



Technische Universität München

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme

## **Auswirkungen des Klimawandels auf regionale Energiesysteme**

### **Modellierung und Optimierung regionaler Energiesysteme unter Berücksichtigung klimatischer und räumlicher Aspekte**

Stephan Philipp Hausl

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. Thomas Hamacher
2. Prof. Dr. Wolfgang Streicher

Die Dissertation wurde am 24.11.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 15.11.2018 angenommen.



# Inhalt

<b>INHALT</b> .....	<b>1</b>
<b>PUBLIKATIONEN</b> .....	<b>4</b>
<b>ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>5</b>
<b>1. ÜBERBLICK</b> .....	<b>7</b>
1.1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG .....	7
1.2 THESE .....	8
1.3 METHODISCHE VORGEHENSWEISE .....	9
<b>2. HINTERGRUND</b> .....	<b>11</b>
2.1 KLIMAWANDEL .....	11
2.2 MODELLIERUNG UND OPTIMIERUNG REGIONALER ENERGIESYSTEME .....	15
2.3 TESTREGIONEN .....	16
2.4 HEIZEN UND KÜHLEN IN DER ENERGIEBILANZ .....	17
<b>3. KLIMA</b> .....	<b>19</b>
3.1 ALLGEMEIN .....	19
3.2 METHODIK.....	21
3.3 ERGEBNISSE .....	22
3.3.1 Temperatur.....	23
3.3.2 Globalstrahlung .....	29
<b>4. GEBÄUDEPARK</b> .....	<b>31</b>
4.1 RASTERDATEN ZUM GEBÄUDEBESTAND.....	31
4.2 ENTWICKLUNG DES GEBÄUDEPARKS .....	32
4.2.1 Thermische Sanierungen .....	33
4.2.2 Zu- und Abwanderung .....	35
4.2.3 Abriss (nicht berücksichtigt) .....	37
4.3 GEBÄUDEFLÄCHEN.....	37
<b>5. WÄRMEBEREICH</b> .....	<b>39</b>
5.1 WÄRMEBEDARF .....	39
5.1.1 Allgemeines Vorgehen.....	39
5.1.2 Heizwärmebedarf .....	40
5.1.2.1 Methodik.....	40
5.1.2.2 Ergebnisse .....	45
5.1.3 Warmwasserwärmebedarf.....	48
5.1.4 Ergebnisse.....	48
5.1.4.1 Regionaler Wärmebedarf .....	48
5.1.4.2 Räumliche Darstellung des Wärmebedarfs .....	50
5.1.4.3 Wärmebedarfsdichte .....	51
5.1.4.4 Wärmebelegungsichte .....	52
5.2 HEIZLAST .....	53
5.3 VOLLASTSTUNDEN .....	53
5.4 IST-ZUSTAND DER WÄRMEBEREITSTELLUNG .....	54
<b>6. KÄLTBEREICH</b> .....	<b>57</b>
6.1 HINTERGRUND.....	57
6.1.1 Motive für die Raumkühlung.....	57
6.1.2 Vorhandene Informationen zu Kühlbedarf und Verbreitung von Klimaanlage.....	57
6.1.3 Kühltechnologien.....	60
6.1.4 Begrifflichkeiten .....	61
6.2 ALLGEMEINES VORGEHEN .....	62
6.3 KÜHLGRADTAGE .....	63

6.3.1	Methodik .....	63
6.3.2	Ergebnisse.....	64
6.4	KÜHLBEDARF DER WOHNGBÄUDE .....	65
6.4.1	Diffusion .....	65
6.4.1.1	Methodik.....	65
6.4.1.2	Ergebnisse .....	67
6.4.2	Spezifischer Kühlbedarf .....	68
6.4.2.1	Methodik.....	68
6.4.2.2	Ergebnisse .....	71
6.4.3	Ergebnis: Kühlbedarf in Wohngebäuden.....	72
6.5	KÜHLBEDARF DER NICHT-WOHNGBÄUDE .....	74
6.5.1	Diffusion .....	74
6.5.1.1	Methodik.....	74
6.5.1.2	Ergebnisse .....	75
6.5.2	Spezifischer Kühlbedarf.....	75
6.5.2.1	Methodik.....	75
6.5.2.2	Ergebnisse .....	76
6.5.3	Ergebnis: Kühlbedarf in Nicht-Wohngebäuden.....	77
6.6	ERGEBNIS: REGIONALER STROMBEDARF FÜR KÜHLUNG.....	78
6.7	ABSCHÄTZUNG DER KOSTEN FÜR KLIMAGERÄTE.....	80
<b>7.</b>	<b>ZUSATZ: WÄRMEINSEL EFFEKT, ÜBERHITZUNG UND DYNAMISCHE GEBÄUDESIMULATIONEN .....</b>	<b>81</b>
7.1	WÄRMEINSEL EFFEKT.....	81
7.2	ÜBERHITZUNG UND GEGENMAßNAHMEN.....	83
7.3	DYNAMISCHE THERMISCHE GEBÄUDESIMULATIONEN .....	84
<b>8.</b>	<b>AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELBEDINGTEN VERSCHIEBUNGSEFFEKTS ZWISCHEN WÄRME- UND KÄLTEBEDARF.....</b>	<b>86</b>
<b>9.</b>	<b>STROMBEDARF.....</b>	<b>89</b>
9.1	HAUSHALTE.....	89
9.2	WIRTSCHAFT .....	90
9.3	ELEKTROMOBILITÄT .....	91
9.4	ÜBERSICHT UND EINFLUSS DES KÜHLBEDARFS .....	92
<b>10.</b>	<b>POTENZIALE ERNEUERBARER ENERGIEN .....</b>	<b>95</b>
10.1	SOLARENERGIE.....	95
10.2	UMGEBUNGSWÄRME (WÄRMEPUMPE) .....	97
10.3	BIOMASSE.....	98
10.3.1	Forstwirtschaftliche Biomasse.....	98
10.3.2	Landwirtschaftliche Biomasse .....	100
10.3.3	Energetisch nutzbare Biomasse.....	101
10.4	ZUSAMMENFASSUNG .....	102
<b>11.</b>	<b>REGIONALE ENERGIESYSTEMOPTIMIERUNG .....</b>	<b>103</b>
11.1	METHODIK.....	103
11.1.1	Modellgrundlagen .....	103
11.1.2	Übersicht über mögliche Ergebnisparameter und typische Fragestellungen .....	105
11.1.3	Modellgleichungen.....	107
11.1.4	Einbindung des Strombedarfs über Lastprofile .....	108
11.1.5	Nebenbedingungen und Annahmen .....	109
11.1.6	Szenarien .....	111
11.1.7	Technologie- und Preisdaten.....	112
11.2	ERGEBNISSE .....	113
11.2.1	Allgemein.....	113
11.2.2	Wels-Land.....	114
11.2.3	Tamsweg.....	116
11.2.4	Feldbach .....	118
11.2.5	Strombilanzen im Detail .....	120

<b>12. EMPFEHLUNGEN .....</b>	<b>125</b>
12.1 WÄRMEBEREICH .....	125
12.2 KÜHLBEREICH .....	126
<b>13. DISKUSSION UND AUSBLICK.....</b>	<b>128</b>
13.1 RÄUMLICHER ANSATZ UND REGIONALE ENERGIESYSTEMOPTIMIERUNG .....	128
13.2 GEBÄUDEDATEN.....	129
13.3 KLIMADATEN MIT HOHER RÄUMLICHER AUFLÖSUNG.....	129
13.4 KLIMAABHÄNGIGE MODELLIERUNG DES WÄRME- UND KÄLTEBEDARFS .....	130
<b>14. ANHANG .....</b>	<b>132</b>
14.1 OPTIMIERUNGSMODELL RESRO: MATHEMATISCHE GLEICHUNGEN .....	132
14.2 TABELLEN UND GRAFIKEN .....	138
14.3 LITERATUR .....	151

## Publikationen

Die Erarbeitung dieser Dissertation erfolgte über einen Zeitraum von mehreren Jahren. Wesentliche Teile der in dieser Zeit gesammelten Forschungsergebnisse wurden bereits in einem wissenschaftlichen Journal, in einem Konferenzbeitrag, in Projektberichten oder ähnlichen Veröffentlichungen publiziert. Diese Veröffentlichungen sind unten angeführt.

Hervorzuheben ist der Endbericht des CLEOS-Projekts (2011-2013). Diese Publikation wird im folgenden Bericht mit Hausl et al. (2013) abgekürzt und verweist damit auf Vorarbeiten, Erkenntnisse oder Ergebnisse aus dem CLEOS-Projekt. Basierend auf den Ergebnissen aus dem Projekt wurde auch eine wissenschaftliche Publikation im Journal Thermal Science erarbeitet.

Hausl, S., Themessl, M., Gadocha, S., Schardinger, I., Biberacher, M., Castellazzi, B., Gobiet, A. (2014), Effects of climate change on regional energy systems focussing on space heating and cooling: a case study of Austria, Thermal Science, Volume 18, Issue 3, Pages: 771-786.  
<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?id=0354-98361403771H#>

Hausl, S., Themessl, M., Gadocha, S., Schardinger, I., Biberacher, M., Castellazzi, B., Gobiet, A. (2013), Effects of climate change on regional energy systems in Austria, Proceedings of 8th SDEWES Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems, 2013, Dubrovnik.

Hausl, S., Biberacher, M., Schardinger, I., Gadocha, S., Castellazzi, B., Themessl, M., Gobiet, A., Schönsteiner, K. und T. Hamacher (2013), CLEOS: Klimasensitivität regionaler Energiesysteme – Ein räumlicher Optimierungsansatz, Im Auftrag des österreichischen Klima- und Energiefonds, Salzburg.  
<https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/01042015CLEOSMarkus-BiberacherEBB060377-ACRP2K10AC0K00026.pdf>

Hausl S. (2013), Auswirkungen des Klimawandels auf regionale Energiesysteme - ein räumlicher Optimierungsansatz, Angewandte Geoinformatik 2013, S. 500-506, Wichmann Verlag.

Hausl S. (2013), Effects of climate change on regional energy systems emphasizing the energy demand of buildings, Proceedings of World Sustainable Energy Days 2013, Wels, Austria.

Hausl S., Biberacher M., Gadocha S. (2012), RESRO: A spatio-temporal model to optimise regional energy systems emphasising renewable energies, EPJ Web of Conferences, Volume 33, 2012, 2nd European Energy Conference, Maastricht. <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20123301013>

Hausl S. und Biberacher M. (2012), Räumliche Aspekte in der regionalen Energiesystemoptimierung, Angewandte Geoinformatik 2012, S. 492-501, Wichmann Verlag.

# Abkürzungen

An dieser Stelle werden die wichtigsten Abkürzungen und deren Langform aufgezählt. Die Verwendung von Abkürzungen ist oft sinnvoll, da zum Teil sehr lange Fachbegriffe häufig verwendet werden und somit die Lesbarkeit der Arbeit durch die Abkürzungen verbessert wird.

## Gebäudetypen

EFH	Einfamilienhäuser
MFH	Mehrfamilienhäuser
NWG	Nicht-Wohngebäude
WG	Wohngebäude

## Parameter

HGT	Heizgradtage
KGT	Kühlgradtage
HWB	Heizwärmebedarf
WWWB	Warmwasserwärmebedarf

## Einheiten

GWh	Gigawattstunden, entspricht 1.000.000 kWh
MWh	Megawattstunden, entspricht 1.000 kWh
kWh	Kilowattstunden
kWh/m <sup>2</sup> /a	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr
Kd	Kelvin-Tage
TJ	Terajoule (3,6 TJ = 1 GWh)

## Sonstige

EER	Energy Efficiency Ratio
PV	Photovoltaik
ST	Solarthermie
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KW	hier: Klimawandel
ohne KW	ohne (fortschreitenden) Klimawandel
mit KW	mit (fortschreitenden) Klimawandel
WP	Wärmepumpe





# 1. Überblick

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die Inhalte dieser Arbeit. Neben einer Darstellung des Themas wird auf die aufgestellte These, die zu beantwortenden Forschungsfragen und die methodische Vorgehensweise eingegangen.

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Der Klimawandel (IPCC, 2013) und seine potenziellen Auswirkungen zählen zu den größten Herausforderungen unserer Zeit. Es wird davon ausgegangen, dass bereits heute die Begrenzung des Anstiegs der globalen Temperatur um 2°C bis 2050 nur mehr mit enormen Anstrengungen erreicht werden kann. Doch selbst bei sehr entschlossenen und raschen Klimaschutzmaßnahmen werden der Klimawandel und dessen Auswirkungen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten spürbar sein, was sich aus der Lebensdauer der Treibhausgase und den Eigenschaften des Klimasystems ableitet. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, den Klimawandel und dessen Auswirkungen zu analysieren, sowie neben Minderungs- (engl.: mitigation) auch potentielle Anpassungsstrategien (engl.: adaption strategies) hinsichtlich der Effekte des Klimawandels zu erstellen.

Publikationen, die sich mit dem Thema der Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Sektoren, auch den Energiesektor, beschäftigen, sind in Europa u.a. EEA (2012), IPCC (2007a / 2014a), CEPS (2010). Zusammenfassend schildern diese Berichte eher positive Effekte für Nordeuropa in Bezug auf die Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Energie aufgrund von besseren Wachstumsbedingungen für Feldfrüchte und Bäume und einem reduziertem Heizbedarf. Die Effekte auf Südeuropa und mediterrane Länder werden im Gegensatz dazu sehr negativ gesehen aufgrund höherer Sommertemperaturen sowie häufigeren Hitzeperioden und Dürren, die zu signifikanten Problemen in der Land- und Forstwirtschaft als auch einem stark ansteigenden Kühlenergiebedarf im Sommer führen. Die Effekte auf Mitteleuropa werden häufig nicht eindeutig beschrieben, da diese zwischen Ländern und sogar innerhalb einzelner Regionen differieren. Somit besteht in diesem Raum noch Forschungsbedarf, zumal der zukünftige Klimawandel und damit auch dessen Auswirkungen hohe Unsicherheiten aufweisen. Österreich, welches durch seine Lage und den Einfluss der Alpen mehrere Klimazonen aufweist, bietet sich vor diesem Hintergrund als Testgebiet an, weshalb drei österreichische Regionen untersucht werden.

Die Temperaturerhöhung ist eine der prägnantesten direkten Auswirkungen des Klimawandels. Mildere Winter führen dabei zu geringerem Heizwärmebedarf, während heißere Sommer und häufiger auftretende Hitzeperioden einen höheren Kühlbedarf verursachen. Somit findet tendenziell eine Verschiebung vom Wärme- zum Kältebedarf statt. Bezüglich der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen dieses Verschiebungseffekts auf ganze Regionen sollten jedoch auch die unterschiedlichen Arten der Energiegewinnung für Heizen und Kühlen und Veränderungen im Gebäudepark wie etwa Sanierungen berücksichtigt werden. Weiterhin sind Technologie- und Preisentwicklungen hinsichtlich der zukünftigen Energiebereitstellung von Relevanz, was für die Verwendung von Energiesystemmodellen zur Behandlung der Thematik spricht.

Folgende Kernbereiche und Forschungsfragen stehen somit im Fokus der Dissertation:

**Modellierung Energiebedarf:**

- *„Wie ändert sich der regionale Energiebedarf für Heizen und Kühlen durch den Klimawandel?“*

**Regionale Energiesystemoptimierung:**

- *„Wie könnte der regionale Energiebedarf zukünftig gedeckt werden?“*
- *„Inwiefern beeinflusst der Klimawandel – und hierbei vor allem die steigenden Temperaturen – die zukünftige Energiebereitstellung und die damit verknüpften Treibhausgasemissionen?“*
- *„Wie hoch wird der Anteil regional verfügbarer und/oder erneuerbarer Energieträger an der regionalen Energieerzeugung zukünftig sein (ohne Mehrkosten)?“*

Die Ergebnisse werden primär auf gesamtregionaler Ebene analysiert, um so die klimawandelbedingten Änderungen für die Gesamtheit der Gebäude in einer Region bzw. für eine gesamte Region zu quantifizieren. Der Schwerpunkt liegt also – trotz teils gebäudegenauer Modellierung – nicht auf der Analyse einzelner Gebäude, sondern auf der Analyse gesamter Regionen, da dies für die Erstellung integrativer Energiestrategien dienlicher ist.

## 1.2 These

Folgende These wurde im Rahmen der Dissertation aufgestellt:

Die energetischen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des durch den Klimawandel bedingten Verschiebungseffekts zwischen Heiz- und Kühlenergiebedarf hängen vom vorliegenden Ausgangsklima, der Klimaänderung (speziell: Temperaturänderung), dem zukünftigen Verhalten der BürgerInnen (z.B. Verwendung von Klimaanlage) und Strategien der EntscheidungsträgerInnen (z.B. energetische Sanierungen) ab.

Das derzeit moderate Klima in Mitteleuropa und der damit verbundene im Vergleich zum Wärmebedarf geringe Klimatisierungsaufwand im Sommer lassen jedoch vermuten, dass in Regionen ohne städtischen Wärmeinsel Effekt eine Energieeinsparung in Bezug auf den klimabedingten Verschiebungseffekt zwischen Heizen und Kühlen zu beobachten sein wird. Somit wird – trotz Temperaturerhöhung – der Heizenergiebedarf weiterhin den Kühlenergiebedarf bei weitem übersteigen, sowie der klimabedingte Rückgang des Wärmebedarfs höher ausfallen als der Anstieg des Kältebedarfs.

Die Temperaturerhöhung und Sanierungen führen dabei zu einem signifikant reduzierten Wärmebedarf, der zu einem großen Teil durch regional verfügbare erneuerbare Energieträger und ohne hohe Mehrkosten gegenüber fossilen Energieträgern gedeckt werden kann. Der Kühlbedarf hingegen kann durch planerische und bauliche Maßnahmen eingedämmt und über intelligente Strategien der Energiebereitstellung ressourceneffizient gedeckt werden, so dass eine nachhaltige Wärme- und Kältebedarfsdeckung mit geringen Treibhausgasemissionen auch durch den Klimawandel nicht verhindert wird, sondern in einigen Fällen sogar begünstigt wird. Zusätzlich werden unabhängig vom Klimawandel kostengetriebene Reduktionen der Treibhausgasemissionen durch Entwicklungen bei Technologien und Brennstoffpreisen erzielt.

### 1.3 Methodische Vorgehensweise

Drei Testregionen in Österreich, die sich durch ihr Klima und ihre Landnutzungsstruktur unterscheiden und für die jeweils drei räumlich hoch aufgelöste Klimaszenarien bis zum Jahr 2050 vorliegen, werden auf mögliche Auswirkungen des Klimawandels hin untersucht. Die Klimadaten liegen in einer räumlichen Auflösung von 1 km vor und werden vom Wegener Center bereitgestellt. Weiterhin kommt ein 250 m Gebäuderaster der Statistik Austria zum Einsatz. Neben einer detaillierten Analyse der Änderungen des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen wird eine Energiesystemoptimierung durchgeführt, bei der die kostenoptimale Energiebereitstellung der Testregionen mit Hilfe mathematischer Optimierungsmethoden gefunden wird. Abbildung 1-1 zeigt hierzu eine Übersicht über Teilbereiche der angewendeten Methodik und deren Zusammenhänge.

Für die Modellierung des Wärme- und Kältebedarfs werden stationäre Bottom-Up Modelle erstellt, welche ausgehend von Einzelgebäuden den Energiebedarf ganzer Regionen berechnen. Dies erfolgt räumlich explizit mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems, kurz GIS. Der Einfluss des variablen Klimas auf den Wärme- und Kältebedarf wird dabei primär über die Heiz- und Kühlgradtage abgebildet. Im Wärmebereich findet eine Unterscheidung zwischen zahlreichen Gebäudetypen und -bauperioden statt, während im Kältebereich zwischen Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden differenziert wird. Die derzeitige und zukünftige Ausbreitung und Verwendung von Klimaanlageanlagen wird anhand teils selbst erstellter klimaabhängiger Funktionen modelliert.

Um den Einfluss des gestiegenen Kühlstrombedarfs auf die regionale Strombilanz abzuschätzen, wird der Strombedarf für die Sektoren Haushalte, Wirtschaft und Elektromobilität modelliert und dessen Entwicklung aufgezeigt. Der regionale Gesamtstrombedarf wiederum wird in weiterer Folge für die regionalen Energiesystemoptimierungen verwendet, in die die Strombedarfe über zeitlich detaillierte sektorspezifische Lastprofile eingebunden werden. Zudem werden die Potenziale der für die Untersuchung relevanten erneuerbaren Energieträger Solar (Photovoltaik, Solarthermie), Umgebungswärme (Wärmepumpe) und Biomasse analysiert, wobei ein expliziter Einfluss des Klimawandels dabei nicht berücksichtigt wird.

Bei den regionalen Energiesystemoptimierungen kommt das im Rahmen der Dissertation entwickelte Energiesystemmodell RESRO<sup>1</sup> (Reference Energy System Regional Optimization) zum Einsatz, in welchem die zuvor gewonnenen Erkenntnisse zur Entwicklung des klimaabhängigen regionalen Energiebedarfs (Wärme & Strom) in Wert gesetzt werden. Ebenso werden die regional verfügbaren erneuerbaren Energieträger berücksichtigt, mit welchen ein möglichst geringer Klimaeffekt und eine hohe Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern bei der Energiebereitstellung erzielt werden kann. Die Ergebnisse der Optimierungen tragen neben den Erkenntnissen über die Auswirkungen des Klimawandels zu einer rationalen Diskussion über eine Regionalisierung und Dezentralisierung der Energieversorgung bei.

---

<sup>1</sup> S. Hausl, M. Biberacher und S. Gadocha, „RESRO - A spatio-temporal model to optimise energy systems emphasising renewable energies,“ EPJ Web of Conferences 33, Proceedings of E2C European Energy Conference, Maastricht, 2012. <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20123301013>

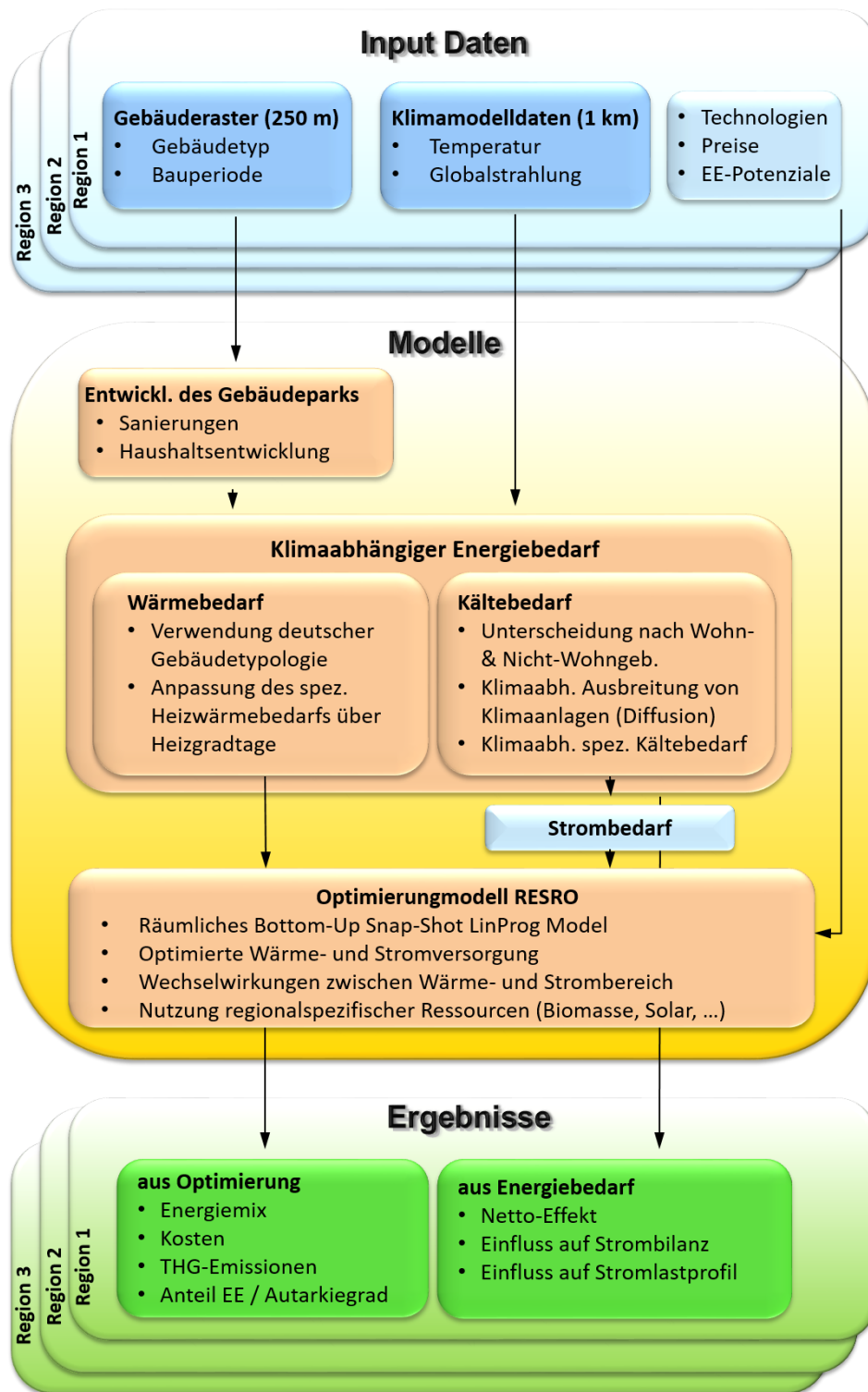


Abbildung 1-1 Übersicht über methodische Teilbereiche und Zusammenhänge

## 2. Hintergrund

In diesem Abschnitt werden wichtige Hintergrund Informationen dargelegt, die zu einem erhöhten Verständnis für die behandelte Thematik beitragen. Neben einer ausführlichen Darstellung des Klimawandels auf globaler und nationaler Ebene wird der Begriff der regionalen Energiesystemmodellierung und -optimierung erläutert, die behandelten Testregionen vorgestellt sowie auf die hohe Bedeutung des Heiz- und Kühlbereichs eingegangen.

### 2.1 Klimawandel

Während der Treibhauseffekt bereits im 19. Jahrhundert entdeckt wurde (Fourier, 1824), setzte sich erst im Laufe des 20. Jahrhunderts die Meinung durch, dass die menschlichen Aktivitäten die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern und dass als Konsequenz auch das Klima Änderungen erfährt. In den letzten Jahrzehnten wiederum hat sich in Wissenschaft und Gesellschaft endgültig die Ansicht der kausalen Verbindung zwischen der Konzentrationserhöhung anthropogener Treibhausgase (THG) in der Atmosphäre und den gemessenen Temperaturänderungen etabliert (IPCC, 2007b / 2013). Der Klimawandel ist dabei keine abstrakte zukünftige Bedrohung, sondern ein Phänomen, das bereits heute deutlich zu spüren ist anhand stetig steigender mittlerer Temperaturen, steigendem Meeresspiegel, häufigeren und stärkeren Hitzeperioden sowie anderen Extremereignissen.

So stellt der im Jahr 2013 veröffentlichte fünfte Sachstandsbericht (5<sup>th</sup> Assessment Report, AR5) des Zwischenstaatlichen Ausschusses über Klimaveränderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, kurz: IPCC) wissenschaftlich fundierte Informationen zum Klimawandel zur Verfügung. Gleichzeitig appelliert der IPCC an die Weltgemeinschaft, den Ausstoß klimaschädlicher Gase wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) und Fluorkohlenwasserstoffen (CFCs) zu verringern, um den Klimawandel und dessen zum Teil drastische Auswirkungen zu mindern. Dies geht einher mit Forderungen nach einem zügigen und grundlegenden Umbau der Energieversorgung in Richtung Dekarbonisierung in IPCC (2014b).

Folgende Erkenntnisse zum Klimawandel sind dem Bericht der Arbeitsgruppe I des IPCC mit dem Titel „Climate Change 2013: The Physical Science Basis“ (IPCC, 2013) entnommen:

Der überwiegende Teil der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts geht „mit extremer Wahrscheinlichkeit“ – also mit über 95%-iger Wahrscheinlichkeit – auf menschliche Aktivitäten zurück. Die derzeitige CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ist die höchste innerhalb der letzten 800.000 Jahre, wie aus Eiskern-Bohrungen hervorgeht, wobei die Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehalts 40% und die des Methan-Gehalts sogar 150% seit der vorindustriellen Phase (Periode 1850–1900) beträgt.

Die Temperatur ist im Allgemeinen der bedeutendste Indikator für den beobachteten und weiter voranschreitenden globalen Klimawandel. Die globale mittlere Temperatur ist heute (Periode 2003-2012) um 0,78 °C höher als in vorindustriellen Zeiten, bei einem Trend von etwa 0,13 °C/Dekade in den letzten 50 Jahren (s. Abbildung 2-1). Mitteleuropa und insbesondere der Alpenraum zeigen stärkere Änderungen auf als das globale Mittel (Formayer et al., 2007), was mitunter daran liegt, dass sich Landflächen stärker erwärmen als Ozeane, wie in Abbildung 2-1 zu sehen ist. Im Alpenraum steigt die Temperatur laut Auer et al. (2007) sogar etwa doppelt so schnell wie im globalen Durchschnitt. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (2081-2100) errechnen die Klimamodelle globale Erwärmungen von 0,3 - 1,7 °C im kühlfsten Szenario und 2,6 - 4,8 °C im wärmsten Szenario im Vergleich zur Referenzperiode 1986-2005.

Neben der Oberflächenerwärmung ist der Anstieg des Meeresspiegels ein drastisches Beispiel für die direkten Folgen des Klimawandels. Dieser vorwiegend durch das Abschmelzen der Gletscher und der Volumenexpansion des Wassers hervorgerufene Anstieg wird auf 19 cm zwischen 1901 und 2010 beziffert, was einem jährlichen Mittelwert von 1,7 mm pro Jahr entspricht. Die aktuelle Zunahme des Meeresspiegels wird hingegen bereits mit 3,2 mm pro Jahr angegeben. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte im Extremfall der absolute Anstieg bereits fast einen Meter gegenüber dem heutigen Stand betragen, bei einer Anstiegsrate von bis zu 16 mm pro Jahr.

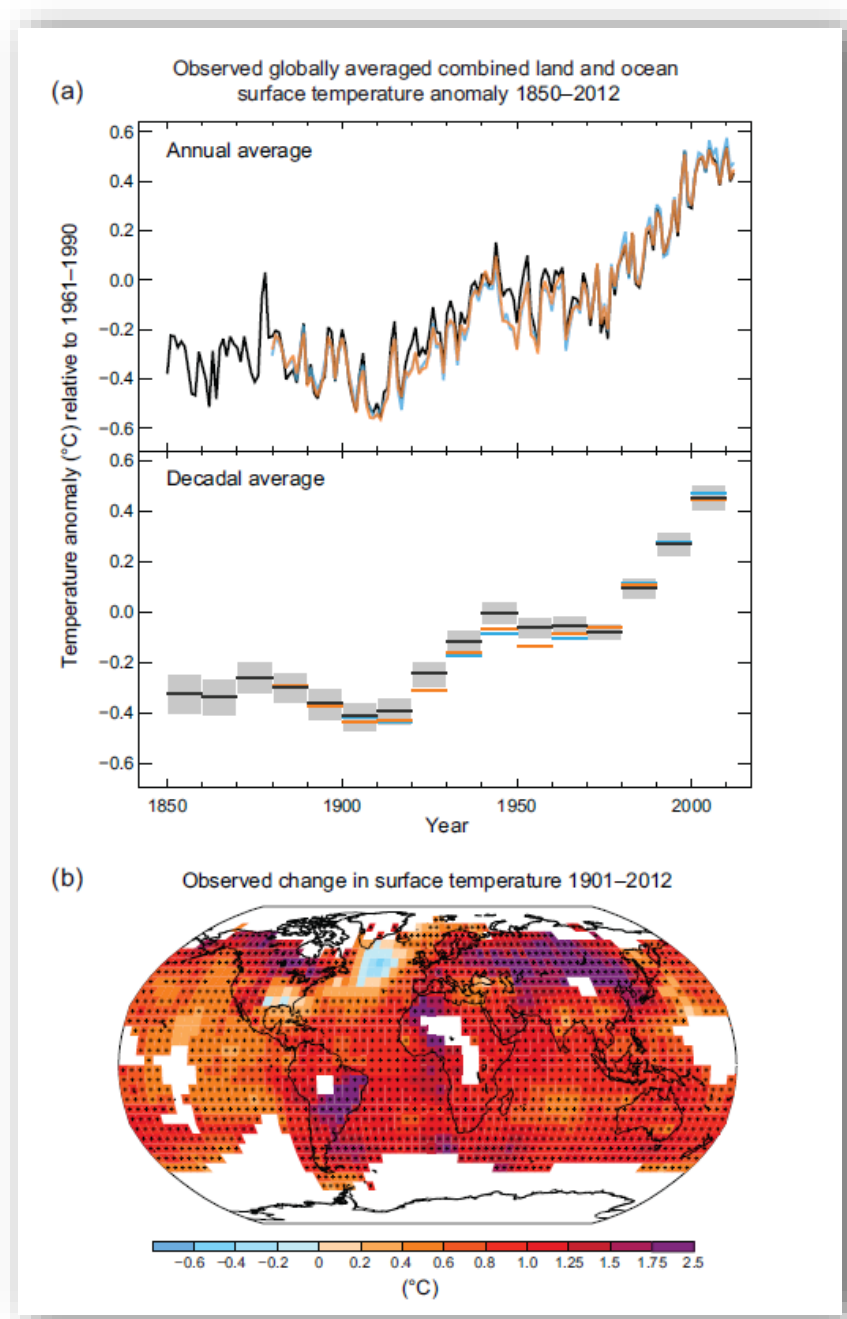


Abbildung 2-1 Beobachtete Änderung der globalen Erdoberflächentemperatur. Quelle: IPCC (2013).

Das häufigere und stärkere Auftreten von klimatischen Extremereignissen wie Hitzewellen (in Asien, Australien und Europa) oder Starkniederschlägen (in Nordamerika und Europa) wird indes durch den Klimawandel ebenso begünstigt.



2071-2100) ungefähr jeder zweite Sommer in Europa gleich warm oder wärmer ausfallen dürfte als jener des Jahres 2003.

Der neue deutsche Temperaturrekord wurde übrigens mit 40,3°C am 5. Juli 2015 um 15:40 in Kitzingen gemessen (Stand: Juli 2015). Zwar wurden bereits in der Vergangenheit beispielsweise mit 40,0°C im Jahr 1983 oder 39,6°C im Jahr 1952 ebenfalls extrem hohe Temperaturen notiert, so ist doch eine deutliche Zunahme von Hitzewellen in den vergangenen Jahrzehnten zu beobachten. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit, solche Extremereignisse nicht singulär, sondern anhand möglichst langer Zeitreihen zu bewerten, um eine klimatologisch korrekte Einordnung zu ermöglichen. In diesem Kontext wird vom DWD eine langfristige Zunahme der Hitzeperioden gemeldet, wie in Abbildung 2-3 zu sehen ist. Hier wird das Auftreten von 14-tägigen Perioden mit einem mittleren Tagesmaximum von 30°C oder mehr samt dem entsprechenden Wert abgebildet. Eine Zunahme der Häufigkeiten ist im zeitlichen Verlauf deutlich zu erkennen. Ebenso kann ein positiver Nord-Süd-Gradient hinsichtlich Häufigkeit und Intensität der abgebildeten Hitzeperioden abgeleitet werden (DWD, 2015b).

