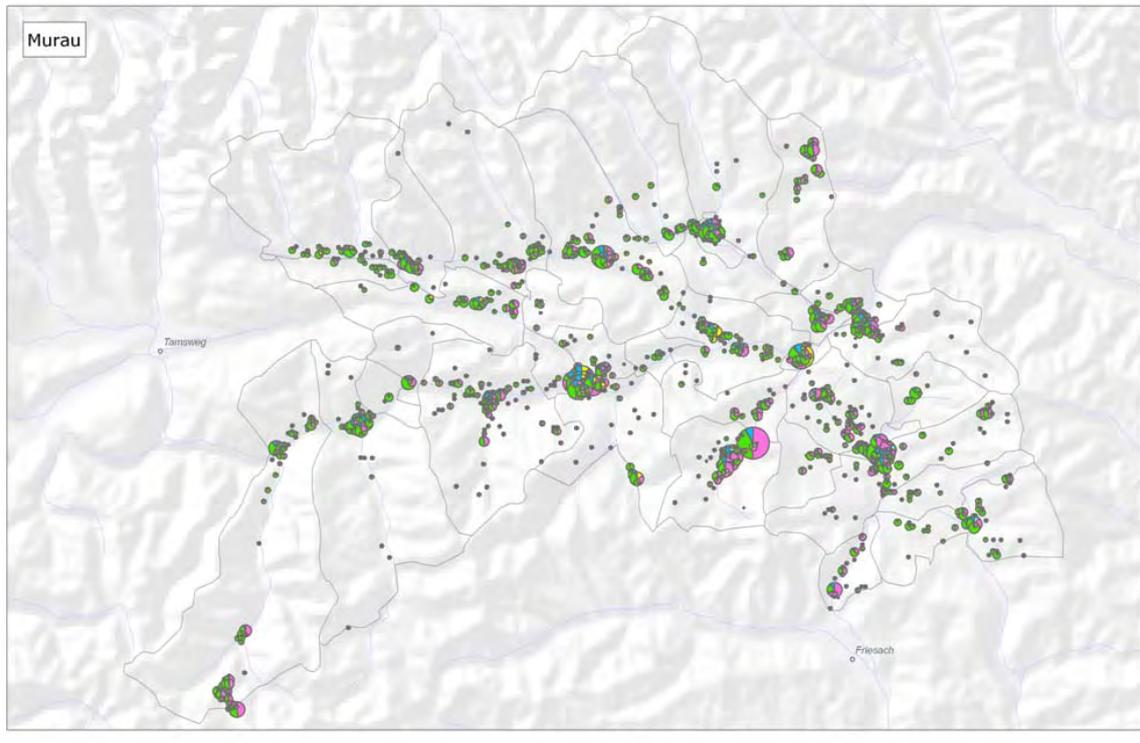
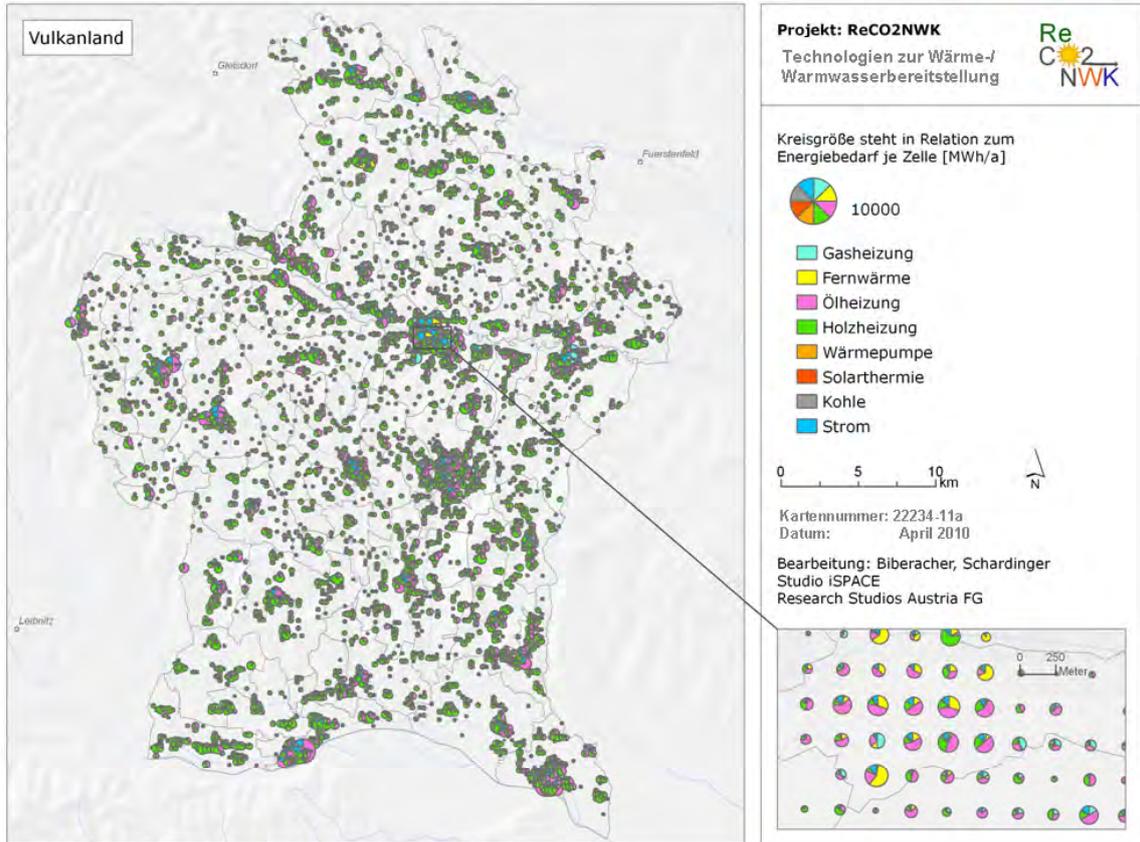


Abbildung 47 Darstellung der Deckung des Wärme- und Kältebedarfs in den Untersuchungsgebieten bezogen auf das Jahr 2001

Der im Projekt auf Basis oben dargestellter Berechnungsmethodik räumlich ermittelte Ist-Zustand (bezogen auf 2001) gibt an, dass rund 38 % des Wärmebedarfes in Murau durch Öl, 7 % durch Strom, 2 % durch Kohle, 3 % durch Fernwärme, 1 % durch Gas und 48 % durch erneuerbare Energieträger (Biomasse, Umgebungswärme, Solar) gedeckt wurden. Dies entspricht in etwa auch den in der Energievision Murau (ENERGIEAGENTUR OBERSTEIERMARK 2007) angegebenen Werten (37% Öl, 12 % Strom, 4 % Kohle, 47 % Erneuerbare) für das Jahr 2001, wobei Strom und Kohle in der gegenständlichen Berechnung unterschätzt und die erneuerbaren Energieträger leicht überschätzt werden. Diese Differenzen ergeben sich durch die oben beschriebenen Lücken im Datensatz der Statistik Austria auf Grund des Datenschutzes, welche spekulativ durch Öl und Biomasse geschlossen wurden.

Für das Vulkanland ergibt sich in diesem Projekt im IST-Zustand (bezogen auf 2001) für Öl ein Anteil von rund 30 %, 3 % Gas, 7 % Strom, 2 % Kohle, 2 % Fernwärme und rund 55 % erneuerbare Energieträger. Bei einem Vergleich mit verfügbaren Daten der LEA (2005) zum Energiebedarf im Wärmebereich für Wohngebäude im Vulkanland, welche sich allerdings auf das Jahr 2005 beziehen, zeigen sich ähnliche Werte. In diesem Bericht wird der fossile Anteil (Öl, Gas, Kohle) mit 37 % angegeben, der Stromanteil mit 7 % und der Biomasseanteil mit 52 % (wobei hier auch der Anteil der Nahwärme mit 3 % hinzugerechnet werden kann).

Ein Kühlbedarf wird in diesem Projekt nur für NWG angenommen und wird ausschließlich durch Split-Kühlgeräte, wie in Kapitel 4.3.1.3 beschrieben, gedeckt, woraus sich ausschließlich ein Bedarf an Strom ergibt. Der Bedarf an Kälte wurde bereits in Abbildung 41 auf Rasterbasis ausgewiesen. Da es in den Statistikdaten keine Angaben zum Ist-Zustand der Kälteversorgung gibt, wird die Kühlung im Ist-Zustand und in den Szenarien gleichbleibend angenommen und deshalb an dieser Stelle nicht separat dargestellt.

4.3.3 Dynamische Bedarfsdeckungsmodellierung - Szenarien zur Wärme- und Kältebedarfsdeckung

Aufbauend auf die Darstellung des Ist-Zustandes des Energiesystems zur Wärme- und Kältebedarfsdeckung (Kapitel 4.3.2) werden Szenarien entwickelt, welche ein optimiertes System unter Zugrundelegung unterschiedlicher Annahmen zu Kosten für CO₂e – Emissionen ausweisen. Diese Szenarien werden mit dem im Projekt entwickelten Modell RESRO (siehe Kapitel 4.3.1) auf Basis von Kosten exemplarisch für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland optimiert. Dazu wurden fünf Szenarien entwickelt, welche im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben sind. Die Szenarien bilden die Bedarfsdeckung für Raumwärme und Warmwasserbereitung ab, die Kälteversorgung ist generell nur über eine Technologie vorgesehen und deswegen nicht Bestandteil einer Optimierung. Eine Entwicklung von Szenarien zur Abdeckung des Kühlbereichs ist aber durch das Modell vorgesehen und möglich.

Der Stromanteil in den Szenarien ergibt sich als kumulierter Wert aus der Warmwasserbereitung in MFH mit Strom sowie dem Stromanteil, der für den Betrieb der jeweiligen Haustechnikanlage benötigt wird.

Berücksichtigt wird in den ausgewiesenen Szenarien ausschließlich die Sichtweise des Endabnehmers. Die Netzinfrastruktur sowie Netz-Einspeisepunkte sind im Modell ebenfalls implementiert und bereitgestellt. Die ausgewiesenen Szenarien verzichten aber auf eine Berücksichtigung der Netzinfrastruktur, da dadurch die Komplexität eines Szenarios soweit gesteigert würde, dass eine modellbasierte Optimierung der ganzen Region nicht mehr möglich ist. Eine entsprechende Berücksichtigung im Szenario kann erfolgen, wenn kleine Subregionen innerhalb der betrachteten Modellregionen ausgewählt werden, für die sodann eine genauere Betrachtung möglich ist (siehe Abbildung 48).

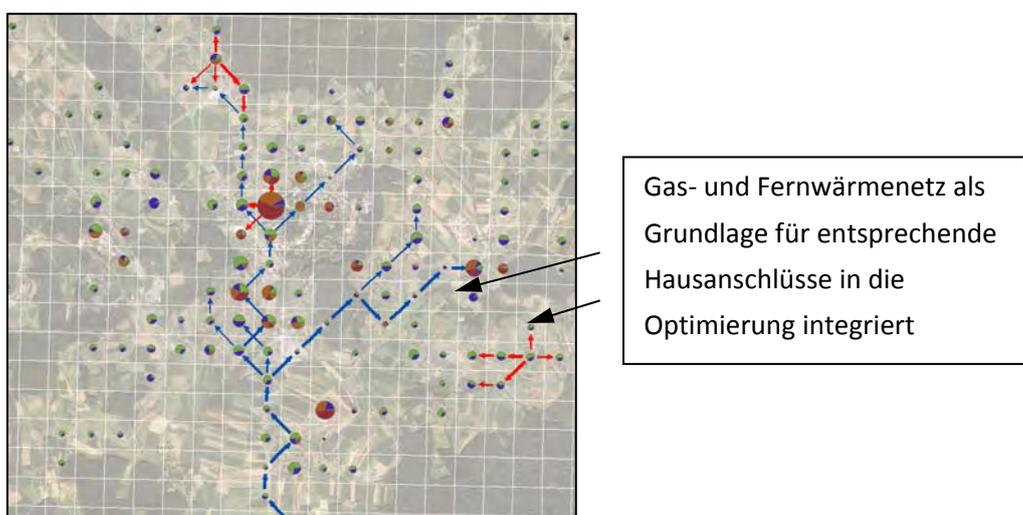


Abbildung 48 Sub-regionale Betrachtung mit Berücksichtigung der Netz-gebundenen Infrastruktur (exemplarisch)

Die Szenarien sowie deren Ergebnisse für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland sind im Folgenden kurz dargestellt. Die Größe der Kreise in den Ergebniskarten repräsentiert die Summe des Wärme- und Warmwasserbedarfs in (kWh/a) in der jeweiligen Rasterzelle. Im Hinblick auf die energetische Nutzung der regionalen forstwirtschaftlichen Biomassepotenziale liegt den Szenarien die Annahme zugrunde, dass 20 % des regionalen forstwirtschaftlichen Biomassezuwachses (Basis ist der modellierte Biomassezuwachs aus Kapitel 4.1.1) für eine energetische Verwertung zur Verfügung stehen. Diese Vorgabe ist eine Annahme und kann beliebig variiert werden. Entsprechend wurde in den Szenarien angenommen, dass Holz- und Hackschnitzeltechnologien bis zur Erreichung dieses Limits ausgebaut werden können, aber nicht darüber. Pelletsheizungen sind darin nicht inkludiert, da hierfür eine regionale Ressourcenbereitstellung bisher nicht relevant ist.

Szenario 1: Kostenoptimierung ohne Emissionskosten

Ausgehend vom Ist-Zustand des Energiesystems wird eine Optimierung ausschließlich nach den Kosten der Haustechniksysteme und Energieträger durchgeführt. Die Zielfunktion der

Optimierung minimiert in diesem Szenario die auf ein Jahr kumulierten Gesamtkosten des Energiesystems. Es setzen sich somit die günstigsten Technologien durch und es kommt zu einer Substitution von teureren Technologien. Hinsichtlich der erneuerbaren Energieträger werden die Obergrenzen der in der Region verfügbaren Energieträger mitberücksichtigt. Die Emissionen werden in diesem Szenario nicht mit Kosten belegt.