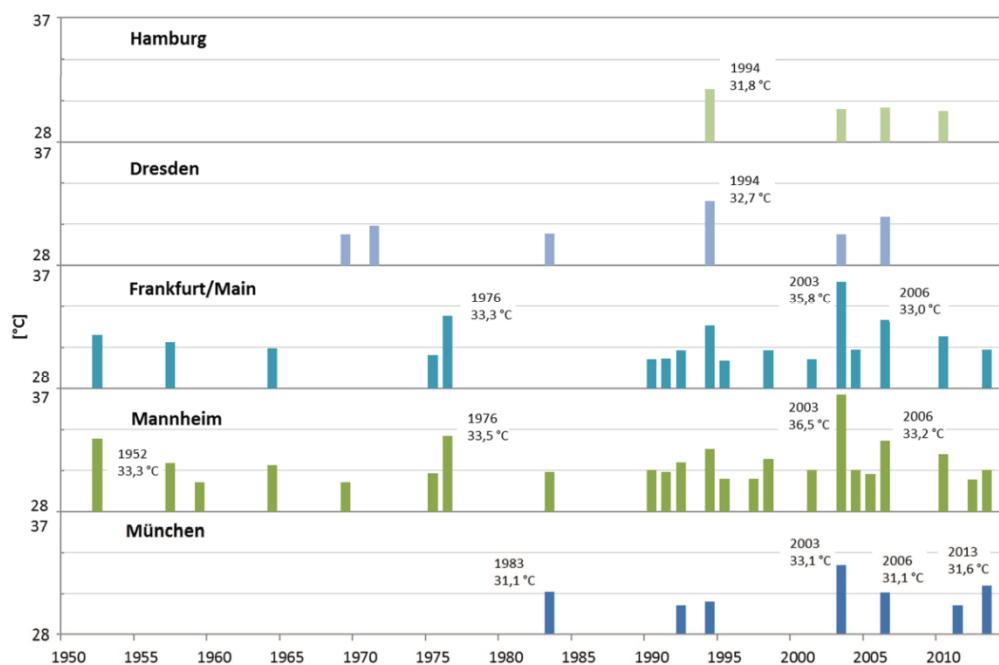


Abbildung 2-3 Maximale jährliche 14-tägige Hitzeperioden mit einem mittleren Tagesmaximum von 30°C oder mehr für fünf deutsche Großstädte. Quelle: DWD.

Die meisten Klimaszenarien gehen indes von einer weiteren, sogar beschleunigten Erderwärmung aus, vor allem, falls sich der Anstieg der weltweiten THG-Emissionen weiter fortsetzt. Einige der Effekte des Klimawandels sind jedenfalls bereits unvermeidbar aufgrund der langen Lebensdauer der Emissionen und der Trägheit des Klimasystems (van der Linden&Mitchell, 2009). Deshalb liegt es in unserem Interesse, Strategien für die Anpassung an den Klimawandel und die Schadensmilderung des Klimawandels zu entwickeln.

Die Folgen des Klimawandels sind zum Teil drastisch, wobei starke regionale Unterschiede vorliegen. Da die Phänomene des Klimawandels jedoch im menschlichen Maßstab sehr langsam stattfinden, sind die Auswirkungen nicht immer sofort sichtbar. Es gibt aber auch sehr deutliche, sichtbare Anzeichen der rapiden Erwärmung wie etwa den Gletscherschwund in den Alpen (s. Abbildung 2-4) oder den vermehrten Rückgang der Eisflächen in der Arktis.





Abbildung 2-4 Gletscherschwund in den Alpen. Aufnahme der Pasterzenzunge mit Großglockner (3798 m).  
Quelle: Gesellschaft für ökologische Forschung, Wolfgang Zängl,  
<http://www.gletscherarchiv.de>

## 2.2 Modellierung und Optimierung regionaler Energiesysteme

Die Modellierung regionaler Energiesysteme bezeichnet die modelltechnische Untersuchung von regional begrenzten Energiesystemen. Dies beinhaltet die Erfassung, Abbildung und Analyse bestimmter Teilbereiche eines Energiesystems. Diese Teilbereiche sind in erster Linie Energiebedarf, Energiepotenziale, Energietransport und Energieerzeugung. Die räumliche Skala der regionalen Energiesystemmodellierung ist dabei deutlich unterhalb der globalen, kontinentalen und nationalen Skala einzuordnen, d.h. die untersuchten Gebiete der regionalen Skala sind deutlich kleiner als die Gebiete der übergeordneten räumlichen Skalen. Die Untersuchungsgebiete können beispielsweise Gemeinden, Landkreise oder wie in dieser Arbeit politische Bezirke sein. In vorliegender Arbeit kann bezüglich der Testregionen von vorwiegend ländlichen Gebieten gesprochen werden, auch wenn der Begriff der regionalen Energiesystemmodellierung urbane Gebiete nicht zwingend ausschließt.

Um die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen bei der optimalen Ausgestaltung von Energiesystemen abbilden und berücksichtigen zu können, werden Energiesystemmodelle verwendet, welche meist als mathematische Optimierungsmodelle aufgebaut sind. Mit Hilfe dieser Modelle können optimale Lösungen in Form von Szenarien berechnet werden, welche als Entscheidungsunterstützung bei strategischen und planerischen Fragestellungen beitragen. Dies betrifft häufig den Ausbau und Betrieb der Systemkomponenten oder die passende Zusammensetzung der zur Auswahl stehenden Energieträger und -technologien. Die dabei zugrunde gelegten Annahmen bezüglich zukünftiger Entwicklungen, wie etwa die Entwicklung der Energiepreise, beeinflussen die Ergebnisse eines Szenarios wesentlich. Die Ergebnisse von Szenarien sind deshalb immer unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen zu bewerten.

Energiesystemoptimierungen sind meist darauf ausgerichtet, die kostenoptimale Lösung der Energiebereitstellung unter Berücksichtigung verbindlicher Nebenbedingungen zu berechnen. Nebenbedingungen können beispielsweise eine Emissionsminderungsvorgabe oder auch Unter- und Obergrenzen bezüglich des Einsatzes gewisser Energieträger oder -technologien sein. Die mathematische Methode, auf der solch ein Energiesystemoptimierungsmodell aufbaut, ist häufig eine lineare (LP) oder gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung (GGLP, engl.: mixed-integer, MIP).

Für einen Überblick über verschiedenste – auch räumliche – Ansätze und Modelle zur Energiesystemmodellierung und -optimierung wird auf Connolly et al. (2010), Schardinger (2014) und Dorfner (2016) verwiesen.

## 2.3 Testregionen

Es werden drei Regionen in Österreich betrachtet, welche bedingt durch ihre geographische Lage deutliche Unterschiede in ihren klimatischen Gegebenheiten aufweisen. Während die Region Tamsweg (Bundesland Salzburg) ein alpines bzw. subalpines Klima aufweist, liegt Wels-Land (Oberösterreich) innerhalb des mitteleuropäischen Übergangsklimas und Feldbach (Steiermark) in der illyrischen Klimazone<sup>2</sup>. Ob sich der Klimawandel in den einzelnen Klimazonen unterschiedlich stark auswirkt, wird im Rahmen der Erstellung lokaler Klimaszenarien untersucht.

Die Regionen unterscheiden sich neben dem Klima stark hinsichtlich ihrer Landnutzungsstruktur. Tamsweg zeichnet sich insbesondere durch die starke Bewaldung und große Flächen mit natürlichem Grünland aus, während in Wels-Land die Ackerwirtschaft vorrangig ist. Die Region Feldbach verfügt über sehr kleinräumige Strukturen aus Ackerland und Laubwald sowie komplexer Parzellenstruktur. Eine Darstellung der Landnutzungsstruktur der Testregionen und deren geographische Lage in Österreich ist in Abbildung 2-5 abgebildet.

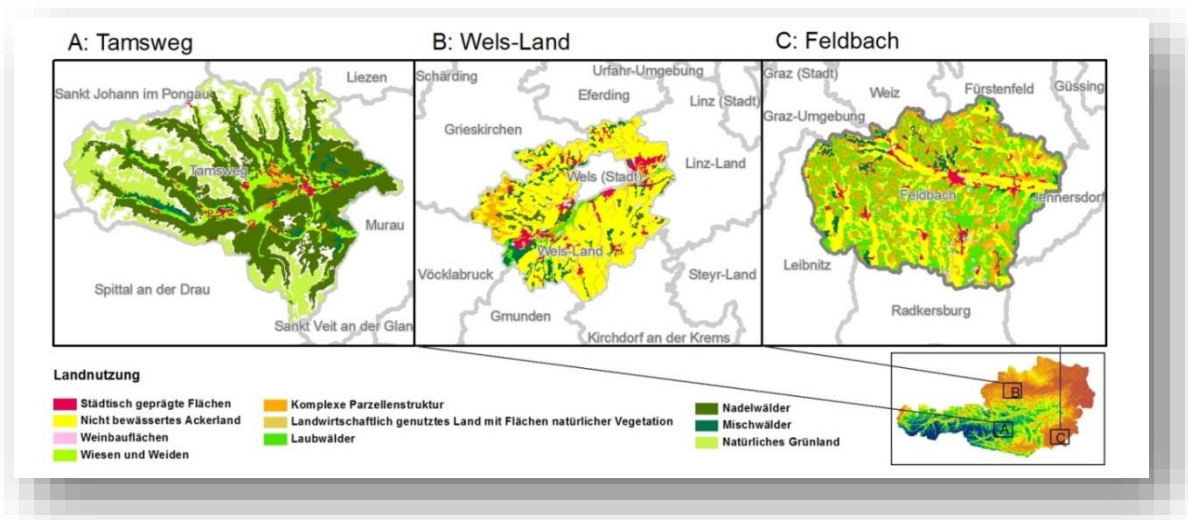


Abbildung 2-5 Darstellung der Landnutzungsstruktur der Testregionen sowie deren geographische Lage in Österreich. Quelle: Hausl et al. (2013).

Die flächenmäßig größte Region Tamsweg weist nur eine Bevölkerung von 21.000 auf, während Wels-Land und Feldbach mit knapp 68.000 bzw. 67.000 Einwohnern deutlich stärker bevölkert sind. Die bevölkerungsreichsten Gemeinden in den Bezirken sind Tamsweg mit 6.000 Einwohnern, Marchtrenk (Region Wels-Land) mit 12.500 Einwohnern und Feldbach mit 4.700 Einwohnern, was auf sehr kleine Siedlungsgrößen hinweist.

Die einzelnen Regionen sehen sich auch mit unterschiedlichen Herausforderungen hinsichtlich einer Bevölkerungszunahme bzw. -abnahme konfrontiert. So wird für Wels-Land ein starker Bevölkerungszuwachs prognostiziert, während für Tamsweg und Feldbach leichte Bevölkerungsrückgänge vorhergesagt werden. Dies wird nochmals in Kap. 4.2.2 erläutert.

Tabelle 2-1 gibt einen abschließenden Überblick über die Strukturmerkmale der Testregionen.

<sup>2</sup> Illyrisches Klima: Übergangsklima zwischen mediterranem, Alpen- und pannonischem Klima, auftretend im Südosten Österreichs und in Slowenien.

Tabelle 2-1 Überblick über Strukturmerkmale der Testregionen.  
Quelle: Eigene Abbildung nach Scharding (2014).

Strukturmerkmal	Bezugsjahr	Tamsweg	Wels-Land	Feldbach
Bevölkerung	2011	20.502	67.945	66.795
Haushalte	2001	7.040	23.462	21.815
Ackerflächen [ha]	2010	475	27.113	17.019
Grünlandflächen [ha]	2010	7.919	11.356	27.950
Forstwirtschaftliche Flächen [ha]	2007-2009	46.000	6.000	27.000
Anschluss an das überregionale Erdgasnetz	2001	nicht vorhanden	vorhanden	teilweise vorhanden

## 2.4 Heizen und Kühlen in der Energiebilanz

Die Primärenergiebilanzen Deutschlands und Österreichs weisen noch immer hohe Anteile fossiler Energieträger wie Öl und Gas an der Energieversorgung auf, welche zu einer Verstärkung und Beschleunigung des Klimawandels beitragen. Somit bestehen noch hohe Substitutionsmöglichkeiten fossiler Energieträger. Dies in Kombination mit einem kaum rückläufigen Energieverbrauch zeigt die Notwendigkeit auf, Energieeffizienzmaßnahmen sowie eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien anzustreben, wie sie im Rahmen nationaler und europäischer Energiestrategien vor dem Hintergrund der Energiewende genannt werden.

Der Heiz- und Kühlenergiebereich bietet hier aufgrund seines sehr hohen Anteils am Energieverbrauch große Potenziale zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und somit zur Minderung des Klimawandels. So verursacht der Bereich Raumheizung und Warmwasserbereitung in Deutschland laut UBA (2015a) 84% des Endenergieverbrauchs in Haushalten, wobei der Haushaltsbereich für einen Anteil von 28% am Gesamtverbrauch steht. Die in diesem Bereich am meisten genutzten Energieträger sind noch immer die fossilen Energieträger Gas und Öl, gefolgt von erneuerbaren Energien und der Fernwärme (UBA, 2015b).

Ein Blick auf den österreichischen Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Nutzenergiekategorien in Abbildung 2-6 zeigt ein ähnliches Bild auf. Die zwei größten Verbrauchskategorien sind dabei der Bereich Traktion (Straßen-, Schienen, Flug-, Schiffsverkehr) mit 34% am Endenergieverbrauch sowie der Bereich der Raumheizung und Klimaanlage mit 30%. Hierdurch werden ebenfalls die hohe Bedeutung dieses Verbrauchssektors und der dortigen Verbesserungspotenziale verdeutlicht. Der Hauptanteil im Bereich Raumheizung und Klimaanlage, welcher in dieser Arbeit von besonderem Interesse ist, ist dem Raumheizungsbereich zuzuschreiben. Dies ist schon an den eingesetzten Energieträgern zu erkennen, da derzeit für Kühlzwecke fast ausschließlich elektrische Energie verwendet wird und der Anteil der elektrischen Energie im betrachteten Bereich sehr gering ist. Die in der Bilanz abgebildeten Anteile elektrischer Energie können jedoch auch von Heizzwecken (elektr. Widerstandsheizungen, Wärmepumpen) herrühren, so dass eine Unterscheidung nicht möglich ist. Eine offizielle Energieverbrauchsstatistik, welche zwischen Heizung und Kühlung differenziert, ist im Übrigen leider nicht verfügbar.

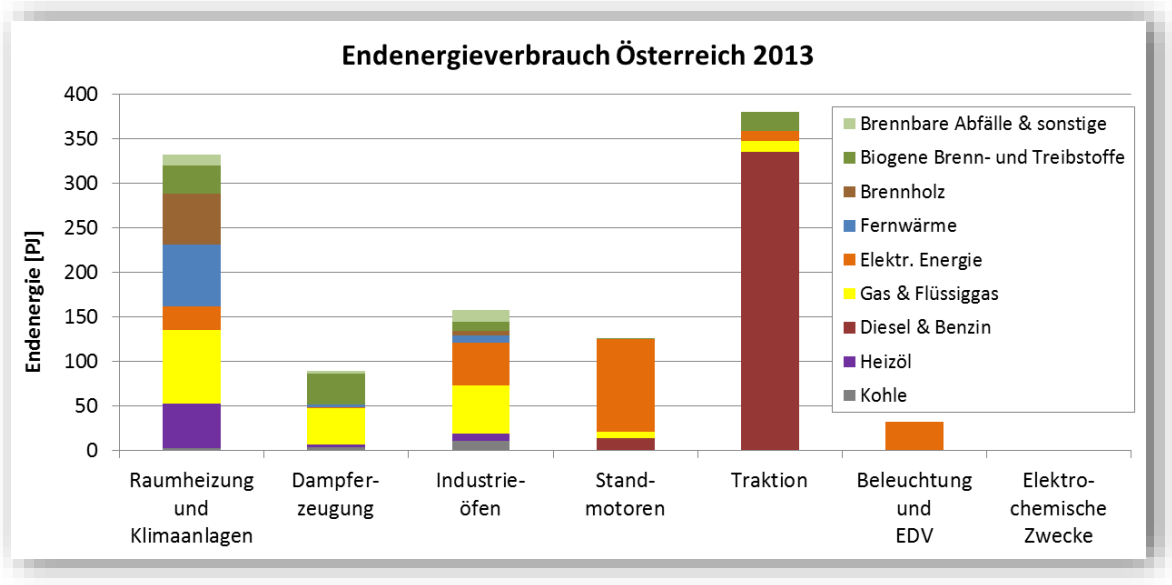


Abbildung 2-6 Energetischer Endverbrauch 2013 nach Energieträgern und Nutzenergiekategorien für Österreich. Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria (2015).



Realität entspricht. Daher findet für regionale Analysen wie beispielsweise im ENSEMBLES-Projekt (van der Linden&Mitchell, 2009) eine weitere räumliche Verfeinerung von Klimamodellen auf 10-25 km, genannt Downscaling, statt, was zu einer deutlich verbesserten Darstellung der topografischen Verhältnisse führt, wie in Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3 zu erkennen ist.

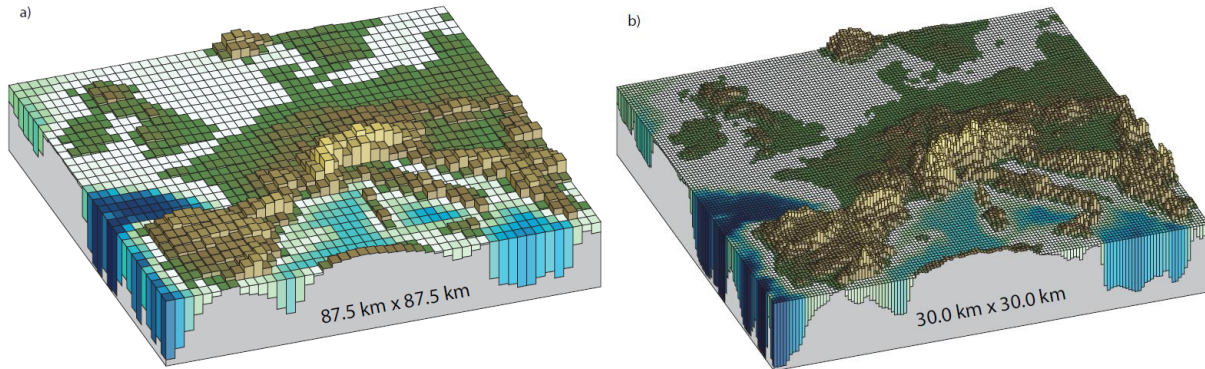


Abbildung 3-2 Darstellung der Topografie Europas für ein 87,5 km und ein 30 km Modell.  
Quelle: IPCC (2013).

Diese Verfeinerung lässt sich wiederholen, so dass wichtige klimarelevante Informationen zu Bergen und Tälern detaillierter in den Modellen abgebildet werden. Somit entstehen Klimamodellergebnisse mit einer räumlichen Auflösung von 1 km, wie es in dieser Arbeit der Fall ist. Der Zugewinn an Detailtiefe wird in Abbildung 3-3 deutlich. Die Methodik hierzu wird im folgenden Kapitel erläutert.

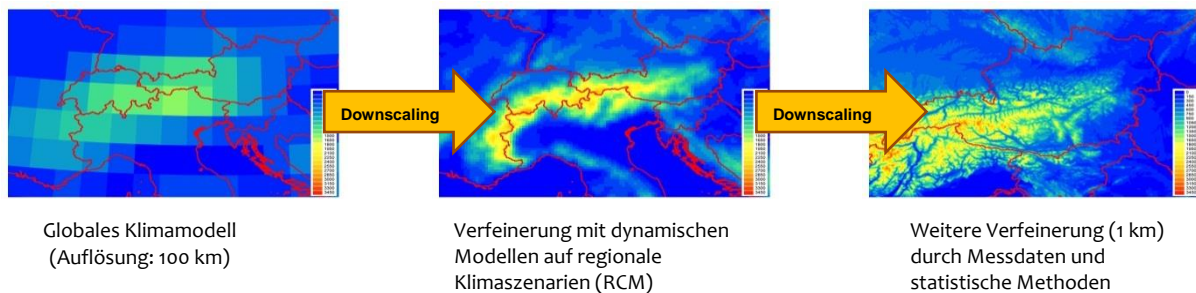


Abbildung 3-3 Schematische Darstellung eines zweistufigen Downscaling-Prozesses.  
Quelle: Wegener Center.

Trotz der vielen Fortschritte in der Klimamodellierung sind die Unsicherheiten bei der Berechnung des zukünftigen Klimas aufgrund der hohen Komplexität noch immer hoch. Daher werden zahlreiche globale und regionale Modelle genutzt, welche die Bandbreite der möglichen Ergebnisse aufzeigen. Diese Vielfalt der Klimaprojektionen, genannt Ensembles, ermöglicht einen wissenschaftlichen Umgang mit vorhandenen Unsicherheiten.

Da die Konzentration der Treibhausgase (THG) in der Atmosphäre für das Klima von besonderer Bedeutung ist, werden THG-Emissionsszenarien als wichtige Eingangsgrößen für Klimamodellszenarien verwendet. Um eine einheitliche und transparente Klimaforschung zu ermöglichen, wurden im Rahmen der Arbeiten des IPCC (Nakicenovic et al., 2000) sechs verschiedene THG-Emissionsszenarien (SRES-Szenarien) beschrieben und verwendet. Jedes Szenario repräsentiert dabei verschiedene demografische, soziale, ökonomische, technologische und ökologische Entwicklungen, welche das Spektrum der menschlichen Aktivitäten und deren Einfluss auf das Klima wiedergeben sollen. Die bisherigen Emissionsszenarien wurden im Rahmen des fünften Berichts des IPCC (IPCC, 2013) durch vier neue Szenarien (RCP-Szenarien) abgelöst, welche an veränderte Anforderungen angepasst sind und auf neuen Erkenntnissen beruhen. Die vorliegenden Klimadaten

basieren jedoch noch auf dem „alten“ Szenario A1B, welches im nächsten Abschnitt kurz vorgestellt wird.

## 3.2 Methodik

Um geeignete Klimadaten bis 2050 für die Klimaparameter zu erzeugen, wurden insgesamt 24 regionale Klimamodellerggebnisse aus den Projekten ENSEMBLES (van der Linden&Mitchell, 2009) und reclip:century (Loibl et al., 2011) räumlich verfeinert sowie fehlerkorrigiert. Die räumliche Auflösung wurde somit von 25 km auf 1 km verbessert, weshalb sogar klimatische Unterschiede innerhalb einer Region dargestellt werden können.

Alle Klimaszenarien basieren auf beobachteten Treibhausgasemissionen zwischen 1961 und 2000 und auf dem Emissionsszenario A1B (Nakicenovic et al., 2000) bis zum Jahr 2050. Das A1B-Szenario stellt ein stark ansteigendes Emissionsszenario dar, in welchem von einem raschen Wirtschaftswachstum und einer bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts ansteigenden Bevölkerung ausgegangen wird und in dem alle Möglichkeiten zur Energiegewinnung ausgewogen eingesetzt werden. Die Ergebnisse aus dem ENSEMBLES-Projekt basieren zum Großteil auf diesem Szenario, welches innerhalb der sechs Szenarien des IPCC als mittleres Szenario eingestuft wird.

Für das Regionalisieren und Fehlerkorrigieren wurde ein 1 km aufgelöster Beobachtungsdatensatz für Österreich (Beck et al., 2009) und die Methode Quantile Mapping (QM; Themeßl et al., 2012) herangezogen. Eine Fehlerkorrektur von regionalen Klimamodellen ist notwendig, da diese verglichen mit Beobachtungsdaten üblicherweise Fehler von einigen Grad Celsius bezüglich der Temperatur und ungefähr 50% bezüglich der Niederschlagssummen aufweisen (van der Linden&Mitchell, 2009). Mittels QM konnten sowohl Fehler im Mittel als auch in der Verteilung der Klimadaten reduziert oder ganz behoben werden. Auf ähnliche Weise wurde der Parameter Globalstrahlung bestimmt.

Basierend auf den korrigierten saisonalen Klimaänderungssignalen (Mittelwertdifferenzen zwischen 1971-2000 und 2021-2050) wurde der Unsicherheitsbereich der Klimaszenarien für Temperatur und Niederschlag analysiert. Hauptfokus wurde dabei auf die Winter- sowie auf die Sommersaison gelegt. Um die Spannweite in den Klimasimulationen in die weiteren Analysen zu integrieren, wurden drei Szenarien für alle drei Studienregionen ausgewählt, welche ca. 50% der Unsicherheit innerhalb der 24 betrachteten Klimamodelle abdecken (s. Abbildung 3-4). Folgende Klimamodelle wurden ausgewählt und verwendet:

### **DMI-HIRHAM5-ARPEGE (im Folgenden kurz: DMI)**

- Globales Klimamodell: ARPEGE
- Regionales Klimamodell: HIRHAM5, gerechnet durch Danmarks Meteorologische Institut (DMI)

### **ETHZ-CLM (ETHZ)**

- Globales Klimamodell: HadCM3Q0
- Regionales Klimamodell: CLM 2.4.6, gerechnet durch Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)

### **SMHI-RCA-HadCM3Q3 (SMHI)**

- Globales Klimamodell: HadCM3Q3
- Regionales Klimamodell: RCA 3.0, gerechnet durch Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)

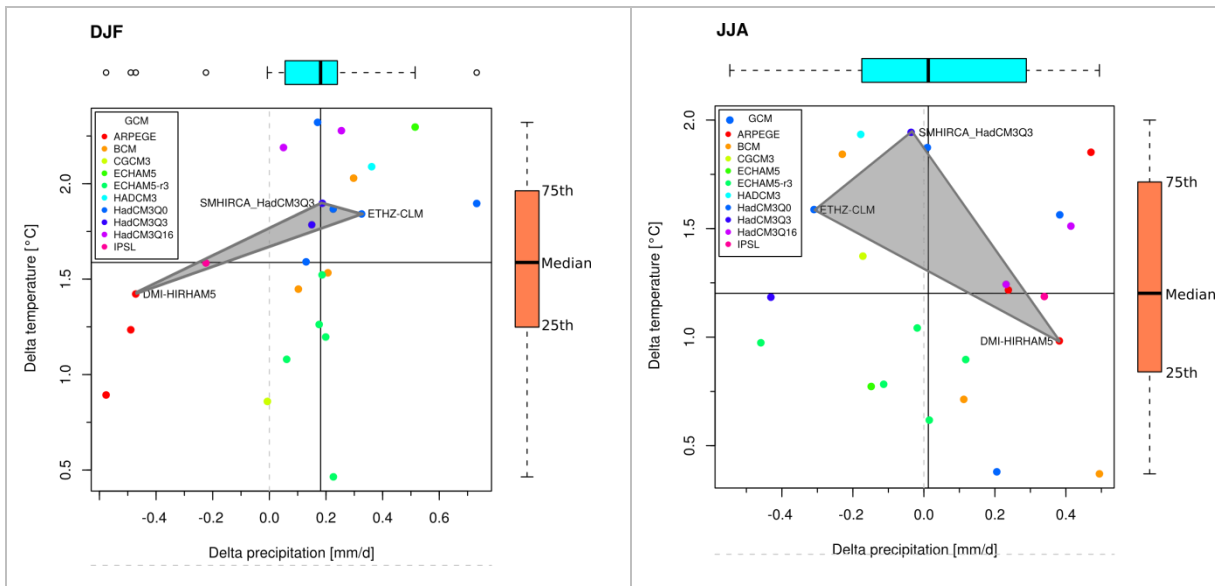


Abbildung 3-4 Klimaänderungssignale für Niederschlag und Temperatur für Winter (DJF) und Sommer (JJA) für die Studienregion Wels Land. Jeder Punkt repräsentiert ein regionales Klimamodellszenario, die dahinterliegenden globalen Klimamodelle sind farbkodiert. Die ausgewählten regionalen Klimamodelle sind angeführt und der beschriebene Unsicherheitsraum ist gräulich dargestellt. Die am oberen und rechten Rand befindlichen Box und Whisker Plots zeigen die Spannweite aller Klimamodellergebnisse mit Fokus auf den Bereich zwischen den 25ten und der 75ten Perzentile. Quelle: Hausl et al. (2013).

Als Referenzzeitraum für die weiteren Betrachtungen wird die Periode der Jahre 1981 bis 2010 gewählt, da somit ein repräsentativer, gemittelter Wert des Klimas verwendet wird, welches in naher Vergangenheit zu betrachten war bzw. in der Gegenwart zu beobachten ist. Bei früheren Klimaanalysen wurde üblicherweise die Referenzperiode 1961-1991 herangezogen, diese wird jedoch bereits als nicht mehr aktuell genug eingeschätzt, zumal die Temperaturen seitdem einen starken Anstieg erfahren haben (s. Kap. 2.1). Durch Verwendung einer 30-jährigen Periode werden kurzfristige Klimaschwankungen weitgehend nivelliert, weshalb ein repräsentatives Bild des jeweiligen Klimas vorliegt. Die durch die drei Klimamodelle berechneten Klimadaten stehen bis zum Jahr 2050 zur Verfügung. Als Zukunftsperiode wird die Periode 2021-2050 verwendet, da diese für ein Klima in naher Zukunft steht, was von besonderem Interesse hinsichtlich der verfolgten Thematik ist.

**Betrachtete Zeitperioden:**

- 1981-2010: Referenzperiode, repräsentiert derzeitiges Klima
- 2021-2050: Zukunftsperiode, repräsentiert Klima in naher Zukunft (mit Klimawandel)

Für jede Zeitperiode wird ein mittleres Jahr mit 365 Tageswerten berechnet, welches repräsentativ für die jeweilige 30-Jahresperiode steht. Aufgrund von Datenfehlern konnte für das Klimamodell ETHZ nur auf monatliche Werte zurückgegriffen werden.

**3.3 Ergebnisse**

Im Rahmen dieses Abschnitts findet die Auswertung und ausführliche Darstellung der regionalisierten Klimamodelldaten statt. Der Fokus liegt dabei auf der Temperatur, da diese den größten Einfluss auf den Wärme- und Kältebedarf hat. Es wird nach Regionen, Klimamodellen und Zeitperioden unterschieden. Teils sind neben dem regionalen Mittelwert<sup>3</sup> auch die regional auftretenden Minimal- und

<sup>3</sup> Mittelwertbildung über alle Rasterzellen in der Region



Maximalwerte abgebildet, um einen detaillierteren Eindruck von den innerhalb einer Region auftretenden Ergebnissen und den regionsinternen Unterschieden zu erhalten.

Durch die angewendete Mittelwertbildung über 30 Jahre sind Extremwerte, welche durchaus von den Klimamodellen ausgegeben werden, weitgehend ausgeglichen und somit nicht mehr erkennbar. Daher ist anhand der aufbereiteten Daten eher die langfristige Tendenz der ansteigenden Temperaturen zu beobachten.

Die Darstellung der Klimamodelldaten kann über verschiedene Möglichkeiten bezüglich der zeitlichen Dimension der Ergebnisse erfolgen. Die übersichtlichste Variante ist die Darstellung von Jahreswerten, die jedoch jahreszeitliche oder monatliche Unterschiede nicht sichtbar macht. Somit wird im Folgenden versucht, auch Aspekte saisonaler Unterschiede des Klimawandels darzustellen. Dies wird durch die Darstellung der in der Klimamodellierung üblichen Winter- und Sommerperiode verfolgt. Die Winterperiode wird dabei durch die Monate Dezember, Januar und Februar repräsentiert, im Folgenden mit DJF abgekürzt, während der Sommer durch die Monate Juni, Juli, August (JJA) abgebildet wird. Auch diese Mittelwertbildung über das Jahr, den Winter oder den Sommer führt analog zur eben beschriebenen Mittelwertbildung über 30 Jahre zu ausgeglicheneren Werten.

Aufgrund der hohen Anzahl an Ergebnissen und Darstellungsmöglichkeiten wird im Text nicht auf alle Erkenntnisse eingegangen, sondern auf die grafischen und tabellarischen Darstellungen verwiesen, die ein umfassendes Bild der Klimadaten wiedergeben.

### 3.3.1 Temperatur

Abbildung 3-5 zeigt die regionalen Mittelwerte der Jahres-, Winter- und Sommertemperaturen für die beiden Zeitperioden 1981-2010 und 2021-2050. Dies ermöglicht eine erste klimatologische Einordnung der Regionen sowie der klimawandelbedingten Erwärmung. Dabei ist bereits deutlich der vorliegende Temperaturunterschied zwischen den Regionen zu erkennen.

Die alpine Region Tamsweg weist mit mittleren Jahrestemperaturen zwischen 3,7 und 5,4°C die bei weitem geringsten Temperaturen der Testregionen auf<sup>4</sup>. Wels-Land folgt mit mittleren Jahreswerten zwischen 8,8 und 10,3°C, während Feldbach mit Werten zwischen 9,9 und 11,4°C die wärmste der Testregionen darstellt. Die Unterschiede der Jahrestemperatur zwischen Wels-Land und Feldbach liegen somit bei etwa 1°C.

Die Wintertemperaturen, welche ein Indikator für den Wärmebedarf sind, liegen in Tamsweg deutlich im negativen Bereich, erhöhen sich jedoch durch die Klimaerwärmung bis zur Periode 2021-2050 signifikant. Wels-Land und Feldbach weisen im Winter Werte knapp über dem Gefrierpunkt auf, die um 0,7-1,8°C ansteigen. Die Sommertemperaturen liegen in der Region Feldbach mit ca. 19°C in der Referenzperiode 1981-2010 etwa 1,5°C über denen der Region Wels-Land, die wiederum deutlich über den Sommertemperaturen in Tamsweg (knapp 12°C) liegen.

---

<sup>4</sup> Hier sei darauf verwiesen, dass bei dieser Auswertung auch weitgehend unbewohnte, kalte Berglagen berücksichtigt sind, welche die mittleren Temperaturen in Tamsweg noch niedriger erscheinen lassen als bei reiner Auswertung der für den Energiebedarf relevanten, besiedelten Lagen. Dieser senkende Effekt zwischen Auswertung besiedelter und unbesiedelter Zellen liegt nach interner Analyse der Ergebnisse aus Tamsweg zwischen 0,8°C im Winter und 2,4°C im Sommer, während dieser Aspekt bei den homogen besiedelten, eher flachen Testregionen Wels-Land und Feldbach keine Auswirkungen hat.

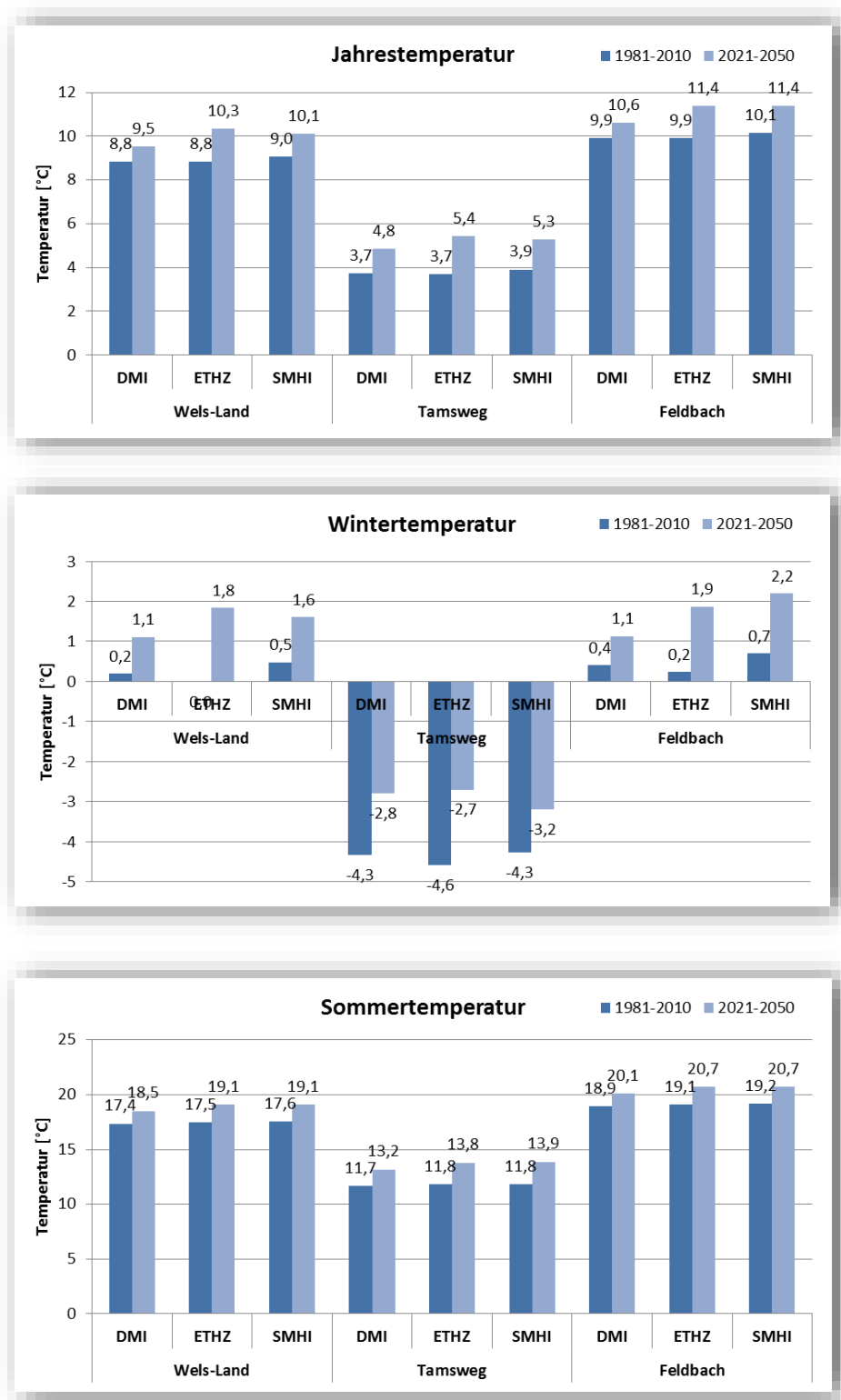


Abbildung 3-5 Mittlere Jahres-, Winter- (DJF), Sommertemperaturen (JJA) für die Zeitperioden 1981-2010 und 2021-2050. Darstellung regionaler Mittelwerte.