Die Ergebnisse dieses Szenarios für die Untersuchungsregionen sind in Abbildung 49 dargestellt. Aus dieser rein auf Kosten basierenden Optimierung ergeben sich, ausgehend vom Ist-Zustand, folgende Anteile der Energieträger in der Wärmebereitstellung:

Murau: Öl ~ 8,3 %, Gas 13 %, Strom 10 %, Kohle 8 %, Fernwärme 10 % und erneuerbare Energieträger ~ 52 %.

Vulkanland: Öl ~ 7 %, Gas 33 %, Strom 9 %, Kohle 2 %, Fernwärme 22 % und erneuerbare Energieträger ~ 27 %.

Während in Murau der Anteil der erneuerbaren Energieträger im Vergleich zur Ist-Situation der Wärmeversorgung leicht steigt, reduziert sich dieser im Vulkanland durch reine Kostenoptimierung deutlich auf rund die Hälfte.

Szenario 2: Emissionskosten 20 €/t

Ausgehend vom Ist-Zustand des Energiesystems wird eine Optimierung hinsichtlich einer Minimierung der Gesamtkosten des Energiesystems durchgeführt. Neben den Kosten für die Haustechnik und die Energieträger wird in diesem Szenario zudem ein Preis von 20 € pro Tonne CO₂e zugrunde gelegt.

Die Ergebnisse dieses Szenarios für die Untersuchungsregionen sind in Abbildung 50 dargestellt.

Durch eine Belegung der Emissionen mit Kosten ergeben sich im Vergleich zum rein kostenoptimierten Szenario 1 höhere Anteile an Holz und Fernwärme in beiden Untersuchungsregionen. Die sonstigen erneuerbaren Energieträger (Umgebungswärme und Solar) bleiben weitgehend gleich, ebenso wie Strom. Die Anteile von Kohle und Öl reduzieren sich, die Verwendung von Gas nimmt in der Region Murau zu und im Vulkanland ab.

Die Anteile in den Untersuchungsregionen stellen sich im vorliegenden Szenario wie folgt dar:

Murau: Öl ~ 7,7 %, Gas 14,8 %, Strom 9,7 %, Kohle 0,6 %, Fernwärme 11,5 % und erneuerbare Energieträger ~ 55,6 %.

Vulkanland: Öl ~ 6,8 %, Gas 31 %, Strom 8,8 %, Kohle 0,9 %, Fernwärme 23,6 % und erneuerbare Energieträger ~ 28,7 %.

Szenario 3: Emissionskosten 50 €/t

Ausgehend vom Ist-Zustand des Energiesystems wird auch in diesem Szenario eine Optimierung hinsichtlich einer Minimierung der Gesamtkosten des Energiesystems durchgeführt. Pro Tonne CO₂e wird in diesem Szenario ein Preis von 50 € hinterlegt.

Die Ergebnisse dieses Szenarios für die Untersuchungsregionen des Projektes Murau und das Vulkanland sind in Abbildung 51 dargestellt.

Durch eine Erhöhung der Kosten für CO₂e-Emissionen im Vergleich zu Szenario 2 reduziert sich der Anteil von Öl in beiden Untersuchungsregionen deutlich, der Gasanteil sinkt leicht. Der Einsatz von Holz nimmt zu, während die weiteren erneuerbare Energieträger Umgebungswärme (Wärmepumpe) und Solar konstant bleiben. Eine deutliche Erhöhung ergibt sich im Bereich der Fernwärme.

Die Anteile in den Untersuchungsregionen stellen sich im vorliegenden Szenario wie folgt dar:

Murau: Öl ~ 0,8 %, Gas 13,3 %, Strom 9,7 %, Kohle 0,5 %, Fernwärme 17,3 % und erneuerbare Energieträger ~ 58,4 %.

Vulkanland: Öl ~ 0,4 %, Gas 30,7 %, Strom 8,6 %, Kohle 0,5 %, Fernwärme 30 % und erneuerbare Energieträger ~ 29,7 %.

Szenario 4: Emissionskosten 150 €/t

Dieses Szenario geht von deutlich höheren Emissionskosten als die beiden vorher beschriebenen Szenarien in Höhe von 150 €/je Tonne CO₂e aus. Daraus ergeben sich für die fossilen Energieträger und Wärmebereitstellungstechnologien deutlich höhere Gesamtkosten als für jene, die auf erneuerbaren Energieträgern basieren. Somit wird ein großer Teil der fossil basierten Technologien durch erneuerbare Energieträger substituiert.

Die Ergebnisse dieses Szenarios für die Untersuchungsregionen des Projektes Murau und das Vulkanland sind in Abbildung 52 dargestellt.

Durch eine weitere Erhöhung der Kosten für Emissionen werden Ölheizungen in beiden Untersuchungsregionen vollständig substituiert und Gas geht im Vergleich zu Szenario 3 stark, Fernwärme leicht zurück. Großen Zuwachs erfahren in diesem Szenario die Erneuerbaren Energieträger und hier insbesondere Holz.

Die Anteile der Energieträger stellen sich in diesem Szenario wie folgt dar:

Murau: Öl 0 %, Gas 0,2 %, Strom 10,4 %, Kohle 0,2 %, Fernwärme 17,6 % und erneuerbare Energieträger ~ 71,8 %.

Vulkanland: Öl 0 %, Gas 2,7 %, Strom 10,7 %, Kohle 0,04 %, Fernwärme 27 % und erneuerbare Energieträger ~ 59,5 %.

Szenario 5: Maximale Nutzung regionaler erneuerbarer Energiepotenziale (Autarkie-Szenario)

In diesem Szenario wird eine maximale Nutzung der im Rahmen der Potenzialermittlung berechneten regionalen Obergrenzen für Solar, Biomasse und Umgebungswärme angenommen. Das heißt, dass bevorzugt regional verfügbare erneuerbare Energieträger zum Einsatz kommen. Dazu wurde angenommen, dass 40 % des forstwirtschaftlichen regionalen Biomassezuwachses für eine energetische Nutzung bereitstehen.

Zudem wurde angenommen, dass Fernwärme vollständig aus regional verfügbarer landwirtschaftlicher Biomasse bereitgestellt wird. Hierzu wurde ein Limit von 20% des regionalen landwirtschaftlichen Zuwachses für eine energetische Nutzung angenommen.

Die Ergebnisse des Autarkie-Szenarios sind in Abbildung 53 für die beiden Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland dargestellt.

Öl, Gas und Kohle werden fast vollständig substituiert. Erneuerbare Energieträger stellen in beiden Regionen mehr als $\frac{3}{4}$ des Endenergiebedarfs im Wärmebereich. Die regionale Selbstversorgung würde sich in Murau auf 78 % belaufen und im Vulkanland auf 45 %.

Folgende Anteile der Energieträger ergeben sich in diesem Szenario:

Murau: Öl 0 %, Gas 0 %, Strom 10,4 %, Kohle 0 %, Fernwärme 3 % und erneuerbare Energieträger ~ 86,5 %.

Vulkanland: Öl 0 %, Gas 0,2 %, Strom 12,6 %, Kohle 0,9 %, Fernwärme 8,7 % und erneuerbare Energieträger ~ 77,7 %.

Wärme- und Warmwasserversorgung: Szenario 1

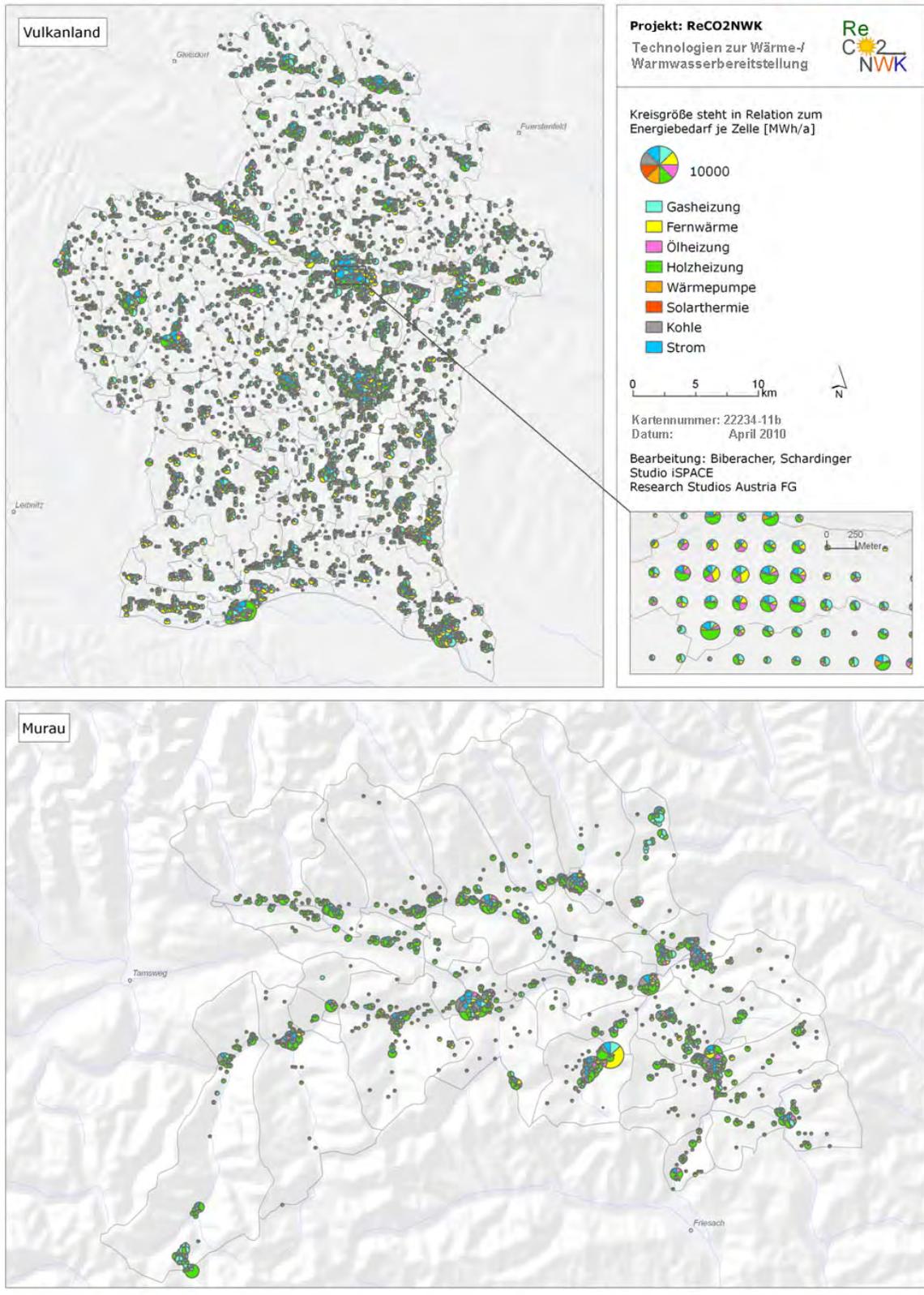


Abbildung 49 Ergebnisse von Szenario 1 in den Untersuchungsregionen Murau und Vulkanland

Wärme- und Warmwasserversorgung: Szenario 2

rsaisPACE

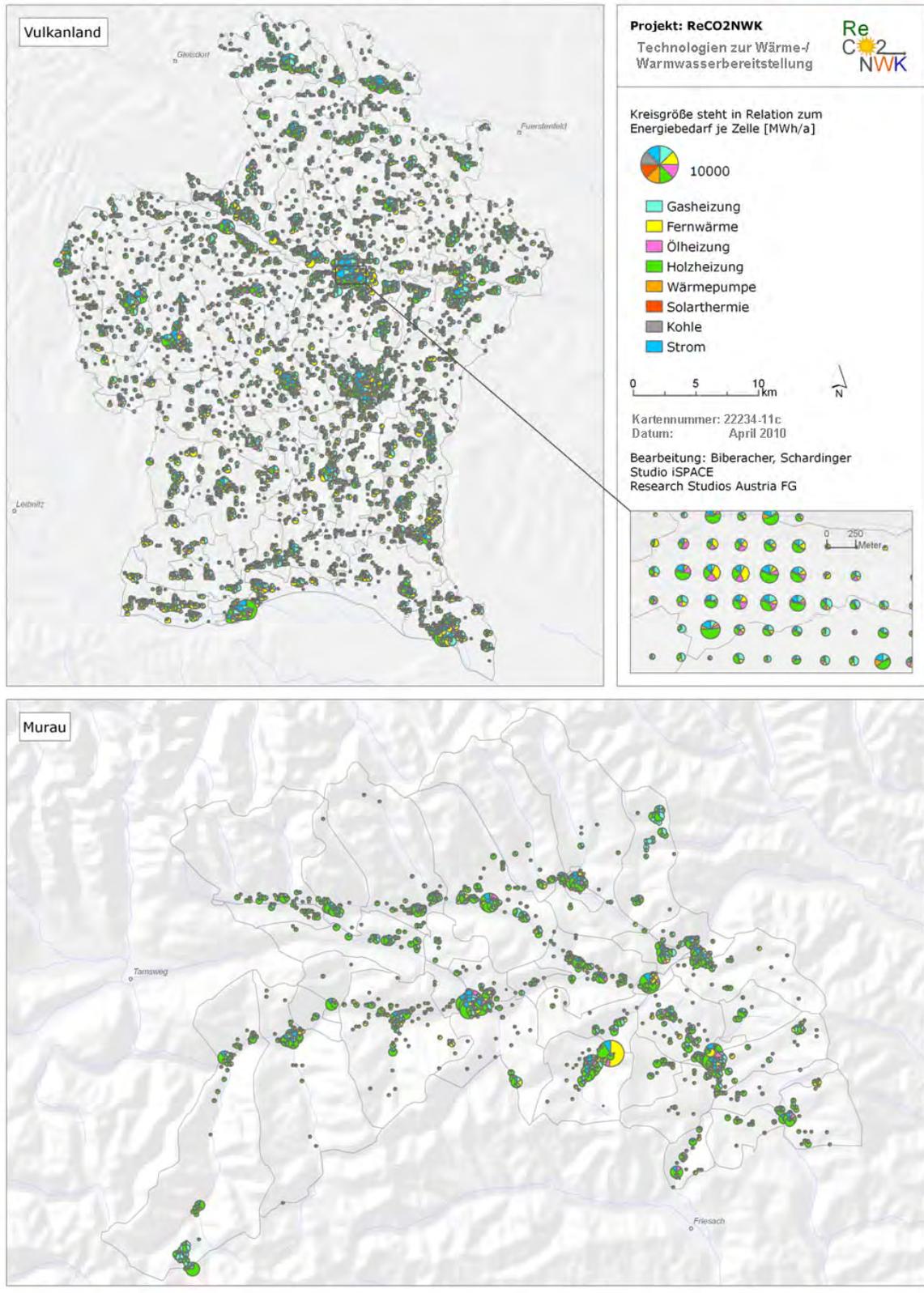


Abbildung 50 Ergebnisse aus Szenario 2 für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland

Wärme- und Warmwasserversorgung: Szenario 3

rsaisPACE

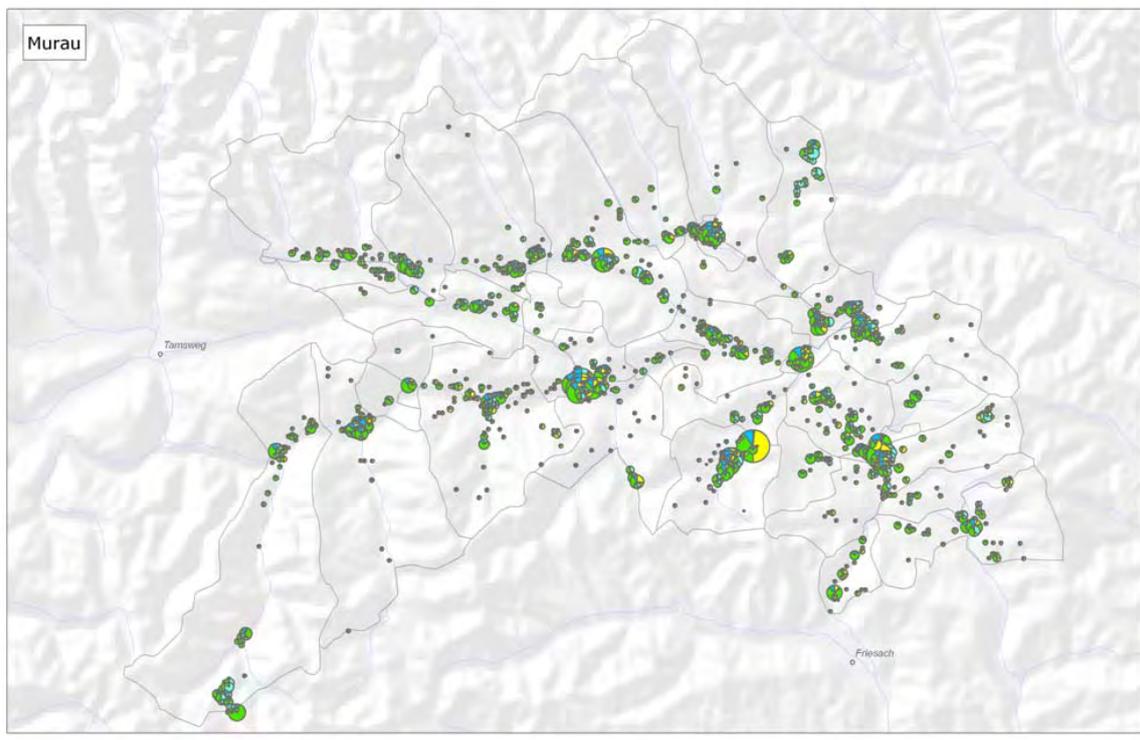
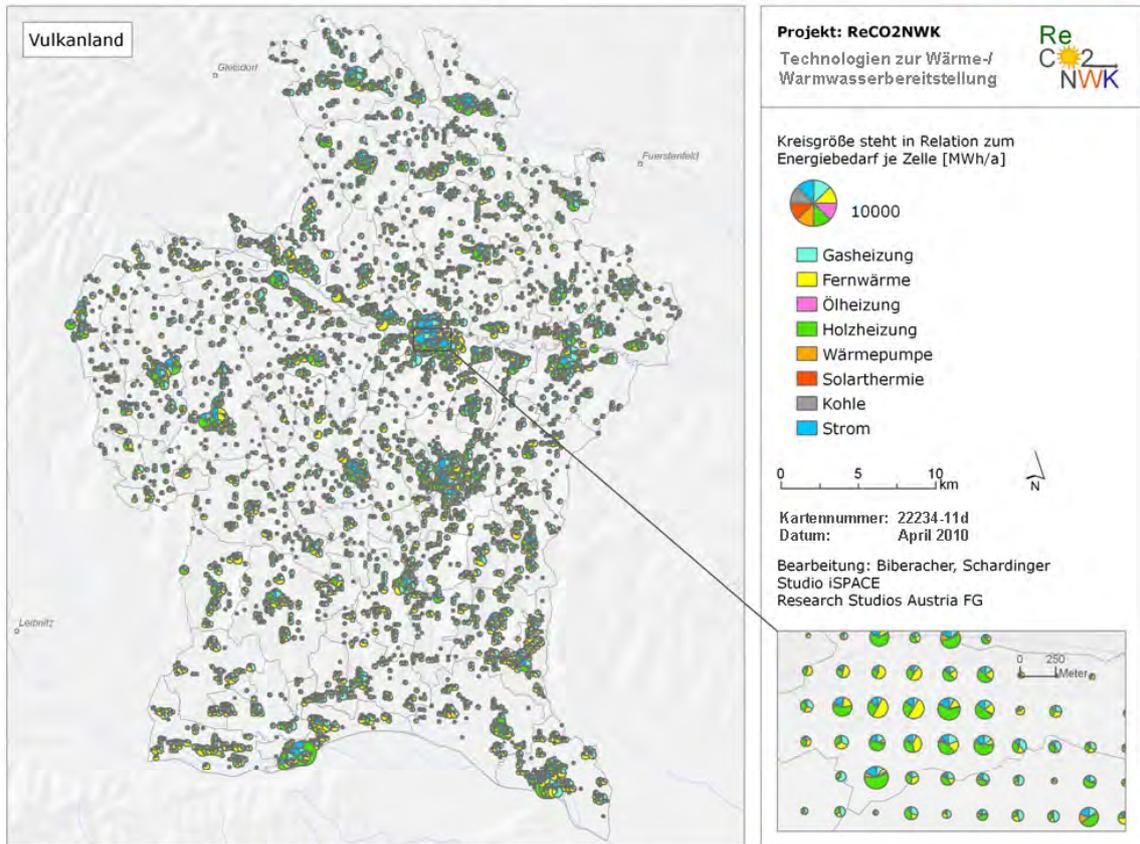


Abbildung 51 Ergebnisse aus Szenario 3 für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland

Wärme- und Warmwasserversorgung: Szenario 4

rsa:SPACE

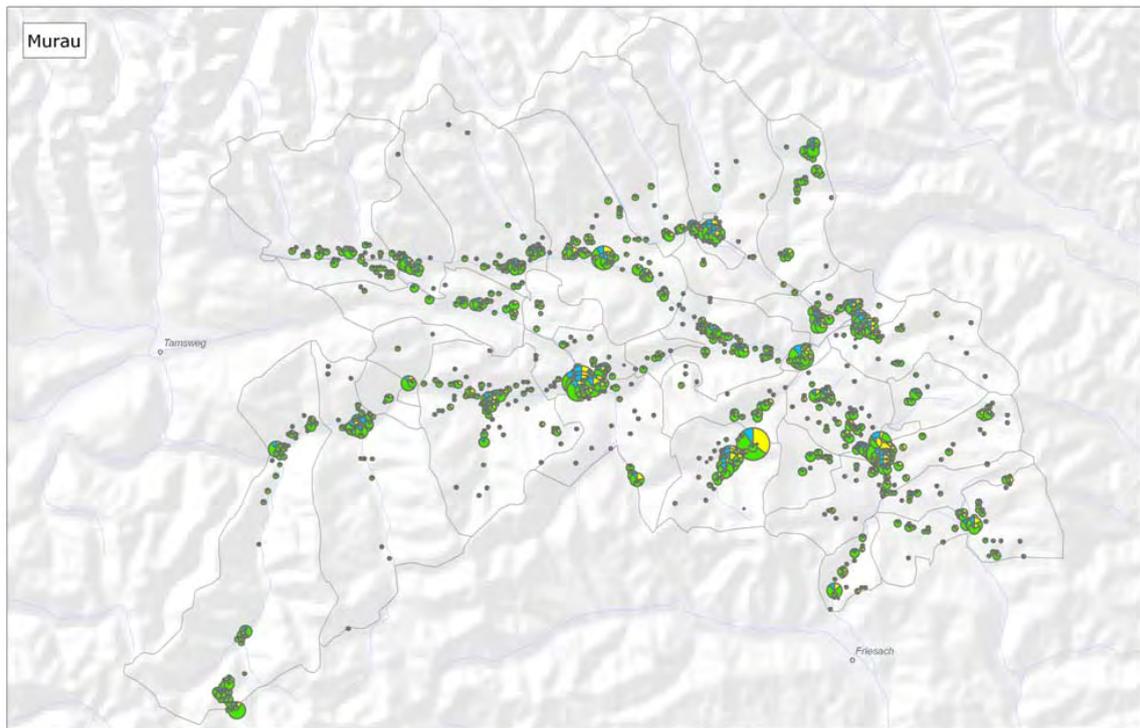
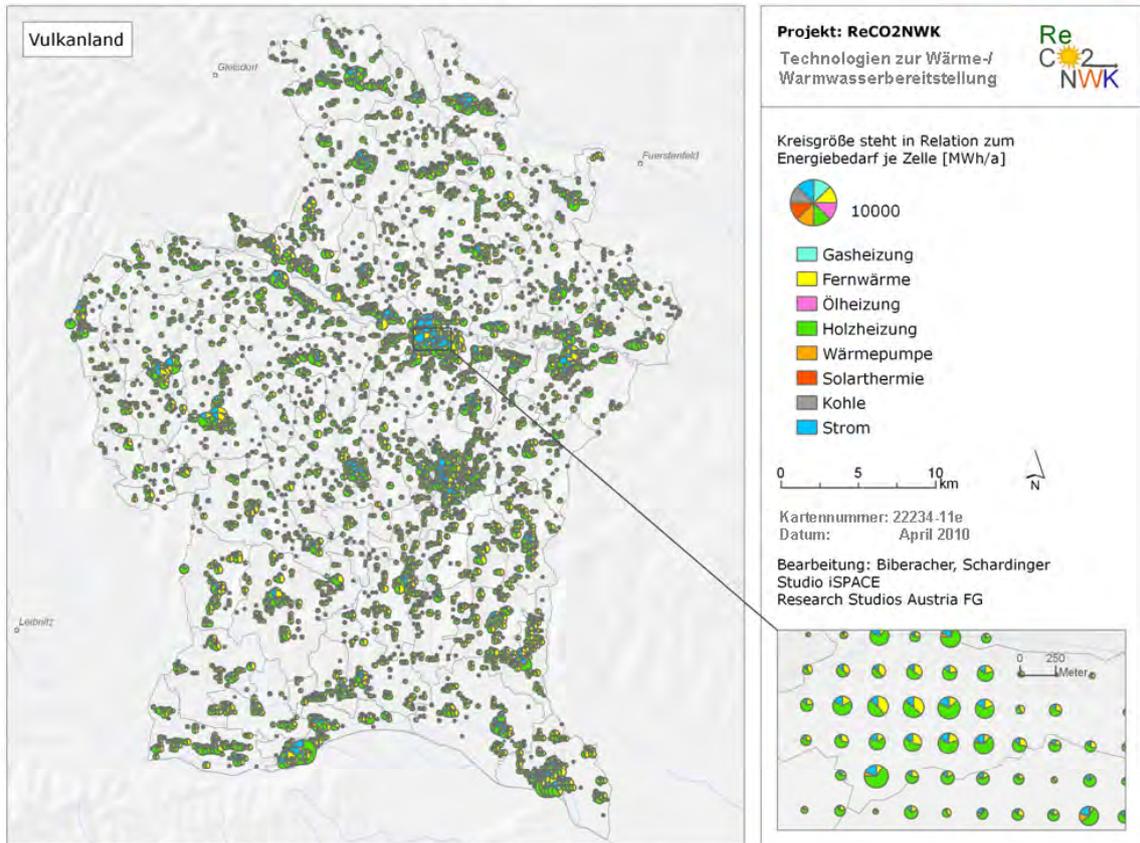


Abbildung 52 Ergebnisse aus Szenario 4 für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland

Wärme- und Warmwasserversorgung: Szenario 5

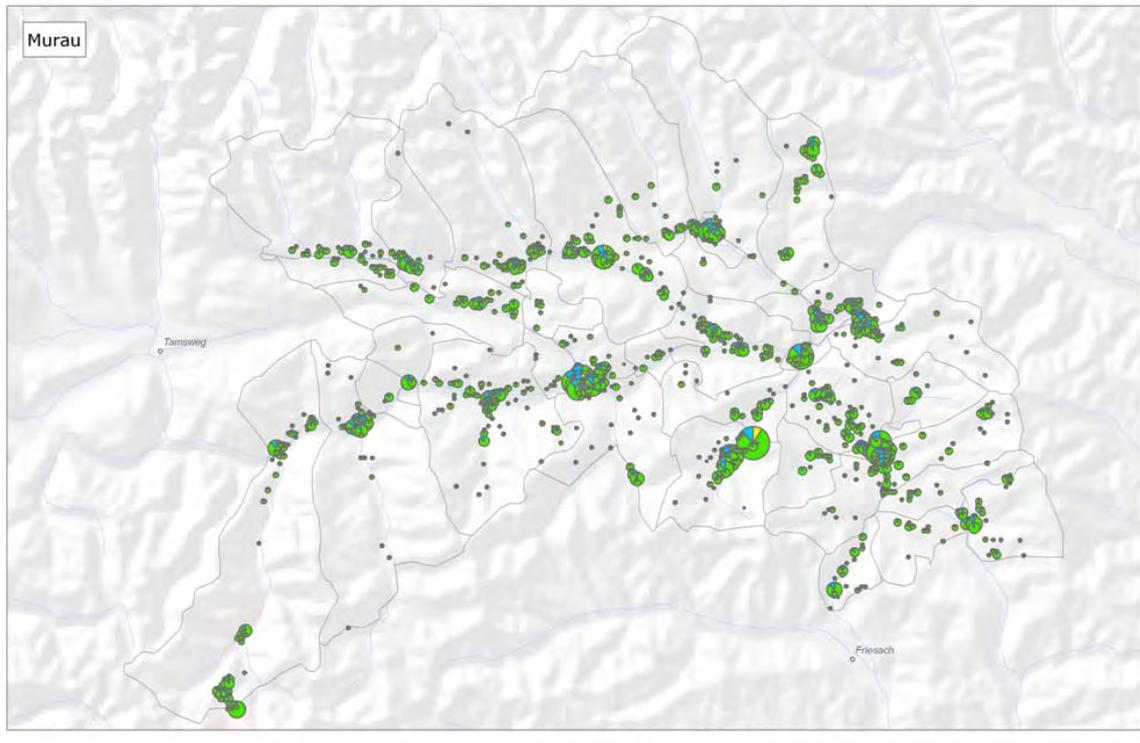
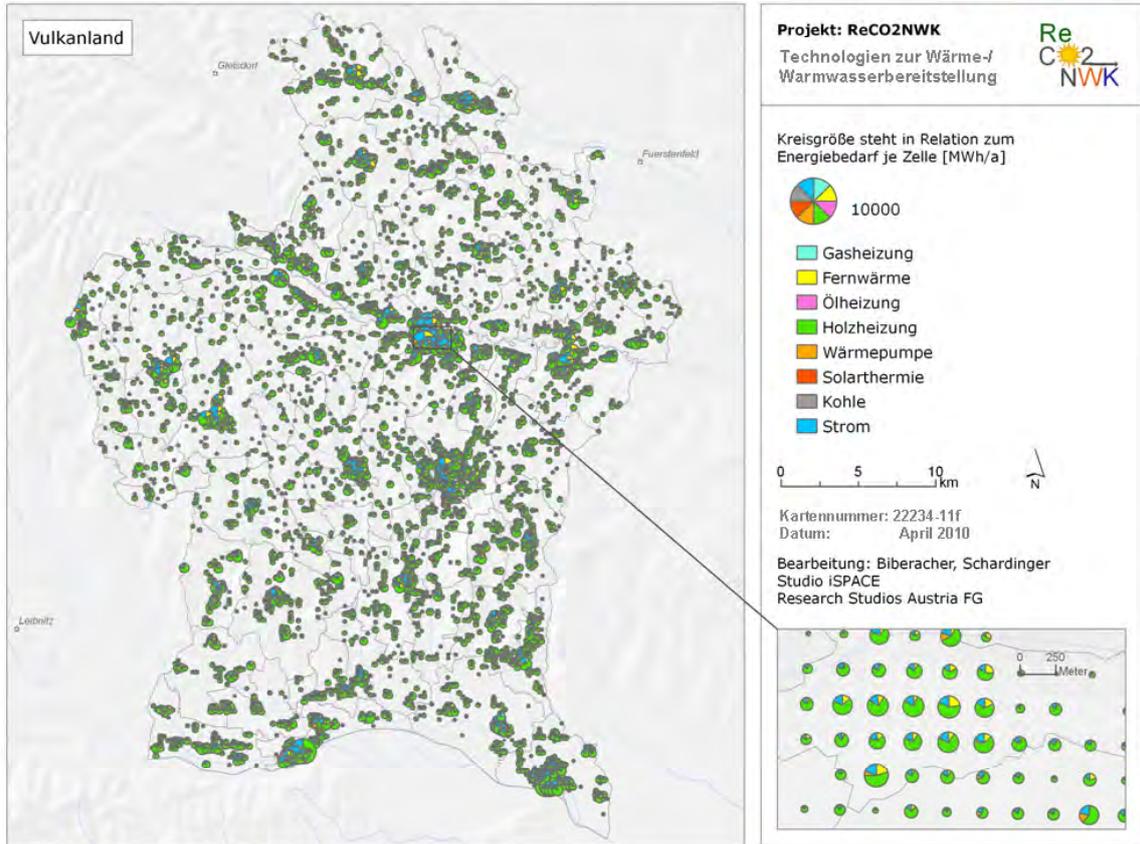


Abbildung 53 Ergebnisse aus Szenario 5 für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland

Szenarienvergleich

Im folgenden Abschnitt werden die in den verschiedenen Szenarien beschriebenen Ergebnisse zu den Anteilen der unterschiedlichen Energieträger für die beiden Untersuchungsregionen gegenübergestellt (Abbildung 54 und Abbildung 55). In dieser Darstellung ist neben der Wärmebereitstellung zur Raumheizung und Warmwasserbereitung auch die Kältebereitstellung berücksichtigt, welche ausschließlich durch Strom gedeckt wird. Im Bezirk Murau zeigt sich in den Szenarien bei zunehmenden CO₂e-Kosten eine Begünstigung von Holzheizungen, während im Bereich der erneuerbare Energieträger sowohl die Wärmepumpe als auch die Solarthermie weitgehend gleich bleiben. Dies ist zum einen auf hohe Systemkosten bei diesen Technologien (im Ist-Zustand sind diese Technologien nicht erfasst da keine Datengrundlage verfügbar war, d.h. hier stellen die Investitionskosten eine große Hürde dar), auf eine im Jahresverlauf azyklische Verfügbarkeit des Solarpotenzials sowie eines relativ hohen Stromanteils (und damit verknüpften CO₂e-Emissionen) im Fall von Wärmepumpen zurückzuführen. Ölheizungen würden mit steigenden CO₂e-Kosten in zunehmendem Maße substituiert. Dies ist bereits ohne die Annahme von CO₂e-Kosten zu beobachten (Szenario 1), da auch die Betriebskosten von Ölheizungen im Vergleich zu den anderen verfügbaren Technologien relativ hoch sind. Durch eine Integration von Emissionskosten verschwindet die Ölheizung schließlich vollständig. Substituiert würde sie hauptsächlich durch netzgebundene Technologien wie Gasheizungen und Fernwärmeheizungen.

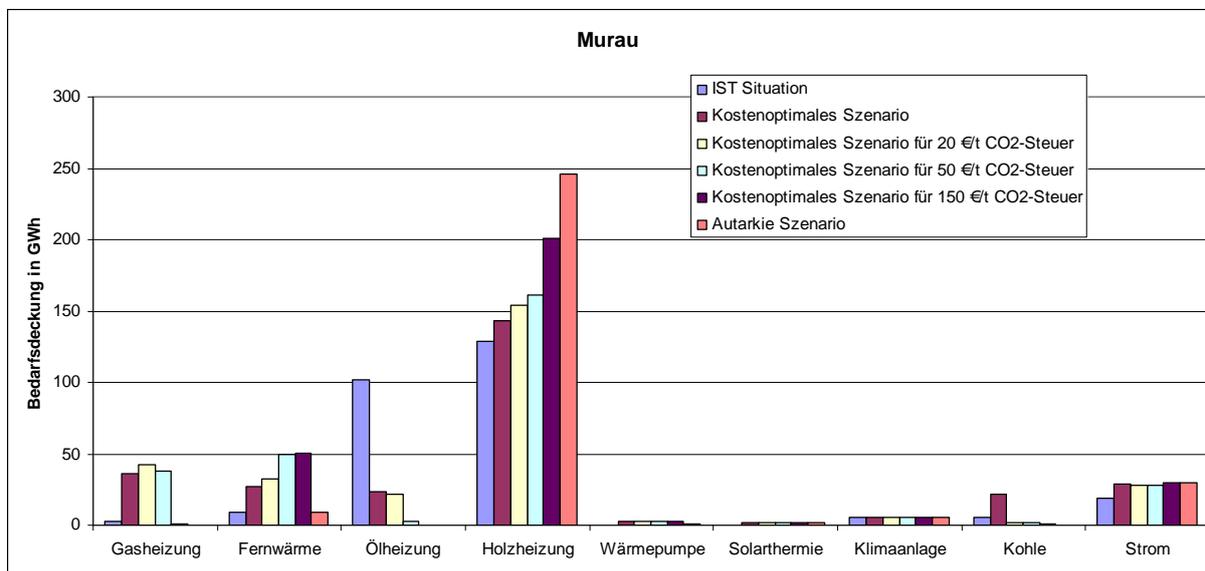


Abbildung 54 Vergleich der eingesetzten Wärme- und Kältebereitstellungstechnologien in Murau

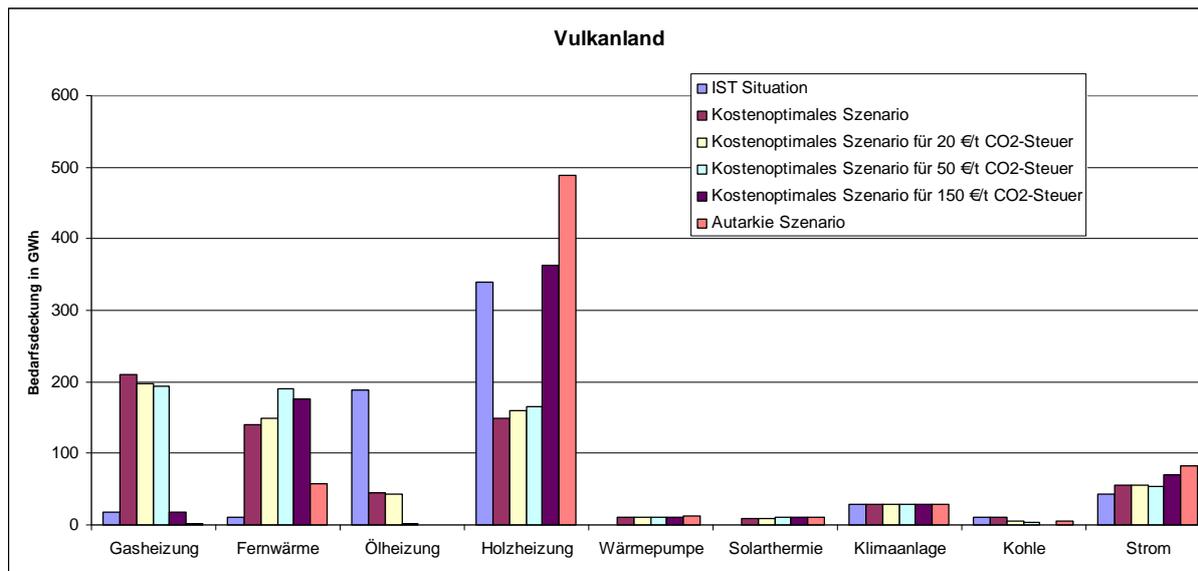


Abbildung 55 Vergleich der eingesetzten Wärme- und Kältebereitstellungstechnologien im Vulkanland

Tendenziell zeigt sich unter den getroffenen Annahmen für Murau und das Vulkanland das gleiche Bild. Lediglich der Anteil an Holzheizungen ist in Murau durch die regionalen forstwirtschaftlichen Biomassepotenziale stark begünstigt. Im Vulkanland wird der Anteil an Holzheizungen erst durch hohe CO₂e-Kosten stark gesteigert, wobei dann aber auch das gesetzte regionale forstwirtschaftliche Biomasselimit für die energetische Nutzung deutlich überschritten wird. Der hohe Anteil von Holzheizungen im Ist-Zustand spricht dafür, dass große Teile des benötigten Brennstoffs in die Region importiert werden.

Wie in Kapitel 4.3.1.3 bereits dargestellt, sind die einzelnen Wärme- und Kältebereitstellungssysteme (Haustechnik) mit spezifischen Parametern wie Kosten (Investmentkosten, Betriebskosten, Rohstoffkosten), Emissionen und Effizienzen verknüpft. Dadurch lassen sich für alle ermittelten Szenarien und den Ist-Zustand des Energiesystems auch die zugehörigen Kosten und Emissionen ausweisen. Ein Vergleich des Ist-Zustands mit den verschiedenen Szenarien ist für Murau in Abbildung 56 und für das Vulkanland in Abbildung 57 dargestellt. Im Vergleich zum Ist-Zustand zeigt sich, dass sich die Gesamtemissionen des Systems in Murau bereits im kostenoptimierten Szenario (Szenario 1) leicht verringern, während es im Vulkanland zu einem leichten Anstieg der Emissionen kommt. Es zeigt sich aber auch, dass in beiden Untersuchungsregionen eine Belegung der Emissionen mit Kosten in Höhe von 20 € beziehungsweise 50 € je Tonne CO₂e nur relativ geringe Auswirkungen auf eine Treibhausgasverminderung des Systems haben. Erst bei angenommenen Emissionskosten in Höhe von 150 € je Tonne CO₂e wird eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen im Gesamtsystem erreicht. Unter der Annahme einer erhöhten Nutzung regionaler Biomassepotenziale für energetische Zwecke im Autarkie-Szenario lässt sich eine weitere deutliche Reduktion der CO₂e-Emissionen erreichen, die auch mit einer moderaten Reduktion der kumulierten Systemkosten einhergeht. Wird eine maximale Ausnutzung der regional verfügbaren erneuerbaren Energieträger angestrebt, wie

in Szenario 5 dargestellt, setzt sich in beiden Untersuchungsregionen primär forstwirtschaftliche Biomasse als Energieträger durch. Dies führt in beiden Untersuchungsregionen zu einer deutlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen. Das Autarkie-Szenario entspricht im Fall von Murau einer 78 %-igen Selbstversorgung der Region und im Fall des Vulkanlandes einer 45 %-igen Selbstversorgung der Region.