Eine ähnliche, jedoch ausführlichere Darstellung der in den Regionen auftretenden Temperaturen ist in Abbildung 3-6 und tabellarisch im Anhang in Tabelle-A 1 und Tabelle-A 2 zu sehen. Es sind neben den regionalen Mittelwerten (blaue Balken) auch die regional auftretenden Minimal- und Maximalwerte aufgelistet, woran die Spannbreite der auftretenden Temperaturen in einer Region zu erkennen ist. Diese Spannbreite ist in der durch große Höhenunterschiede gekennzeichneten Region Tamsweg mit bis zu 10°C am höchsten. In den großteils flachen Regionen Wels-Land und Feldbach betragen die regionsinternen Unterschiede nur bis zu 2,6°C (Sommer, Wels-Land).

Hinsichtlich des zu modellierenden Kühlbedarfs sind die Sommertemperaturen von besonderem Interesse. Diese erreichen in der Klimaperiode 2021-2050 bis zu 20,2° in Wels-Land und bis zu 21,5°C in Feldbach. Die regionalen Mittelwerte liegen je nach Klimamodell zwischen 18,5 und 19,1°C in Wels-Land und 20,1 und 20,7°C in Feldbach. Diese Werte sind vor dem Hintergrund der mittleren Temperaturen des Rekordsommers 2003 (19,7°C) und des sehr heißen Sommers 2015 (18,5°C) als sehr hoch einzustufen. Demnach wäre der zukünftige Durchschnittssommer (Periode 2021-2050) in Wels-Land ähnlich warm oder wärmer als der Sommer 2015 in Deutschland und der zukünftige Sommer in Feldbach wäre heißer als der deutsche Sommer 2003. Die Sommertemperaturen in Tamsweg sind demgegenüber weitaus geringer und erreichen nur vereinzelt Werte von maximal knapp 18°C, während die regionalen Mittelwerte zwischen 11,7 und 13,9°C liegen.

Die berechneten Temperaturänderungen zwischen Klimaperiode 2021-2050 und Referenzperiode 1981-2010 sind in Abbildung 3-7 für das gesamte Jahr, Winter- (DJF) und Sommerperiode (JJA) dargestellt. Das Klimamodell DMI weist dabei allgemein deutlich niedrigere Werte auf als die beiden anderen Modelle ETHZ und SMHI. Es ist somit das schwächste Klimawandel-Szenario. Die mittlere Klimaerwärmung auf Jahresebene beträgt in Wels-Land 0,7-1,5°C, in Tamsweg 1,1-1,7°C und in Feldbach 0,7-1,5°C. Die maximalen Änderungen erreichen auf Jahresebene Werte bis zu 2,2°C in Tamsweg und etwa 1,5°C in Wels-Land und Feldbach.

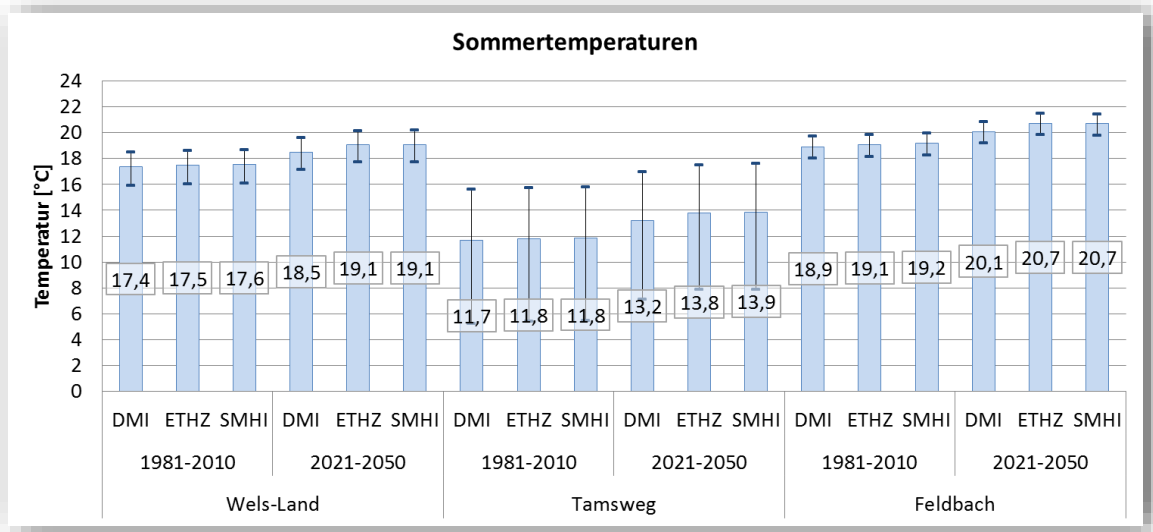
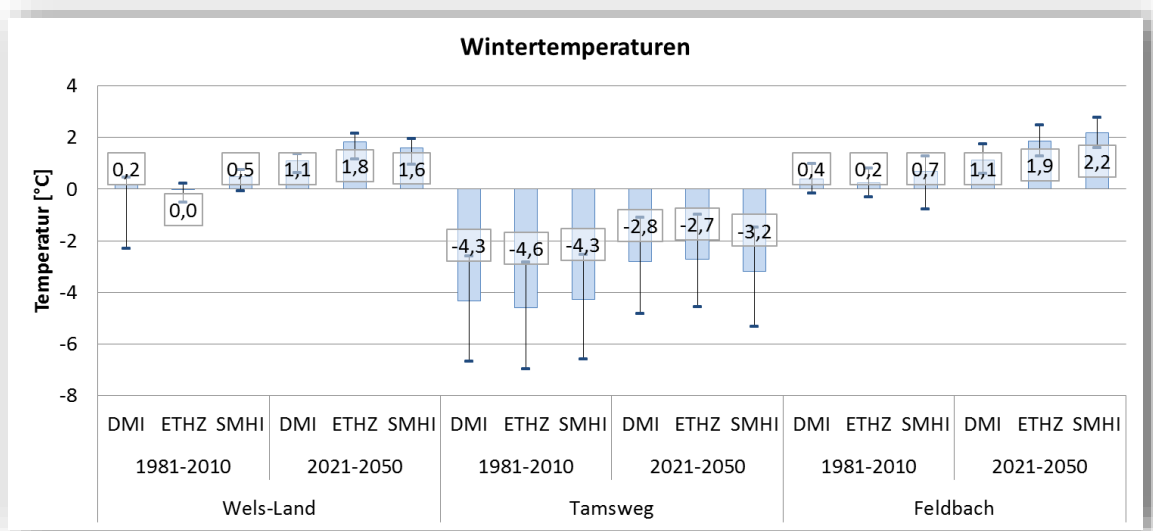
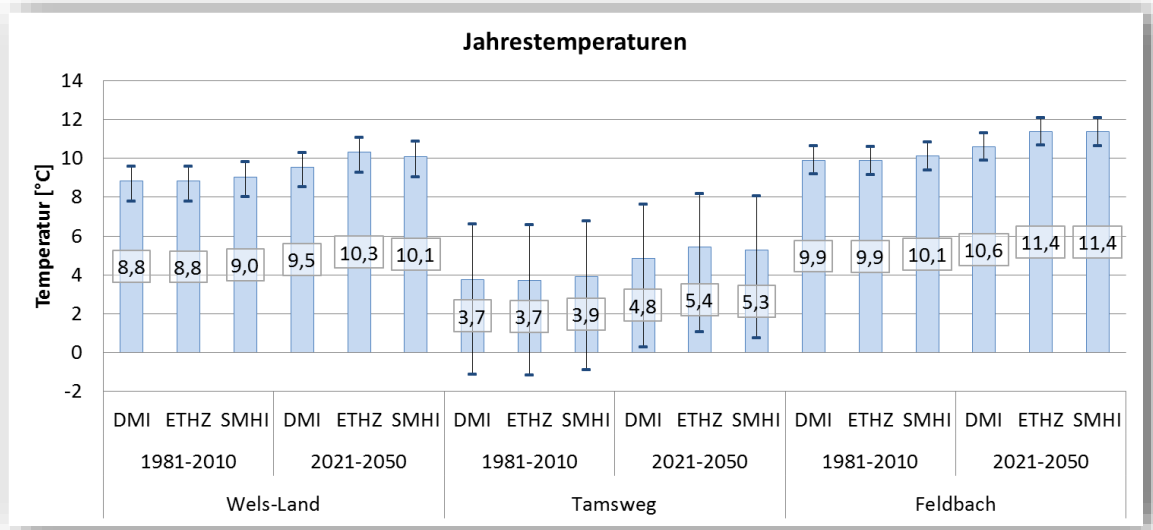


Abbildung 3-6 Jahres-, Winter-(DJF) und Sommertemperaturen (JJA). Darstellung des regional auftretenden minimalen, mittleren (Balken) und maximalen Werts.

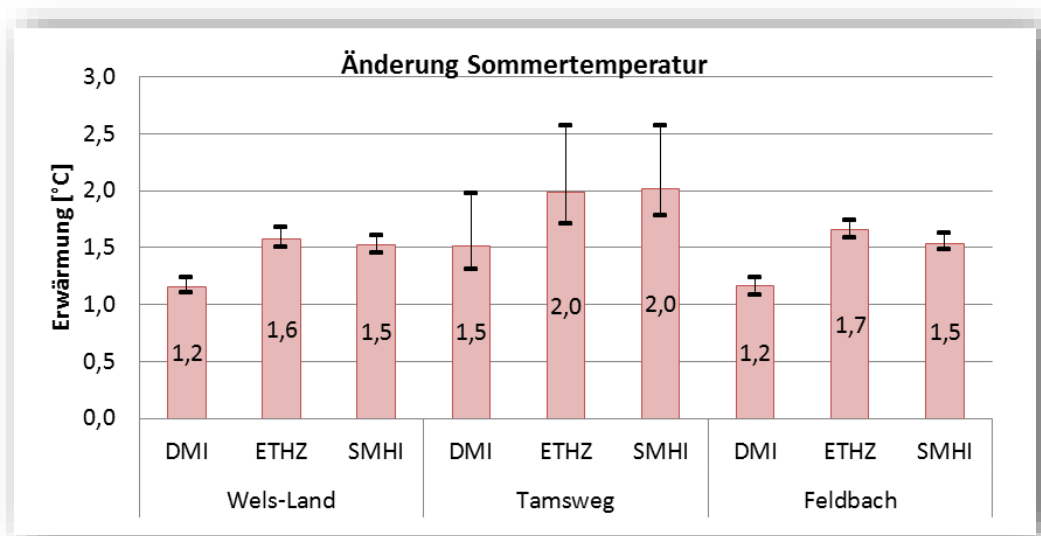
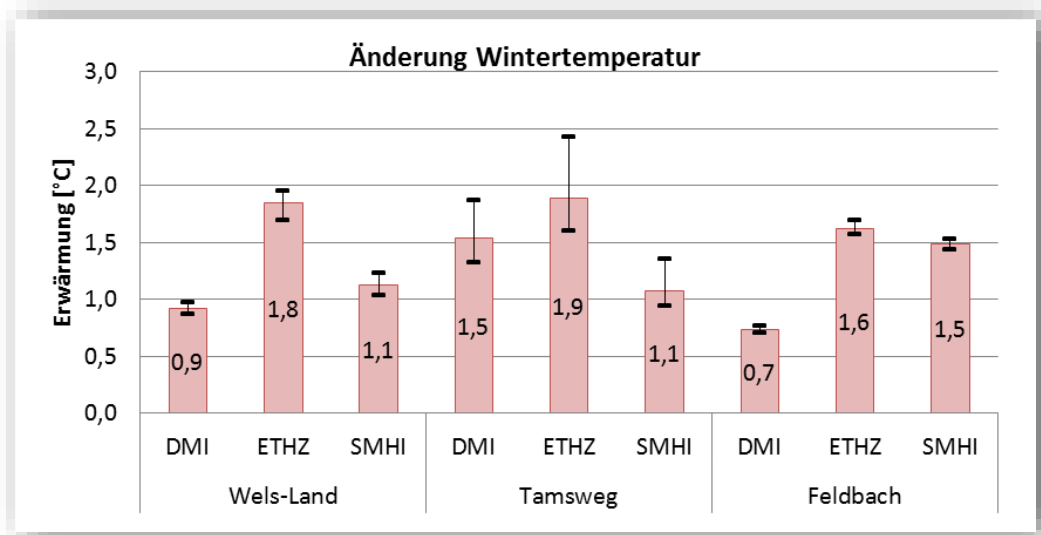
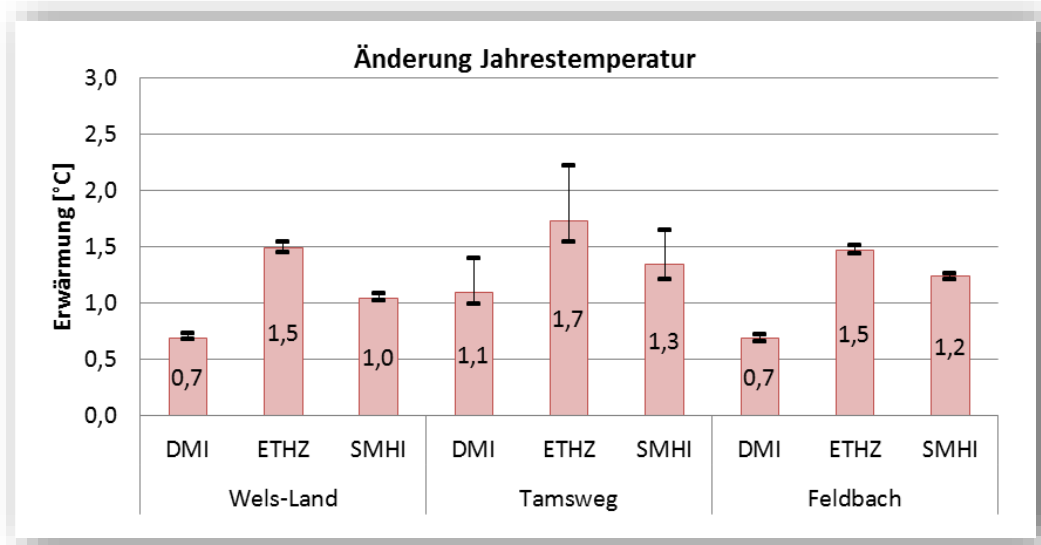


Abbildung 3-7 Temperaturänderung im Jahr, Winter (DJF) und Sommer (JJA) zwischen 2021-2050 und Referenzperiode 1981-2010. Darstellung des regional auftretenden minimalen, mittleren (Balken) und maximalen Werts.

Die Karte in Abbildung 3-8 zeigt die räumlich explizite Temperaturerhöhung im Winter und Sommer der Modellperiode 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010 für das Klimamodell SMHI. Die Änderungen in den Sommermonaten sind hier höher als in den Wintermonaten. Deutliche regionsinterne Differenzen sind nur in der alpinen Region Tamsweg zu beobachten, wo zudem die höchsten Werte erreicht werden.

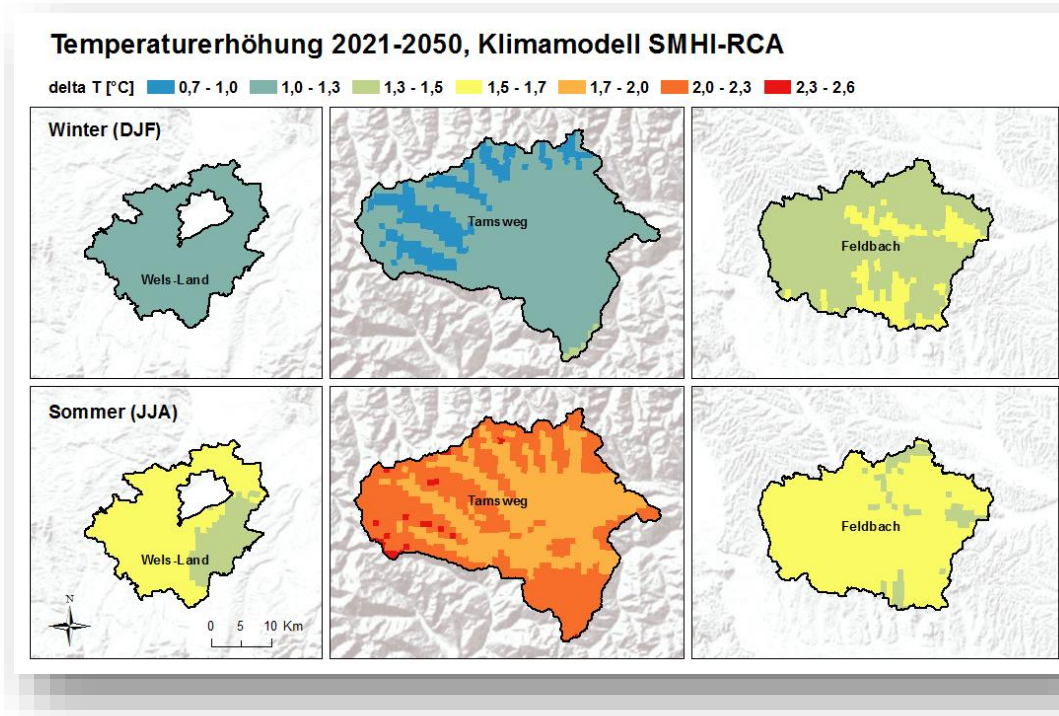
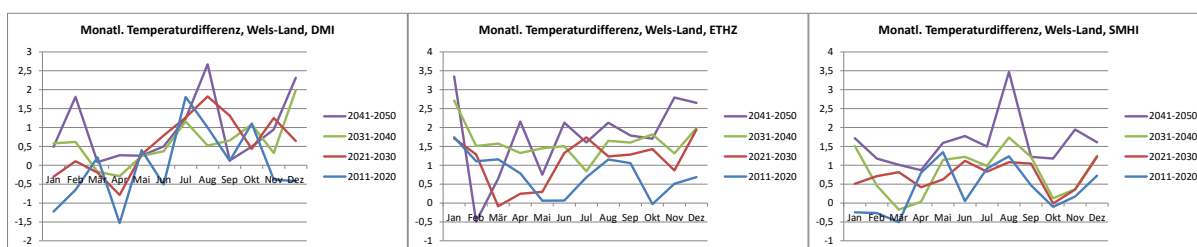


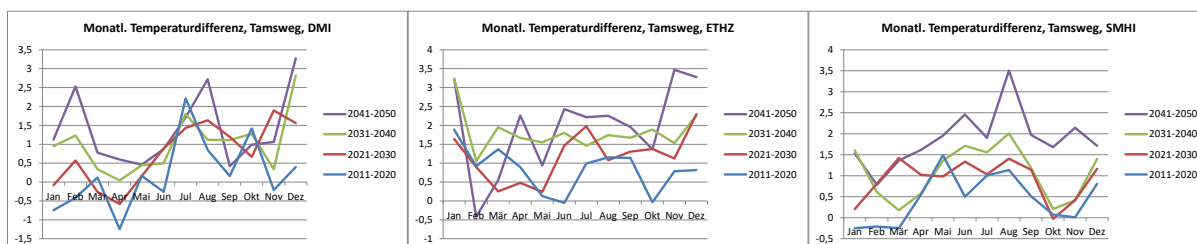
Abbildung 3-8 Temperaturänderung im Winter (DJF) und Sommer (JJA) der Modellperiode 2021-2050 gegenüber der Referenzperiode 1981-2010. Klimamodell SMHI.

Anhand der monatlichen Temperaturänderungssignale in Abbildung 3-9 kann man beobachten, dass diese sich innerhalb eines Jahres stark unterscheiden. Dies lässt den Schluss zu, dass gemittelte Jahreswerte nicht unbedingt als strenger Indikator für die Änderung des Wärmebedarfs oder der Ermittlung des Kühlbedarfs herangezogen werden sollten, da hier eine genauere, spezifischere Betrachtung der Klimadaten, etwa der Klimaänderungen in der Heizsaison für den Wärmebedarf und des Sommers für den Kühlbedarf, nötig ist, um Korrelationen zwischen Klimaänderung und Energiesystemänderung detailliert genug darstellen zu können. Anhand dieser zeitlich detailliert aufbereiteten Grafiken kann man auch die Eigenheiten der verschiedenen Klimamodelle betrachten, wie etwa die in manchen Monaten besonders starken Temperaturänderungen, beispielsweise Monat August bei DMI und SMHI oder Monat Januar bei ETHZ.

## Wels-Land



## Tamsweg



## Feldbach

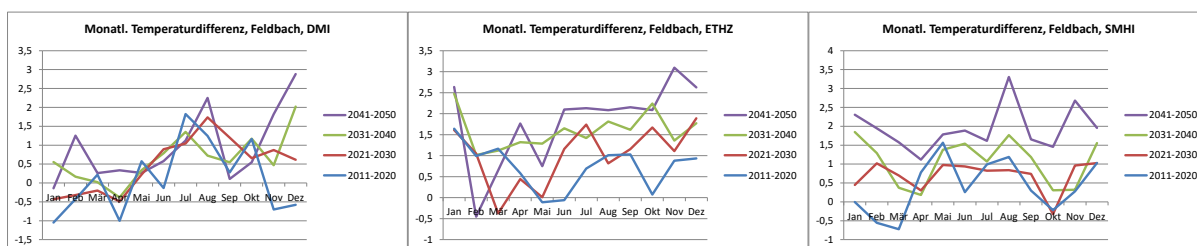


Abbildung 3-9 Mittlere, monatliche Temperaturdifferenz zur Referenzperiode 1981-2010 in besiedelten Zellen, nach Zeitperioden (Jahrzehnte), Bezirken und Klimamodellen. Positiver Wert bedeutet Erhöhung der Temperatur.

### 3.3.2 Globalstrahlung

Auf Basis der regionalisierten Klimadaten findet eine Analyse statt, die potentielle Änderungen der Globalstrahlung (GS) identifizieren kann und anhand der die Solarpotenziale (s. Kap. 10.1) in den Regionen räumlich hochaufgelöst berechnet und später in den Optimierungen verwendet werden können. Es soll die Frage beantwortet werden, ob die in den Klimamodellen berechneten zukünftigen Strahlungswerte starke Unterschiede zu den heutigen Werten aufweisen. Zudem ist es von Interesse, wie hoch die regionalen Unterschiede und somit die Voraussetzungen für die Nutzung der Solarpotenziale sind.

Abbildung 3-10 illustriert hierzu die GS-Werte auf die Horizontale in der Referenzperiode 1981-2010. Es werden exemplarisch die Werte aus dem Klimamodell SMHI abgebildet, da zwischen den Klimamodellen keine bedeutenden Unterschiede vorliegen. Es fallen Nord-Süd-Unterschiede zwischen den Bezirken auf, wobei hohe Strahlung in Feldbach und relativ geringe in Wels-Land zu verbuchen ist. Tamsweg profitiert von der Höhenlage und weist auch dadurch teils erhöhte GS-Werte auf, sofern keine Fernverschattung vorliegt. Starke regionsinterne Unterschiede sind nur in Tamsweg zu beobachten, wo durch die alpine Lokation starke Berg-Tal-Unterschiede auftreten. Dort können in der Globalstrahlungskarte auch deutlich Nord- und Südhänge von Gebirgsketten unterschieden werden.

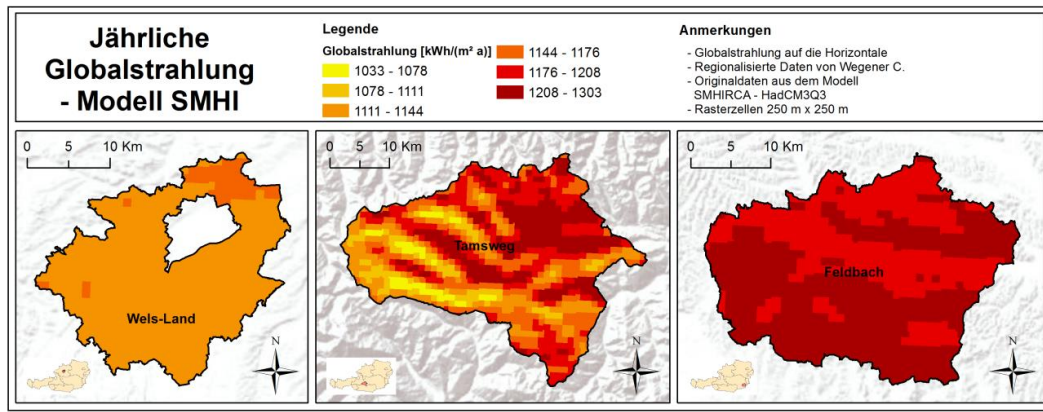


Abbildung 3-10 Jährliche Globalstrahlung auf die Horizontale in Zeitperiode 1981-2010, Klimamodell SMHI. Quelle: Hausl et al. (2013).

Tabelle 3-1 zeigt die Globalstrahlungswerte für die Zeitperiode 1981-2010 und gibt die Erkenntnisse aus den obigen Globalstrahlungskarten wieder. Hier werden ebenso die minimalen und die maximalen GS-Werte und somit die Spannweite innerhalb einer Region angezeigt. Diese ist vor allem in Tamsweg relativ groß, aufgrund des oben schon genannten Nord- / Südhang Effekts. In Wels-Land und Feldbach können die regionsinternen GS-Unterschiede nahezu als vernachlässigbar angesehen werden.

Tabelle 3-1 Jährliche Globalstrahlungswerte auf die Horizontale in kWh/m². Klimaperiode 1981-2010. nach Bezirken und Klimamodellen. Minimaler, mittlerer und maximaler Zellenwert. Quelle: Hausl et al. (2013).

	DMI			SMHI			ETHZ		
	Min	Mittelwert	Max	Min	Mittelwert	Max	Min	Mittelwert	Max
Wels-Land	1.136	1.148	1.164	1.120	1.134	1.151	1.121	1.134	1.149
Tamsweg	1.046	1.185	1.302	1.034	1.169	1.281	1.033	1.168	1.284
Feldbach	1.187	1.216	1.244	1.183	1.210	1.238	1.189	1.217	1.246

Die zeitliche Veränderung der GS im Modellzeitraum ist laut den Klimamodelldaten indes sehr niedrig, wie in Tabelle-A 3 zu sehen ist. Tendenziell sinkt die GS in allen Klimamodellen und Regionen leicht. Jedoch liegen die Änderungen der GS allgemein – auch im Hinblick auf die Unsicherheiten in der Modellierung – im vernachlässigbaren Bereich. Dies entspricht Aussagen des IPCC (2012b), wo konstatiert wird: „Currently, there is no evidence indicating a substantial impact of climate change on regional solar resources.“



## 4. Gebäudepark

In diesem Abschnitt werden die Datengrundlagen zum Gebäudebestand, insbesondere die Eigenschaften des vorliegenden Gebäuderasters der Statistik Austria, sowie die Modellierungen zur zeitlichen Entwicklung des Gebäudeparks vorgestellt. Dies ist hinsichtlich der darauf aufbauenden Energiebedarfsmodellierungen von Interesse. Weiterhin werden die angenommenen Gebäudeflächen in einem eigenen Abschnitt genannt. Die vorliegenden Daten sowie die Modellierungen werden mit einem Geoinformationssystem, kurz GIS, bearbeitet.

### 4.1 Rasterdaten zum Gebäudebestand

Die räumliche Verortung des berechneten Wärme- und Kältebedarfs basiert im Wesentlichen auf regionalstatistischen Daten zu Gebäuden der Statistik Austria. Die verwendeten Daten stammen aus der Gebäude- und Wohnungszählung aus dem Jahr 2001 (GWZ 2001) und sind räumlich aufgelöst auf 250 m Rasterbasis bei der Statistik Austria erhältlich. Abbildung 4-1 zeigt hierzu die Anzahl der Gebäude pro Rasterzelle in den drei Testregionen, woraus die Siedlungsstrukturen der Regionen deutlich werden.

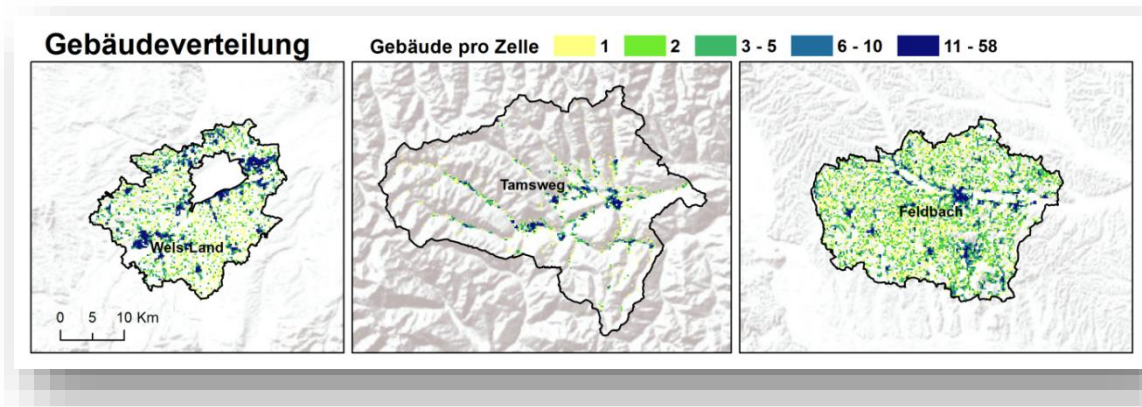


Abbildung 4-1 Anzahl der Gebäude pro 250 m Rasterzelle. Nach Statistik Austria (GWZ 2001).

Die Daten enthalten für jede Rasterzelle, welche keine Datenschutzrestriktion (s. unten) aufweist, die Anzahl der Gebäude unterschieden nach Gebäudetyp und Bauperiode. Somit wird nach folgenden Attributen differenziert:

#### Gebäudetypen

- Einfamilienhäuser (EFH): enthält 1-2 Wohnungen
- Mehrfamilienhäuser (MFH): enthält 3 oder mehr Wohnungen
- Nicht-Wohngebäude (NWG): primär nicht für Wohnzwecke genutzt

#### Bauperioden

- bis 1945
- 1946-1980
- 1981-1990
- 1991-2001

Aus Datenschutzgründen sind detaillierte Angaben zu den Gebäuden nur in dicht besiedelten Gebieten verfügbar, in weniger dicht besiedelten Bereichen ergeben sich sehr hinderliche Datenlücken. So werden Gebäude nur dann nach ihrem Gebäudetyp und Baujahr differenziert ausgewiesen, wenn sich in der Rasterzelle mindestens vier Gebäude befinden. Somit mussten für die weiteren Betrachtungen Annahmen getroffen werden, um die nicht spezifizierten Gebäude den verwendeten Typen und Baujahren zuordnen zu können und so die Berechnungen weiterführen zu können. Die Zuordnung der unbekanntem Gebäude erfolgte bereits in Hausl et al. (2013) und orientierte sich primär an räumlich aggregierten Statistik Austria Daten zur Gebäudebestandsstruktur in den Bezirken.

Die sich ergebende Altersstruktur des Gebäudebestands ist in Abbildung 4-2 grafisch nach Gebäudetypen und Regionen abgebildet. Sie stellt sich in den betrachteten Bezirken als sehr ähnlich dar. Bei allen Gebäudetypen liegt der Großteil der Gebäude in der Bauperiode „1946 bis 1980“, wobei der Anteil dieser Bauperiode bei den MFH etwas niedriger ausfällt als bei den EFH und NWG. Dieses Resultat deckt sich gut mit der in AEA (2011) dargestellten Verteilung der Bauperioden in Österreich.

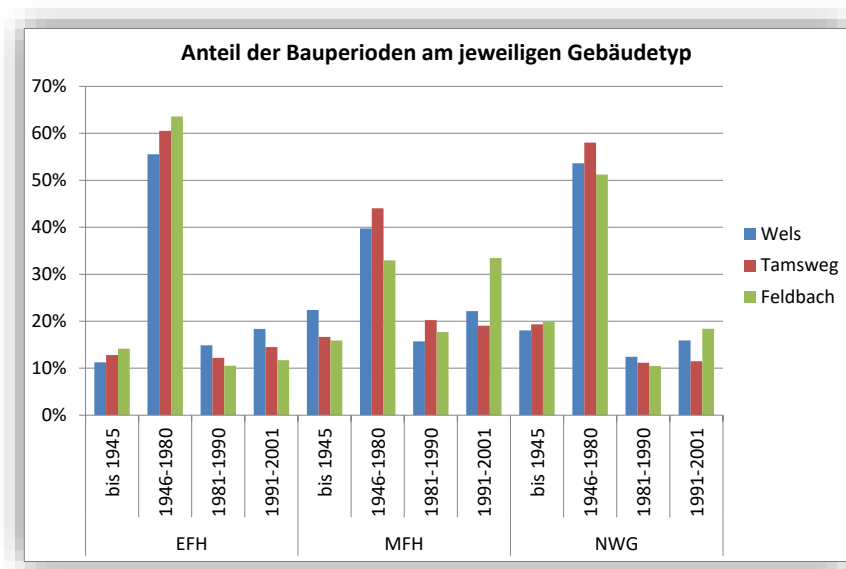


Abbildung 4-2 Anteil der Bauperioden am jeweiligen Gebäudetyp nach Zuordnung der Gebäude mit unbekanntem Gebäudetyp und/oder Bauperiode. Quelle: Hausl et al. (2013).

Eine Analyse nach Gebäudetypen zeigt überdies auf, dass EFHs in allen Regionen mit über 80% den größten Anteil der Gebäude stellen, vor NWGs mit über 10% und MFHs mit weniger als 5%. Die tabellarische Darstellung der Anzahl der Gebäude nach Typ und Bauperiode ist im Anhang in Tabelle-A 4 zu sehen.

## 4.2 Entwicklung des Gebäudeparks

Unter der Entwicklung des Gebäudeparks wird hier in erster Linie der zeitliche Verlauf des Sanierungszustands der derzeit bestehenden Gebäude und der Neubau von Gebäuden bzw. Haushalten im Zuge von Demografieentwicklungen in den Regionen verstanden, was räumlich explizit auf Basis des angesprochenen Gebäuderasters im GIS modelliert wird. Dies hat Einfluss auf die Wärme- und Kältebedarfsmodellierung in Kap. 5 und 6. Der Ersatz alter durch neue Gebäude (Abriss) wird hingegen nicht in der Modellierung berücksichtigt, was in Kap. 4.2.3 kurz begründet wird.

### 4.2.1 Thermische Sanierungen

Wärmeschutzmaßnahmen durch energetische Gebäudesanierungen stellen eine wichtige Maßnahme dar, um den Energiebedarf von Gebäuden deutlich zu reduzieren. Auf regionaler und nationaler Ebene gelten energetische Gebäudesanierungen als Maßnahmen mit sehr starkem Energieeinsparungspotenzial, da alte Gebäude mit geringem Dämmstandard den Gebäudepark dominieren und diese auch in der Zukunft noch den Großteil der Gebäude und insbesondere des auftretenden Wärmebedarfs darstellen werden<sup>5</sup> (Eicker, 2009). Dieser Umstand wird in der vorliegenden Analyse berücksichtigt, sowohl bei Betrachtung und Modellierung des Ist-Zustands als auch der zukünftigen Entwicklung von Gebäudesanierungen mit wärmebedarfssenkenden Maßnahmen. Natürlich können auch hier nur die vorhandenen Daten bezüglich des derzeitigen Sanierungsstands berücksichtigt und Annahmen zu zukünftigen Sanierungen im Gebäudebereich gemacht werden, auf deren Basis die Sanierungen modelltechnisch durchgeführt werden.

Vorerst wird der Sanierungsstand zum Zeitpunkt der Erstellung des Rasterdatensatzes (Jahr 2001) anhand von Daten zum österreichischen Gebäudebestand aus Kranzl et al. (2010) festgelegt. Hieraus ergibt sich ein Anteil sanierter Gebäude von 31% für Wohngebäude der Bauperiode „vor 1945“ und von 14% für Wohngebäude der Bauperiode „1946-1980“. Jüngere Bauperioden und Nicht-Wohngebäude weisen laut dieser Statistik einen vernachlässigbaren Anteil an Sanierungen zum Jahr 2001 auf, weshalb der Anteil sanierter Gebäude für diese Kategorien auf null gesetzt wird.

Für zukünftige Sanierungen wird ein Sanierungsszenario entworfen und angewendet, welches eine Sanierungsquote von 1% pro Jahr für alle Gebäudetypen (EFH, MFH, NWG) vorsieht. Diese wird häufig als derzeitige energierelevante Sanierungsquote in Österreich (BMFLUW, 2013) und auch Deutschland (IWU, 2005) genannt. Hierbei wird von einer energierelevanten, bedarfssenkenden Sanierung ausgegangen, wobei sanierte Referenzgebäude aus der Gebäudetypologie in IWU (2011) angenommen werden (s. Kap. 5.1). Bei der Aufteilung der anstehenden Sanierungen auf die verschiedenen Bauperioden wird die Methodik aus Kranzl et al. (2010) adaptiert, welche den Zusammenhang zwischen dem Anteil an sanierten Gebäuden und deren Alter verwendet, welcher auch in Abbildung 4-3 abgebildet ist. Dieser Zusammenhang basiert auf der Lebensdauer der Bauteile, welche sich entsprechend einer Weibullverteilung verhält. Bezüglich der Bauperioden werden dort u.a. Gebäude „vor 1945“ und „ab 1945“ unterschieden, wobei bei Gebäuden der Bauperiode „ab 1945“ (blaue durchgezogene Linie in Abbildung 4-3 wird verwendet) eine deutlich zügigere Sanierungsentwicklung vorgesehen ist als bei Gebäuden der Bauperiode vor 1945 (hellblau gestrichelte Linie in Abbildung 4-3 wird verwendet). Dies wird dadurch begründet, dass ältere Gebäude oft strukturierte Fassaden aufweisen, die eine Gebäudedämmung erschweren und somit seltener durchgeführt werden.

---

<sup>5</sup> 20% aller derzeitigen Gebäude in Deutschland wurden nach dem Jahr 1980 gebaut; diese verbrauchen aber nur 5% der totalen Heizenergie. Selbst im Jahr 2050 werden 60% der Wohnflächen in derzeit existierenden Gebäuden lokalisiert sein. (Eicker, 2009)

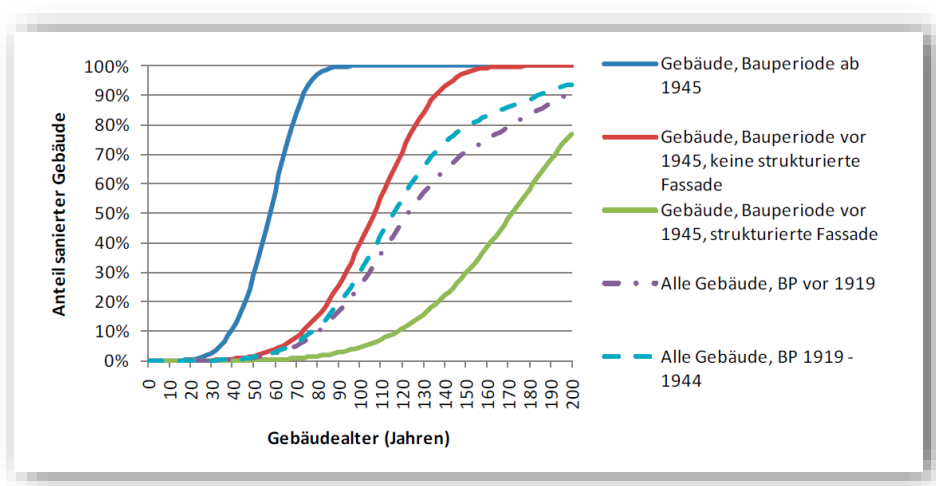


Abbildung 4-3 Anteil sanierter Gebäude in Abhängigkeit des Gebäudealters. Quelle: Kranzl et al. (2010).

Somit wird ausgehend vom Sanierungsstand im Jahr 2000 die Anzahl der sanierten Gebäude für die Zeitpunkte 2015 und 2035 mit Hilfe der einprozentigen Sanierungsquote ermittelt und in Anlehnung an die Erkenntnisse aus Kranzl et al. (2010) auf die Bauperioden aufgeteilt. Hierzu werden folgende Annahmen getroffen:

Für die Bauperiode „vor 1945“ in Wohngebäuden (EFH, MFH) wird festgelegt, dass ausgehend von einem Anteil sanierter Gebäude von 31% im Jahr 2000, dieser Anteil im Jahr 2015 40% und im Jahr 2035 50% erreicht. Die Bauperioden „1981-1990“ und „1991-2001“ weisen laut Annahmen zum Jahr 2015 noch keine Sanierungen auf, während zum Jahr 2035 die Anteile bei 30% bzw. 10% liegen. Die Anzahl der zu sanierenden Gebäude in der größten Bauperiode „1946-1980“ wird schließlich so festgelegt, dass sich für den bestehenden Gebäudepark die Sanierungsquote von 1% pro Jahr ergibt. Für die Nicht-Wohngebäude wird eine ähnliche Entwicklung angenommen.

Folgende Abbildung zeigt die modellierte zeitliche Entwicklung des zum Jahr 2000 bereits bestehenden Gebäudeparks der Region Wels-Land auf. Man erkennt deutlich die Sanierungsentwicklungen in den dominanten Gebäudetypen der Einfamilienhäuser, während diese in den geringer auftretenden Mehrfamilienhäusern und Nicht-Wohngebäuden grafisch nur schwer erkennbar sind. Die entsprechenden Grafiken für die Testregionen Tamsweg und Feldbach zeigen aufgrund der identisch gewählten Sanierungsraten deutliche Ähnlichkeiten auf und sind deshalb nicht abgebildet. Die entsprechenden tabellarischen Darstellungen sind im Anhang in Tabelle-A 5 bis Tabelle-A 7 zu betrachten.

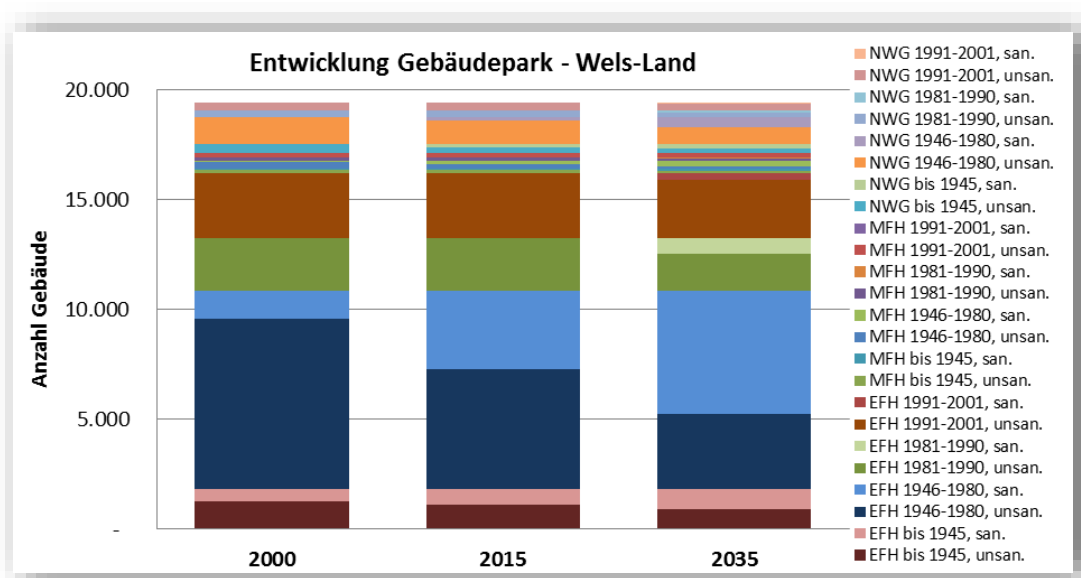


Abbildung 4-4 Entwicklung des Gebäudeparks von Wels-Land anhand der Anzahl unsanierter (unsan.) und sanierter (san.) Gebäude (ohne neue Haushalte)

Die räumliche Zuweisung der Sanierungen wird auf Basis des 250 m Gebäuderasters durchgeführt, wobei die gewünschte Anzahl der sanierten Gebäude je Gebäudetyp und -alter zufällig auf dem Raster ausgewählt wird. Hierzu werden durch einen in der Software Python erstellten Algorithmus zufällig Rasterzellen gewählt und alle dort vorhandenen Gebäude der untersuchten Gebäudekategorie (unterschieden nach Typ und Alter) im modelltechnischen Sinne saniert. Der Algorithmus stoppt, sobald die gewünschte Anzahl gewählter Gebäude erreicht ist. Die Sanierungen besitzen somit weitgehend einen räumlich homogen verteilten Charakter. Vereinzelt können jedoch auch „Ballungszentren“ von Sanierungen entstehen, sofern Zellen mit zahlreichen Gebäuden zur Sanierung ausgewählt werden.

#### 4.2.2 Zu- und Abwanderung

Regionale Zu- und Abwanderung können entscheidenden Einfluss auf zukünftige regionale Entwicklungen wie den Verlauf des Energiebedarfs haben. Diese demografischen Phänomene werden anhand von offiziellen Prognosen der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK) zur Entwicklung der Haushaltszahlen (Hanika, 2011) bei der Modellierung des Wärme- und Kältebedarfs berücksichtigt. Hierzu werden die laut Prognose hinzukommenden Haushalte zusätzlich zum bestehenden Gebäuderaster aus dem Jahr 2001 im GIS modelliert und bei der Energiebedarfsmodellierung mit entsprechenden Werten versehen.

Die von der Statistik Austria veröffentlichten ÖROK-Prognosen liegen auf Bezirksebene und somit auch für die drei Testregionen vor. Für eine vertiefte Betrachtung der ÖROK-Daten zu Haushalten und Bevölkerung wird auf Hanika (2010 und 2011) verwiesen. Prognosen auf Gebäudeebene liegen indes nicht vor.

Tabelle 4-1 zeigt die verwendete Haushaltsentwicklung, in welche im Übrigen die Entwicklung der Bevölkerungszahlen auch eingeht. Somit ist eine zusätzliche Berücksichtigung der Bevölkerungsentwicklung nicht nötig. In allen betrachteten Bezirken ist ein Zuwachs der Haushalte zu erkennen, welcher in Wels-Land mit 35% zwischen 2001 und 2035 am deutlichsten ist. Im Bezirk Tamsweg ist trotz eines leichten Bevölkerungsrückgangs ein Anstieg der Haushaltszahlen um 12% prognostiziert, was mit einer allgemeinen Tendenz vom Vielpersonen-Haushalt zum Wenigpersonen-Haushalt begründet wird. Diese Begründung gilt auch für Feldbach, welches bei nahezu gleichbleibenden Bevölkerungszahlen einen Haushaltsanstieg um 18% aufweist.

Tabelle 4-1 Entwicklung der Anzahl der Haushalte. Quelle: Eigene Abbildung nach Hanika (2011).

Entwicklung Haushalte			
	2001	2015	2035
Wels-Land	23.462	27.098	31.669
Tamsweg	7.040	7.637	7.908
Feldbach	21.815	24.071	25.671
Wels-Land	100%	115%	135%
Tamsweg	100%	108%	112%
Feldbach	100%	110%	118%

Die Aufteilung der neuen Haushalte auf die Wohngebäudetypen EFH und MFH geschieht nach dem derzeitigen Verhältnis der Haushalte in Wohngebäuden, welches für jede Region aus Statistik Austria (2007) bekannt ist, und wird über den Modellzeitraum als konstant angenommen<sup>6</sup>. Tabelle 4-2 stellt die so berechnete Anzahl der neu hinzukommenden Haushalte nach Gebäudetypen in den Bezirken dar.

Tabelle 4-2 Zuwachs an Haushalten nach Gebäudetypen (EFH, MFH) und Bezirk.

Zuwachs an Haushalten nach Gebäudetyp (Whg. je Gebäude)				
Whg. je Gebäude		2001	2015	2035
<b>1 oder 2 (EFH)</b>	Wels-Land	-	2.791	6.300
	Tamsweg	-	460	668
	Feldbach	-	1.879	3.211
<b>3+ (MFH)</b>	Wels-Land	-	845	1.907
	Tamsweg	-	137	200
	Feldbach	-	377	645

Die neuen Haushalte werden ebenso wie die Gebäudesanierungen im GIS modelliert. Hierzu wird um die bisher besiedelten Rasterzellen ein Puffer (engl.: buffer) gelegt, der die jeweils direkt benachbarten Zellen beinhaltet. Somit wird sichergestellt, dass die neuen Haushalte in der Nähe der bisher besiedelten Gebiete liegen. Dies ist insbesondere für die dünn besiedelte Region Tamsweg von Bedeutung, da hierdurch ausgeschlossen wird, dass neue Siedlungsstrukturen weitab von bisherigen Siedlungen entstehen, was als unrealistisch eingeschätzt wird. Die räumliche Zuordnung der neuen Haushalte innerhalb des durch den Puffer begrenzten Gebiets geschieht analog zu den Sanierungen über die zufällige Auswahl von Rasterzellen. Während für neue Haushalte in EFH eine ganzzahlige Zufallszahl zwischen 1 und 2 bestimmt wird und diese Anzahl an EFH-Haushalten einer Rasterzelle zugeordnet wird, geschieht dies bei den Haushalten in MFH über die Bestimmung einer Zufallszahl zwischen 3 und 15, die die Anzahl neuer MFH-Haushalte in einer daraufhin zugeordneten Rasterzelle darstellt. Ausgehend vom Stand im Jahr 2001 wird der Zuwachs an Haushalten zum Jahr 2015 und 2035 wie beschrieben im GIS modelliert. Abbildung 4-5 zeigt hierzu die modellierte Siedlungsstruktur im Jahr 2035. Abgebildet wird die durch den Raster der Statistik Austria vorgegebene räumliche Verteilung der Gebäude im Jahr 2001 (in blau) und der modellierte Zuwachs an neuen Haushalten (in rot), die sich innerhalb und in der Nähe der bestehenden Siedlungsstrukturen befinden.

<sup>6</sup> Durch den in der ÖROK-Prognose beschriebenen Trend zu kleineren Haushalten werden die neuen Haushalte wohl mehr als bisher in MFH zu finden sein. Dies kann jedoch aufgrund der Datenlage nicht genauer bzw. fundierter modelliert werden, so dass von einer Aufteilung der Haushalte wie bisher ausgegangen wird.

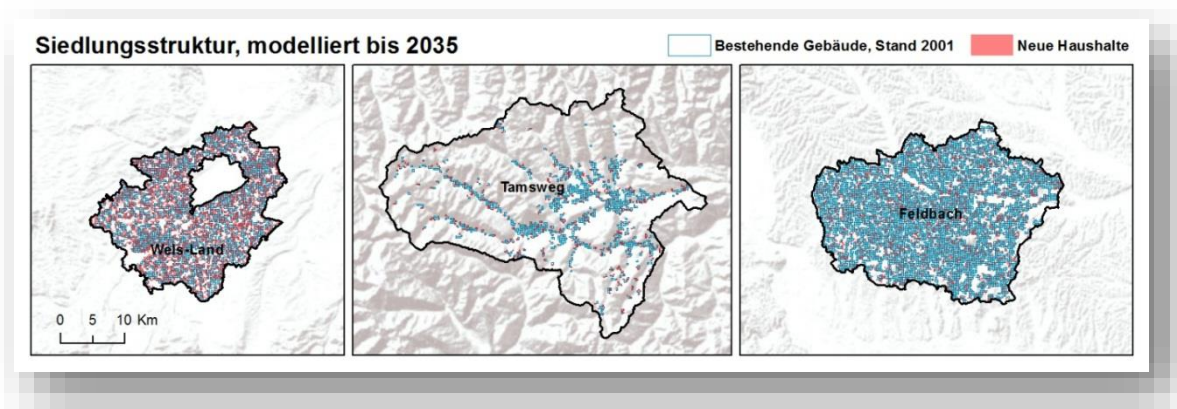


Abbildung 4-5 Bis zum Jahr 2035 modellierte Siedlungsstruktur inkl. neuer Haushalte.

### 4.2.3 Abriss (nicht berücksichtigt)

Die Berücksichtigung des Ersatzes alter durch neue Gebäude (Abriss und Neubau) in der Modellierung wurde überprüft, die Umsetzung jedoch verworfen, da die Relevanz für die Aussagekraft der Thesis als zu gering eingestuft wurde. Dies wird mit den geringen Abrissquoten erklärt, die beispielsweise von Meisel (2014) und Nemeth (2011) angeführt werden. Meisel (2014) nennt in diesem Zusammenhang eine derzeitige Abrissquote von 0,05% pro Jahr für den Bereich der westdeutschen Wohn- und Nichtwohngebäude, während Nemeth (2011) in der von ihr verwendeten Modellierung eine Abrissquote zwischen 0,05% bei neueren und 0,2% pro Jahr bei älteren Gebäuden verwendet. Würde man die bei Nemeth (2011) genannten Abrissquoten anwenden, so ergäbe sich ein Anteil an abgerissenen Gebäuden von maximal etwa 4% zwischen den Jahren 2015 und 2035, was niedrig erscheint im Gegensatz zum Anteil sanierter Gebäude und somit letztlich nur wenig relevant ist in Bezug auf die Ergebnisse.

## 4.3 Gebäudeflächen

Da die verwendeten rasterspezifischen Gebäudedaten keine Informationen über die Größe bzw. Fläche der vorhandenen Gebäude enthalten, werden den Gebäuden typische, repräsentative Flächen zugewiesen, auf deren Basis die weiteren Berechnungen erfolgen. Hierzu wurde bereits in Hausl et al. (2013) eine Analyse zu den Nutzflächen in EFH und MFH auf Basis von Daten der Statistik Austria durchgeführt, um eine möglichst realistische Abschätzung hinsichtlich der zu beheizenden und zu kühlenden Flächen zu ermöglichen.

Diese in Hausl et al. (2013) berechneten Nutzflächen für EFH und MFH werden verwendet und per Multiplikation mit dem Faktor 1,4 auf die Nettogrundfläche umgerechnet, welche die Energiebezugsfläche darstellt. Für NWG wird ein Referenzgebäude mit einer Bruttogrundfläche von 1010 m<sup>2</sup> aus Töglhofer et al. (2009) angenommen, welcher wiederum auf Streicher (2005) Bezug nimmt. Dieser Wert wird per Multiplikation mit dem Faktor 0,85 auf die Nettogrundfläche umgerechnet. Die Umrechnungsfaktoren zwischen den unterschiedlichen Bezugsflächen sind aus Loga et al. (2013) bekannt, auf deren Referenzdaten auch noch in der Heizwärmebedarfsmodellierung eingegangen wird. Die verwendeten Gebäudeflächen sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 4-3 Verwendete Gebäudeflächen für Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und Nicht-Wohngebäude (NWG) in m<sup>2</sup>.

	Nutzfläche	Nettogrundfläche	Bruttogrundfläche
EFH	127	178	209
MFH	453	634	746
NWG	613	859	1.010

Für die neuen Haushalte, welche nach 2001 zusätzlich zum bestehenden Gebäuderaster modelliert werden, werden typische Haushaltsflächen von 110 m<sup>2</sup> Nutzfläche in EFH und 70 m<sup>2</sup> Nutzfläche in MFH angenommen, welche auch aus statistischen Daten in Hausl et al. (2013) abgeleitet wurden. Über die genannten Faktoren erfolgt die Umrechnung auf NGF und BGF.

**Anmerkung:**

Die in der Realität auftretenden Flächen können sich nach dem beschriebenen Vorgehen deutlich von den angenommenen Flächen unterscheiden. Dies ist insbesondere bei MFH und NWG zu erwarten, da hier die Bandbreiten der auftretenden Gebäudeflächen sehr hoch sind. Für die Aussagekraft der Thesis ist dieser potentielle Fehler jedoch weitgehend irrelevant, da die Ergebnisse primär auf gesamtregionaler Basis analysiert werden, wodurch sich durch die Verwendung typischer Mittelwerte Unter- und Überschätzungen zum Teil ausgleichen. Weiterhin gelten für alle Szenarien dieselben Flächenannahmen, so dass in Bezug auf die relativen Änderungen (in Prozent) des Wärme- und Kältebedarfs kaum ein Unterschied gegenüber anderen Flächenannahmen auftritt. Lediglich beim gegenseitigen Vergleich der unterschiedlichen Energiebedarfe, beispielsweise des Wärmebedarfs, des Strombedarfs für Kühlung, des Strombedarfs für die Wirtschaft oder auch anderer Verbrauchssektoren, würde ein Unterschied auftreten, der nicht quantifiziert werden kann.



## 5. Wärmebereich

Neben dem klimaabhängigen Wärmebedarf werden im folgenden Abschnitt auch verwandte Themen aus dem Wärmebereich angesprochen und modelliert. Hierzu gehören die Heizlast, die klimaabhängigen Volllaststunden der Heizsysteme und der Ist-Zustand der regionalen Wärmebereitstellung.

### 5.1 Wärmebedarf

#### 5.1.1 Allgemeines Vorgehen

Der Bereitstellung von Wärme kommt in mitteleuropäischen Ländern wie Deutschland und Österreich eine hohe Bedeutung zu, wie bereits in Kap. 2.4 erläutert wurde. Nahezu jedes bewohnte Gebäude in diesen Ländern besitzt ein Heizsystem, um die Innentemperaturen im Winter und in den Übergangszeiten auf ein angenehmes Niveau zu heben. Auch die ganzjährige Bereitstellung von Warmwasser ist dem Wärmebereich zuzuordnen. Die Energiedienstleistungen Heizen und Warmwasserbereitstellung verursachen dabei einen Wärmebedarf, welcher mit einem hohen Energieaufwand (Verbrauch) einhergeht.

Die Entwicklung des Gebäudeparks sowie der Klimawandel haben einen Einfluss auf den Wärmebedarf. Durch die Klimaerwärmung erfolgt ein Rückgang der Heizintensität und -dauer, die zu einem verringerten Wärmebedarf und somit meist zu einem geringeren Energieaufwand führt.

Um die zeitliche Entwicklung und den klimawandelbedingten Rückgang des regionalen Wärmebedarfs darzustellen, wird der Wärmebedarf auf Nutzenergieebene zu verschiedenen Zeitpunkten (Jahr 2001 / 2015 / 2035) und unter derzeitigem und für die Zukunft prognostiziertem Klima modelliert. Die Analyse wird zellen- und gebäudegenau auf räumlicher Ebene des bereits bekannten 250 m Gebäuderasters durchgeführt und berücksichtigt die Klimamodellergebnisse, welche in einer Auflösung von 1 km vorliegen.

Der zu berechnende Wärmebedarf (WB) eines Gebäudes setzt sich aus dem Heizwärmebedarf (HWB) und dem Warmwasserwärmebedarf (WWWB) zusammen. Der HWB ist dabei klimaabhängig, während der WWWB als vom Klima unabhängig angenommen wird. Die Berechnung der beiden Werte erfolgt über flächenspezifische Bedarfswerte und die Gebäudefläche (s. Kap. 4.3). Zusätzlich wird bei der verfolgten Methodik noch ein sogenannter Nutzungsfaktor berücksichtigt, welcher ein gewisses Nutzerverhalten simuliert, sowie systematische Abweichungen zwischen Modell und Realität ausgleicht.

$$WB = HWB + WWWB = A * (hwb * f_{Nutz} + wwwb)$$

<i>WB</i>	Wärmebedarf	[kWh/a]
<i>HWB</i>	Heizwärmebedarf	[kWh/a]
<i>WWWB</i>	Warmwasserwärmebedarf	[kWh/a]
<i>A</i>	Gebäudefläche, hier: Nettogrundfläche	[m <sup>2</sup> ]
<i>hwb</i>	spezifischer Heizwärmebedarf	[kWh/m <sup>2</sup> /a]
<i>f<sub>Nutz</sub></i>	Nutzungsfaktor Heizwärmebedarf (auch: Servicefaktor)	
<i>wwwb</i>	spezifischer Warmwasserwärmebedarf	[kWh/m <sup>2</sup> /a]

Für die Klimaanpassung des HWB in Wohngebäuden wird in Anlehnung an das Heizperiodenbilanz-Verfahren eine gebäudespezifische Berücksichtigung der variablen Klimaparameter Heizgradtage,

Dauer der Heizperiode und der Globalstrahlung während der Heizperiode durchgeführt. Für Nicht-Wohngebäude wird eine Klimaanpassung über die Heizgradtage angewendet. Eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens bei der Modellierung des Heizwärmebedarfs erfolgt im folgenden Abschnitt.

## **5.1.2 Heizwärmebedarf**

### **5.1.2.1 Methodik**

Unter dem Heizwärmebedarf (HWB) wird hier der Bedarf an Wärmeenergie zur Beheizung eines Gebäudes verstanden, welcher vom Heizungssystem bereitgestellt werden muss, um die Innentemperatur eines Gebäudes auf einem angenehmen Niveau (z.B. 20°C) zu halten. Diese Wärmemenge entspricht, unter Vernachlässigung der Wärmeverteilverluste innerhalb des Gebäudes, der Differenz aus Wärmeverlusten und Wärmegewinnen des Gebäudes in der Heizperiode. Zur Modellierung des Heizwärmebedarfs wird der klimaabhängige flächenspezifische Heizwärmebedarf mit der Fläche und dem Nutzungsfaktor des Gebäudes multipliziert.

#### **Auswahl und Zuordnung der Referenzgebäude**

Um den spezifischen Heizwärmebedarf für verschiedene Gebäudekategorien (Typ, Bauperiode) unter veränderlichem Klima zu berechnen, werden repräsentative Referenzgebäude und deren energetische Kennwerte verwendet.

Diese Kennwerte, die Randbedingungen sowie das zugrunde liegende Referenzklima<sup>7</sup> werden im Fall der Wohngebäude der Studie von IWU (2011) entnommen, welche im Rahmen des EU-Projekts TABULA (Loga et al., 2010) erarbeitet wurde. Diese bezieht sich wiederum auf die in IWU (2003) vorgestellte deutsche Gebäudetypologie. Für die Referenzgebäude des Typs Nicht-Wohngebäude (NWG) werden spezifische HWB-Werte aus Töglhofer et al. (2009) verwendet, wobei dort auf die Büro-Definition aus dem IEA SHC-Task 25 (Streicher, 2005) Bezug genommen wird. Die angesprochenen Werte sind in Tabelle-A 8 und Tabelle-A 9 im Anhang dargestellt.

Abbildung 5-1 zeigt die in IWU (2011) berechneten Werte zum flächenspezifischen Heizwärmebedarf für Referenzgebäude der Typen EFH und MFH bei Referenzklima nach Bauperioden. Anhand dieser Aufstellung wird nun eine Aggregation der Bauperioden auf die durch das Gebäuderaster vorgegebenen Bauperioden vorgenommen. Dies trägt zu einer übersichtlicheren Durchführung der Modellierung und Auswertung der Ergebnisse bei und ist ohne größere Bedenken möglich, da sich einige Bauperioden hinsichtlich ihrer HWB-Werte nur geringfügig unterscheiden (Böhme, 2013). Vor allem vor der ersten Ölkrise im Jahr 1973 und der darauf folgenden Einführung von Energiestandards (1. deutsche Wärmeschutzverordnung 1977) ist dies der Fall. Ab diesem Zeitpunkt jedoch ist eine deutliche Verbesserung der Dämmstandards anhand sinkender HWB-Werte zu beobachten.

---

<sup>7</sup> Referenzklima aus IWU (2011): Außentemperatur während Heizperiode 4,4°C, Länge der Heizperiode 222 d/a, HGT<sub>20/12</sub> 3463 Kd/a, Globalstrahlung während Heizperiode 403 kWh/m<sup>2</sup>

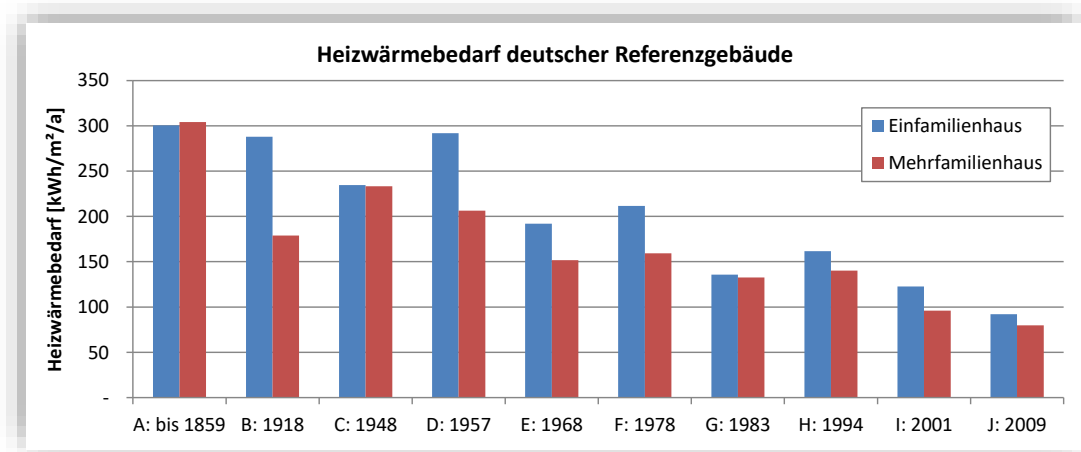


Abbildung 5-1 Flächenspezifischer Heizwärmebedarf von EFH und MFH für Referenzgebäude aus deutscher Gebäudetypologie bei Referenzklima. Bezogen auf Nettogrundfläche. Quelle: Eigene Abbildung nach IWU (2011).

Die Auswahl der Bauperioden aus der deutschen Gebäudetypologie und die Zuteilung auf die in dieser Arbeit verwendeten Bauperioden sind in Abbildung 5-2 zu sehen. Zusätzlich sind die in IWU (2011) ermittelten HWB-Werte nach einer Sanierung abgebildet, welche ebenso in der HWB-Modellierung Verwendung finden.

Da die EFH die bei weitem am häufigsten vertretenen Gebäude darstellen, wird bei den EFH hinsichtlich der Bauperioden genauer differenziert als bei den MFH oder NWG. Für EFH Gebäude mit Bauperiode „nach 2015“ wird ein Gebäude nach Typ „EFH-J“ mit um den Faktor 1,5 verringerten Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten ( $h_{tr} = 1 \text{ W/m}^2/\text{K}$ ) angenommen, welches somit dem spezifischen HWB eines Niedrigenergiehaus-Standards entspricht ( $\text{HWB} = 46 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ )

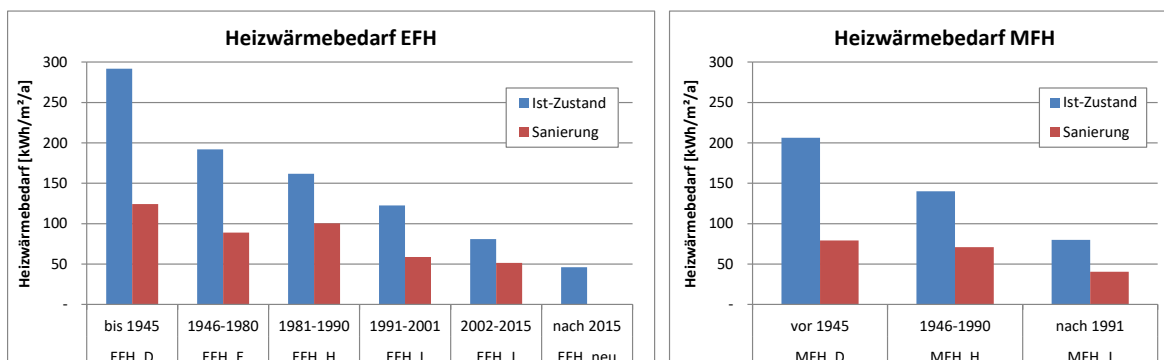


Abbildung 5-2 Flächenspezifischer Heizwärmebedarf der für die Analyse ausgewählten Referenzgebäude für Einfamilienhäuser (EFH, linke Abb.) und Mehrfamilienhäuser (MFH, rechte Abb.) im Original-Zustand und nach Sanierung bei Referenzklima. Bezogen auf Nettogrundfläche. Quelle: Eigene Abbildung nach IWU (2011).

Für die aus Töglhofer et al. (2009) verwendeten HWB-Werte der NWG erfolgt nur eine Differenzierung nach den drei Energieklassen Altbau, Standard und Niedrigenergie. Die passende Zuteilung auf die in der Arbeit verwendeten Bauperioden fällt folgendermaßen aus: NWG mit Bauperiode „bis 1980“ wird ein auf die NGF bezogener Heizwärmebedarf von  $134 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  bei Heizgradtagen ( $\text{HGT}_{20/12}$ ) von  $3.400 \text{ Kd/a}$  zugeteilt, während die jüngere Bauperiode „1981-2001“ den HWB-Wert von  $82 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  erhält. Für NWG mit Bauperiode „nach 2001“ wird ein HWB-Wert von  $42 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  zugewiesen. Im Falle einer Sanierung der NWG wird eine Einstufung in die nächstbessere (jüngere) Dämmqualität vorgenommen.

## Klimaanpassung

Grundlage der in IWU (2011) vorgenommenen Berechnungen zum Heizwärmebedarf für Wohngebäude sind die europäischen Normen, insbesondere EN ISO 13790 für die Berechnung der Heizwärmebilanz auf Basis der saisonalen Methode, auch Heizperiodenbilanz-Verfahren genannt. Dies entspricht prinzipiell dem Heizperiodenbilanz-Verfahren nach DIN V 4108-6, welches laut IWU (2004) nur geringe Abweichungen gegenüber dem alternativen, aber komplexeren Monatsbilanz-Verfahren aufweist.

Der über eine Heizperiode berechnete Heizwärmebedarf setzt sich demnach aus den Bilanzierungswerten Transmissionswärmeverluste, Lüftungswärmeverluste, interne Wärmegewinne und solare Wärmegewinne zusammen, wobei die Wärmegewinne über einen Ausnutzungsgrad in die Bilanz eingehen. Die Bilanzierungswerte sind dabei abhängig von verschiedenen klimaabhängigen Parametern. Neben den Heizgradtagen sind dies die Dauer der Heizperiode und die Globalstrahlung während der Heizperiode.

### Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs nach Heizperiodenbilanz-Verfahren und Abhängigkeit der Bilanzierungswerte von den Klimaparametern:

$$hwb = (h_T + h_V) - \eta_G * (q_I + q_S)$$

$hwb$	spezifischer Heizwärmebedarf	[kWh/m <sup>2</sup> /a]
$h_T$	Transmissionswärmeverluste, abhängig von Heizgradtagen	[kWh/m <sup>2</sup> /a]
$h_V$	Lüftungswärmeverluste, abhängig von Heizgradtagen	[kWh/m <sup>2</sup> /a]
$\eta_G$	Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne	
$q_I$	Interne Wärmegewinne, abhängig von Dauer der Heizperiode	[kWh/m <sup>2</sup> /a]
$q_S$	Solare Wärmegewinne, abhängig von Globalstrahlung während Heizperiode	[kWh/m <sup>2</sup> /a]

Die klimaabhängige Anpassung der einzelnen Bilanzierungswerte erfolgt über den Quotienten aus den jeweiligen Klimaparametern aus dem Klimaszenario und dem Referenzklima. Durch das angewendete Verfahren verändert sich der Heizwärmebedarf der Wohngebäude nicht streng linear zu den Heizgradtagen (HGT), da auch die Länge der variablen Heizperiode und die Globalstrahlung während der Heizperiode eine Rolle spielen. Diese verändern sich jedoch ähnlich zu den Heizgradtagen, so dass nur leichte Nicht-Linearitäten zwischen HWB-Änderung und HGT-Änderung auftreten.

Für die Referenzgebäude des Typs NWG wurden die spezifischen HWB-Werte in Töglhofer et al. (2009) per Monatsbilanz-Verfahren berechnet. Nachdem jedoch bei den NWG im Gegensatz zu den WG keine Bilanzierungswerte zur HWB-Berechnung vorliegen und deren Anzahl und damit Einfluss auf die Ergebnisse deutlich geringer als bei den Wohngebäuden ist, erfolgt hier die klimaabhängige Anpassung des spezifischen Heizwärmebedarfs nur über den Faktor der Heizgradtage, auf die folgend noch detaillierter eingegangen wird.

### Heizgradtage

Die Heizgradtage, auch Gradtagzahl genannt, sind ein sehr weit verbreiteter Indikator für den Einfluss des Klimas auf Heizbedarf und Heizkosten, welcher in zahlreichen Studien angewendet wird. Auch bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs nach Heizperiodenbilanz-Verfahren und der Witterungsbereinigung im Rahmen der Energieeinsparverordnung (EnEV) wird dieser Faktor angewendet. In der verwendeten Methodik zur klimaabhängigen HWB-Berechnung sind die Heizgradtage jedenfalls der entscheidende Faktor.