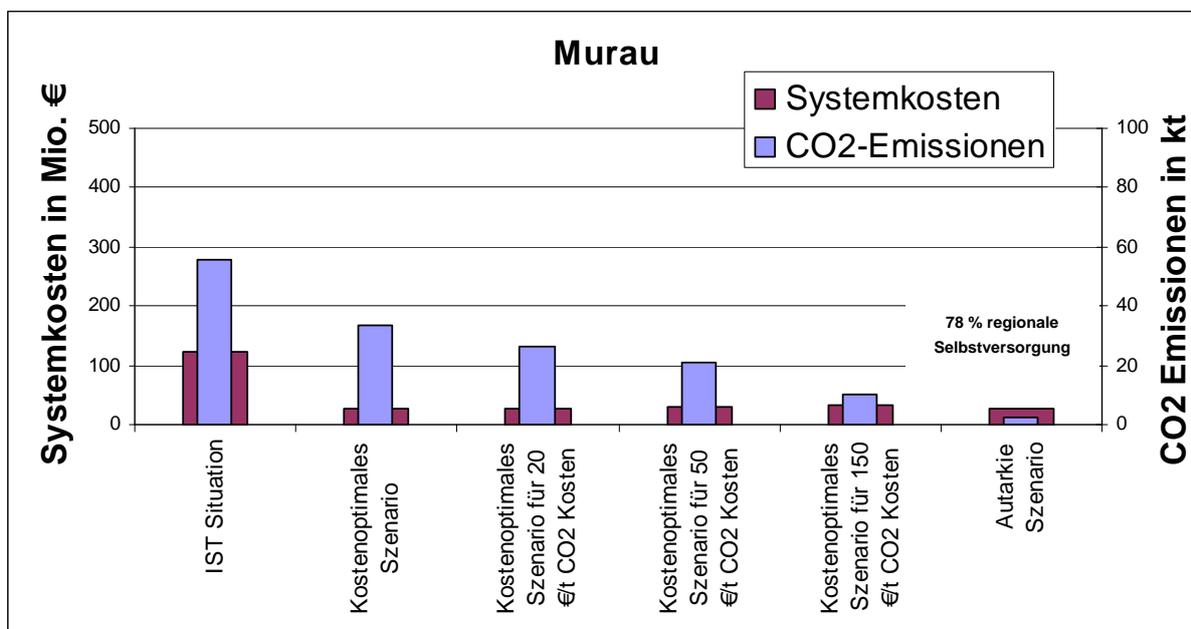


Abbildung 56 Kosten und Emissionen der Wärme-, Warmwasser- und Kältebedarfsdeckung im IST-Zustand und den Szenarien für den Bezirk Murau

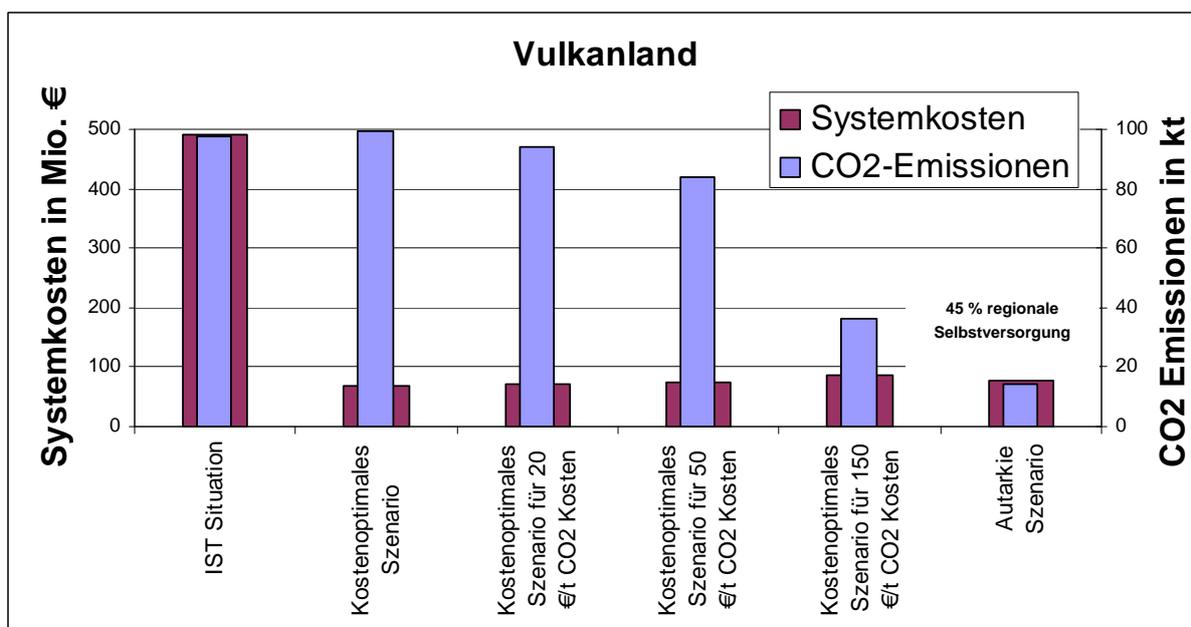
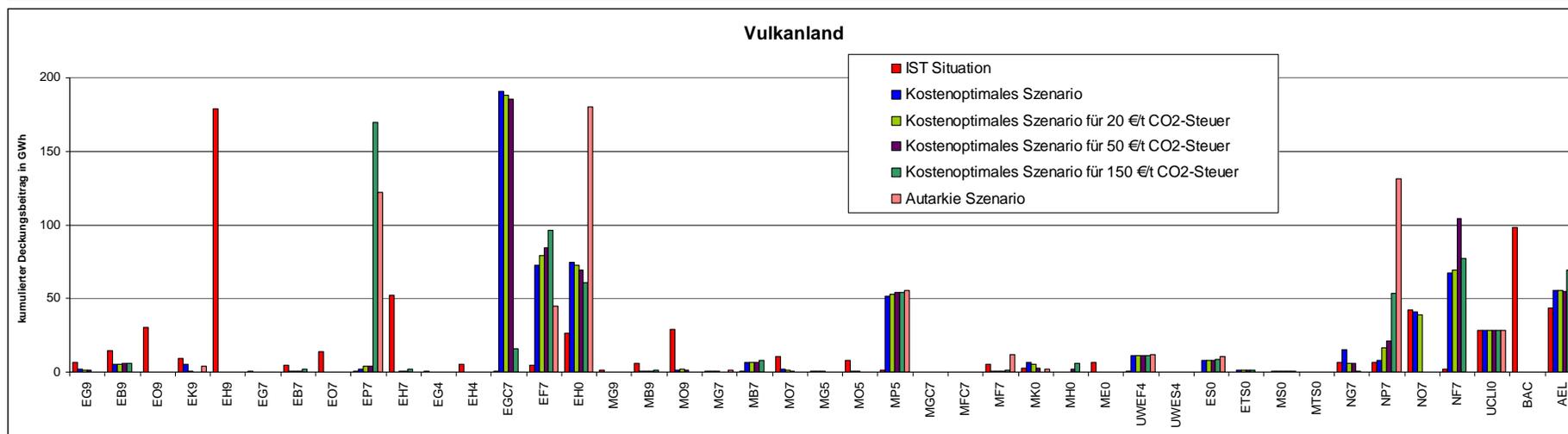
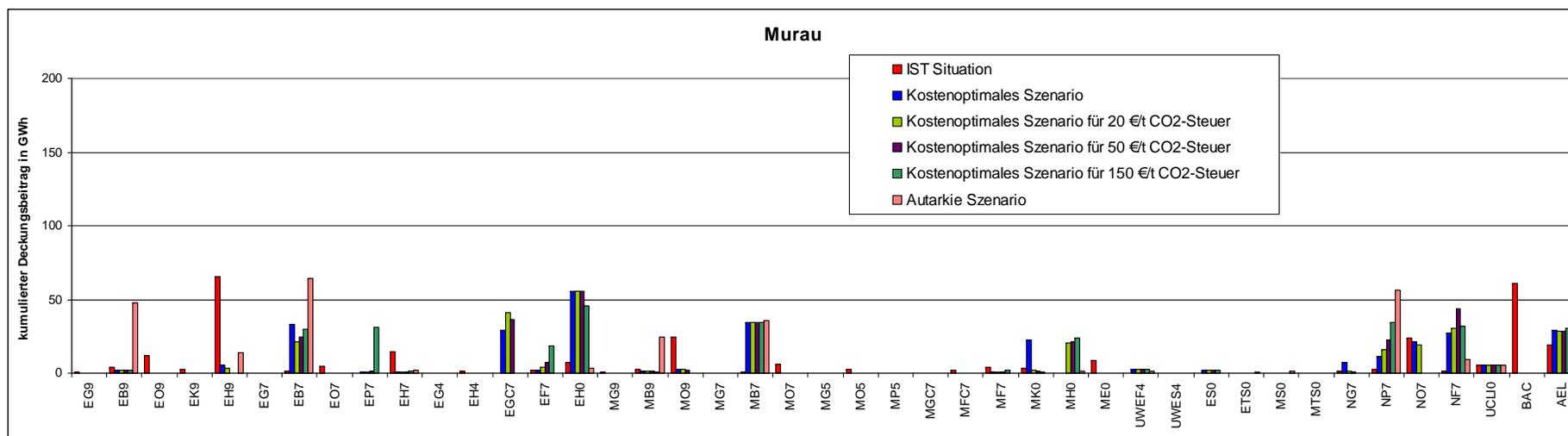


Abbildung 57 Kosten und Emissionen der Wärme-, Warmwasser- und Kältebedarfsdeckung im IST-Zustand und den Szenarien für das Vulkanland

Ergänzend zu Abbildung 56 und Abbildung 57 ist in Abbildung 58 die Aufschlüsselung der Bedarfsdeckung in den einzelnen Szenarien für Murau und das Vulkanland nach den eingesetzten Haustechniksystemen dargestellt. Es ist dies die über die einzelnen Rasterzellen kumulierte Auswertung der eingesetzten Haustechnikesysteme für die beiden Testregionen. Tatsächlich ist eine solche Auswertung für jede individuelle Rasterzelle mit ihren besonderen Charakteristika möglich.

Es bleibt zu erwähnen, dass die ausgewiesenen Szenarien primär indikativen Charakter haben, da die eingehende Datengrundlage beträchtliche Unsicherheiten und Datenlücken aufweist. Dennoch lassen sich Zusammenhänge aufzeigen und Tendenzen feststellen, die bei einer verbesserten Datengrundlage noch ausgebaut werden können.



Erster Buchstabe = Gebäudetyp: E= Einfamilienhaus; M= Mehrfamilienhaus; N= Nicht-Wohngebäude; U= Nicht definiert

Zweiter Buchstabe = Technologie: G= Gas; B= Hackschnitzelheizung; O= Ölheizung; K= Kohleheizung; H= Stückholzheizung; P= Pelletsheizung; GC= Gasheizung-Kombi; F= Fernwärme; FC= Fernwärme-Kombi; E= Stromheizung; S= Solar Warmwasser; TS= WW + Teilsolare Raumheizung; WEF= WP Sole/Wasser Flächenkoll.; WES= WP Sonde; CLI= Klimaanlage

Nummer = Temperatur Vorlauf/Rücklauf: 9= 90/70; 7= 70/55; 5= 55/45; 4= 40/30; 0= Nicht relevant

Abbildung 58 Vergleich der eingesetzten Wärme- und Kältebereitstellungstechnologien nach Gebäudetypen

4.4 Innovationen des Projektes

Im gegenständlichen Projekt wurden neue Ansätze in der räumlich hoch aufgelösten modellhaften Betrachtung von Energiesystemen sowie in der Definition von spezifischen Kennwerten zur räumlichen Verortung des Wärme- und Kältebedarfs in Gebäuden entwickelt. Innovatives Ziel dieses Projektes ist hierbei die Kopplung einer regionalen Sichtweise mit standortspezifischen Sichtweisen innerhalb einer Region. Dies führt in Folge zu neuen Erkenntnissen und Schlussfolgerungen.

Der energetische Endverbrauch nach Nutzungskategorien ist in der Statistik in der feinsten räumlichen Auflösung nur für Gesamt-Österreich bekannt (STATISTIK AUSTRIA 2009). Auf Bundesländerebene ist zwar der energetische Endverbrauch als Summe bekannt, es fehlt jedoch eine Differenzierung nach den Nutzungskategorien (STATISTIK AUSTRIA 2009b).

Um eine weitere räumliche Differenzierung des Bedarfs auf Bezirks-, Gemeinde- oder, wie im vorliegenden Projekt gewählt, 250 m-Rasterebene zu ermöglichen, müssen Methoden entwickelt werden, die eine explizit räumliche Abbildung des realen Wärme- und Kältebedarfs von Gebäuden in einem Modell ermöglichen.

Dies erfolgte mittels der Identifikation von Referenzgebäuden für die Gebäudetypen Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Nicht-Wohngebäude unter Berücksichtigung verschiedener Charakteristika (Alter, Größe, Nutzung). Die Referenzgebäude wurden speziell auf die verfügbare Datengrundlage und die Anforderung, die Komplexität des räumlichen Modellframeworks gering zu halten, abgestimmt. Der Standort, welcher den Wärme- und Kältebedarf von Gebäuden maßgeblich beeinflusst (Klimazone und Seehöhe), fließt dabei in das Berechnungsmodell des Wärme- und Kältebedarfs ein.

Eine Klassifizierung und Modellierung von Haustechniksystemen mit umfangreichen Variationen der Eigenschaften Alter und Energieträger wurde durchgeführt und als Referenzsysteme mit dem entwickelten räumlichen Modell verknüpft. Der Schwerpunkt lag in diesem Projekt auf der Integration der erneuerbaren Energieträger Umgebungswärme, Solarthermie und Biomasse.

Um eine gute Nachvollziehbarkeit in der Zuweisung des Wärme- und Kältebedarfs zu Gebäuden und dessen Deckung zu erreichen, wurden zur Charakterisierung sowohl der Referenzgebäude als auch der Referenzhaustechniksysteme normierte Berechnungsverfahren (z.B. aus dem Energieausweis) verwendet.