Es gibt unterschiedliche Definitionen und Anwendungen der HGT-Berechnung. Meist werden die HGT über die Summe aus den Differenzen einer angenommenen Rauminnentemperatur und dem jeweiligen Tagesmittelwert der Außentemperatur über alle Tage eines Zeitraums berechnet, an denen die Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur des Gebäudes liegt. Dieser Wert gilt als geeignete Eingangsgröße für Energiebilanzrechnungen. Nach deutscher Definition wird dieser Wert Gradtagzahl genannt, in Österreich und der Schweiz Heizgradtage. In Österreich (ÖNORM B 8135) und der Schweiz (SIA 381-3) ist die Heizgrenztemperatur bei 12°C angesetzt, während sie in Deutschland nach VDI 3807 bei 15°C liegt. Die Innentemperatur in den genannten Normen ist zu 20°C festgelegt.

Bei der Variante der deutschen HGT-Definition nach VDI 4710 wird hingegen statt der Innentemperatur die Heizgrenztemperatur verwendet, deren Differenz zur Außentemperatur in die Berechnung eingeht, sofern die Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegt. Die Heizgrenztemperatur kann dabei frei gewählt werden. Diese Berechnung resultiert in geringeren Ergebnissen als die vorab erläuterten Definitionen und gilt als geeignet, um gemessene Verbräuche an ein Klima anzupassen.

Prinzipiell können unterschiedliche Heizgrenztemperaturen zur Abbildung verschiedener Gebäudestandards verwendet werden, um mit Hilfe des HGT-Ansatzes präzisere Ergebnisse zu erzielen (IWU, 2004). Somit würden die Unterschiede zum aufwändigeren Monatsbilanz-Verfahren verringert. Gut gedämmte Gebäude bekommen demnach eine geringere Heizgrenze zugeordnet als schlecht gedämmte, da durch den höheren Dämmstandard erst bei niedrigeren Temperaturen eine Aktivierung der Heizung vonnöten ist. Die Herabsetzung der Heizgrenztemperatur führt letztlich zu geringeren HWB-Werten, sofern die Raumtemperaturen auf einem konstanten Niveau gehalten werden, was in der Realität jedoch selten der Fall ist. So ist bei gut gedämmten Gebäuden häufig ein höherer Komfortanspruch der Nutzer vorhanden, welcher sich in höheren Innentemperaturen ausdrückt und somit zu höheren HWB-Werten führt. Diese beiden Effekte<sup>8</sup> wirken sich somit entgegen und gleichen sich teilweise aus, so dass sie bei der hier angewendeten Berechnung der HGT keine Berücksichtigung finden. Eine Anpassung des modellierten HWB an typische, gemessene Werte erfolgt indes durch den später erläuterten Nutzungsfaktor. Die Verwendung einer einheitlichen Heizgrenz- sowie Innentemperatur erleichtert außerdem die extensiven HWB-Berechnungen und trägt zur Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit bei.

Somit wird nur eine HGT-Definition verwendet, wobei die weit verbreitete Definition  $HGT_{20/12}$  zur Anwendung kommt, die nach ÖNORM, SIA und auch im TABULA-Projekt eingesetzt wird.

$$HGT_{20/12} = \sum_{\text{Heiztage}} (20 - T_{\text{außen}})$$

$HGT_{20/12}$  Heizgradtage mit Innentemp. von 20°C und Heizgrenztemp. bei 12°C

$Heiztage$  Index, Tage mit mittlerer Außentemperatur unter 12°C

$T_{\text{außen}}$  Außentemperatur, täglicher Mittelwert

Die Wahl der Innenraumtemperatur von 20°C wird dabei als plausibel und realistisch angesehen. Gleiches gilt für die Heizgrenztemperatur von 12°C, welche zwischen den typischen Heizgrenztemperaturen von 10°C für gut gedämmte Gebäude und 15°C für schlecht gedämmte Gebäude liegt.

Berechnet werden die HGT anhand der täglichen Klimadaten aus den Klimaszenarien, welche auf 1 km Rasterbasis vorliegen. Für das Klimamodell ETHZ werden monatliche Temperaturwerte verwendet, da keine täglichen Daten vorliegen. Zusätzlich werden für die Modelle mit täglichen Klimadaten (DMI,

<sup>8</sup> geringere Heizgrenze und höhere Innentemperatur bei gut gedämmten Gebäuden (und vice versa bei schlecht gedämmten Gebäuden)

SMHI) die Dauer der Heizperiode und die Globalstrahlung auf die Horizontale während der Heizperiode berechnet. Diese verhalten sich ähnlich zu den entsprechenden HGT-Werten und werden deshalb nicht gesondert ausgewertet. Jedoch finden diese Werte Eingang in die Berechnung des HWB.

**Nutzungsfaktor**

Jedem Wohngebäude wird ein individueller Nutzungsfaktor zugeordnet, welcher durch Multiplikation mit dem zuvor berechneten klimakorrigierten Heizwärmebedarf Aspekte des Benutzerverhaltens wie die Wahl der tatsächlichen Innenraumtemperatur in die Berechnungen mit einbezieht, aber auch systematische Fehler zwischen Modell und Realität ausgleicht. Dies ist notwendig, da ansonsten Über- bzw. Unterschätzungen des Heizwärmebedarfs aus der Standard-Berechnungsmethode auftreten (Loga et al., 2010).

Der Effekt der tendenziellen Überschätzung des Heizwärmebedarfs im Falle schlecht gedämmter Gebäude wird als Prebound-Effekt (Sunikka-Blank&Galvin, 2012) bezeichnet, während im Falle gut gedämmter Gebäude und entsprechender Unterschätzung des Heizwärmebedarfs vom Rebound-Effekt (Haas&Biermayr, 2000) gesprochen wird. Gründe hierfür liegen primär im individuellen Nutzerverhalten, den angenommenen Rahmenbedingungen und Vereinfachungen im Gebäudemodell gegenüber dem tatsächlichen Gebäude.

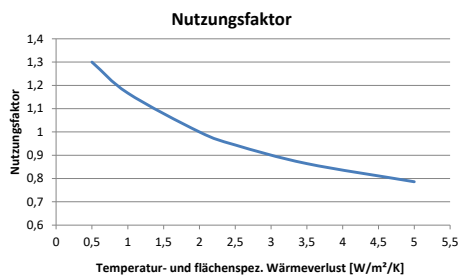
Nimmt der Nutzungsfaktor Werte kleiner als eins an, so bedeutet dies, bezogen auf das Nutzerverhalten, einen sparsamen Einsatz von Heizenergie. Dies ist tendenziell bei schlecht gedämmten Gebäuden mit hohen spezifischen Wärmeverlusten der Fall, da die dort auftretenden hohen Heizkosten zu einem sparsameren Verhalten der Nutzer anregen, während bei gut gedämmten Gebäuden die geringen Heizkosten ein weniger sparsames Verhalten nach sich ziehen, was sich in einem höheren Komfortanspruch, wie z.B. erhöhten Innentemperaturen ausdrückt. Dort werden dann Nutzungsfaktoren größer eins verwendet.

Die vom Institut Wohnen und Umwelt (IWU) empirisch ermittelte Funktion für den Nutzungsfaktor in Abhängigkeit der temperatur- und flächenspezifischen Wärmeverluste ist Elstrand et al. (2013) entnommen und wie folgt definiert:

$$f_{Nutz} = 0,5 + \frac{1}{1 + 0,5 * h}$$

$f_{Nutz}$  Nutzungsfaktor  
 $h$  temperatur- und flächenspezifische Wärmeverluste [W/m²/K]

Die Funktion und typische Werte sind in Abbildung 5-3 dargestellt, während die Zuordnung zu den verwendeten Referenzgebäuden in Tabelle-A 9 im Anhang zu sehen ist.



Gebäudestandard	h [W/m²/K]	Nutzungs-faktor
Altbau mit schlechtem Wärmeschutz	5	0,786
Altbau mit verbesserter Wärmeschutz	3,5	0,864
Wärmeschutzverordnungen 1977 und 1982	2,5	0,944
Neubau nach Wärmeschutzverordnung 1995	2	1
Niedrigenergiehaus-Standard	1	1,167
Passivhaus-Standard	0,5	1,3

Abbildung 5-3 Nutzungsfaktor zur Berücksichtigung des Nutzerverhaltes bei der HWB-Berechnung. Quelle: Eigene Abbildung nach Elstrand et al. (2013).

Das Vorgehen ist u.a. aus Töglhofer et al. (2009), Schriefl (2007), Biermayr et al. (2004) und Biermayr (1999) bekannt. Für eine Vertiefung in das Thema wird außerdem Elstrand et al. (2013)

empfohlen. Eine Klimaanpassung dieses Faktors erfolgt im Übrigen nicht, da die Auswirkung des langfristigen Klimawandels auf die Änderung des Nutzerverhaltens (bzgl. Heizen) als sehr gering eingestuft wird. Somit ist dieser Faktor nur vom Gebäude abhängig.

Ein in diesem Zusammenhang auftretender Faktor ist auch die Berücksichtigung der Nachtabsenkung und der räumlichen Beschränkung der beheizten Fläche, welche bedarfssenkend wirken. Dies ist jedoch schon in den Bilanzierungswerten Transmissions- und Lüftungswärmeverluste aus dem TABULA-Projekt enthalten und wird somit nicht mehr gesondert berücksichtigt. Die dort verwendeten Faktoren für die Nachtabsenkung und die räumliche Beschränkung liegen abhängig vom Gebäudestandard zwischen 0,8 und 0,9 für EFH und zwischen 0,85 und 0,95 für MFH.

### 5.1.2.2 Ergebnisse

#### Heizgradtage

Der Klimawandel führt zu höheren Außentemperaturen und somit zu sinkenden Heizgradtagen (HGT), was ein Indiz für einen sinkenden Heizbedarf darstellt. Auf Basis der vorliegenden Klimadaten wurden daher die  $HGT_{20/12}$  für die drei Testregionen, für die drei Klimamodelle und zwei Klimaperioden berechnet. Die Ergebnisse (regionale Mittelwerte) sind in Abbildung 5-4 dargestellt.

Deutliche Unterschiede zwischen den Regionen sind erkennbar. Die niedrigen Temperaturen in der alpinen Region Tamsweg resultieren in hohen HGT-Werten, während die HGT-Werte in Wels-Land und Feldbach deutlich geringer sind. Der Einfluss des Klimawandels ist anhand der Unterschiede zwischen den Ergebnissen für Klimaperiode 1981-2010 und 2021-2050 zu sehen.

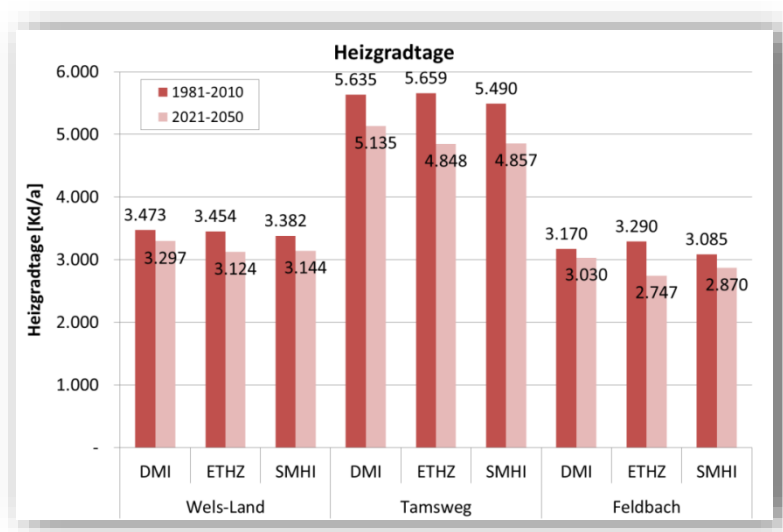


Abbildung 5-4 Heizgradtage 20/12. Darstellung regionaler Mittelwerte.

Die relative Änderung der regionalen Heizgradtage durch den Klimawandel ist in folgender Tabelle aufgelistet. Der Rückgang beträgt zwischen 4,4% und 16,5% und ist am deutlichsten unter Klimamodell ETHZ.

Tabelle 5-1 Änderung der Heizgradtage 20/12 durch den Klimawandel. Vergleich regionaler Mittelwerte.

Änderung der HGT durch Klimawandel			
	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	-5,1%	-9,6%	-7,0%
Tamsweg	-8,9%	-14,3%	-11,5%
Feldbach	-4,4%	-16,5%	-7,0%

Für die Klimamodelle mit täglichen Daten wurde implizit auch die Länge der Heizperiode berechnet. Die Ergebnisse, welche den Einfluss des Klimawandels auf die Anzahl der Heiztage abbilden, sind in Abbildung 5-5 dargestellt. Auch hier fallen die deutlichen Unterschiede zwischen den Regionen und die klimawandelbedingte Verkürzung der Heizperiodenlänge, welche in Tamsweg am deutlichsten ausfällt, auf. In Feldbach hingegen scheint der Klimawandel kaum Einfluss auf die Länge der Heizperiode zu haben<sup>9</sup>.

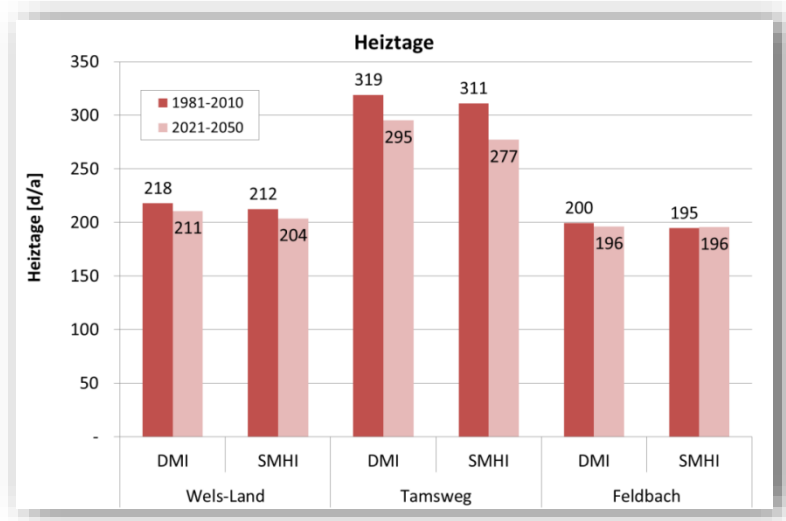


Abbildung 5-5 Anzahl der Heiztage (Länge der Heizperiode) bei Heizgrenztemperatur 12°C. Darstellung regionaler Mittelwerte.

### Spezifischer Heizwärmebedarf

Auf Basis der vorgestellten Heizgradtage und anderer klimaabhängiger Parameter wird der spezifische Heizwärmebedarf berechnet. Abbildung 5-6 zeigt hierzu exemplarisch die Ergebnisse zum klimaabhängigen, flächenspezifischen Heizwärmebedarf für zwei ausgewählte EFH-Gebäudetypen (Typ E und Typ J), welche über dem zugehörigen Parameter Heizgradtage<sub>20/12</sub> aufgetragen sind. Nachdem die Klimaanpassung primär über diesen Parameter erfolgt ist ein linearer Zusammenhang deutlich zu erkennen. Abweichungen zum linearen Trend sind durch die Mitberücksichtigung der Faktoren Dauer der Heizperiode und Globalstrahlung während der Heizperiode zu erklären. Diese Abweichung zur linearen Trendlinie ist nach absoluten (in kWh/m<sup>2</sup>/a) und relativen (in %) Zahlen bei Typ-J (rechte Abbildung) größer als bei Typ-E (linke Abbildung), da die von den Heizgradtagen abhängigen Bilanzierungswerte Transmissions- und Lüftungswärmeverluste bei höherem Dämmstandard einen geringeren Anteil am Heizwärmebedarf aufweisen, während die Anteile der Wärmegewinne (intern und solar) am Heizwärmebedarf bei höherem Dämmstandard zunehmen.

<sup>9</sup> Hier tritt unter Klimamodell SMHI sogar eine Verlängerung der Heizperiode um einen Tag auf, was unplausibel erscheint.



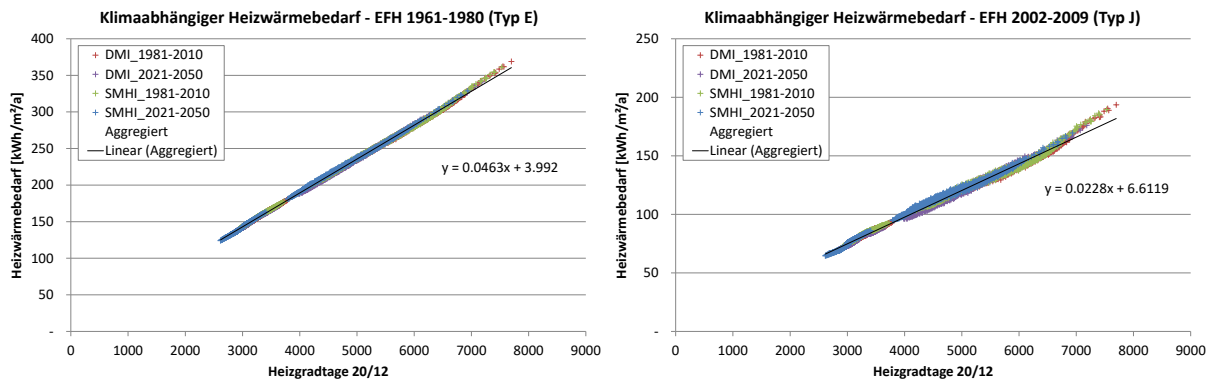


Abbildung 5-6 Flächenspezifischer Heizwärmebedarf, aufgetragen über Heizgradtagen 20/12 für zwei Klimamodelle (DMI, SMHI) und zwei Klimaperioden (1981-2010, 2021-2050)

Abbildung 5-7 zeigt eine ähnliche Darstellung, wobei hier die klimaabhängigen HWB-Werte aller betrachteten EFH Referenzgebäude in einer Grafik abgebildet sind. Auch hier ist deutlich der jeweils lineare Trend gegenüber den Heizgradtagen, aber auch die Unterschiede zwischen den Bauperioden zu erkennen.

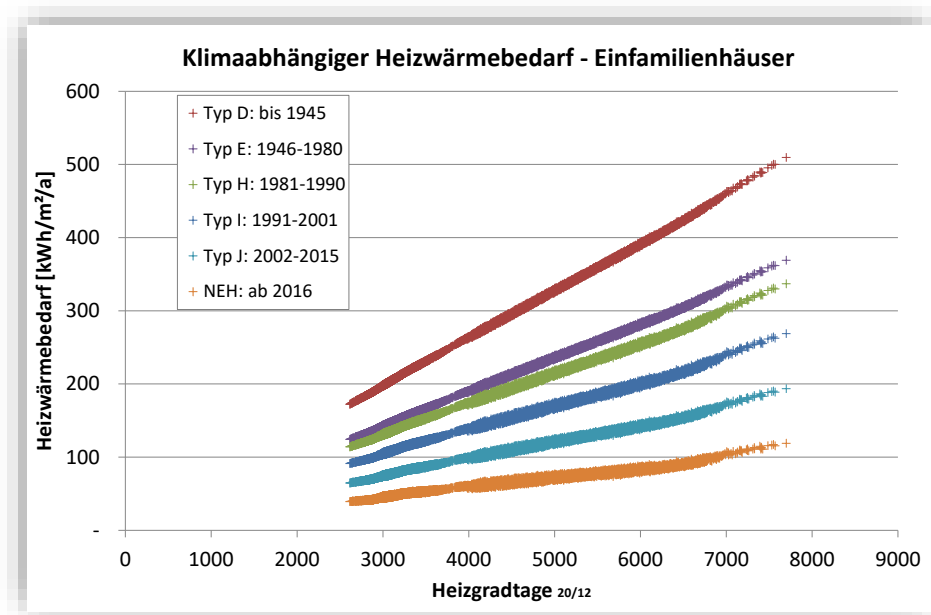


Abbildung 5-7 Flächenspezifischer Heizwärmebedarf für verschiedene EFH Bauperioden, aufgetragen über Heizgradtagen. Ergebnisse für Klimadaten von DMI und SMHI aggregiert.

Die relativen Änderungen des regionalen Mittelwertes des Heizwärmebedarfs für EFH durch den Klimawandel ergeben folgendes in Tabelle 5-2 dargestelltes Bild. Die Änderungen bewegen sich zwischen -16,5% und -5,3%. Sie folgen primär den Ergebnissen zu den Heizgradtagen, da diese den entscheidenden Faktor bei der Klimakorrektur des Heizwärmebedarfs darstellen.

Tabelle 5-2 Relative Änderung des flächenspezifischen Heizwärmebedarfs durch Klimawandel. Mittelwert über EFH-Bauperioden.

Änderung des HWB für EFH durch Klimawandel			
	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	-5,3%	-9,6%	-7,1%
Tamsweg	-8,5%	-14,3%	-10,3%
Feldbach	-5,5%	-16,5%	-8,8%

### 5.1.3 Warmwasserwärmebedarf

Der Warmwasserwärmebedarf (WWWB) wird ähnlich wie der Heizwärmebedarf über einen flächenspezifischen Bedarfswert und die Fläche des jeweiligen Gebäudes berechnet. Im Gegensatz zum Heizwärmebedarf wird jedoch beim Warmwasserwärmebedarf nicht von bemerkenswerten Änderungen durch den Klimawandel ausgegangen (s. u.a. Müller et al., 1995; Hofer, 2006), so dass dieser als konstant angenommen wird. Zwar nennt Hofer (2006) einen geringfügigen Rückgang (1-2%) des spezifischen Warmwasserwärmebedarfs durch den Klimawandel, doch erwähnt er auch den vermutlich höheren Duschwasserverbrauch durch höhere Temperaturen, so dass diese beiden Effekte sich tendenziell ausgleichen.

Die verwendeten, auf die Nettogrundfläche bezogenen Werte zum Warmwasserwärmebedarf werden für Ein- und Mehrfamilienhäuser IWU (2011) und für Nicht-Wohngebäude Hausl et al. (2013) entnommen und betragen:

- für Einfamilienhäuser (EFH): 10 kWh/m<sup>2</sup>/a
- für Mehrfamilienhäuser (MFH): 15 kWh/m<sup>2</sup>/a
- für Nicht-Wohngebäude (NWG): 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/a

### 5.1.4 Ergebnisse

#### 5.1.4.1 Regionaler Wärmebedarf

Die zeitliche Entwicklung des modellierten Wärmebedarfs, aufgeteilt nach Gebäudekategorien, ist am Beispiel der Region Feldbach unter Klimamodell SMHI in Abbildung 5-8 und für alle Regionen und Klimamodelle im Anhang in Abbildung-A 1 zu sehen. Es wird nach dem zeitlichen Stand der Entwicklung des Gebäudeparks (Jahre 2001, 2015, 2035) und der Zeitperiode der Klimadaten (1981-2010, 2021-2035) unterschieden. Die drei linken Balken zeigen somit die Entwicklung des Wärmebedarfs durch den Einfluss der modellierten Sanierungen und neuen Haushalte bei konstantem Klima an, während der rechte Balken zusätzlich den Einfluss des geänderten Klimas, Klimaperiode 2021-2050 gegenüber 1981-2010, mit einbezieht.

Trotz leichtem Anstieg der Haushaltszahlen sinkt der Wärmebedarf im zeitlichen Verlauf durch die vorgenommenen Sanierungen und im letzten Schritt auch durch den Einfluss des Klimawandels. Der Rückgang durch die Sanierungen ist im Vergleich zu anderen Analysen (z.B. Kranzl et al., 2010) jedoch relativ gering, was an der niedrigen Sanierungsrate von 1% p.a. und dem Rebound-Effekt liegt.

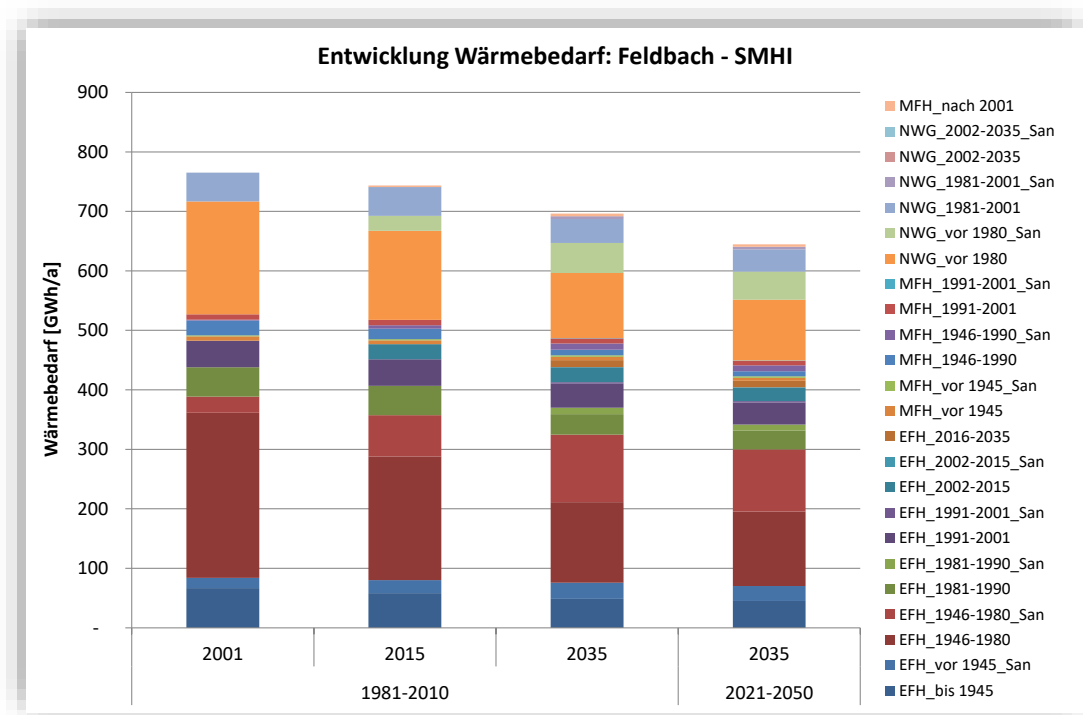


Abbildung 5-8 Entwicklung des Wärmebedarfs nach Gebäudekategorien. Dargestellt nach Klimaperiode und Zeitpunkt der Entwicklung des Gebäudeparks für die Region Feldbach mit Klimamodell SMHI.

Passend dazu zeigt Tabelle 5-3 die über die Gebäudekategorien aggregierten regionalen Gesamtergebnisse zum Wärmebedarf, die die Entwicklung des Wärmebedarfs für alle Regionen und Klimamodelle in absoluten (in GWh/a) und relativen (in Bezug zum Jahr 2001) Zahlen wiedergibt. Auch hier sind die für Abbildung 5-8 beschriebenen Entwicklungen, wie Rückgang durch Sanierung und Klimawandel und Anstieg durch Haushaltszahlen, zu erkennen. Vor allem die unterschiedliche Entwicklung der regionalen Haushaltszahlen führt zu Unterschieden zwischen den Regionen. Wels-Land, für welches der höchste Zuwachs an Haushalten (+35% zwischen 2001 und 2035) prognostiziert wird, weist dementsprechend den geringsten Rückgang des Wärmebedarfs auf, da der durch Sanierungen und Klimawandel verursachte Rückgang durch den Haushaltszuwachs etwas gebremst wird.

Der reine Sanierungseffekt auf den Wärmebedarf von 2015 bis 2035, bei konstantem Klima und ohne neue Haushalte, beträgt -8,5%.

Tabelle 5-3 Entwicklung des regionalen Wärmebedarfs in GWh/a und in Bezug zum Wert im Jahr 2001.

Entwicklung des regionalen Wärmebedarfs								
Klima:	1981-2010				2021-2050			
Jahr:	2001	2015	2035	2035	2001	2015	2035	2035
<b>Wels-Land</b>								
DMI	794	790	769	733	100%	99%	97%	92%
ETHZ	796	792	771	703	100%	100%	97%	88%
SMHI	778	774	755	706	100%	100%	97%	91%
<b>Tamsweg</b>								
DMI	361	348	322	299	100%	96%	89%	83%
ETHZ	364	352	326	289	100%	97%	90%	79%
SMHI	353	340	315	286	100%	96%	89%	81%
<b>Feldbach</b>								
DMI	783	761	712	678	100%	97%	91%	87%
ETHZ	816	793	742	629	100%	97%	91%	77%
SMHI	765	744	696	645	100%	97%	91%	84%

Ein Vergleich der Ergebnisse zum Zeitpunkt 2035 bei derzeitigem Klima (1981-2010) mit denen bei geändertem Klima (2021-2050) ermöglicht die Identifizierung der rein durch den Klimawandel verursachten Änderungen. Die so berechneten relativen Änderungen des Wärmebedarfs durch den Klimawandel sind in Tabelle 5-4 abgebildet. Sie weisen ähnliche Werte wie die Änderungen des Heizwärmebedarfs in Tabelle 5-2 auf, fallen jedoch aufgrund der Mitberücksichtigung des klimaunabhängigen Warmwasserwärmebedarfs etwas geringer aus.

Die Klimaerwärmung führt demnach zu einem signifikanten Rückgang des Wärmebedarfs auf Nutzenergieebene zwischen 4,7% und 15,3%. Angesichts des derzeit sehr hohen Energieaufwands im Wärmebereich ist somit von einer deutlichen Energieeinsparung durch den Klimawandel in diesem Bereich zu rechnen.

Tabelle 5-4 Relative Änderung des regionalen Wärmebedarfs durch Klimawandel (2021-2050) gegenüber konstantem Klima (1981-2010). Stand Gebäudepark: Jahr 2035

Änderung des Wärmebedarfs durch Klimawandel			
	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	-4.7%	-8.9%	-6.5%
Tamsweg	-7.1%	-11.5%	-9.3%
Feldbach	-4.7%	-15.3%	-7.4%

#### 5.1.4.2 Räumliche Darstellung des Wärmebedarfs

Die räumliche Darstellung des Wärmebedarfs, auch Wärmetlas oder Wärmekarte (Heat Map) genannt, ist in Abbildung 5-9 zu sehen. Hiermit können die Schwerpunkte (Hot-Spots) des auftretenden Wärmebedarfs identifiziert werden. Diese sind in allen Testregionen in den Zentren der ansässigen Gemeinden konzentriert. Während die Regionen Wels-Land und Feldbach nahezu über die gesamte Region hinweg Gebäude und damit Wärmebedarf aufweisen, erkennt man in Tamsweg eine weitaus konzentriertere Siedlungsstruktur, die sich an den orografischen Merkmalen (Berge, Täler) orientiert.

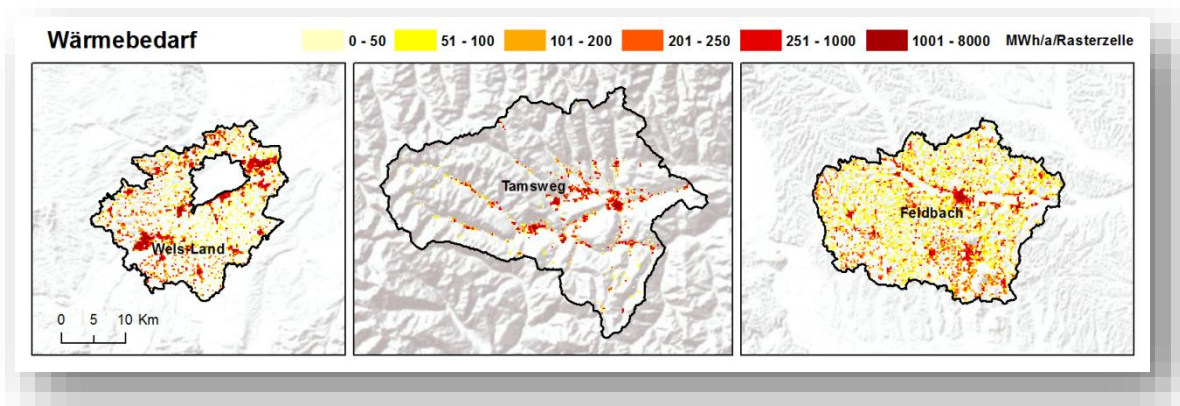


Abbildung 5-9 Räumliche Darstellung des Wärmebedarfs. Gebäudepark Stand 2001, Klimamodell SMHI 1981-2010, Rasterzellen: 250 m x 250 m.

Ein räumlicher Blick auf die Änderungen des modellierten Wärmebedarfs im zeitlichen Verlauf ist in Abbildung 5-10 zu sehen. Hier wird die durch Sanierungen und neue Haushalte hervorgerufene Differenz des Wärmebedarfs zwischen den Jahren 2035 und 2001 dargestellt. Der durch Sanierungen bedingte Rückgang (in blau) des Wärmebedarfs ist hauptsächlich in dicht besiedelten Gebieten signifikant, während die Zunahme (in rot) des Wärmebedarfs durch neue Haushalte in der Darstellung hauptsächlich in weniger dicht besiedelten Gebieten deutlich wird, da dort die Sanierungen nicht so dominant wirken oder dort noch keine Gebäude existieren.

Es ist hier anzumerken, dass die räumliche Zuweisung der modellierten Sanierungen und neuen Haushalte im GIS nach einem zufälligen Schema ablief, d.h. dass die Zellen per Zufallsgenerator nacheinander ausgewählt wurden, in denen dann die jeweiligen Modellierungen durchgeführt wurden. Für die Sanierungen kamen somit nur bereits besiedelte Zellen in Frage, während für neue Haushalte ein Puffer von einer Zelle um die bestehenden Siedlungen als Auswahl gegeben wurde.

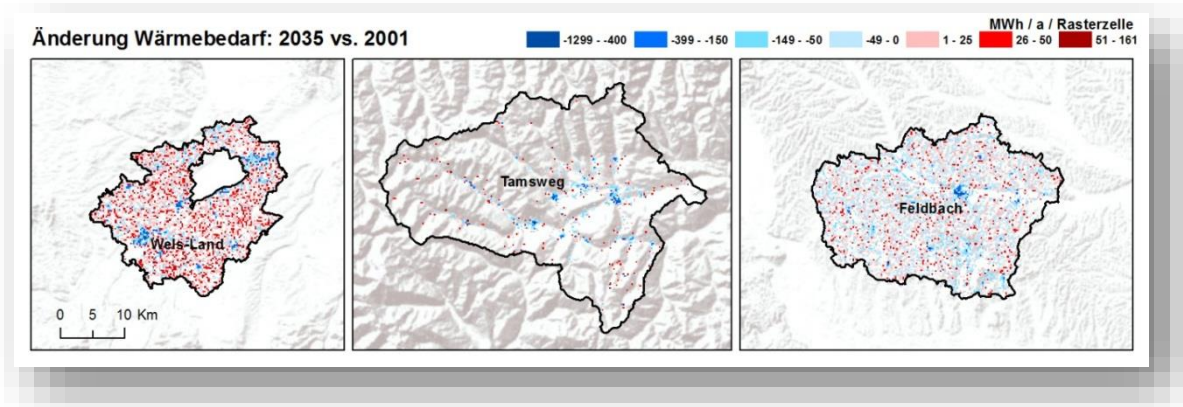


Abbildung 5-10 Änderung des Wärmebedarfs zwischen 2035 und 2001 durch Sanierungen und neue Haushalte. Positive Werte (rot) bedeuten Zunahme, negative Werte (blau) bedeuten Abnahme des Wärmebedarfs. Rasterzellen: 250 m x 250 m.

### 5.1.4.3 Wärmebedarfsdichte

Anhand des auf Rasterbasis berechneten Wärmebedarfs mit dem Klimamodell SMHI wird eine Auswertung zur Entwicklung der Wärmebedarfsdichte durchgeführt, welche in Abbildung 5-11 zu sehen ist. Hierzu wird der je Rasterzelle<sup>10</sup> (Fläche: 6,25 ha) aufkommende jährliche Wärmebedarf durch den Faktor 6,25 geteilt, um den Wärmebedarf pro Hektar (ha) für jede Rasterzelle zu erhalten. Die Abbildung zeigt die in den Regionen auftretenden minimalen, mittleren und maximalen Werte, wobei nur Zellen mit Wärmebedarf (>0) bei der Mittelwertbildung berücksichtigt werden. Das Ergebnis zu „2035 mit KW“ illustriert das Ergebnis mit Klimawandel, also unter Verwendung der Klimaperiode 2021-2050, während die anderen Ergebnisse (2001 / 2015 / 2035) mit Klimaperiode 1981-2010 gerechnet sind.

Die Entwicklung der WB-Dichte wird dabei analog zum Wärmebedarf im Wesentlichen von den Faktoren Sanierung, neue Haushalte und Klimawandel beeinflusst. Die Werte nehmen nahezu ausnahmslos im zeitlichen Verlauf ab.

Die Ergebnisse zur auftretenden maximalen Bedarfsdichte werden maßgeblich davon beeinflusst, in welchen Rasterzellen Sanierungen durchgeführt werden oder neue Haushalte hinzukommen. Wird beispielsweise in einer Zelle, welche zum Stand 2001 eine maximale Bedarfsdichte aufweist, keine Sanierung oder Haushaltsentwicklung durchgeführt, so ist im Jahr 2015 noch immer der identische Wert vorzufinden, wie etwa in Wels-Land zu sehen ist. In Tamsweg hingegen findet in der Zelle mit maximaler Bedarfsdichte vom Jahr 2001 auf das Jahr 2015 eine weitreichende Sanierung statt, so dass die maximale Bedarfsdichte stark sinkt. In Feldbach kommt es demgegenüber zwischen 2001 und 2015 zu einem leichten Anstieg in Folge des Hinzukommens eines oder mehrerer Haushalte in der betreffenden Rasterzelle.

Der klimawandelbedingte Rückgang ist anhand des Vergleichs zwischen Ergebnis „2035“ und „2035 mit KW“ zu erkennen. Diese Änderung ist nicht unerheblich; sie beträgt für die Maximalwerte der mit

<sup>10</sup> Eine Rasterzelle entspricht einer Fläche von 6,25 ha (= 250 m x 250 m).

Klimamodell SMHI berechneten Wärmebedarfsdichten zwischen -6,3% (in Feldbach) und -8,7% (in Tamsweg).

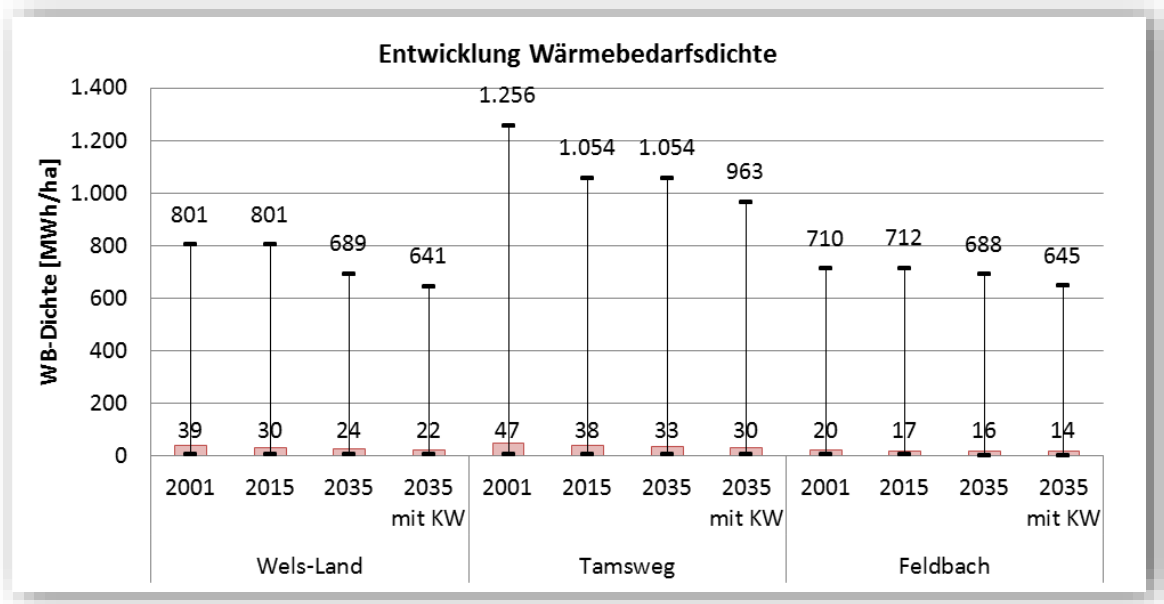


Abbildung 5-11 Entwicklung der Wärmebedarfsdichte (in MWh/ha/a) anhand des mit Modell SMHI berechneten Wärmebedarfs. Auswertung auf Rasterzellenbasis mit Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Werte. „2035 mit KW“ berechnet mit Klima 2021-2050.

#### 5.1.4.4 Wärmebelegungsichte

Um eine längenbezogene Wärmebelegungsichte zu erhalten, wie sie für die Planung von Fernwärmenetzen üblich ist, wird eine vereinfachte Berechnung durchgeführt, welche den pro Rasterzelle auftretenden Wärmebedarf durch eine für jede Zelle angenommene Trassenlänge dividiert. Hierbei wird eine Trassenlänge von 500 m pro Rasterzelle verwendet, was der doppelten Kantenlänge der Rasterzellen entspricht. Die Verwendung von 500 m Trassenlänge je Zelle wird im Übrigen als relativ gering eingeschätzt, da diese nur bei einer sehr vereinfachten Trassenführung ohne Verzweigungen auftreten würde. Bei einer höheren Netzlänge je Rasterzelle würden die Werte zur Belegungsichte somit niedriger ausfallen.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-12 anhand eines Szenarios exemplarisch dargestellt. Es werden nur Werte gekennzeichnet, welche über dem Wert von 0,5 MWh/m/a liegen, da dies die minimale KfW-förderfähige Wärmebelegungsichte darstellt. Der Schwellwert von 1,5 MWh/m/a wird von C.A.R.M.E.N. (2012) als wirtschaftliche Mindest-Belegungsichte empfohlen. Somit kann anhand dieser Abbildungen bereits eine Abschätzung über die Fernwärmepotenziale erstellt werden.

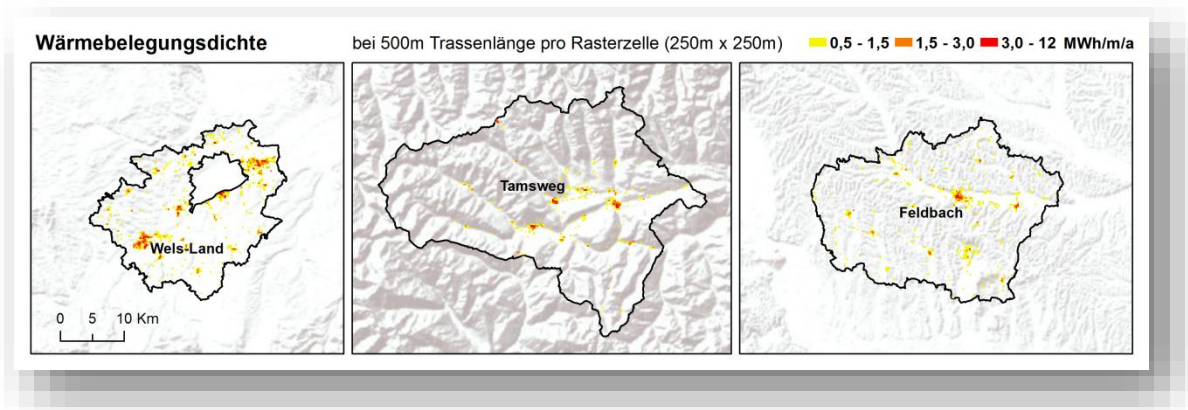


Abbildung 5-12 Längenbezogene Wärmebelegungsdichte (in MWh/m/a) bei angenommener Trassenlänge von 500 m pro Rasterzelle (250m x 250m). Berechnet mit Wärmebedarf von 2035, Klima SMHI 2021-2050. Darstellung erst ab Werten größer 0,5 MWh/m/a (KfW-Belegungsdichte).

## 5.2 Heizlast

Die maximale Heizlast, aus der sich die zu installierende Heizsystemleistung der Gebäude ableitet, wird über einen je Referenzgebäude zugeordneten flächenspezifischen Wert berechnet. Die Heizlast ist zum einen in Kombination mit dem klimaabhängigen Wärmebedarf zur Berechnung der Volllaststunden interessant, zum anderen für die später folgenden Energiesystemoptimierungen wichtig, insbesondere für die zu installierende Heizsystemleistung und damit die Investitionskosten.

Über die Multiplikation der flächenspezifischen Heizlast mit der angenommenen Gebäudefläche wird die auftretende maximale Heizlast nach EFH, MFH und NWG unterschieden je Rasterzelle berechnet. Dieses Vorgehen ist dem der Wärmebedarfsberechnung sehr ähnlich, wobei bei der Berechnung der maximalen Heizlast kein veränderlicher Klimaparameter berücksichtigt wird. Dies wird dadurch begründet, dass die Auslegungen der Heizsysteme auf Annahmen zur Differenz zwischen gewünschter Innentemperatur und minimal auftretender Außentemperatur beruhen, welche trotz Klimaerwärmung weiterhin ähnliche Werte wie derzeit annehmen wird. Somit wird die Klimaerwärmung als vernachlässigbar hinsichtlich der Dimensionierung von Heizsystemen eingestuft, was von Töglhofer et al. (2009) ähnlich eingeschätzt wird.

Die Heizlast wird dementsprechend bei einer typischen, angenommenen Temperaturdifferenz von 30 K berechnet, was bei einer Innenraumtemperatur von 20°C einer Außentemperatur von -10°C entspricht. Diese kalten Temperaturen werden trotz Klimawandel weiterhin erreicht werden, so dass eine Klimaangepasstung der maximalen Heizlast in dieser Arbeit nicht vorgenommen wird. Die Werte zur spezifischen Heizlast (in W/m<sup>2</sup>) können anhand des temperatur- und flächenspezifischen Wärmeverlusts (in W/m<sup>2</sup>/K) der Referenzgebäude und der Temperaturdifferenz von 30 K bestimmt werden. Die verwendeten gebäudespezifischen Daten sind in Tabelle-A 9 im Anhang zu sehen.

## 5.3 Volllaststunden

Die Volllaststunden der Heizsysteme können per Division über die bereits berechneten Werte zum Wärmebedarf und zur maximalen Heizlast berechnet werden. Nachdem der zellengenaue Wärmebedarf klimaabhängig modelliert wird, die maximale Heizlast jedoch als klimaunabhängig eingestuft wird, verhalten sich die berechneten Volllaststunden proportional zum Wärmebedarf und sind somit auch

abhängig vom vorliegenden Klima. Die folgende Aufstellung in Abbildung 5-13 gibt hierzu einen Überblick, wobei der Mittelwert über die EFH-Baupерioden gezeigt wird. Es sind die regional auftretenden minimalen, mittleren und maximalen Werte dargestellt.

Die Unterschiede zwischen den Regionen, die sich durch ihr Klima deutlich unterscheiden, sind signifikant. Insbesondere die kalte Region Tamsweg zeigt hier deutlich erhöhte Werte (Mittelwerte: 2500-3000 h/a) im Vergleich zu den Regionen Wels-Land und Feldbach (Mittelwerte: ca. 2000 h/a). Auch innerhalb der Regionen ist eine große Spannweite der Ergebnisse zu sehen; so zeigen sich in Tamsweg starke Unterschiede bei den berechneten Volllaststunden. Ebenso sind die durch den Klimawandel bedingten Einflüsse (1981-2010 vs. 2021-2050) zu erkennen, die bei den regionalen Mittelwerten eine Änderung zwischen -15,0% (Feldbach, ETHZ) und -4,8% (Wels-Land, DMI) aufweisen.

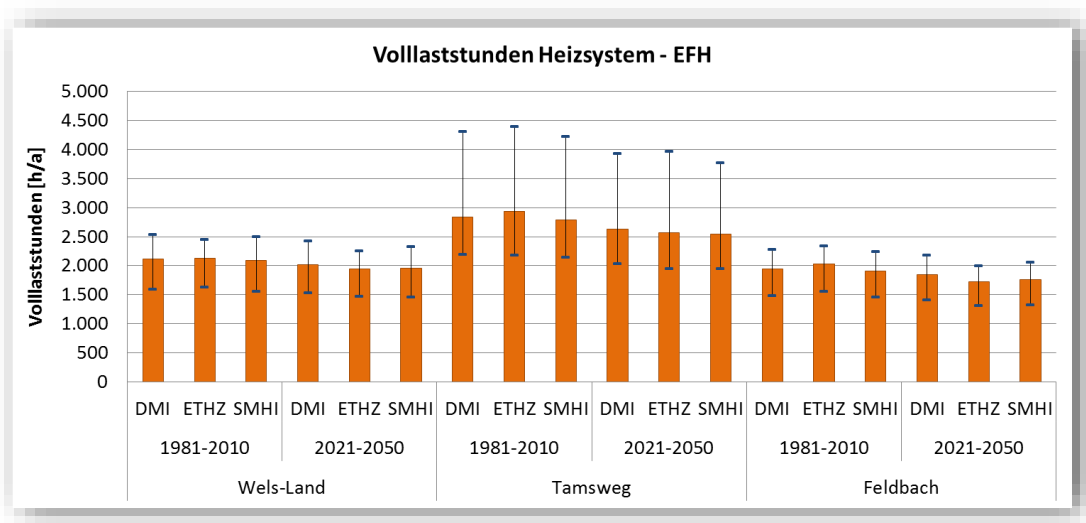


Abbildung 5-13 Volllaststunden der Heizungssysteme für Einfamilienhäuser (alle Bauperioden, Gebäudepark Stand 2035). Regional auftretende minimale, mittlere und maximale Werte.

## 5.4 Ist-Zustand der Wärmebereitstellung

Über einen weiteren Rasterdatensatz (250 m) der Statistik Austria, welcher die Wohnungen nach dem Energieträger für die Wohnungsbeheizung angibt, wird der derzeitige Stand der Wärmebereitstellung modelliert. Dies ist jedoch nur als Annäherung anzusehen und soll einen ersten Eindruck von der Wärmeerzeugungsstruktur geben.

Die Analyse des Ist-Zustands wird auf Zellenbasis durchgeführt. Die Zuteilung zu den Energieträgern erfolgt über die Anzahl der Anschlüsse je Rasterzelle. Somit wird für jede Rasterzelle der im Rahmen der Bedarfsmodellierung zugewiesene Wärmebedarf anteilig durch die in der Statistik für die Rasterzelle ausgewiesenen Energieträger gedeckt. Das beschriebene Vorgehen bringt mit sich, dass auftretende Größeneffekte nicht berücksichtigt werden. Dies betrifft beispielsweise den Energieträger Gas, welcher häufig in Mehrfamilienhäusern verwendet wird, wobei jeder einzelne Haushalt in einem MFH als eigener Anschluss gezählt wird. Da der spezifische Verbrauch je Anschluss in MFH geringer ist als etwa in EFH, wird der Energieträger Gas durch die Aufteilung über die Anzahl der Anschlüsse wohl leicht überschätzt, was für den weiteren Verlauf der Modellierung und Optimierung nicht als kritisch eingestuft wird.

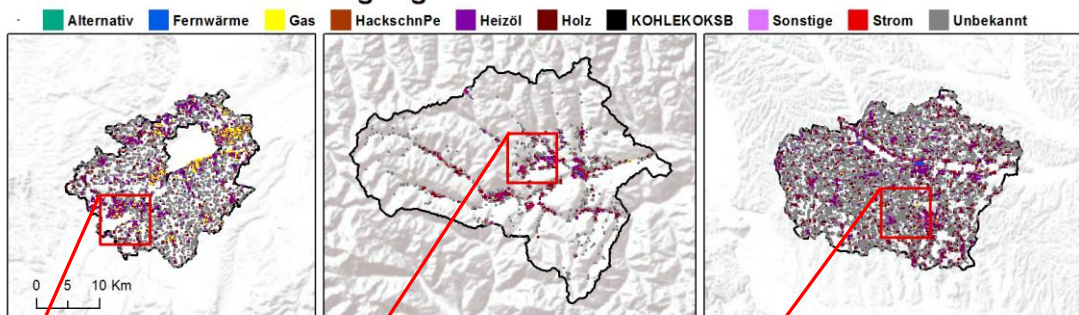
Wie bei der Statistik über die Gebäudetypen und -bauperioden, welche bei der Bestimmung des Wärmebedarfs verwendet wird, gibt es auch in dieser Statistik hinderliche Datenlücken, die in



Rasterzellen mit weniger als vier gemeldeten Wohnungen auftreten. In diesen Zellen liegen keine Informationen über die Energieträger vor. Sie werden in folgenden Grafiken als Kategorie „unbekannt“ dargestellt und nehmen beispielsweise in Feldbach einen sehr großen Anteil ein.

Abbildung 5-14 zeigt die Ergebnisse der Analyse in räumlicher Darstellung. Die in der obigen Karte enthaltenen Ausschnitte (rote Rahmen) werden in der Abbildung darunter detaillierter dargestellt. In der Abbildung oben sind alle Zellen in einheitlicher Größe abgebildet, es zeigen sich große Flächen in der Farbe Grau, was bedeutet, dass dort keine Informationen über die Energieträger bekannt sind. Der vergrößerte Ausschnitt hingegen berücksichtigt den auftretenden Wärmebedarf, was sich in der Größe der einzelnen Torten widerspiegelt. Dadurch wird auch deutlich, dass die grauen Flächen geringe Wärmebedarfswerte aufweisen und dadurch nicht den großen Einfluss auf die regionalen Ergebnisse haben wie in der oberen Darstellung in Abbildung 5-14 durch die weitläufigen grauen Flächen suggeriert wird. Dennoch ist ein beträchtlicher Anteil der Wärmebedarfsdeckung nicht bekannt (s. auch Abbildung 5-15).

### Ist-Zustand Wärmeversorgung



### Ist-Zustand Wärmeversorgung (Ausschnitt)

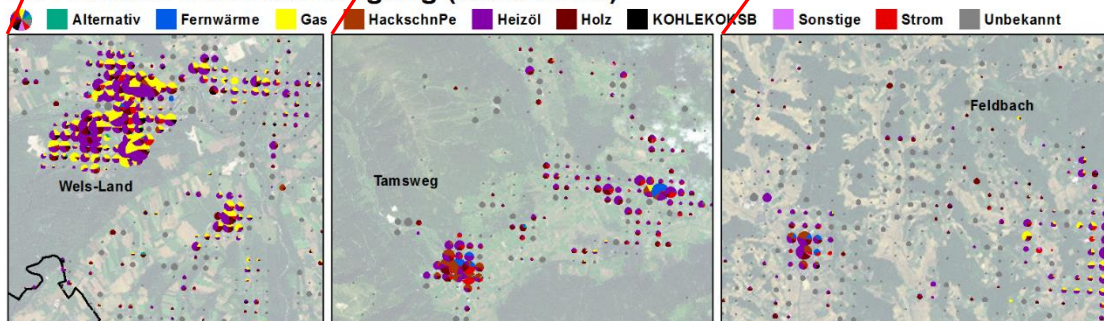


Abbildung 5-14 Ist-Zustand der Wärmeversorgung nach Energieträgern.  
Quelle: Hausl et al. (2013) nach Statistik Austria, Wohnungen nach dem Energieträger für die Wohnungsbeheizung aus der GWZ 2001.

Die für die Bezirke zusammengefassten Ergebnisse der Analyse sind in der folgenden Abbildung 5-15 zu sehen. In Wels-Land ist im Gegensatz zu den anderen beiden Bezirken ein großer Anteil von Gas an der Wärmeversorgung zu erkennen. Der Anteil von Öl an der selbigen ist in allen drei Bezirken ähnlich hoch. Die Fernwärmeversorgung ist nur gering ausgeprägt, während in Tamsweg und Feldbach ein beträchtlicher Anteil der Wärmeversorgung (über 20%) durch Holz oder ähnliche Energieträger (Hackschnitzel, Pellets) gedeckt wird. Da die Datenlücken nur in weniger dicht besiedelten Gebieten auftreten, kann vermutet werden, dass in diesen Gebieten keine netzgebundenen Energietechnologien wie Gas oder Fernwärme zur Anwendung kommen. Der als „unbekannt“ ausgewiesene Anteil an der Wärmeversorgung kann dennoch nicht fundiert zugewiesen werden. Da die Daten aus dem Jahr 2001 stammen, kann zudem davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Ölheizungen mittlerweile etwas niedriger ausfallen dürfte, da einige alte Ölheizungen durch neue Heizungssysteme mit einem anderen Energieträger ersetzt worden sind.

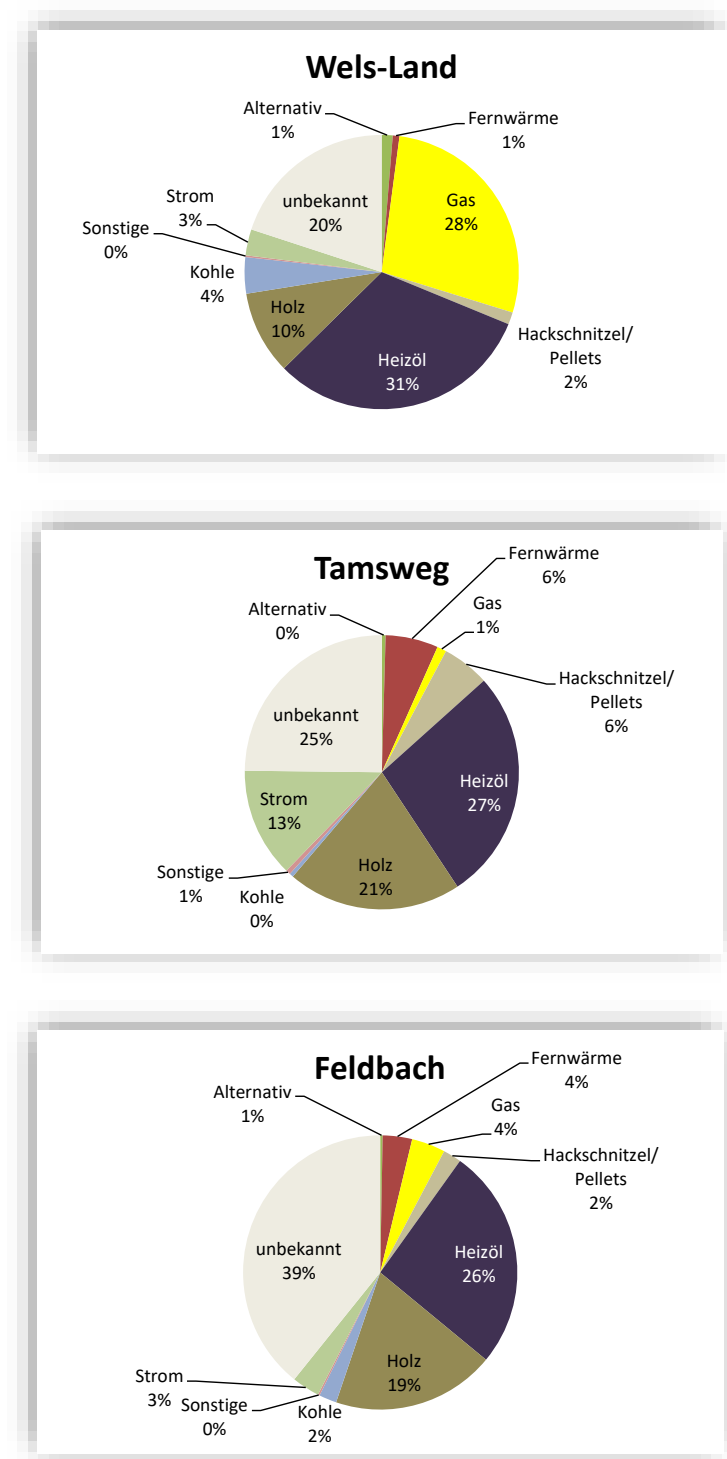


Abbildung 5-15 Modellierter Ist-Zustand (Jahr 2001) der Wärmeerzeugung nach Energieträgern. Quelle: Hausl et al. (2013) nach Daten aus Statistik Austria, Wohnungen nach dem Energieträger für die Wohnungsbeheizung aus der GWZ 2001.

Kommentar: Kategorie „Hackschnitzel/Pellets“ enthält auch Sägespäne und Stroh.  
 Kategorie „Kohle“ enthält auch Koks und Briketts.  
 Kategorie „Alternativ“ beinhaltet u.a. Solarenergie und Wärmepumpe.  
 Quelle: Statistik Austria, Gebäude- und Wohnungszählung 2001 – Benutzerhandbuch  
 Wärmebedarf nach Klimamodell ETHZ, Zeitperiode 1981-2010.

## 6. Kältebereich

### 6.1 Hintergrund

#### 6.1.1 Motive für die Raumkühlung

Der Klimawandel verursacht neben den ansteigenden mittleren Temperaturwerten auch ein häufigeres Auftreten von Extremereignissen wie Hitzeperioden (IPCC, 2012), welche die Innenraumtemperaturen teils über das verträgliche Maß hinaus ansteigen lassen werden. Hohe Innentemperaturen führen zu geringerer Produktivität in der Arbeitswelt, verringerter Wohlbefindlichkeit, sowie im Extremfall zu kritischen Krankheitsbeschwerden, insbesondere bei älteren und geschwächten BürgerInnen, was bis hin zum Tod führen kann, wie an den hitzebedingten Todesfällen<sup>11</sup> während der Hitzewelle im Jahr 2003 zu sehen ist. Die eben genannten Aspekte gelten als Hauptmotive für die zunehmende Klimatisierung von Gebäuden, welche zu einem Anstieg des Kühlbedarfs und somit einem erhöhten Strombedarf führt.

Neben dem Klimawandel gibt es weitere Gründe für einen erwarteten Anstieg des Kühlbedarfs. Als solche zu nennen sind höhere Wärmelasten durch den vermehrten Einsatz elektrischer Geräte oder auch größere Glasfassaden in modernen Gebäuden. Außerdem steigen die allgemeinen Wohlbefindlichkeitsansprüche der Bevölkerung und der ArbeitnehmerInnen, da eine Klimatisierung in einer erhöhten Anzahl an Einrichtungen wie etwa Zügen, Autos und öffentlichen Gebäuden immer häufiger als Standard angesehen wird.

Die Notwendigkeit zur Kühlung entsteht durch den Mangel an thermischer Behaglichkeit, welche neben der Raumtemperatur von mehreren Faktoren (Oberflächentemperaturen, Temperaturasymmetrie, Aktivität, Bekleidung, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchtegehalt) abhängt. Die individuelle Behaglichkeit ist jedoch subjektiv, so dass Richtlinien versuchen, ein objektives Maß hierfür zu finden. Ein bedeutendes von der Raumtemperatur abhängiges Kriterium zur thermischen Behaglichkeit ist die Überhitzung von Gebäuden, welche in verschiedenen Regularien angesprochen wird. In DIN 4108-2 (Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz) wird beispielsweise für drei Klimaregionen eine Raumtemperatur (max. 25 / 26 / 27°C) angegeben, welche in nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten werden sollte. Eine ähnliche Definition wird in der Schweiz (SIA, 2006) verwendet, wo eine Funktion zur Obergrenze der Raumtemperatur in Abhängigkeit der täglich auftretenden maximalen Außentemperatur aufgestellt wird, welche nicht in mehr als 200 Stunden des Jahres überschritten werden soll, wenn möglich in weniger als 100 Stunden pro Jahr (Aebischer et al., 2007). In der österreichischen ÖNORM B 8110-3 hingegen wird sommerliche Überwärmung als vermieden betrachtet, wenn die Raumtemperatur die Grenztemperaturen von 27°C am Tag und 25°C in der Nacht nicht überschreitet. Diese Überwärmung ist laut OIB-Richtlinie 6 bei neugebauten oder renovierten Wohngebäuden zu vermeiden.

#### 6.1.2 Vorhandene Informationen zu Kühlbedarf und Verbreitung von Klimaanlage

Im Bereich der Gebäudekühlung liegen leider nur wenige Informationen, Daten und Erhebungen vor, was die derzeitige und zukünftige Einschätzung erschwert. Die meisten Informationen beruhen daher auf Schätzungen oder durchgeführten Modellierungen, selten jedoch auf offiziellen Statistiken.

---

<sup>11</sup> Schätzungen für Europa: 20.000 (WHO, 2004) - 70.000 (Robine et al., 2008) Todesfälle. Schlimmste Naturkatastrophe in Europa seit 50 Jahren (UNEP, 2004).

Die größten Märkte für Klimaanlage in der EU sind nach absoluten Zahlen Italien, Spanien, Frankreich, Deutschland und das Vereinigte Königreich (Dupont&Adnot, 2005), wobei laut Eicker (2009) der Hauptanteil des europäischen Kühlenergieaufwands mit einem Anteil von 2/3 in den südeuropäischen Ländern Spanien und Italien anfällt.

Im moderaten mitteleuropäischen Klima ist dementsprechend der Kühlbedarf noch relativ gering, weshalb variierende Sommertemperaturen laut Aebischer et al. (2007) noch keine drastischen Auswirkungen auf den Strombedarf und das Stromnetz haben. Dies könnte sich jedoch durch den weitverbreiteten Einsatz von elektrisch betriebenen Klimaanlage ändern. Bereits heute weisen Energieversorger teils auf einen bemerkenswerten Anstieg der Stromlasten an heißen Tagen hin, die jedoch noch immer, wenn auch teilweise nur knapp, unter den Spitzenlasten im Winter liegen (siehe Presseberichte<sup>12</sup> in Formayer et al., 2007). Weiterhin melden Hersteller von Klimaanlage in den letzten Jahren enorme Steigerungen bei den Absatzzahlen.

Ein starker klimawandelbedingter Anstieg des Kühlbedarfs ist insbesondere in Regionen zu erwarten, welche bereits heute ein warmes Klima und entsprechend hohen Kühlbedarf aufweisen. Hierzu zählen die südeuropäischen Länder. Jedoch könnten sich auch Gebiete mit derzeit gemäßigttem Klima durch die Klimaerwärmung zu Gebieten mit signifikantem Kühlbedarf entwickeln, sofern das derzeitige Temperaturniveau knapp unter der Kühlgrenze liegt und die Klimaerwärmung für einen Anstieg über diese Kühlgrenze sorgt, was sowohl zu einer Erhöhung des spezifischen Kühlbedarfs als auch zu einer Erhöhung der klimatisierten Flächen führt. Die Kühlgrenze ist dabei als Temperatur anzusehen, ab der ein Kühleinsatz potentiell als notwendig angesehen wird.

### **Derzeitiger Kühlbedarf**

Für Deutschland wird der Kühlbedarf noch als gering eingestuft, wobei starke Unterschiede zwischen dem gewerblichen und privaten Bereich bestehen. Laut Schätzungen für Deutschland werden nur ein bis zwei Prozent der deutschen Wohnungen gekühlt, während etwa die Hälfte der Büro- und Verwaltungsgebäude klimatisiert werden. Der derzeitige Kühlenergieaufwand in Nicht-Wohngebäuden (NWG) ist demzufolge etwa 100-mal so hoch wie in Wohngebäuden (WG), wobei insbesondere die Angaben für den Bereich der Wohngebäude stark schwanken. Ein Aufstellung in Bettgenhäuser et al. (2011) listet hierzu für Deutschland anhand mehrerer Studien Endenergiebedarfswerte (Strom) von 14-23 TWh/a für NWG und 0,07-2,2 TWh/a für WG für das Jahr 2005 auf. Sowohl für den privaten als auch den nicht-privaten Bereich wird jedenfalls ein starker Anstieg des Kühlbedarfs und der THG-Emissionen in den nächsten 20 Jahrzehnten prognostiziert. So errechnen Riviere et al. (2008) eine Verdopplung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 für den Bereich der Wohngebäude-Klimatisierung und einen Anstieg um 25% bei den Nicht-Wohngebäuden.

### **Verbreitung von Klimaanlage (Diffusion)**

Der Bereich der Nicht-Wohngebäude weist weitaus höheren Kühlbedarf und mehr klimatisierte Flächen auf als der Bereich der Wohngebäude. Dies hat mehrere Gründe, wobei dabei hohe interne Lasten (z.B. durch Computer, Licht, Mitarbeiter), große Glasfassaden und sinkende Arbeitseffektivität und Produktivität bei zu hohen Innentemperaturen genannt werden können. So ist es durchaus nicht ungewöhnlich, dass Klimaanlage in Büros oder ähnlichen Gebäuden auch in moderatem Klima im Einsatz sind.

---

<sup>12</sup> "...zwischen fünf und zehn Prozent ist der Stromverbrauch in Ostösterreich gestiegen" (aufgrund der Hitzeperiode Mitte Juli 2007)

„...in Wien steigt der Bedarf laut Wien Energie um zehn Prozent gegenüber kühleren Tagen.“

„Inzwischen nähert sich der Verbrauch an Sommertagen schon dem Bedarf im kühlen und dunklen Winter an.“

Formayer et al. (2007) nennen Werte zum Ausstattungsgrad von Klimaanlage im Dienstleistungsbereich für die USA (80%), Japan (100%) und Europa (27%), die jedoch kaum Rückschlüsse auf die zukünftige Ausbreitung von Klimaanlage in den Testregionen zulassen, zumal in den genannten Regionen starke regionale Unterschiede bezüglich der Verbreitung von Klimaanlage und Klima vorliegen. Laut Bettgenhäuser et al. (2011) ist etwa die Hälfte der deutschen Büro- und Verwaltungsgebäude mit Klimatisierungsvorrichtungen ausgestattet. Aebischer et al. (2007) gehen für den schweizerischen Dienstleistungssektor im Jahr 2005 von einem Anteil klimatisierter Flächen von ca. 40% aus, welcher für das Jahr 2035 mit 55% (ohne Klimawandel) bzw. 78% (mit Klimawandel) angenommen wird. In einem ähnlichen Bereich (ca. 35%) liegt die Einschätzung von Kranzl et al. (2010) für die österreichischen Bürogebäude und Gebäude des Groß- und Einzelhandels. Hier steigt dieser Anteil bis zum Jahr 2050 auf 60% bis 75% im Emissionsszenario A1B bzw. über 90% im A2-Szenario.

Neben der schon vorhandenen Kühlung von Gebäuden im gewerblichen Bereich oder im Dienstleistungsbereich, wie etwa Bürogebäuden, erscheint es für die Zukunft möglich, dass eine zunehmende Anzahl privater Haushalte mit einer Klimaanlage ausgerüstet wird, um die Temperaturen im Gebäude auf ein verträgliches Maß abzusenken. Extremereignisse, wie die Hitzewelle 2003, tragen vermutlich zu dieser Entwicklung bei, da dadurch möglicherweise mehr Privathaushalte eine Notwendigkeit zur Klimatisierung ihrer Wohnräume sehen. Hier wird zuweilen von sogenannten „Impulskäufen“ aufgrund von Extremereignissen gesprochen. Dieser möglichen Entwicklung steht natürlich das Szenario gegenüber, dass im Bereich der Wohngebäude-Kühlung kein signifikanter Wandel stattfindet und der Kühlbedarf dementsprechend gering bleibt. In Österreich etwa untersagen die Richtlinien zur Überhitzung quasi das Auftreten von Kühlbedarf in privaten Neubauten und sanierten Wohngebäuden. Zudem gehen einige Experten davon aus, dass Kühlbedarf in Privathäusern durch bauliche und andere passive Maßnahmen (z.B. Sonnenabdeckungen und Nachtlüftung) weitgehend verhindert werden kann, was gegen den weit verbreiteten Einsatz von Klimaanlage spricht. Dennoch wird in den meisten Analysen von einem steigenden, zunächst noch theoretischen, Kühlbedarf in Wohngebäuden ausgegangen, wobei wie gesagt fraglich ist, inwieweit dieser tatsächlich durch aktive Kühlmaßnahmen wie Klimaanlage gedeckt werden wird.

Zum derzeitigen Zeitpunkt wird nach allgemeiner Einschätzung nur ein sehr geringer Anteil von 1-2% privater Haushalte in Deutschland und Österreich mit einer Klimaanlage versorgt. Diesbezügliche Daten sind, wie auch in vielen anderen Ländern, eher rar. Sehr hohe Werte zur Ausbreitung von Klimaanlage in Haushalten werden mit 76% für die USA, 87% für Japan und 60% für Australien genannt (Isaac&vanVuuren, 2009), die jedoch ebenso kaum Rückschlüsse auf die zukünftige Ausbreitung von Klimaanlage in den Testregionen zulassen. Für Europa wird eine Durchdringung von 5% erwähnt (Formayer et al., 2007), wobei auch hier starke Unterschiede zwischen den Mitgliedsländern bestehen. Dennoch zeigt der niedrige Wert den geringen Sättigungsgrad und damit das hohe Entwicklungspotenzial des europäischen Marktes, obgleich eine stärkere Durchdringung hinsichtlich der Stromnetzstabilität und der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen von Nachteil wäre. Länderspezifische Zahlen sind indes kaum erhältlich und auch nur schwer zu ermitteln. So werden in einer im Namen der EU Kommission erstellten Studie (Adnot et al., 1999) lediglich für die Länder Italien (10%) und Spanien (5%) konkrete Durchdringungsraten von Klimaanlage in Haushalten genannt, wobei die Angaben für das Jahr 1996 gelten und somit bereits stark veraltet sind. Laut aktuelleren Absatzzahlen für Kleinklimageräte (<12 kW) aus Riviere et al. (2008) sind die absatzstärksten Länder in der EU Italien mit einem Anteil von 33% an den verkauften Geräten, gefolgt von Spanien (21%), Griechenland (13%), Frankreich (7%), UK (6%) und Deutschland (3%).