In bisherigen Ansätzen im Bereich der energetischen Versorgung wurde der Bedarf an Wärme und Kälte fast ausschließlich auf räumlich aggregierter Ebene (z.B. Bundesland, Staatsgebiet) ermittelt (vgl. HAAS ET AL. 2007, PRETTENTHALER ET AL. 2007). Selbiges gilt für die Ermittlung von erneuerbaren Energiepotenzialen (vgl. DUMKE ET AL. O.J., BRAINBOWS 2007, PRINZ ET AL. 2009). Zudem existieren bisher keine räumlich detaillierten Gegenüberstellungen von Bedarf und energetischem Angebot im Sinne einer Optimierung

des Energiesystems auf einer explizit räumlich hoch differenzierten Ebene. Diese differenzierte Betrachtung ist aber vor dem Hintergrund einer vermehrten und effektiven Nutzung erneuerbarer Energieträger jedenfalls sinnvoll und erforderlich. Insbesondere im Wärmebereich spielt die räumliche Nähe von Angebot und Bedarf für eine wirtschaftliche Nutzung erneuerbarer Energieträger eine wesentliche Rolle, folglich verlangen Evaluierungen in diesem Bereich eine räumlich hoch differenzierte Betrachtung. Sowohl der Wärme- (zur Raumheizung und Warmwasserbereitung) und Kühlbedarf als auch die Potenziale erneuerbarer Energieträger wurden auf einer 250 m Rasterebene ermittelt.

Im Bereich der räumlichen Ermittlung der erneuerbaren Energiepotenziale sowie der Verortung des Wärme- und Kältebedarfes lag eine spezielle Herausforderung im Umgang mit der verfügbaren Datengrundlage. Speziell in der Verortung des Wärme- und Kältebedarfs und somit der Zuweisung von Kennwerten der Referenzgebäude zu realen Gebäuden mussten hier individuelle Ansätze entwickelt werden. Datenlücken wurden in der Modellierung so weit wie möglich berücksichtigt und bereinigt. Unschärfen auf Grund einer unzureichenden räumlichen Datengrundlage können in zukünftigen Anwendungen behoben werden, wenn neue beziehungsweise verfeinerte Daten vorhanden sind, da sich diese problemlos in das Modell integrieren lassen. Vorausschauend entwickelt sind Schnittstellen zu zukünftig relevanten Datenbanken (z.B. Energieausweisdatenbank, Adress-GWR) bereits jetzt im Modell vorgesehen, um die darin enthaltenen Datensätze automatisiert einbinden zu können.

Eine wesentliche Innovation im entwickelten Modellframework ist neben der Möglichkeit der Einbindung von standortspezifischen Daten in hoher räumlicher Auflösung (sowohl hinsichtlich des Bedarfs als auch der Verfügbarkeit von regionalen erneuerbaren Energieträger) auch die Verwertung dieser standortspezifischen Informationen zur Berücksichtigung der regionalen Infrastruktur zur Energieversorgung wie z.B. Fernwärmenetze und Gasleitungen und deren optimaler Konfiguration. Dadurch können räumliche Zusammenhänge im Kontext des regionalen Energiesystems aufgezeigt und bewertet werden.

Die Darstellung der Ergebnisse, die sich aus der Anwendung des entwickelten Modells in den beiden Untersuchungsregionen Murau und dem Vulkanland ergeben, bietet zudem die Möglichkeit eines einfachen Kommunikationsinstrumentes, das diese Zusammenhänge anschaulich aufzeigt. Dies geschieht in Form einer Webseite, auf der vorab berechnete Szenarien einfach und für jedermann zugänglich betrachtet und miteinander verglichen werden können.

5 Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Der folgende Abschnitt zeigt den Beitrag zu dem in der Programmlinie "Energiesysteme der Zukunft" definierten Gesamtziel und den Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung, die Zielgruppen und deren Adressierung im Projekt sowie die möglichen Umsetzungspotenziale.

5.1 Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung

Das Ziel des Programms „Energiesysteme der Zukunft“ ist es, Technologien und Konzepte für ein auf der Nutzung erneuerbarer Energieträger aufbauendes, effizientes und flexibles Energiesystem zu entwickeln, das in der Lage ist, unseren Energiebedarf langfristig sowohl kostengünstig als auch emissionsarm zu decken.

Im gegenständlichen Projekt wurde ein Modellkonzept zur Abbildung einer möglichen CO₂-neutralen bzw. -armen Deckung eines regional vorhandenen Wärme- und Kältebedarfs entwickelt. Das entwickelte Modellkonzept ermöglicht eine räumlich explizite Ausweisung von erneuerbaren Energiepotenzialen einer Region, vom räumlich verorteten Wärme- und Kältebedarf basierend auf der vorhandenen Gebäudestruktur sowie eine Optimierung der Deckung des Wärme- und Kältebedarfs im Sinne eines nachhaltigen Energiesystems unter Zugrundelegung unterschiedlicher Annahmen.

Der räumlich explizite Ansatz des Modellkonzepts ist insbesondere vor dem Hintergrund einer verstärkten Nutzung von regional verfügbaren erneuerbaren Energieträgern ein wesentlicher Mehrwert, da für deren wirtschaftliche Verwertung im Wärmebereich die Nähe zum Verbraucher einen entscheidenden Aspekt darstellt. Dies erklärt sich durch die relativ geringe Energiedichte erneuerbarer Energieträger, relativ hohe Verluste beim Transport von Wärme und der Verfügbarkeit auf ohnehin tiefen Temperaturniveaus (Erdwärme). Durch die räumlich explizite Ausweisung der unterschiedlichen erneuerbaren Energiepotenziale auf Rasterbasis (250 m Auflösung) können in jeder einzelnen Rasterzelle jene Energieträger identifiziert werden, die sich am besten zur Deckung des lokalen Bedarfs eignen. Durch die Definition von Obergrenzen zur Nutzung können reale Restriktionen einfach abgebildet werden.

Mit dem entwickelten Optimierungsmodell zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs einer Region kann das Zusammenspiel der Bereitstellung und der Nutzung aller im System berücksichtigten Energieträger optimiert werden. Es lassen sich verschiedene Szenarien entwickeln, die auf Basis unterschiedlichster Annahmen zu Kosten von Energietechnologien,

Emissionen und Obergrenzen der Nutzung erneuerbarer Energieträger das jeweils optimal ausgestaltete Energiesystem zur Wärme- und Kältebedarfsdeckung evaluieren. Die Szenarienergebnisse enthalten zudem nicht nur das räumlich ausgestaltete optimale Energiesystem sondern zeigen auch die damit verbundenen Emissionen und Kosten. Es können somit auch Auswirkungen auf Treibhausgasemissionseinsparungen durch unterschiedliche Maßnahmen (z.B. Förderungen) simuliert werden.

Das entwickelte Modell dient somit zur Ableitung von langfristigen Strategien zur Entwicklung von nachhaltigen Energiesystemen, die regional verfügbare Energieträger vermehrt nutzen. Damit verbunden ist eine erhöhte regionale Wertschöpfung, da der Abfluss von Geldströmen ins Ausland vermindert wird, in der Region können Arbeitsplätze geschaffen werden und zusätzlich wird die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern vermindert

5.2 Einbeziehung der Zielgruppen

Mit dem gegenständlichen Projekt werden langfristige, strategische Fragestellungen in Hinblick auf eine Energiewende in Richtung einer CO₂-neutralen Versorgung einer Region mit Wärme und Kälte behandelt. Dementsprechend sind die Zielgruppen für die Projektergebnisse insbesondere politische Entscheidungsträger, Energieagenturen sowie Meinungsführer im Energiebereich. Auch Energieversorger können das entwickelte Modell zur Ableitung von zukünftigen Stossrichtungen im Ausbau der energetischen Versorgung von Regionen nutzen.

Das entwickelte Modell wurde exemplarisch in den Regionen Murau sowie dem Vulkanland angewendet. Die Einbeziehung der relevanten Zielgruppen in das Projekt wurde insbesondere durch die Einbindung der regionalen Partner aus den Untersuchungsregionen – der Energieagentur Obersteiermark (EAO) und der Lokalen Energieagentur Oststeiermark (LEA) – gewährleistet. Das Interesse der regionalen Energieagenturen sowie Gemeinden am gegenständlichen Forschungsprojekt besteht insbesondere in der Evaluierung der Szenarien zur lokalen Bedarfsdeckung, um eine Energieautarkie der Region so weit wie möglich zu erreichen und damit die regionalen Wirtschaftskreisläufe zu stärken.

Als Repräsentanten der überregionalen Sichtweise waren das Land Steiermark sowie der Landesenergieverein in das Projekt eingebunden. Das im Projekt entwickelte Modellframework kann die Angehörigen der Zielgruppen in der Entwicklung von Lenkungsmaßnahmen hinsichtlich der zukünftigen Ausgestaltung des Energiesystems unterstützen, beispielsweise durch die Analyse von Szenarien hinsichtlich unterschiedlicher Förderinstrumente. Zudem lassen sich Effekte von aktuellen Entwicklungen im Gebäudebestand, in einzelnen Technologien, etc. mit dem Modell evaluieren und daraus wiederum Strategien ableiten. Eine weitere Möglichkeit, das Modellframework zu nutzen ist der Einsatz als Monitoring-Tool im Hinblick auf Zielerreichungen im Bereich der

Energieversorgung beziehungsweise der Gebäudestrukturen – dies setzt allerdings eine Adaption der einfließenden Datengrundlage voraus.

Als Vertreter der Zielgruppe der Energieversorgungsunternehmen war die Energie Steiermark AG direkt in das Projekt eingebunden. Regionale Energieversorger können das Modell vor allem zur Ermittlung von Potenzialen für Netzerweiterungen sowie zur Standortevaluierung für Energiebereitstellungsanlagen nutzen.

Durch die Einbindung der genannten Zielgruppen konnte sichergestellt werden, dass die für die jeweiligen Zielgruppen relevanten Fragestellungen und Schwerpunkte im Projekt adressiert wurden. Zudem konnten die eingebundenen Partner wertvolle Hinweise hinsichtlich der auch zukünftig möglichen Verfügbarkeit von relevanten räumlichen Daten geben. Dadurch konnten im Modellkonzept bereits vorausschauend Strukturen für die Einbindung zukünftig verfügbarer Daten bzw. Datenbanken geschaffen werden.

5.3 Weiterverwendung der Projektergebnisse und Umsetzungspotenziale

Das entwickelte Modellframework kann insbesondere von Gemeinden und politischen Entscheidungsträgern zur Strategieentwicklung in Hinblick auf einen verstärkten Einsatz erneuerbarer Energieträger genutzt werden. Es unterstützt dabei die Entwicklung von Energiekonzepten und Energieleitbildern basierend auf den räumlichen Gegebenheiten und Spezifika der betrachteten individuellen Regionen. Zudem lassen sich Szenarien eines optimierten Gesamtsystems zur Wärme- und Kältebedarfsdeckung in Hinblick auf die speziellen Fragestellungen der jeweiligen Zielgruppen erstellen. So kann beispielsweise evaluiert werden, wie sich die Förderung eines speziellen Energieträgers auf das Gesamtsystem auswirkt.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Website erstellt, welche über die domain <http://www.energieautarkie.at/reco2nwk> erreichbar ist. Hier werden die Funktionen und Möglichkeiten des Modells präsentiert und die in Kapitel 4.3.3 gezeigten exemplarischen Ergebnisse für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland in einem interaktiven Auskunftssystem darstellt. Diese Website wird auch nach Ende des Projektes aktiv bleiben. Durch die Darstellung der Modellergebnisse in geographischen Informationssystemen (GIS) kann eine verständliche Kommunikation hinsichtlich der Zusammenhänge in Energiesystemen erreicht werden und eine breite Bevölkerungsschicht für dieses Thema sensibilisiert werden. Die Website dient langfristig zur Verbreitung der Ergebnisse des Projektes und zur Information potenzieller Interessenten der Thematik.

Das in diesem Projekt entwickelte Modellframework wird auch im Weiteren von den lokalen Akteuren für die regionale Planung insbesondere der Netzinfrastruktur eingesetzt werden.

Der Aufbau des entwickelten Modellframeworks zur Analyse, Evaluierung und Optimierung von regionalen Wärme-, Warmwasser- und Kältebedarfssystemen, welches im Rahmen dieses Projektes exemplarisch für die Untersuchungsregionen Murau und das Vulkanland umgesetzt wurde, lässt sich grundsätzlich in einfacher Art und Weise auf andere Regionen übertragen. Diese einfache Übertragbarkeit des Modells stellte einen wesentlichen Aspekt in der Konzeption des Modells dar. Das bisher entwickelte Modellframework bildet die Basis für ein Software-Tool, welches auf unterschiedlichsten räumlichen Skalen (z.B. Bundesländer oder Gemeinden) angewendet werden kann.

Die Projektergebnisse wurden der interessierten Öffentlichkeit im Rahmen eines Abschlussworkshops in Wien (16. April 2010) vorgestellt.

6 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Im vorliegenden Projekt wurde ein Modellkonzept entwickelt, das in der Lage ist, Szenarien zur potenziellen Deckung des Wärme- (zur Raumheizung und Warmwasserbereitung) und Kältebedarfs für Gebäude mit einem hohen Anteil an regionalen erneuerbaren Energieträgern und einer damit verbundenen Treibhausgaseinsparung auf einer räumlich hoch aufgelösten Ebene zu ermitteln und abzubilden. Als räumliche Auflösung wurde für das Modell ein 250 x 250 m Rasteransatz gewählt. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass vor allem bei einer verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energieträgern die räumliche Nähe von Bedarf und Potenzial einen wesentlichen Aspekt in Bezug auf Technik und auch Wirtschaftlichkeit der Nutzung darstellt. Zudem ist diese Feinheit der Rasterauflösung auch für eine aussagekräftige Modellierung und Visualisierung der Ergebnisse erforderlich.

Das Modell ist in drei Module gegliedert:

- Potenzialmodell
- Bedarfsmodell
- Bedarfsdeckungsmodell

Mit dem Potenzialmodell wird das verfügbare Potenzial einer definierten Region der Energieträger Biomasse, Solar und Umgebungswärme räumlich aufgelöst ermittelt und visualisiert.

Das Bedarfsmodell stellt den räumlich expliziten Wärme- und Kältebedarf einer Region dar. Die Verortung des Bedarfs erfolgt über die je Rasterzelle vorhandene Gebäudestruktur und spezifische Bedarfskennzahlen, die je Gebäudetyp und Baualtersklasse mit Hilfe von Referenzgebäuden ermittelt wurden.

Mit dem Bedarfsdeckungsmodell kann die Deckung des regional identifizierten Bedarfs an Wärme und Kälte unter verschiedenen Annahmen (z.B. Kosten für CO₂-Emissionen) optimiert werden. Zur Deckung des Bedarfs sind Haustechniksysteme erforderlich, welche

analog zum Gebäudebereich über Referenzsysteme mit verschiedenen Energieträgern definiert wurden.

In der Anwendung des Modellframeworks auf die Untersuchungsregionen ergaben sich auf Grund der verfügbaren Datenbestände und aus Gründen des Datenschutzes einige Herausforderungen. Diese bestehen insbesondere in gar nicht oder in nicht ausreichender Qualität vorhandenen Dateninputs beziehungsweise in Einschränkungen zu den verfügbaren Informationen durch den Datenschutz. Die Entwicklung der Referenzgebäude wie auch der Referenzhaustechniksysteme im Bereich der Wärme- und Kältebereitstellungstechnologien war neben der räumlichen Darstellung und Optimierung Bestandteil des Projektes und musste unter anderem auf die verfügbare Datengrundlage zur räumlichen Verteilung der Gebäude mit Wärme und Kälte sowie den Informationen zu deren Versorgung abgestimmt werden. Auf Grund der eingeschränkten Datenlage zu Gebäuden mussten Abstriche im Detaillierungsgrad der Referenzgebäude und -haustechniksysteme gemacht werden.

Auch die räumliche Verortung und Optimierung gestaltete sich schwierig. Durch die Lücken in den Datenbeständen, die sich durch den Datenschutz ergeben, kann der Wärme- und Kältebedarf nicht exakt verortet werden, da eine der Realität entsprechende Zuteilung der Gebäude nach Baualter zu den einzelnen Rasterzellen nicht überall möglich ist. Selbiges gilt auch für die Verortung der Haustechniksysteme.

Es ergeben sich aber nicht nur Einschränkungen durch die Datenverfügbarkeit, sondern auch durch das Modell selbst. Modelle zeichnen sich grundsätzlich dadurch aus, dass die Realität vereinfacht dargestellt wird, was auch für das hier entwickelte Modell zutrifft. Reale Zusammenhänge müssen in Modellen durch mathematische Relationen abgebildet werden, was zwingend zu Unschärfen in den resultierenden Ergebnissen führt.

Der Fokus im vorliegenden Projekt lag auf der Entwicklung eines Modellkonzepts zur Erfassung und Abbildung der skizzierten Fragestellung. Die für die Modellregionen ausgewiesenen Szenarien zeigen auf, welche Aspekte und Zusammenhänge in welcher Weise Einfluss auf das Energiesystem haben und dienen als Motivation und erster Schritt zur Vertiefung einer sehr komplexen Problemstellung. Die zur Verfügung stehenden Daten haben dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Möglichkeiten in der Szenarientwicklung und die resultierenden Ergebnisse. Eine adaptierte und verbesserte Datengrundlage lässt sich einfach in das Modell integrieren, wodurch sich vertiefende Aussagen ableiten lassen. Aber auch mit der derzeit eingeschränkten Datenlage können Aussagen für eine optimierte Strategieentwicklung im Bereich einer CO₂-neutralen Wärme- und Kältebedarfsdeckung abgeleitet werden, da kausale Zusammenhänge tendenziell gut nachvollziehbar sind und somit auch eine Strategiefindung unterstützen.

Die Aussagekraft und Genauigkeit des Modells lässt sich zukünftig erhöhen, indem beispielsweise Daten aus der Energieausweis-Datenbank oder dem Adress-GWR eingepflegt werden. Schnittstellen zur Integration von weiteren Datenbeständen sind im

Modell bereits vorgesehen und weitere Schnittstellen können integriert werden. Es ist jedoch in jedem Fall zu beachten, dass es sich um ein Modell handelt, welches reale Zusammenhänge stets vereinfachend darstellt.

Bei einer weiteren Verfeinerung der Datengrundlage ist das Modellkonzept auch für Monitoringzwecke im Sinne von Soll/Ist-Bilanzen einsetzbar und kann zur Überprüfung von Zielerreichungsgraden beispielsweise im Bereich von Energieleitbildern oder –strategien dienen.

Das Modellframework wurde exemplarisch in den Untersuchungsregionen Murau und dem Vulkanland angewendet, um die Funktionsweise zu überprüfen und die resultierenden Ergebnisse zu analysieren. Das Modellframework liefert für beide Regionen sowohl den Ist-Zustand der Wärme- und Kältebedarfsdeckung als auch Szenarien zu verschiedenen Annahmen im Bereich von Emissionskosten und Potenzialeinschränkungen.

Die Ergebnisse des Modells für den Ist-Zustand in den Untersuchungsregionen spiegeln die Situation der Realität in einer ersten Näherung wider. Bei einer punktuellen Betrachtung einzelner Rasterzellen ergeben sich auf Grund der erforderlichen Vereinfachungen im Modell und der Einschränkungen in der Datengrundlage Abweichungen zu den tatsächlichen Gegebenheiten einer Rasterzelle. Das Hauptaugenmerk lag in diesem Projekt jedoch auf der Entwicklung eines Modellframeworks und dem Ausweisen von exemplarischen Szenarien, die relevante regionale Zusammenhänge aufzeigen.

7 Ausblick und Empfehlungen

Das Modellkonzept bietet für die Optimierung von regionalen Energiesystemen, in welchen zunehmend erneuerbare Energieträger zum Einsatz kommen, auf einer räumlich hoch aufgelösten Ebene viele Möglichkeiten der Anwendung. Es eignet sich besonders zur Ableitung von Empfehlungen für eine Entwicklung von Energiesystemen hin zu einer höheren Nachhaltigkeit.

Der vorliegende Bericht dient der Beschreibung der Funktionsweise des Modells und stellt dar, welche Ergebnisse in welcher Detaillierung auf räumlicher Ebene grundsätzlich erzielt werden können.

Im derzeitigen Entwicklungsstand ist in jedem Fall zu beachten, dass die zugrunde liegenden Daten der beiden Untersuchungsregionen eine realitätsgetreue Abbildung nur bedingt zulassen und deshalb nur als Näherung verstanden werden können. In diesem Zusammenhang wird die Kooperation mit der Statistik Austria angestrebt, mit dem Ziel einer Verbesserung der in Österreich verfügbaren Datengrundlage für den Anwendungszweck einer räumlich hoch aufgelösten Modellierung von Energiesystemen.

Neben der bereits implementierten hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung in der Abbildung des regionalen Wärme- und Kältebedarfs soll in einer weiteren Ausbaustufe das

Modell auch um die Betrachtung von saisonalen Wärmespeichertechnologien und deren Einfluss auf das optimale Setup eines Energiesystems erweitert werden. Eine Parametrisierung der eingesetzten Technologien in Abhängigkeit von saisonalen Schwankungen ist hierbei ebenfalls angestrebt. Ebenso ist auch die Berücksichtigung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und deren optimale Verortung, Dimensionierung sowie Fahrweise in solchen Systemen ein weiterer Baustein einer zukünftigen Vertiefung.

Regionale Fragestellungen zur nachhaltigen Wärme- und Kältebedarfsdeckung werden im Rahmen von Klimawandel, Effizienzsteigerungen und in der Diskussion zur Treibhausgasminde rung in Zukunft in zunehmendem Maße an Bedeutung gewinnen. Der dargestellte Ansatz hat den Anspruch, in genau hier einen Beitrag zur Strategiefindung zu leisten. Entsprechend wird auch das zukünftige Bestreben in der Weiterentwicklung des gezeigten Ansatzes sein, ein auf konkrete regionale Fragestellungen in diesem Umfeld abgestimmtes und adaptiertes Framework für eine Unterstützung in der Entscheidungsfindung bereitzustellen.

8 Glossar

Abkürzungen

| | |
|------|--|
| EFH | Einfamilienhaus |
| EFM | Erntefestmeter |
| GAMS | General Algebraic Modeling System |
| GIS | Geographisches Informationssystem |
| Hack | Hackschnitzel |
| HEB | Heizenergiebedarf → s. Definitionen |
| HEL | Heizöl (extra leicht) |
| HWB | Heizwärmebedarf → s. Definitionen |
| IVC | Investment Costs (Investitionskosten) |
| KB | Kühlbedarf → s. Definitionen |
| MFH | Mehrfamilienhaus |
| NWG | Nichtwohngebäude |
| OMC | Operation and Maintenance Costs (Betriebskosten) |
| TSRH | Teilsorare Raumheizung |
| VFM | Vorratsfestmeter |
| WWB | Warmwasserbereitung |
| WWWB | Warmwasserwärmebedarf → s. Definitionen |
| WP | Wärmepumpe |

Definitionen

Bruttogrundfläche (BGF):

Definition gemäß ÖNORM B 1800 „Die Brutto-Grundfläche ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. Die Brutto-Grundfläche ist in Netto-Grundfläche und Konstruktions-Grundfläche gegliedert.“

Endenergie:

Auf Endenergie-Ebene werden zusätzlich zur erforderlichen Nutzenergie jene thermischen Verluste berücksichtigt, die bei der Bereitstellung dieser Nutzenergie auftreten. Diese Bereitstellung erfolgt ausschließlich über die im Gebäude vorhandene gebäudetechnische Ausrüstung. Es werden Bereitstellungs-, Speicherungs- und Verteilverluste berücksichtigt, die bei der Deckung des Nutzenergiebedarfs auftreten. Die erforderliche Endenergie ist somit jene Energiemenge, die dem Gebäude zugeführt werden muss, um den Heizwärme- und Kühlbedarf decken zu können. Dabei stellt die Grundgrenze die symbolische Bilanzierungsgrenze dar.

Endenergiebedarf (EEB oder QEE):

Der Endenergiebedarf (EEB) stellt die Energiemenge dar, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf, den Kühlbedarf sowie die erforderlichen Komfortanforderungen an Belüftung und Beleuchtung decken zu können (vgl. ÖNORM H 5057:2007).

Heizenergiebedarf (HEB):

Der Heizenergiebedarf ist der Endenergiebedarf des heiztechnischen Systems. Der HEB stellt die Wärmemenge dar, die, „... den Räumen des Gebäudes und dem Wasser zur Warmwasserbereitung zugeführt werden muss, um den Heizbedarf und den Warmwasser-Wärmebedarf decken zu können.“ (ÖNORM H 5056, 2007) Darin enthalten sind auch die Wärmegewinne aus Umweltwärme, die durch eine thermische Solaranlage oder eine Wärmepumpe gewonnen werden können (siehe (ÖNORM H 5056:2007)).

Heizwärmebedarf (HWB):

„Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegeben Solltemperatur einzuhalten“ (ÖNORM B 8110-1:2007).

Der Heizwärmebedarf ist die „rechnerisch ermittelte Wärmemenge (Nutzenergie), die zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur benötigt wird“ (im Heizfall) (ÖNORM B 8110-6:2007).

Hilfsenergie

„Energie, die nicht zur unmittelbaren Deckung des →Heizwärmebedarfs bzw. der Warmwasserbereitung eingesetzt wird. Als Hilfsenergieträger wird in der Regel elektrischer Strom eingesetzt.“ (ÖNORM H 5056:2007)

Kühlbedarf (KB):

Der Kühlbedarf ist die rechnerisch ermittelte Wärmemenge (→Nutzenergie), die zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur im Kühlfall benötigt wird. (ÖNORM, 2007c).

Monatsbilanzverfahren:

Der Berechnungsalgorithmen des Energieausweises beruhen auf dem Monatsbilanzverfahren, das ein statisches Berechnungsverfahren mit dynamischen Elementen darstellt. Dabei wird der jährliche Heizwärmebedarf und Kühlbedarf als Summe aller Monatswerte des Heizwärmebedarfs mit tatsächlichem, rechnerisch vorliegendem Heizwärmebedarf bzw. Summe aller Monatswerte des Kühlbedarfs mit tatsächlich, rechnerisch vorliegendem Kühlbedarf berechnet.

Nutzungsprofil:

Ein Nutzungsprofil enthält „Randbedingungen in Abhängigkeit der Gebäudenutzung zur Berechnung des Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs sowie energetischer Kennwerte des Haustechnik- und Heizsystems“ (ÖNORM B 8110-5:2007). Für die Berechnung sind Standard-Nutzungsprofile in der ÖNORM B 8110-5 definiert

Nutzenergie:

Auf Ebene der Nutzenergie wird abgebildet, welcher Energieeinsatz raumseitig erforderlich ist, um die zu konditionierenden Räume auf die gewünschte Temperatur zu klimatisieren. Man bezeichnet die erforderliche Energie dabei im Heizfall (Wintermonate) als →Heizwärmebedarf und im Kühlfall (Sommermonate) als →Kühlbedarf. Von entscheidender Bedeutung sind dabei die entstehenden Verluste und Gewinne des Gebäudes, die in der →Wärmebilanz abgebildet werden. Der Energiebedarf auf Nutzenergie-Ebene wird hauptsächlich durch bauplanerische und bautechnische Parameter bestimmt.