Trotz dieser Daten ist die Datenverfügbarkeit in EU-Ländern weiterhin als schlecht und Erfahrungswerte als gering einzustufen, weshalb Analysen zum zukünftigen Kühlbedarf häufig auf Ad-hoc Annahmen

angewiesen sind. Olonscheck et al. (2011), deren Paper auch vom IPCC zitiert wird, entwerfen beispielsweise für Deutschland drei unterschiedliche, jedoch sehr geringe Diffusionsszenarien, wobei das stärkste im Jahr 2060 von einem Durchdringungsgrad von 13% der Haushalte ausgeht. Dieser Wert beruht laut den Autoren auf dem in Adnot et al. (2008) ermittelten aktuellen Anteil an Klimaanlage in Italien, dessen Klima laut Kopf et al. (2008) für Deutschland in der Zukunft projiziert wird. Die anderen beiden Szenarien legen eine Quote von 1% (konstant nach Adnot et al., 2008) bzw. 2,5% (nach Adnot et al., 2008, für das Jahr 2030) zugrunde.

### 6.1.3 Kühltechnologien

#### Kompressionskältemaschinen

Kompressionskältemaschinen sind momentan die am weitesten verbreitete Kühltechnologie. Durch einen meist elektrisch angetriebenen Verdichter wird ein zuerst gasförmiges Kältemittel auf ein höheres Druckniveau gebracht und anschließend unter Wärmeabgabe in einem Wärmeübertrager kondensiert. Hierbei gibt das Kältemittel Wärme ab. Das jetzt flüssige Kältemittel durchläuft eine Drossel, entspannt dabei und verdampft aufgrund des niedrigen Drucks in einem weiteren Wärmetauscher, dem Verdampfer. Der im Verdampfer realisierte Wärmeentzug stellt die bereitgestellte Nutzkälte dar. Das jetzt gasförmige Kältemittel durchläuft den Kreisprozess von neuem.

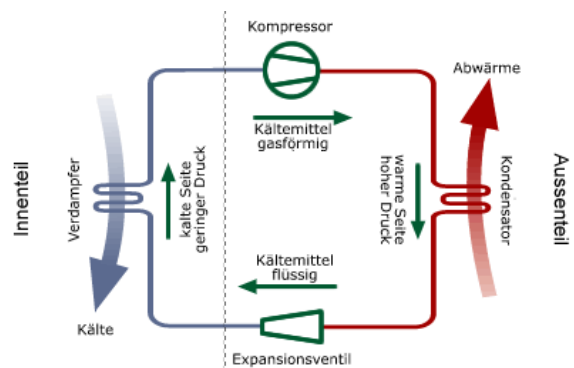


Abbildung 6-1 Kreisprozess einer Kompressionskältemaschine.

Die Energieeffizienz von Kältemaschinen wird meist durch die dimensionslose Nennkälteleistungszahl (Energy Efficiency Ratio, EER) beschrieben, welche über das Verhältnis von Kühlleistung zu aufgenommener elektrischer Leistung berechnet wird. Dies entspricht dem COP (Coefficient of Performance) bei Wärmepumpen. Die entsprechende Jahreseffizienz auf Basis von Energiewerten ist die Jahreskälteleistungszahl (Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER), welche auch ein gewisses Teillastverhalten berücksichtigt.

Kompressionskältemaschinen werden als mobile Monoblock- oder als Split-Klimageräte angeboten, wobei sich die Elemente zur Kälteerzeugung und Kälteabgabe im Fall der mobilen Geräte innerhalb eines Geräts befinden. Im Fall der Split-Geräte sind die beiden Elemente getrennt voneinander aufgestellt und über Kältemittelleitungen miteinander verbunden. Der Leistungsbereich von Kompressionskältemaschinen variiert in einem großen Intervall von einigen hundert Watt für die Einzelraumklimatisierung bis hin zu einigen 10 MW für Großanwendungen. Bezüglich der Leistungszahlen (EER) moderner Kompressionskältemaschinen nennen Hinterdorfer et al. (2010) folgende Werte:

- Luftgekühlte Kompressionskältemaschine EER 5–7
- Wassergekühlte Kompressionskältemaschine EER 6–9
- Mobile Klimageräte EER 2–3,2
- Split-Klimageräte EER 2,7–5,5

#### Ab- und Adsorptionskältemaschinen

Ab- und Adsorptionskältemaschinen brauchen wegen der grundlegenden physikalischen Prozesse (thermische Verdichtung) immer eine Wärmequelle, um den Kreisprozess zu schließen.

Bei der Absorptionskältemaschine (AKM) wird die Aufnahmefähigkeit bestimmter Salzlösungen von Dampf genutzt. Das Kältemittel, häufig Wasser, wird zuerst bei niedrigem Druck verdampft. Die zur Verdampfung notwendige Energie wird der warmen Raumluft entzogen. Dadurch kühlt diese ab. Um zu verhindern, dass der Prozess bei Sättigungsdruck des Kältemittels stoppt, wird der Kältemitteldampf ständig abgeführt. Dazu werden Salzlösungen (z.B. Lithiumbromid) verwendet, die den Wasserdampf binden können. Die angereicherten Salzlösungen werden abgeführt, um einen Abbruch des Prozesses durch Sättigung zu verhindern. Durch Hitzeeinwirkung wird das Kältemittel aus der Salzlösung bei hohen Temperaturen und Drücken verdampft. Die nun wieder konzentrierte Salzlösung wird dem Prozess von neuem zugeführt. Das Kältemittel wird in einem Kondensator auf Ausgangstemperatur herabgekühlt und ebenfalls dem Kreisprozess wieder hinzugeführt. Häufig wird auch Ammoniak als Kältemittel, mit Wasser als Lösungsmittel eingesetzt.

Adsorptionsanlagen (AdKM) funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie Absorptionsanlagen, nur dass anstatt der Salzlösungen chemische Verbindungen wie zum Beispiel Silikagel (Kieselgel,  $\text{SiO}_2$ ) das verdampfte Kältemittel binden.

Aufgrund der benötigten Wärmequelle zur Trocknung des Sorptionsmittels bietet sich ein Einsatz von Ab- und Adsorptionskälteanlagen in Verbindung mit solarthermischer Wärmeerzeugung in der Wohnhausbebauung (Solar Cooling Kit) an. Auch die Nutzung von Prozessabwärme zur Raumkonditionierung über Ab- und Adsorptionskältemaschinen in Industrieanlagen (gegebenenfalls sogar Versorgung von Industrievierteln über Fernkälte) stellt eine Einsatzmöglichkeit dar.

Ähnlich zum EER bei Kompressionskältemaschinen wird bei Ab- und Adsorptionskältemaschinen von der Wärmeverhältniszahl (WVZ) gesprochen, die das Verhältnis von Kälteleistung (Output) zu Wärmeleistung (Input) beschreibt. Hinterdorfer et al. (2010) nennen hierzu WVZ im Bereich 0,6-0,8.

#### **6.1.4 Begrifflichkeiten**

Die Raumklimatisierung umfasst neben der Raumkühlung auch die Möglichkeit zur Aufrechterhaltung einer gewissen Luftqualität hinsichtlich Luftfeuchte und Reinheit. Der Begriff Raumkühlung bezeichnet hingegen nur die Senkung der Raumtemperatur. Im folgenden Abschnitt wird dennoch nicht mehr explizit zwischen diesen beiden Begriffen unterschieden, zumal diese Unterscheidung häufig nicht beachtet und die reine Kühlung (durch Kühlgeräte) zuweilen als Klimatisierung (durch Klimageräte) bezeichnet wird. Die hier durchgeführten Modellierungen haben meist den Strombedarf für Kühlung bzw. Klimatisierung zum Inhalt, welcher teils auch als Kühlbedarf oder Kühlstrombedarf bezeichnet wird, und beziehen sich zum Teil auf vorhandene Analysen, so dass die dort verwendete Definition und Diktion zu beachten ist. Davon abzugrenzen ist wiederum der Kältebedarf, welcher eine Wärmemenge auf Nutzenergieebene darstellt, die dem zu kühlenden Raum zu entziehen ist.

Weiterhin ist die derzeitige und zukünftige Verbreitung von Klimaanlage von besonderem Interesse, da derzeit bei weitem nicht alle Gebäude in Deutschland und Österreich gekühlt werden und der zukünftige Einsatz von Klimaanlage mitentscheidend für den auftretenden Kühlbedarf ist. Diese Verbreitung von Klimaanlage wird im Folgenden häufig als Diffusion oder Durchdringung (engl.: penetration) deklariert, wobei damit im Fall der Wohngebäude der Anteil von Haushalten mit Klimaanlage und im Fall der Nicht-Wohngebäude der Anteil klimatisierter Flächen bezeichnet wird.

Es wird im Übrigen nur der Bereich der Raumklimatisierung in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden behandelt. Der Bereich der Nahrungsmittelkühlung und des industriellen Kühlens wird ausgeklammert. Dort ist vor allem ein Anstieg des spezifischen Kühlbedarfs zu erwarten, da die meisten Objekte im Nahrungs- und Industriebereich, sofern notwendig, bereits heute einer Klimatisierung unterliegen.

## 6.2 Allgemeines Vorgehen

Das allgemeine Vorgehen bei der Modellierung des Kühlbedarfs und die entsprechende Begründung hierfür werden in diesem Abschnitt erläutert, während die detailliertere Methodik in den entsprechenden Unterkapiteln beschrieben wird.

Wie der Wärmebedarf wird auch der Kühlbedarf auf Basis des Gebäuderasters und der räumlich aufgelösten Klimadaten im GIS modelliert. Entscheidende Parameter hinsichtlich des auftretenden Kühlbedarfs sind neben dem spezifischen Kühlbedarf (pro Haushalt oder Fläche) die Verbreitung (Diffusion) von Klimaanlage bzw. der Anteil der gekühlten Flächen. Es gilt die Annahme, dass konventionelle Klimageräte verwendet werden, die ausschließlich mit Strom betrieben werden und somit den Strombedarf erhöhen. Dies erscheint für die nahe Zukunft als wahrscheinlichste Variante. Die Berechnungen werden je Rasterzelle durchgeführt und für die regionale Betrachtung aufsummiert.

$$KB_{WG,el} = n_{HH} * a_{HH}(KGT) * kb_{HH}(KGT)$$

$KB_{WG,el}$	Strombedarf für Kühlung von Wohngebäuden	[kWh/a]
$n_{HH}$	Anzahl an Haushalten	
$a_{HH}$	Anteil klimatisierter Haushalte in Abhängigkeit der Kühlgradtage	
$kb_{HH}$	haushaltsspezifischer Kühlbedarf in Abhängigkeit der Kühlgradtage	[kWh/ a]

$$KB_{NWG,el} = A_{NWG} * (a_{KB,vk} * kb_{vk}(KGT) + a_{KB,tk} * kb_{tk}(KGT))$$

$KB_{NWG,el}$	Strombedarf für Kühlung von Nicht-Wohngebäuden	[kWh/ a]
$A_{NWG}$	Gebäudefläche (hier: NGF)	[m <sup>2</sup> ]
$a_{KB,vk}$	Anteil vollklimatisierter Flächen in Abhängigkeit der Kühlgradtage	
$a_{KB,tk}$	Anteil teilklimatisierter Flächen in Abhängigkeit der Kühlgradtage	
$kb_{vk}$	spez. Kühlbedarf in Abhängigkeit der Kühlgradtage, vollklimatisiert	[kWh/m <sup>2</sup> /a]
$kb_{tk}$	spez. Kühlbedarf in Abhängigkeit der Kühlgradtage, teilklimatisiert	[kWh/m <sup>2</sup> /a]

Der spezifische Kühlbedarf und die Diffusion von Klimaanlage werden dabei als klimaabhängig betrachtet und entsprechend modelliert. Hierfür wird eine stationäre Bottom-Up Modellierung basierend auf vorhandenen, teils empirischen, Analysen angewendet, welche einen funktionellen Zusammenhang zwischen den Kühlparametern (spezifischer Bedarf und Diffusion) und dem Klima herstellt. Die Kühlgradtage (KGT) dienen hierbei als klimatologische Eingangsgröße. Unterschieden wird nach Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden, wobei bei letzteren noch zwischen vollklimatisierten und teilklimatisierten Flächen differenziert. Für die spezifischen Kühlbedarfsfunktionen wird ein linearer Zusammenhang zu den KGT hergestellt, während die Diffusion von Klimaanlage anhand nicht-linearer Funktionen modelliert wird. Die funktionellen Zusammenhänge und die potentiellen Ergebnisse werden dabei unter Berücksichtigung der KGT-Ergebnisse auf ihre Plausibilität hin überprüft.

Somit wird eine konsistente Modellierung in unterschiedlichen Testregionen und unter unterschiedlichen Klimaniveaus angewendet. Die Ergebnisse vermitteln zudem durch den großen Szenarien- bzw. Lösungsraum (Regionen / Klimamodelle / Klimaperioden) eine Übersicht über mögliche Entwicklungen im Kühlbereich, zumal diese mit hohen Unsicherheiten behaftet sind.

### Anmerkung:

Der Kühlbedarf für Wohngebäude wird im Übrigen nur für den Gebäudepark des Modelljahrs 2035 berechnet. Hierbei wird die bereits bekannte Unterscheidung zwischen Klimaperiode 1981-2010 und 2021-2050 angewendet, um die Auswirkungen des Klimawandels zu analysieren. Die Berechnung für



die Jahre 2001 und 2015 unter Klimaperiode 1981-2010 erfolgt nicht gesondert, da die Ergebnisse nahezu identisch sind mit den Ergebnissen des Szenarios 2035, Klimaperiode 1981-2010. Dies liegt wiederum daran, dass mit diesem (derzeitigen) Klima aufgrund der Diffusionsrate kein Kühlbedarf bei Wohngebäuden auftritt (Wels-Land und Tamsweg) bzw. dieser vernachlässigbar gering ist (Feldbach). Einziger Unterschied zwischen den Zeitpunkten 2015 und 2035, sofern Klimaperiode 1981-2010 angenommen wird, ist lediglich die Entwicklung der Haushaltszahlen, was jedoch aufgrund der ohnehin so geringen Kühlbedarfe in Wohngebäuden mit dieser Klimaperiode irrelevant ist. Die Anzahl der NWG ist ohnehin konstant für die Zeitpunkte der Betrachtung, weshalb auch hier nur eine Unterscheidung nach Klimaperioden notwendig ist.

## 6.3 Kühlgradtage

### 6.3.1 Methodik

Im Bereich der Gebäudekühlung werden häufig die sogenannten Kühlgradtage (KGT) verwendet<sup>13</sup>, um klima-induzierte Änderungen auf den Kühlbedarf und die Verbreitung von Klimaanlage abzuschätzen. Im Gegensatz zu den Heizgradtagen gibt es zur Berechnung der Kühlgradtage keine gängige Definition für Deutschland und Österreich. Meist werden jedoch, wie auch in dieser Arbeit, die KGT nach der international weit verbreiteten ASHRAE Definition CDD65 auf Basis von mittleren Tageswerten mit einer Kühlgrenztemperatur von 18,3°C verwendet<sup>14</sup>. Die Verwendung der bekannten KGT-Definition ist u.a. nötig, um Konsistenz zu den sonstigen für die Modellierung verwendeten Studien zu bewahren. Für Tage mit mittlerer Temperatur über dieser Kühlgrenze wird die Differenz zwischen Außentemperatur und Kühlgrenze berechnet und dieser Wert über ein Jahr hinweg aufsummiert.

$$KGT = \sum_{\text{Kühltag}} (T_{\text{Außen}} - T_{\text{Grenz}})$$

*KGT*            Kühlgradtage in Kd/a

*Kühltag*        Index; Tage mit mittlerer Außentemperatur über der Kühlgrenztemperatur

*T<sub>Außen</sub>*        Außentemperatur, täglicher Mittelwert

*T<sub>Grenz</sub>*        Kühlgrenztemperatur (hier: 18,3 °C)

Zwar wirkt die scheinbar niedrige Kühlgrenztemperatur von 18,3°C auf den ersten Blick wenig relevant für die Modellierung des Kühlbedarfs, so ist doch zu beachten, dass sich diese auf die mittlere Tagestemperatur bezieht, weshalb die zugehörigen maximalen Tagestemperaturen deutlich höher liegen. Weiterhin ist die mehrjährige Mittelwertbildung zu beachten, die zum Teil hohe Tageswerte ausgleicht. Die mittleren Temperaturen der sehr heißen Sommer der Jahre 2003 und 2015 mit deutschlandweiten Werten von 19,7°C bzw. 18,5°C liegen im Übrigen nur relativ geringfügig über der Grenztemperatur von 18,3°C.

Die Einheit der KGT sind, analog zu den HGT, Kelvin-Tage pro Jahr (Kd/a). Die Verwendung von täglichen Klimawerten ergibt präzisere Ergebnisse gegenüber der Verwendung monatlicher Werte. Eine noch detailliertere Variante wäre die Berechnung von Kühlgradstunden und die anschließende Division durch den Faktor 24, um die Kühlgradtage zu erlangen. Tendenziell führt die Erhöhung der zeitlichen Auflösung bei der KGT Berechnung zu höheren KGT Ergebnissen, da mehr Zeitschritte in den Bereich über der Kühlgrenztemperatur fallen. Dies gilt analog auch für die Berechnung der Heizgradtage, wobei

<sup>13</sup> z.B. in Aebischer et al. (2007), Christenson et al. (2006), Henderson (2005), Isaac&vanVuuren (2009) und Pretenthaler et al. (2007)

<sup>14</sup> entspricht 65° Fahrenheit

diese aufgrund der höheren Werte in den Testregionen nicht so sensitiv hinsichtlich der Berechnungsmethodik sind.

### 6.3.2 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse zu den Berechnungen der Kühlgradtage präsentiert, die interessante Erkenntnisse liefern, nicht zuletzt hinsichtlich des auf dieser Grundlage berechneten Kühlbedarfs. Basierend auf den für jede Rasterzelle berechneten KGT-Werten werden im Anschluss der spezifische Kühlbedarf und die Durchdringung (Diffusion) mit Klimageräten berechnet. Abbildung 6-2 zeigt hierzu die regional auftretenden minimalen, mittleren und maximalen KGT-Werte für jedes Szenario. Unterschieden wird nach Regionen, Klimamodellen und Klimaperioden.

Unabhängig von den verwendeten Klimamodellen fallen die großen Unterschiede zwischen den Regionen auf. Dies deckt sich mit Erkenntnissen aus Studien wie Christenson et al. (2006) und Pretenthaler et al. (2007), die aufzeigen, dass im Alpenraum die Höhe und Änderungsrate der KGT stark vom Standort, insbesondere der Seehöhe, abhängig sind, weshalb hier eine hohe räumliche Auflösung von Bedeutung ist.

In Tamsweg sind demnach kaum Kühlgradtage zu notieren, da hier die mittleren Tagestemperaturen die Kühlgrenztemperatur von 18,3 °C selbst mit fortschreitendem Klimawandel nur schwerlich überschreiten. Wels-Land weist weitaus höhere Werte als Tamsweg auf, während in Feldbach mit Abstand die höchsten KGT-Werte zu sehen sind. Auffallend sind auch die hohen Ausschläge innerhalb einer Region, d.h. Minimal- und Maximalwert unterscheiden sich sehr deutlich. Diese Spannbreite liegt im Bereich von etwa 50-150 Kd/a und steigt tendenziell mit der Klimaerwärmung an. Die regionsinternen Differenzen sprechen für einen innerhalb einer Region unterschiedlich auftretenden spezifischen Kühlbedarf, so dass in diesem Zusammenhang tatsächlich nicht nur regionspezifische Merkmale, sondern auch standortspezifische Merkmale innerhalb einer Region eine große Rolle spielen. Anhand der Unterschiede der KGT-Ergebnisse zwischen den Klimamodellen sind die bereits beobachteten Merkmale der Modelle zu erkennen. Die stärkeren Klimaänderungssignale der Modelle ETHZ und SMHI sorgen auch bei den KGT für deutlichere Änderungen als beim Modell DMI. Der in Feldbach zukünftig maximal auftretende KGT-Wert von ca. 300 Kd/a (Modelle ETHZ und SMHI) ähnelt im Übrigen dem derzeitigen Wert der norditalienischen Stadt Mailand von 318 Kd/a (laut Aebischer et al., 2007).

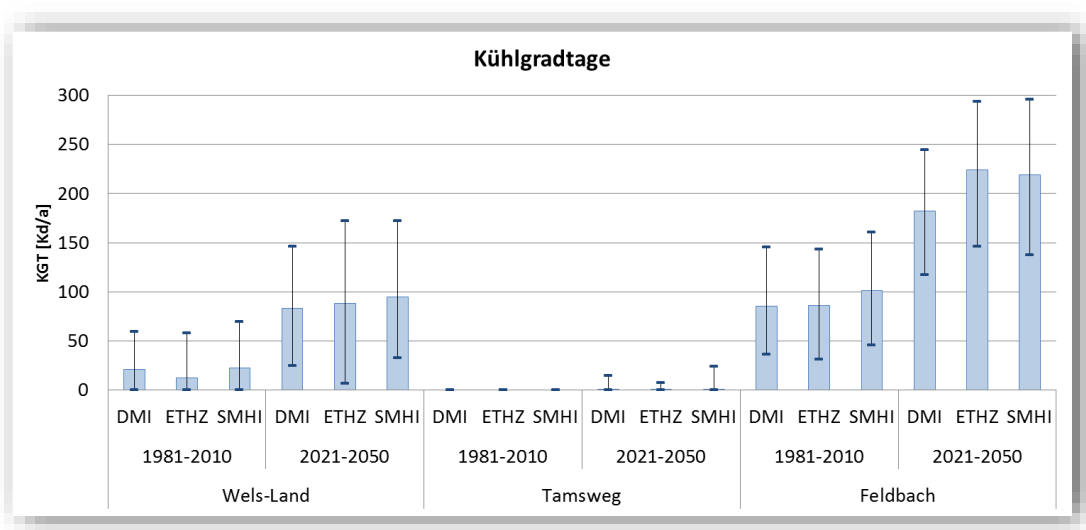


Abbildung 6-2 Ergebnisse zu Kühlgradtagen bei Kühlgrenztemperatur 18,3°C. Regional auftretende minimale, mittlere und maximale Werte.

Neben dem Klimaparameter der Kühlgradtage, welcher von den mittleren Temperaturen und der Anzahl der Kühltage abhängt, wird in folgender Abbildung auch der Parameter der Kühltage dargestellt. Dies geschieht, um eine Vorstellung der Häufigkeit der Tage, an denen der Kühleinsatz potentiell als notwendig angesehen wird, zu geben. Abbildung 6-3 illustriert hierzu die regionalen Mittelwerte der Kühltage bei den Kühlgrenztemperaturen 18,3°C und 20°C. Die Analyse der Kühltage, welche auf Basis täglicher Temperaturwerte erfolgte, wurde nur für die Modelle DMI und SMHI durchgeführt, da für das Modell ETHZ lediglich monatliche Werte vorlagen. Entsprechend den KGT-Ergebnissen treten in Tamsweg kaum Kühltage auf, während in Wels-Land und Feldbach höhere Werte zu sehen sind. Außerdem unterscheiden sich dort die Ergebnisse zwischen den beiden verwendeten Kühlgrenztemperaturen deutlich. Die tabellarische Darstellung der Ergebnisse zu den Kühlgradtagen und den Kühltagen bei unterschiedlichen Kühlgrenztemperaturen sind im Anhang in Tabelle-A 12 und Tabelle-A 13 abgebildet.

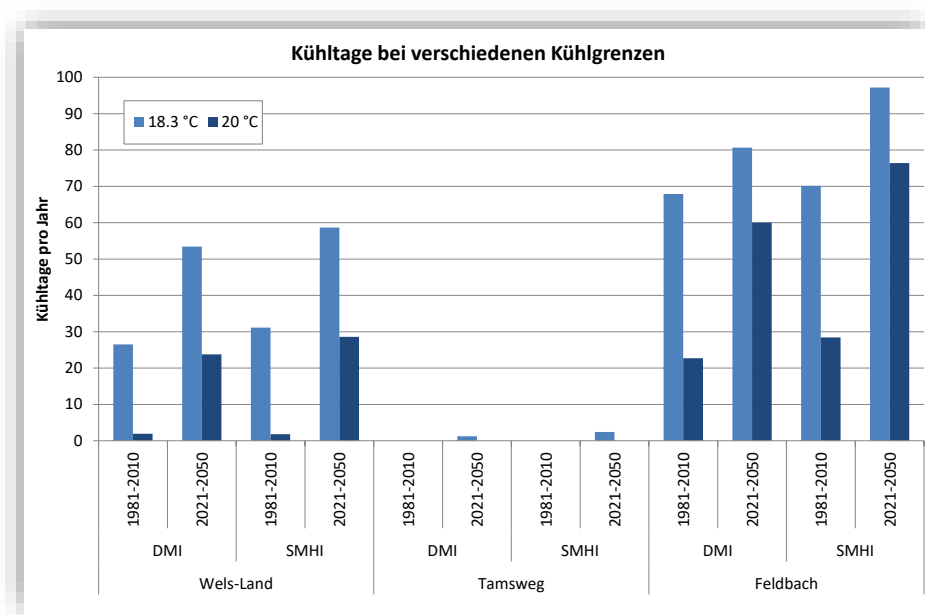


Abbildung 6-3 Anzahl der Tage mit mittlerer Temperatur über jeweiliger Kühlgrenztemperatur. Regionale Mittelwerte.

## 6.4 Kühlbedarf der Wohngebäude

### 6.4.1 Diffusion

#### 6.4.1.1 Methodik

Die derzeitigen Werte zum Anteil klimatisierter Haushalte liegen bei 1-2%, was als nahezu vernachlässigbar einzuschätzen ist. Somit wird von einer derzeitigen Diffusion, die gegen null geht, ausgegangen. Die zukünftige Entwicklung des Kühlbedarfs im privaten Bereich ist jedenfalls mit hohen Unsicherheiten behaftet, was vor allem die eben angesprochene Ausbreitung von Klimaanlage und damit die klimatisierten Flächen betrifft. Aus diesem Grund werden zwei Diffusionsszenarien (schwach und stark) für den Bereich der Klimatisierung von Wohngebäuden entworfen.

Hierzu wurde eine Studie von Sailor&Pavlova (2003) aus den USA, wo eine sehr hohe Diffusion und bessere Datenverfügbarkeit vorliegen, herangezogen und für das schwache Diffusionsszenario auch an die Situation in den Testregionen angepasst. Dort wird ein funktioneller Zusammenhang zwischen

den Kühlgradtagen und dem Anteil klimatisierter Haushalte anhand einer Auswertung von Daten aus 39 US-Städten hergestellt, der in Abbildung 6-4 zu sehen ist.

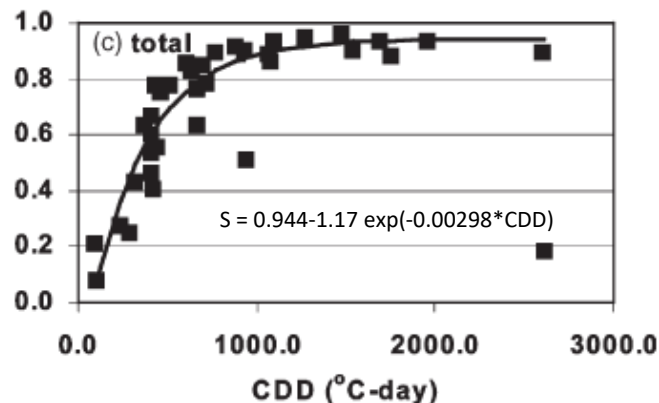


Abbildung 6-4 Diffusionskurve zum Anteil von Haushalten mit Klimaanlage mit Datenpunkten von 39 US-Städten. Quelle: Sailor&Pavlova (2003).

Dieser Zusammenhang wird auch von Henderson (2005) auf europäische Standorte angewendet, während McNeill&Letschert (2007) diese Funktion geringfügig anpassen, so dass ein Maximum von 100% erreicht wird. Innerhalb einer globalen Studie von Isaac&vanVuuren (2009) wird die so erstellte Funktion ebenfalls verwendet, wobei dort zusätzlich noch eine Verfügbarkeit, abhängig vom Einkommen, berücksichtigt wird. Durch die hohe Wirtschaftskraft in Österreich und Deutschland wird die einkommensabhängige Verfügbarkeit jedoch in dieser Arbeit nicht explizit berücksichtigt und von einer allgemeinen Verfügbarkeit ausgegangen.

Die Werte können als Maximal- bzw. Sättigungswerte für die Durchdringung der Haushalte mit Klimaanlage verwendet werden, da die dortige Funktion die Verbreitung in den USA abbildet, wo Klimaanlage sehr weit verbreitet sind. Ein noch stärkeres Diffusionsszenario als im weitgehend gesättigten US-Markt wird hingegen als unrealistisch eingeschätzt.

#### Anpassung der Funktion aus Sailor&Pavlova (2003)

Die angesprochene Funktion schneidet die x-Achse jedoch bereits bei 72 Kd/a, so dass ab diesem Wert eine Diffusion von Klimaanlage auftritt. Dies ist derzeit unrealistisch, da diese KGT-Werte bereits heute in weiten Teilen Österreichs und Deutschlands erreicht werden und dennoch kaum Klimaanlage im privaten Bereich im Einsatz sind.

Die Diffusionskurve aus Sailor wird nun so angepasst, dass erst ab einer bestimmten auf Österreich angepassten KGT Anzahl die Kurve positive Werte aufweist. Dies entspricht einer Rechtsverschiebung der Kurve. Nach Betrachtung der KGT-Ergebnisse wurde eine Grenze von 200 Kd/a festgelegt, so dass ab diesem Wert die Diffusion im schwachen Szenario beginnt. Die Festlegung auf 200 Kd/a hat den Hintergrund, dass dadurch in der Klimaperiode 1981-2010 keine Diffusion auftritt, da hier die KGT-Maximalwerte nur bis zu 161 Kd/a erreichen. Dies entspricht näherungsweise der heutigen Situation mit einer Klimaanlage-Durchdringung von null. Auch unter geändertem Klima in der Periode 2021-2050 werden im schwachen Szenario nur relativ geringe Diffusionswerte erreicht, was durchaus möglich ist. Diese Variante, das **schwache Diffusionsszenario**, geht sozusagen davon aus, dass in der Bevölkerung kein Umdenken bezüglich des Einsatzes von Klimaanlage stattfindet und somit die Anwendung im privaten Bereich, trotz Klimawandel, auf sehr geringem Niveau verharret.

Dem **starken Diffusionsszenario** ist jedoch unterstellt, dass der angesprochene Sinneswandel stattfindet und die Bevölkerung deutlich aufgeschlossener gegenüber dem Einsatz von Klimaanlage

im privaten Bereich wird. Dies ist derzeit in mitteleuropäischen Ländern wie Deutschland oder Österreich nicht der Fall, wie an der niedrigen Verbreitung von Klimaanlage zu sehen ist. Dies kann sich jedoch abrupt ändern, beispielsweise, falls vermehrte und stärkere Hitzewellen sog. Impulskäufe (Taboga, 2014) von Klimageräten auslösen. Solche Phänomene des abrupten und weit verbreiteten Umdenkens sind durchaus nicht ungewöhnlich. Auch geänderte Wohlbefindlichkeitsansprüche oder Massenphänomene können hier eine Rolle spielen. Als Beispiel kann die Einführung von Klimaanlage in Autos in den 1970/80er Jahren angeführt werden, als innerhalb weniger Jahre die Verbreitung von Klimaanlage in Autos stark anstieg. Ein weiterer Treiber für diese Entwicklung könnte der sehr kostengünstige Verkauf von Klimaanlage im kleinen Leistungsbereich sein<sup>15</sup>. Für das starke Diffusionsszenario wird somit gewissermaßen ein Maximalszenario verwendet, welches durch die Original-Funktion aus Sailor&Pavlova (2003) abgebildet wird.

Im Folgenden werden die verwendeten Formeln für die Diffusion von Klimaanlage in privaten Haushalten gezeigt. Eingangsgröße sind die Kühlgradtage (KGT), während das Ergebnis den klimaabhängigen Anteil privater Haushalte mit Klimaanlage  $a_{HH}$  darstellt.

Schwaches Diffusionsszenario:

$$a_{HH, schwach} = 0.944 - 1.17 \exp(-0.00298 * (KGT - 128))$$

Starkes Diffusionsszenario:

$$a_{HH, stark} = 0.944 - 1.17 \exp(-0.00298 * KGT)$$

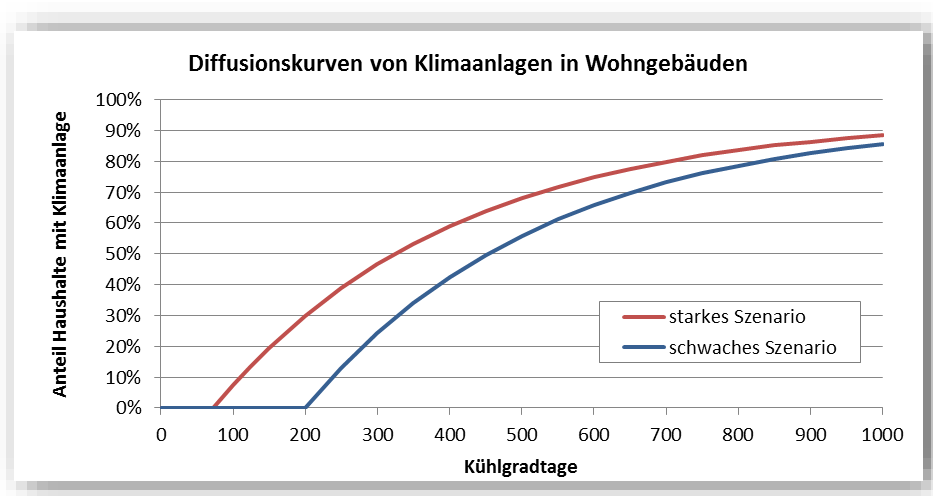


Abbildung 6-5 Verwendete Diffusionskurven von Klimaanlage in Haushalten. Original mit Schnittpunkt bei 72 Kd/a aus Sailor&Pavlova (2003) wird verwendet für „Szenario stark“. Angepasste Funktion durch Rechtsverschiebung um 128 Kd/a auf Schnittpunkt bei 200 Kd/a wird verwendet für „Szenario schwach“.

### 6.4.1.2 Ergebnisse

Die Anwendung des schwachen Diffusionsszenarios (ohne Umdenken hinsichtlich Klimaanlage Einsatz) führt erwartungsgemäß zu sehr niedrigen Ergebnissen (s. Abbildung 6-6), selbst bei Betrachtung der Klimaperiode 2021-2050.

In Wels-Land und Tamsweg tritt keinerlei Diffusion auf. Lediglich in Feldbach kommt es unter verändertem Klima zur Ausbreitung von Klimaanlage, wenn auch auf einem sehr niedrigen Niveau. Die regionalen Mittelwerte im schwachen Szenario liegen in Feldbach zwischen 1% und 7%, was dem

<sup>15</sup> Kleingeräte des Monoblock-Typs werden beispielsweise bereits ab 200 € angeboten.

derzeitigen EU-Wert ähnelt. Die in den Rasterzellen maximal auftretenden Diffusionswerte erreichen bis zu 23% in Feldbach.