Primärenergie:

Je nach eingesetztem Energieträger unterscheidet sich die erforderliche Primärenergie, die zur Deckung des Endenergiebedarfs eines Gebäudes erforderlich ist. Die benötigte Primärenergie umfasst auch jene energetischen Aufwendungen, die bei Gewinnung und Transport des Primärenergieträgers (Rohöl, Erdgas, Biomasse etc.) und anschließender Umwandlung in eine nutzbare Energieträgerform (Heizöl, Hackschnitzel, Pellets, elektrischer Strom) anfallen. Der Primärenergiefaktor von elektrischem Strom ist besonders hoch, weil es sich dabei um einen besonders hochwertigen Energieträger handelt.

U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient):

Thermisch relevanter Kennwert einer ein- oder mehrlagigen Materialschicht in der Einheit $W/(m^2K)$, der bezeichnet, welcher Wärmestrom durch eine Fläche von $1 m^2$ fließt, wenn die an den beiden Seiten der Materialschicht anliegenden Temperaturen sich um $1 K$ unterscheiden

Warmwasserwärmebedarf:

Jene Energiemenge auf Ebene der Nutzenergie, die zur Erwärmung des verbrauchten Trinkwarmwassers benötigt wird.

9 Literaturverzeichnis

AGRAR PLUS, o.J., Vergleich der Heizwerte unterschiedlicher Hackgutarten, online

<http://www.agrarplus.at/kennzahlen.heizwerte.php> (Zugriff am 12.05.2009)

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (a), o.J., Regionsprofil Murau, online

http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/10479348_14143456/020dd210/12_Murau.pdf

(Zugriff am 03.02.2009)

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (b), o.J., Zusammenfassung Regionsprofil Murau, online

http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/10936000_14143456/0e212400/Profil%20Murau%20Zusammenfassung.pdf

(Zugriff am 28.10.2009)

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (c), o.J., Regionsprofil Feldbach, online

http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/10479348_14143456/9257c01f/03_Feldbach.pdf

(Zugriff am 03.02.2009)

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (d), o.J., Zusammenfassung Regionsprofil Feldbach, online

http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/10936000_14143456/205509dd/Profil_Feldbach.pdf

(Zugriff am 28.10.2009)

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (e), o.J., Regionsprofil Radkersburg, online

http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/10479348_14143456/6f170a30/14_Radkersburg.pdf

(Zugriff am 03.02.2009)

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (f), o.J., Zusammenfassung Regionsprofil Radkersburg, online

http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/10936000_14143456/e658db1a/Profil_Radkersburg.pdf

(Zugriff am 28.10.2009)

BIERMAYER P. ET AL., 2009, Heizen 2050: Bereitstellung von Wärme und Klimatisierungsdienstleistungen im Österreichischen Wohn- und Dienstleistungsgebäudebestand bis zum Jahr 2050, Technische Universität Wien, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Energy Economics Group (EEG)

BAUMANN D. 2009, Erneuerbare Energieträger in Österreich, Diplomarbeit am Institut für Wärmetechnik der TU Graz

BFW, 2009, Ergebnisse der Österreichischen Waldinventur 2000 – 2002 des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft. – Wien. online:

http://web.bfw.ac.at/i7/Oewi.oewi0002?geo=6&isopen=0&display_page=0 (Zugriff am 03.02.2009)

BMLUFW, 2008, Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008, 2. Auflage. – Wien.

BRAINWOWS, 2007, Biomasse-Ressourcenpotenzial in Österreich. Studie im Auftrag der RENERGIE Raiffeisen Managementgesellschaft für erneuerbare Energie GmbH, Wien.

BUCHGRABER, K., RESCH, R. UND BLASCHKA, A., 2003, Entwicklung, Produktivität und Perspektiven der österreichischen Grünlandwirtschaft. – Irdning.

DUMKE H., PLHA S., SCHAFFER B, o.J., Raum und Energiepotenziale in der Ostregion. Bericht im Auftrag der Planungsgemeinschaft Ost, Wien.

EEA (EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR), 2009, Greenhouse gas emissions trends and projections in Europe 2009 – Tracking progress towards Kyoto targets, EEA report No.9/2009, ISSN 1725-9177, Copenhagen

EEA (EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR), 2009, Greenhouse gas profiles (November 2009) – Austria, online <http://www.eea.europa.eu/themes/climate/ghg-country-profiles/tp-report-country-profiles/austria-greenhouse-gas-profile-summary-1990-2020.pdf> (Zugriff am 18.11.2009)

ENERGIEAGENTUR OBERSTEIERMARK, 2007, Energievision Murau – Auf dem Weg zu 100 % erneuerbarer Energie, online [http://www.eao.st/daten/pdf/Energievision%20Murau\(2\).pdf](http://www.eao.st/daten/pdf/Energievision%20Murau(2).pdf) (Zugriff am 21.01.2009)

ENERGIEAGENTUR OBERSTEIERMARK, O.J., Energievision Murau, online http://www.eao.st/daten/pdf/Energie_plakat%20NOEST%20und%20EdZ%20Okt07.pdf (Zugriff am 28.10.2009)

ENERGIE AG OBERÖSTERREICH, 2009, Heizsysteme im Kostenvergleich, Böhmerwaldstraße 3, 4021 Linz, www.energieag.at

FRITSCH U., 2007, Endenergiebezogene Gesamt-Emissionen für Treibhausgase aus fossilen Energieträgern unter Einbeziehung der Bereitstellungsvorketten, Öko-Institut e.V., Rheinstraße 95, 64295 Darmstadt, online http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/gemis44thg_emissionen_fossil.pdf (Zugriff am 28.05.2009)

FRITSCH U., 2008, Bestimmung spezifischer Treibhausgas- Emissionsfaktoren für Fernwärme, Umweltbundesamt, 06813 Dessau-Roßlau, online <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3476.pdf> (Zugriff am 28.05.2009)

HAAS R. ET AL. , 2007, Wärme und Kälte aus Erneuerbaren 2030, Wien.

JUNGMEIER G. [ET AL.], 1997a, GEMIS-Österreich - Energietechnische Kennzahlen im Prozesskettenbereich Nutzenergie - Energiedienstleistung / Joanneum Research; Institut für Energieforschung, Graz, Projekt Nr.: IEE96.016-01; Bericht Nr. IEF-B-05/97.

JUNGMEIER G. [ET AL.], 1997b, GEMIS-Österreich - Emissionsfaktoren und energietechnische Parameter im Prozesskettenbereich Endenergie - Nutzenergie / Joanneum Research; Institut für Energieforschung, Graz, Projekt Nr.: IEF.96.015-01; Bericht Nr.: IEF-B-04/97.

LEA – LOKALE ENERGIEAGENTUR OSTSTEIERMARK 2005, Energievision Vulkanland, Umfrageergebnisse der Energiebefragung in der Pilotregion.

LENZEN, M., 2008, Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. Energy Conversion and Management 49, 2178-2199.

MITTLBÖCK, M. ET AL., 2006, Virtuelle Kraftwerke für Autarke Regionen, Hrsg. BMVIT, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 58/2006. – Wien.

OBERNBERGER I., 2009, Herstellung und energetische Nutzung von Pellets, Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, Institut für Prozesstechnik, TU Graz

OIB-BERECHNUNGSLEITFADEN, 2007, Download von www.oib.or.at am 05.08.2009

- ÖNORM B 8110-5, 2007, Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM B 8110-6, 2007, Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM EN ISO 15603:2008 Anhang E, Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergieverbrauch und Festlegung der Energiekennwerte. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM H 5055, 2002, Energieausweis für Gebäude - Raumheizung und Wassererwärmung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- PRETTENTHALER, F.; GOBIET, A.; HABSBURG-LOTHRINGEN, C.; STEINACKER, R.; TÖGLHOFER, C., TÜRK, A., 2007, StartClim2006.F – Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich, Teilprojekt von StartClim2006, Graz
- PRINZ ET AL., 2009, Energie und Raumentwicklung – Darstellung der Potenziale erneuerbarer Energie, In: Österreichische Raumordnungskonferenz ÖROK Schriftenreihe Nr. 178, Wien.
- SCHARDINGER, I., 2009, Endbericht zum Forschungsprojekt Geographische Daten und Methoden als Grundlagen für die Optimierung ländlicher Energiesysteme mit Fokus auf Biomasse. – Salzburg.
- SCHARDINGER, I., 2007, Standortevaluierung für Biogasanlagen - GIS-gestützte Modellierung der Dargebots- und Nachfragepotenziale für Biogas im Bundesland Tirol, Magisterarbeit an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg. 119 S., 33 Abb., 38 Tab., 21 Karten, Salzburg.
- SCHAUMBERGER, A. 2006, Implementierung des Trockenschadenmodells in einem Geographischen Informationssystem (GIS) als Grundlage für die praktische Anwendung – 2. Klimaseminar Raumberg-Gumpenstein. Irdning, 19.01.2006. online: http://www.raumberg-gumpenstein.at/cms/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=129&Itemid=53 (Zugriff am 10.3.2009)
- SCHINNERL D., 2009, Emissionsreduktion durch die Fernwärme im Großraum Graz, Grazer Energieagentur Ges.m.b.H., Kaiserfeldgasse 13/I, 8010 Graz, <http://www.grazer-ea.at/>
- SCHRIEFL E., 2007, Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter der Annahme verschiedener Optimierungsziele. Dissertation an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.
- SPITZER, J., PRETTENTHALER, F., STEINER, D.; SCHINKO, T.; JAGL, A. (O.J.) Impuls: Energie 2025 – Handlungsoptionen für die Energie- und Klimapolitik der Steiermark, Endbericht, online http://www.stenum.at/media/documents/Impuls_Energie2025.pdf (Zugriff am 10.4.2009)
- STATISTIK AUSTRIA, 2009, Nutzenergieanalyse 2008, online: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html (Zugriff am 11. 1. 2010)
- STATISTIK AUSTRIA, 2009b, Gesamtenergiebilanz 1970 – 2008, online: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html (Zugriff am 14. 12. 2009)

TOEGLHOFER, C. [ET AL.], 2009, Endbericht Heat.AT: Die Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich II. Graz: Wegener Center, JOANNEUM Research und Institut für Wärmetechnik.

VELASOLARIS, 2010, <http://www.velasolaris.com> (Zugriff am 24.02. 2010)

VEREIN FÜR KONSUMENTENINFORMATION (VKI), 2003-2009: Tests und Kosten zu Ölbrennwertkessel, Gasbrennwertkessel, Pelletskessel und Wärmepumpen im Überblick, Mariahilfer Straße 81, 1060 Wien, www.konsument.at

VEREIN FÜR KONSUMENTENINFORMATION (VKI), 2009-2010: Heizkosten Extra, Energieträger und Heizsysteme im Vergleich, Stand 09.2009 und 04.2010, Mariahilfer Straße 81, 1060 Wien, www.konsument.at

VDI 2067 BLATT 1 UND 10, 2000, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung und Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude, VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (VDI-GBG), VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf, www.vdi.de

VDI 4640, zitiert in Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Hrsg., 2007, Oberflächennahe Geothermie. Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund. München.

VULKANLAND, 2009, EnergieVision Vulkanland 2025, online <http://www.vulkanland.at/de/energievision-2025/philosophie/> (Zugriff am 29.10.2009)

WIESER M., 2004, Emissionsfaktoren für die Österreichische Luftschadstoff-Inventur, Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, www.umweltbundesamt.at

ZEHEMAYER, 2009, Zehentmayer Software GmbH, <http://www.geq.at/> (Zugriff am 04.11.2009)

Anhang

Geodatenliste

BMLFUW (ed.), 2003-2007, Hydrologischer Atlas Österreichs. Wien:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. ISBN 3-85437-250-7.:

- 1.2 Fließgewässer und Seen
- 1.4 Bodenübersichtskarte
- 6.2 Hydrogeologie

Energie Steiermark AG:

- Oberflächenmodell 0,5m² Testgebiet

GIS Steiermark, 2009, GIS-Datensätze:

- Geländehöhendaten 10x10m Bodenauflösung, 2003
- Kataster – Grundstücksgrenzen, Nutzung, Gebäude, 2008
- Wasserschutzgebiete, 2008
- Landschaftsschutzgebiete, 2009
- Europaschutzgebiete (Natura 2000 Gebiete nach Vogelschutz- und FFH-Richtlinie)
- Geschützter Landschaftsteil
- Natura2000-Managementpläne - Schutzgüter FFH - Polygone
- Natura2000-Managementpläne Maßnahmen - Polygone
- Natura2000-Managementpläne Schutzgüter Vögel - Polygone
- Naturparke
- Naturräumliche Landschaftsgliederung
- Naturschutzgebiete lit. a
- Naturschutzgebiete lit. b
- Naturschutzgebiete lit. c
- ÖPUL 2000 - ÖPUL-Fördergebiete - Spezielle Naturschutzmaßnahmen
- Schutzgebiete nach dem Ramsar-Übereinkommen (Feuchtgebiete)
- Schutzwirksame Wälder der WLV 1995
- 250m Raster Absolute Zahl Hauptwohnsitz, Nebenwohnsitz, Haushalte, Gebäude, Wohngebäude, Wohnungen, Arbeitsstätten

Statistik Austria, 2001, Gebäude- und Wohnungszählung:

- 250m Raster Absolute Anzahl der Wohnungen, der Wohngebäude, der Gebäude, der Haushalte, der Nebenwohnsitze und Hauptwohnsitze
- 250m und 1000m Raster Wohnungen mit Hauptwohnsitz nach Nutzfläche der Wohnungen verkreuzt mit Gebäudenutzung und Bauperiode des dazugehörenden Gebäudes
- 250m und 1000m Raster Wohnungen mit Hauptwohnsitz nach Energieträger für die Wohnungsbeheizung verkreuzt mit Bauperiode des dazugehörenden Gebäudes
- 250m und 1000m Gebäude nach der Gebäudenutzung

Umweltbundesamt:

- CORINE Landcover 2006, Österreich - Nationale Landbedeckungsdatenbank für 2000, Nomenklatur: Level 3 (44 Klassen), 25 ha kleinste berücksichtigte Flächeneinheit, in geographischen Koordinaten, Format: ESRI Shape File, Maßstab: 1:100.000.

ZAMG, 2007, Klimaatlas Steiermark

- Durchschnittliche Globalstrahlung im Jahr und nach Monaten