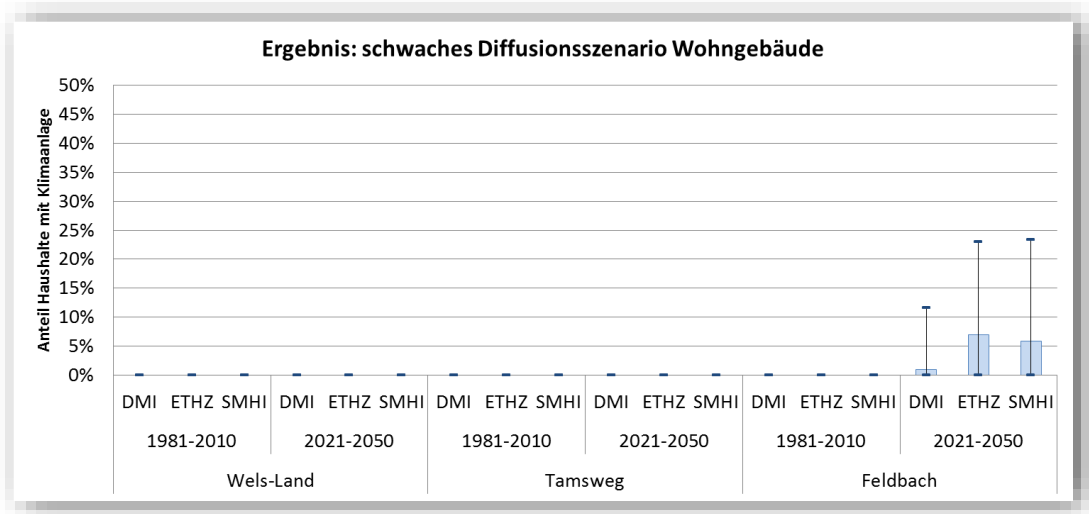


Abbildung 6-6 Ergebnisse zum schwachen Diffusionsszenario von Klimaanlage im Wohnbereich.

Die Ergebnisse des starken Diffusionsszenarios unterscheiden sich hauptsächlich in der Region Feldbach von denen des schwachen Szenarios. Hier kommt es unter erwärmtem Klima zu sehr hohen Diffusionsraten, zumindest für mitteleuropäische Verhältnisse. Die regionalen Mittelwerte erreichen bis zu 34%, während einzelne Rasterzellen Maximalwerte von 46% aufweisen. Die Werte für Tamsweg bleiben auch in diesem starken Szenario bei null, während für Wels-Land nur unter Klimaperiode 2021-2050 Diffusionswerte auftreten. Als Maximalwert wird in Wels-Land eine Diffusion von 24% erreicht. Die Ergebnisse zu den Diffusionsszenarios sind tabellarisch im Anhang in Tabelle-A 14 dargestellt.

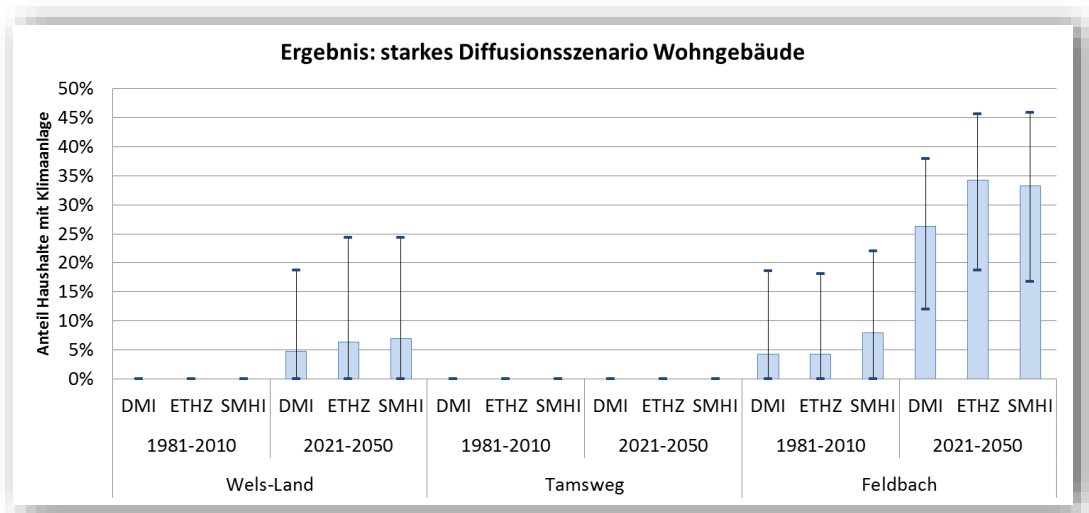


Abbildung 6-7 Ergebnisse zum starken Diffusionsszenario von Klimaanlage im Wohnbereich.

## 6.4.2 Spezifischer Kühlbedarf

### 6.4.2.1 Methodik

Neben der Diffusion von Klimaanlage ist auch der spezifische Kühlbedarf (pro Haushalt bzw. pro Fläche) entscheidend für den letztlich auftretenden Kühlenergieaufwand. Hierzu wurden verschiedene

Studien analysiert. Der Wert stellt vorerst nur einen theoretischen Parameter dar, da der Kühlbedarf nur bei einer gleichzeitigen Klimaanlage-Diffusion auch tatsächlich gedeckt wird.

Vereinfachte Schätzungen<sup>16</sup> zum Stromverbrauch für Kühlung pro Haushalt liegen für Deutschland zwischen 100 und 600 kWh/a, wobei ein Wert von 600 kWh/a verglichen mit dem durchschnittlichen Haushaltsstrombedarf von ca. 3000 kWh/a bereits als sehr hoch angesehen werden muss, da dieser einen Anstieg um 20% bedeuten würde. Angesichts des derzeit rückläufigen durchschnittlichen Stromverbrauchs in Haushalten (BDEW, 2013) und einem stetig erhöhten Umweltbewusstsein der Gesellschaft, auch in Bezug auf den Energieverbrauch, erscheint ein durch den Klimateileneinsatz bedingter Anstieg des haushaltsspezifischen Stromverbrauchs um 20% als unwahrscheinlich.

Schätzungen zum Kühlbedarf können über die Leistung des Klimageräts und angenommene Betriebs- bzw. Volllaststunden, welche wiederum über die Anzahl der Kühltage und der Kühlstunden pro Kühltag berechnet werden können, erfolgen. Hofer (2006) berechnet dementsprechend den Kühlbedarf im privaten Bereich für die Schweiz, wobei ausgehend von mehreren Annahmen<sup>17</sup> der spezifische Kühlstrombedarf auf 7,1 kWh/m<sup>2</sup>/a bei Kühlgradtagen von 122 Kd/a bestimmt wird. Bei Töglhofer et al. (2009) hingegen wird der spezifische Kältebedarf für verschiedene Wohngebäude auf stationärer Monatsbasis, ähnlich dem Monatsbilanzverfahren, berechnet. Die Kältebedarfswerte (Nutzenergie) pro Bruttogrundfläche (BGF) liegen zwischen 1,1 kWh/m<sup>2</sup>/a für Altbau-EFH und 3,0 kWh/m<sup>2</sup>/a für Niedrigenergie-EFH bei österreichischem Referenzklima<sup>18</sup>. Die entsprechenden Werte für MFH liegen etwa bei der Hälfte.

Andere Studien hingegen konzentrieren sich auf empirisch zusammengetragene Zusammenhänge zwischen spezifischem Kühlbedarf und den Kühlgradtagen. Henderson (2005) stellt beispielsweise anhand einer US-Auswertung folgenden linearen Zusammenhang zwischen dem elektrischen Bedarf für Klimatisierung pro Fläche<sup>19</sup> (in kWh/m<sup>2</sup>) und den Kühlgradtagen auf.

$$kb = 0.0193 * KGT - 2.913$$

Die verwendeten Daten sind jedoch schlecht übertragbar, da die niedrigsten KGT-Werte in der genannten Studie bei 429 Kd/a liegen, was im Vergleich zur EU bzw. den Testregionen hoch ist. Durch den negativen Konstantanteil in der Gleichung ergibt sich zudem erst ab einer Schwelle von ca. 150 Kd/a ein positiver und somit sinnvoller Kühlbedarf, was gegen die Verwendung spricht.

Isaac&vanVuuren (2009) wiederum entwerfen eine Funktion, die den Strombedarf für Kühlung pro Haushalt in Abhängigkeit der KGT, aber auch des Pro-Kopf-Einkommens darstellt und verweisen dabei auf mehrere internationale Studien<sup>20</sup>.

Strombedarf für Kühlung pro Haushalt nach Isaac&vanVuuren (2009), in kWh pro Jahr:

$$kb = KGT * (0.865 * \ln(\text{Einkommen}) - 6.04)$$

Diese Funktion weist bei hohem Einkommen und geringen KGT (wie in den Testregionen) höhere Verbräuche auf als die Funktion in Henderson (2005), wie in Abbildung 6-8 zu sehen ist, in der die oben

<sup>16</sup> <http://www.strominventur.de/stromverbrauch/klimaanlage>

<http://www.bund-rvso.de/klimaanlage-klimageraet-energie-umwelt.html>

<sup>17</sup> Klimaanlage im kleinen Leistungsbereich: ca. 2 kW<sub>Kälte</sub>, Leistungszahl 2,25, spezifische Kühllast 30 W/m<sup>2</sup>, Kühlzeiten 529 h/a.

<sup>18</sup> ÖNORM B 8110 Teil 5: Kühlgradtage von 33 Kd/a bei monatlicher Auswertung.

<sup>19</sup> Nach eigener Einschätzung verwenden die Autoren die gesamte Wohnfläche als Bezug.

<sup>20</sup> Chen et al. (2008), IEA (2003), Kadian et al. (2007), Mahlia et al. (2004), McNeil&Letschert (2007), Price et al. (2006)

aufgezählten Kühlbedarfswerte bzw. -funktionen für einen Standard-Haushalt über den KGT abgebildet sind.

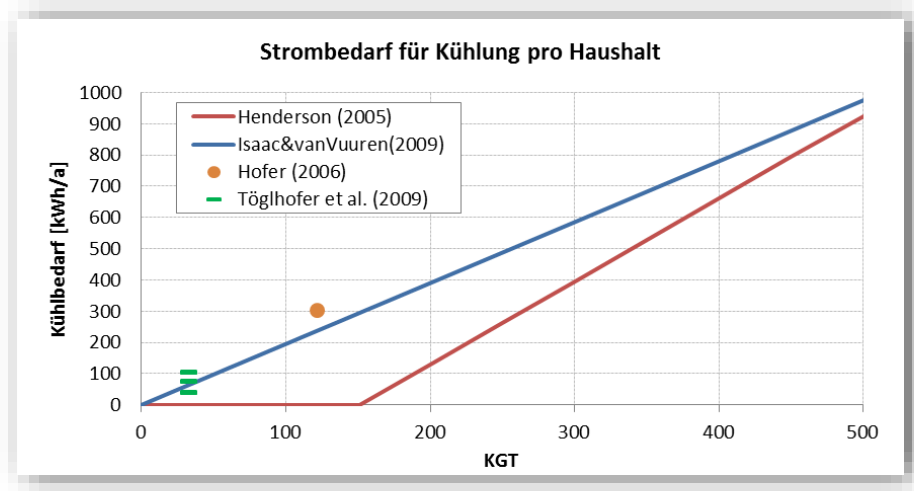


Abbildung 6-8 Strombedarf für Kühlung pro Haushalt in Abhängigkeit der Kühlgradtage (KGT) nach verschiedenen Studien.

Anmerkung: Bei allen Studien Anpassung auf EER = 3,5. Für Anpassung Funktion aus Henderson (2005) wird eine Standard-Haushaltsfläche (NGF) von 154 m<sup>2</sup> verwendet. Bei Isaac&vanVuuren (2009) wird Einkommen von ca. 29.000 \$<sub>2005</sub> eingesetzt. Bei Hofer (2006) wird von einer dort angenommenen Klimaanlage (2 kW<sub>Kälte</sub>, 529 h/a) pro Haushalt ausgegangen. Für Töglhofer et al. (2009) werden die dort verwendeten Korrekturfaktoren (Regelungsverluste 1,35, Anteil klimat. Flächen 0,5) und eine BGF von 181 m<sup>2</sup> verwendet.

Da die Funktion aus Isaac&vanVuuren (2009) im für die Testregionen relevanten KGT-Bereich von null bis 300 Kd/a signifikante und plausible Werte ergibt und darüber hinaus Übereinstimmung mit den regionstypischen Werten aus Hofer (2006) und Töglhofer et al. (2009) aufweist, wird diese verwendet, um den spezifischen Kühlbedarf für Haushalte in Abhängigkeit der KGT zu berechnen.

Es erfolgt eine Anpassung der Funktion zwecks Effizienzsteigerung von einer Energy Efficiency Ratio (EER) von 2,4 im Jahr 2000 auf einen EER von 3,5 im Jahr 2035 (eigene Annahme, basierend auf Rong et al., 2007). Zwar werden von den Herstellern bereits heute teils höhere EER als 3,5 angegeben, so sind die Effizienzen unter realen Bedingungen und auf Jahresebene meist geringer, weshalb die Verbesserung des angenommenen EER nicht höher ausfällt. Ebenso spricht hierfür die Tatsache, dass neben effizienten Wandgeräten (Split) auch Kompaktgeräte (Monoblock) mit geringeren Effizienzen eingesetzt werden. Nachdem keine solche Unterscheidung innerhalb der Klimageräte für Wohngebäude erfolgt, jedoch ein Einsatz beider Arten von Klimageräten anzunehmen ist, erscheint die Verwendung des relativ geringen EER von 3,5 für die Zukunft sinnvoll. Das pro Kopf Einkommen Österreichs<sup>21</sup> im Jahr 2012 von ca. 25.000 € wird zudem per Wechselkurs und Inflation auf US-Dollar im Jahr 2005 umgerechnet und somit ein Wert von ca. 29.000 \$<sub>2005</sub> in die Gleichung eingesetzt<sup>22</sup>. Werden die eben beschriebenen Anpassungen umgesetzt, so ergibt sich die letztlich verwendete Funktion und damit ein einfacher Zusammenhang zwischen Kühlgradtagen (KGT<sub>18,3</sub> in Kd/a) und haushaltsspezifischem Strombedarf für Kühlung (kb in kWh pro Jahr).

$$kb = 1,95 * KGT$$

Der so berechnete Strombedarf für Klimatisierung pro Haushalt wird sodann auf die Haushaltsfläche (NGF) in EFH von 154 m<sup>2</sup> bezogen, da dieser als Standard-Haushalt angenommen wird, und über die

<sup>21</sup> Statistik Austria: Primäreinkommen der privaten Haushalte je Einwohner

<sup>22</sup> In diesem sehr hohen Einkommensbereich ist der genaue Wert innerhalb der logarithmischen Funktion ohnehin nicht mehr so bedeutend.



jeweilige NGF der im Gebäuderaster vorkommenden Wohngebäude (EFH: 178 m<sup>2</sup>, MFH: 634 m<sup>2</sup>) bzw. neuen Haushalte (in EFH: 154 m<sup>2</sup>, in MFH: 98 m<sup>2</sup>) skaliert, um Größenunterschiede zwischen den unterschiedlichen Wohneinheiten darzustellen.

### 6.4.2.2 Ergebnisse

Durch den abgeleiteten linearen Zusammenhang zu den KGT ergibt sich entsprechend den KGT-Ergebnissen eine starke regionale Differenzierung zwischen den Testregionen. Abbildung 6-9 zeigt hierzu die Ergebnisse zum Strombedarf für Kühlung bezogen auf einen EFH-Haushalt. Die Ergebnisse sind ebenso tabellarisch im Anhang in Tabelle-A 15 dargestellt.

Die Werte in Tamsweg sind fast durchgehend bei null. Nur einzelne Rasterzellen unter Klimaperiode 2021-2050 zeigen geringe Werte unter 100 kWh/a pro Haushalt. Die mittleren Werte in Wels-Land liegen unter Klimaperiode 2021-2050 um die 180 kWh/a pro Haushalt, während sie bei Referenzklima unter 50 kWh/a bleiben. Die regionalen Maximalwerte steigen durch den Klimawandel von 135 kWh/a auf mehr als 300 kWh/a. Der Klimawandel führt somit in Wels-Land zu hohen Anstiegen des spezifischen Kühlbedarfs. Hohe klimawandelbedingte Anstiege sind auch in Feldbach zu verzeichnen: Während die mittleren Werte bei Referenzklima (1981-2010) zwischen 167 und 198 kWh/a liegen, steigen diese in der Klimaperiode 2021-2050 auf Werte zwischen 355 und 438 kWh/a pro Haushalt an. Die regionalen Maximalwerte hingegen steigen durch den Klimawandel von 314 kWh/a auf 576 kWh/a an.

Der spezifische Kühlbedarf in Wohngebäuden steigt somit – mit Ausnahme der kalten Region Tamsweg – stark an durch den Klimawandel. Die Ergebnisse zum Kühlbedarf pro Haushalt erscheinen in Anbetracht des erwarteten Ergebnisbereichs von 100 bis 600 kWh/a plausibel. Ebenso der Plausibilisierung dient eine einfache Rechnung: Ein Strombedarfswert von 200 kWh<sub>el</sub> pro Jahr entspricht beispielsweise bei Annahme eines EER von 3,5 und einer für Haushalte typischen 2,5 kW<sub>Kälte</sub> Klimaanlage 280 Volllaststunden pro Jahr. Bei 60 Kühltagen entspricht dies etwa 4,7 Stunden Kühlung bei Volllast pro Tag.

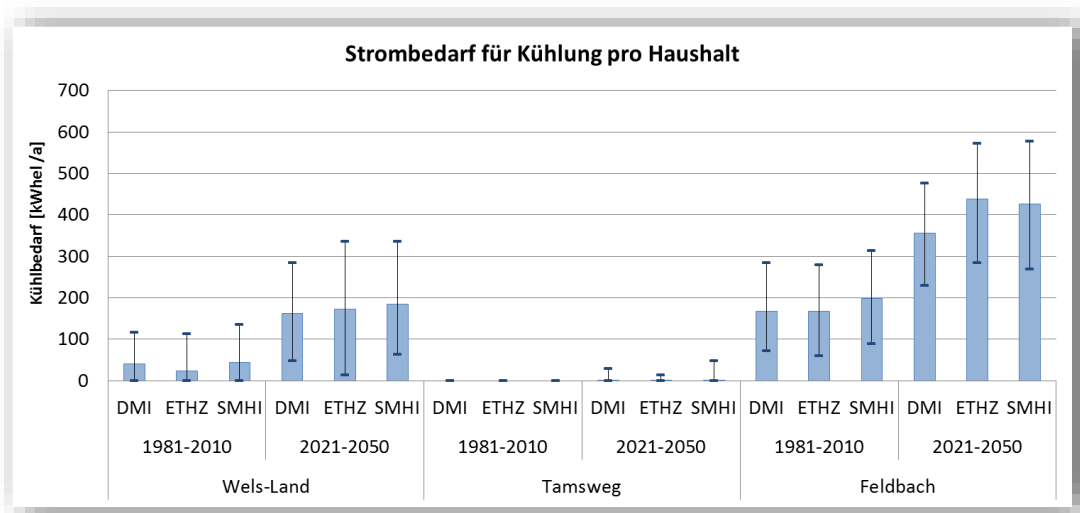


Abbildung 6-9 Haushaltsspezifischer Strombedarf für Kühlung in Wohngebäuden. Darstellung minimaler, mittlerer und maximaler regionaler Werte.

Betrachtet man die relative Änderung des spezifischen (theoretischen) Kühlbedarfs pro Haushalt durch den Klimawandel (1981-2010 vs. 2021-2050), so ist der deutlichste Anstieg in Wels-Land zu verzeichnen. Hier werden Anstiege um bis zu 628% erreicht. Zwar liegen die absoluten Kühlbedarfswerte in Feldbach deutlich höher, jedoch sind die in Wels-Land in der Periode 1981-2010

zu verbuchenden Kühlbedarfswerte auf sehr niedrigem Niveau, weshalb die relative Änderung solcher hohe Werte annimmt. Für Tamsweg wird aufgrund nicht auftretenden Kühlbedarfs keine Änderung berechnet.

Tabelle 6-1 Relative Änderung des spezifischen (theoretischen) Kühlbedarfs in Wohngebäuden durch den Klimawandel. Vergleich regionaler Mittelwerte.

Änderung spez. Kühlbedarf in WG durch Klimawandel			
	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	301%	628%	323%
Tamsweg	-	-	-
Feldbach	113%	162%	115%

### 6.4.3 Ergebnis: Kühlbedarf in Wohngebäuden

Die Berechnung des Kühlstrombedarfs für Wohngebäude erfolgt für jede Zelle des Gebäuderasters auf Basis der vorhandenen Gebäude bzw. Haushalte, der berechneten Diffusion und dem spezifischen Kühlbedarf. Die Summation der Einzelergebnisse aus den Rasterzellen ergibt den regionalen Gesamtbedarf, welcher in Abbildung 6-10 abgebildet ist (s. auch Tabelle-A 16 im Anhang).

Signifikante Strombedarfe für Kühlung (ca. 2,8 – 4,4 GWh/a) in Wohngebäuden ergeben sich demnach nur im starken Diffusionsszenario in Feldbach für Klimaperiode 2021-2050. Dies entspricht bei ca. 26.000 Haushalten einem durchschnittlichen Kühlbedarf pro Haushalt von 108-171 kWh/a. Die Ergebnisse der verschiedenen Klimamodelle weisen hierbei deutliche Unterschiede auf, was in diesem Fall die hohe Klimasensitivität der Ergebnisse zeigt. Diese resultiert hauptsächlich aus der hohen Sensitivität der Diffusionsfunktion des starken Szenarios gegenüber der Änderung der KGT in diesem KGT-Bereich. Die Werte für Wels-Land sind selbst unter der Annahme des starken Szenarios mit verändertem Klima (2021-2050) als niedrig einzustufen (0,5-0,8 GWh/a bei ca. 32.000 Haushalten). Gleiches gilt für das schwache Szenario in Feldbach (bis zu 1 GWh/a bei ca. 26.000 Haushalten).

Starke Effekte durch den Klimawandel können somit nur in Feldbach im starken Szenario notiert werden. In allen anderen Regionen und Szenarien sind die Auswirkungen des Klimawandels auf den Kühlbedarf sehr gering, da dort die Kühlbedarfe selbst mit weitererwärmtem Klima auf niedrigem Niveau bleiben.

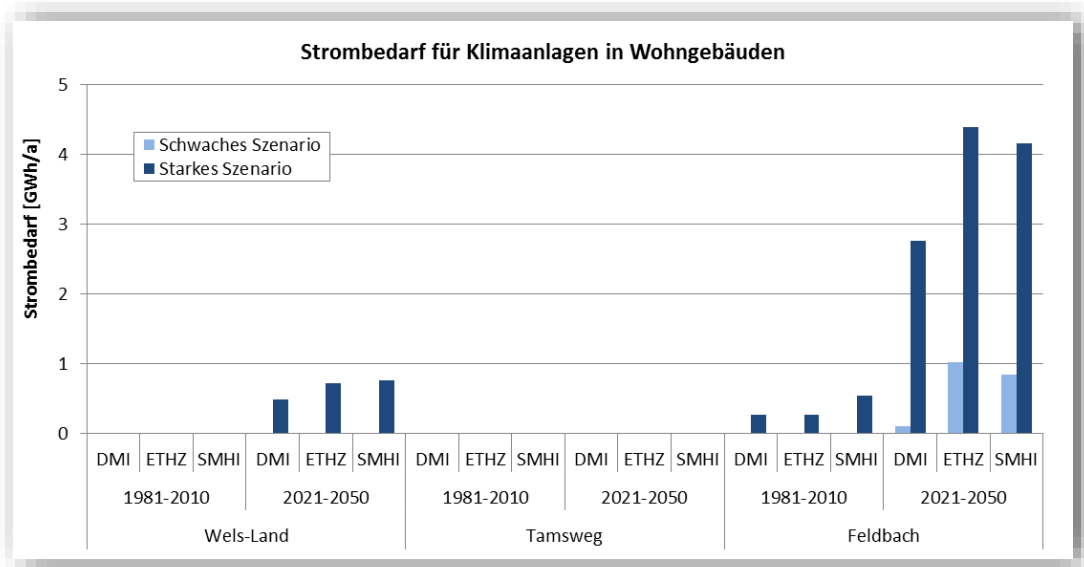


Abbildung 6-10 Regionaler Strombedarf für Klimaanlage in Wohngebäuden in GWh/a. Gebäudepark 2035 ohne Klimawandel (1981-2010) und mit Klimawandel (2021-2050). Schwaches und starkes Diffusionsszenario.

Auf eine tabellarische Aufstellung der relativen Änderungen durch den Klimawandel wird an dieser Stelle verzichtet, da die meisten Ergebnisse für die Referenzperiode 1981-2010 bei null liegen.

Die räumliche Verteilung des auftretenden Strombedarfs für Kühlung orientiert sich indes, analog zum Wärmebedarf, primär an der Siedlungsstruktur. Weiterhin haben natürlich das lokale Klima und die daraus abgeleiteten Faktoren Diffusion und spezifischer Kühlbedarf einen Einfluss auf die Ergebnisse. Abbildung 6-11 zeigt hierzu die Ergebnisse des schwachen und starken Kühlszenarios für die Region Feldbach in Klimaperiode 2021-2050 (Modell SMHI). Hier erreichen die Maximalwerte pro Rasterzelle (250 m x 250 m) im schwachen Szenario 7,2 MWh/a und im starken Szenario 30 MWh/a.

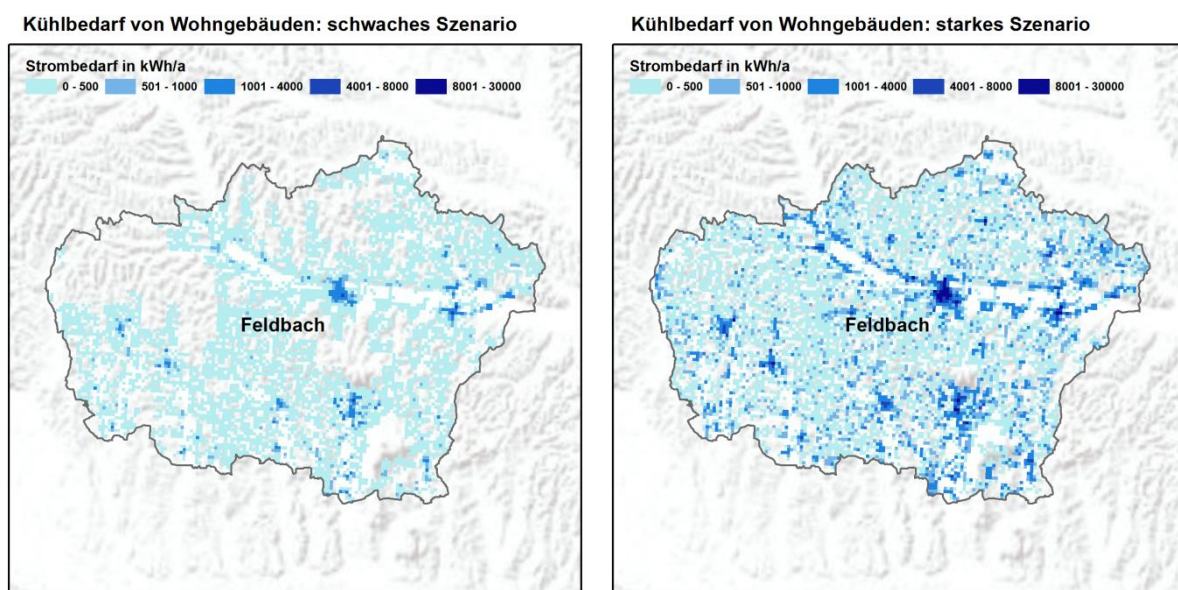


Abbildung 6-11 Räumliche Darstellung des Strombedarfs für Kühlung von Wohngebäuden. Region Feldbach, Klimamodell SMHI, Klimaperiode 2021-2050. Schwaches (linke Abb.) und starkes (rechte Abb.) Szenario.

## 6.5 Kühlbedarf der Nicht-Wohngebäude

### 6.5.1 Diffusion

#### 6.5.1.1 Methodik

In Kap. 6.1.2 wurden bereits Angaben zum aktuellen und innerhalb von Studien angenommenen zukünftigen Anteil klimatisierter Flächen in Nicht-Wohngebäuden (NWG) genannt, wobei diese mangels eindeutiger Informationen meist auf Schätzungen beruhen. Für die Schweiz und Österreich werden beispielsweise derzeitige Werte von 35% bzw. 40% genannt.

Nach hier angewandeter Methodik wird, ähnlich zum Vorgehen bei den Wohngebäuden, eine Funktion verwendet, die einen Zusammenhang zwischen Kühlgradtagen und dem Anteil klimatisierter Flächen in NWG herstellt und plausible Werte ergibt. Diese wird anhand von Aebischer et al. (2007) erstellt, wo für verschiedene europäische Städte Annahmen bezüglich Anteilen von klimatisierten Flächen in NWG samt passenden KGT getroffen wurden. Die Datenpunkte und die passende Näherungsfunktion sind im linken Bereich in Abbildung 6-12 abgebildet. Weiterhin ist im rechten Bereich die leicht angepasste Funktion zu sehen, welche letztlich für die Szenarien zur Entwicklung der klimatisierten Flächen in NWG verwendet wird.

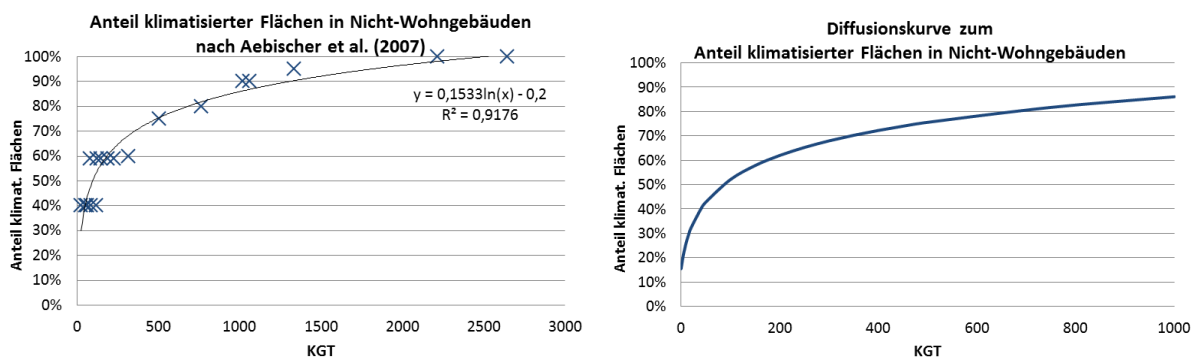


Abbildung 6-12 Annahmen zu klimatisierten Flächen in Nicht-Wohngebäuden aus Aebischer et al. (2007) und passende Näherungsfunktion (Abb. links). Verwendete angepasste Funktion (Abb. rechts) zum Anteil klimatisierter Flächen in NWG. x-Achse entspricht Kühlgradtagen (KGT<sub>18,3</sub>).

Die leichte Anpassung der vorkommenden In-Funktion (Linksverschiebung um 10 Kd/a) ist notwendig, um für sehr niedrige KGT-Werte (gegen null) sinnvolle Anteile zu berechnen. Hierdurch ergibt die Funktion bereits für den KGT-Wert von null einen Anteil von ca. 15%, was angesichts der hohen Kühllasten nicht ungewöhnlich im Bereich der NWG ist. Folgende Funktion wird somit verwendet:

$$a = 0,1533 * \ln(KGT + 10) - 0,2$$

- a* Anteil klimatisierter Flächen in Nicht-Wohngebäuden  
*KGT* Kühlgradtage mit Kühlgrenztemperatur 18,3°C in Kd/a  
*ln* logarithmus naturalis (log zur Basis e)

Der über die vorgestellte Funktion berechnete Anteil klimatisierter Flächen wird zu gleichen Teilen auf sog. vollklimatisierte und teilklimatisierte Flächen aufgeteilt und mit den entsprechenden spezifischen Kühlbedarfswerten versehen, welche im nächsten Abschnitt beschrieben werden.

### 6.5.1.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse zu den Anteilen klimatisierter Flächen in NWG in Abbildung 6-13 zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Regionen auf. Auch innerhalb der Regionen Wels-Land und Feldbach erkennt man deutliche Spreizungen zwischen minimal und maximal auftretenden Ergebnissen (s. auch Tabelle-A 17 im Anhang).

Die Werte in Tamsweg gehen aufgrund sehr geringer KGT kaum über den Mindestwert von 15% hinaus. Die regionalen Mittelwerte in Wels-Land liegen je nach Szenario zwischen 24% (ETHZ, Referenzperiode) und 51% (SMHI, Zukunftsperiode), während diese in Feldbach Werte zwischen 50% (DMI, Referenzperiode) und 64% (ETHZ, Zukunftsperiode) erreichen.

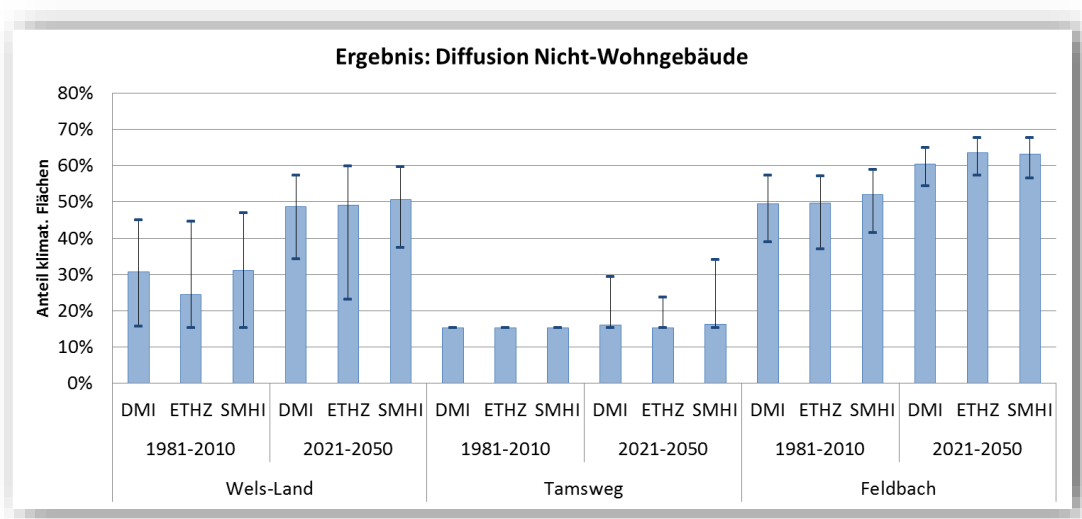


Abbildung 6-13 Ergebnisse zum Anteil klimatisierter Flächen in Nicht-Wohngebäuden. Darstellung minimaler, mittlerer und maximaler regionaler Werte.

Die klimawandelbedingten Änderungen der klimatisierten Flächen in NWG sind somit in Wels-Land am höchsten. Diese hohen Änderungen in Wels-Land gehen darauf zurück, dass die verwendete Diffusionsfunktion im KGT-Bereich (0-150 Kd/a) in Wels-Land am sensitivsten bezüglich der KGT-Änderungen ist. Die Ergebnisse in Feldbach weisen bereits in der Referenzperiode hohe Werte auf, so dass der Anstieg durch den Klimawandel nur relativ gering ausfällt, während in Tamsweg, wo die KGT kaum über null hinausgehen, nur eine geringfügige Änderung der regionalen Mittelwerte konstatiert wird.

## 6.5.2 Spezifischer Kühlbedarf

### 6.5.2.1 Methodik

Die Berechnung des flächenspezifischen Strombedarfs für die Klimatisierung von NWG erfolgt anhand einer in Aebischer et al. (2007) erstellten Kühlbedarfsfunktion in Abhängigkeit der KGT. Die Funktion basiert auf einer internationalen Analyse von Adnot et al. (2003), in der dynamische Gebäude-Simulationen zum Kühlbedarf anhand des Klimas der drei europäischen Städte London, Mailand und Sevilla durchgeführt wurden. Die so erstellte Gerade weist zudem große Übereinstimmung mit einer empirischen Untersuchung von 100 Bürogebäuden in der Schweiz (Aebischer, 2005; Weber, 2002) auf, so dass die Übertragbarkeit und Anwendung auf die Testregionen hier für positiv befunden wird. Es findet darüber hinaus eine Unterscheidung zwischen vollklimatisierten (für „high tech areas“) und teilklimatisierten (für „medium tech areas“) Flächen statt. Für teilklimatisierte Flächen werden 24% des

Wertes von vollklimatisierten Flächen verwendet (Aebischer et al., 2007; Aebischer, 2012). Folgende Funktion gibt den Zusammenhang für vollklimatisierte Flächen wieder, welche in Abbildung 6-14 illustriert ist. Der spezifische Strombedarf umfasst dabei neben der Kühlung auch den Bedarf für die Kontrolle der Luftfeuchtigkeit, Pumpen und Ventilatoren; spiegelt also den Klimatisierungsstrombedarf wider.

$$kb = 0,102921 * KGT + 12,74815171$$

*kb* spezifischer Strombedarf für Klimatisierung von vollklimat. Flächen in NWG in kWh/m<sup>2</sup>/a

*KGT* Kühlgradtage mit Kühlgrenztemperatur von 18,3°C

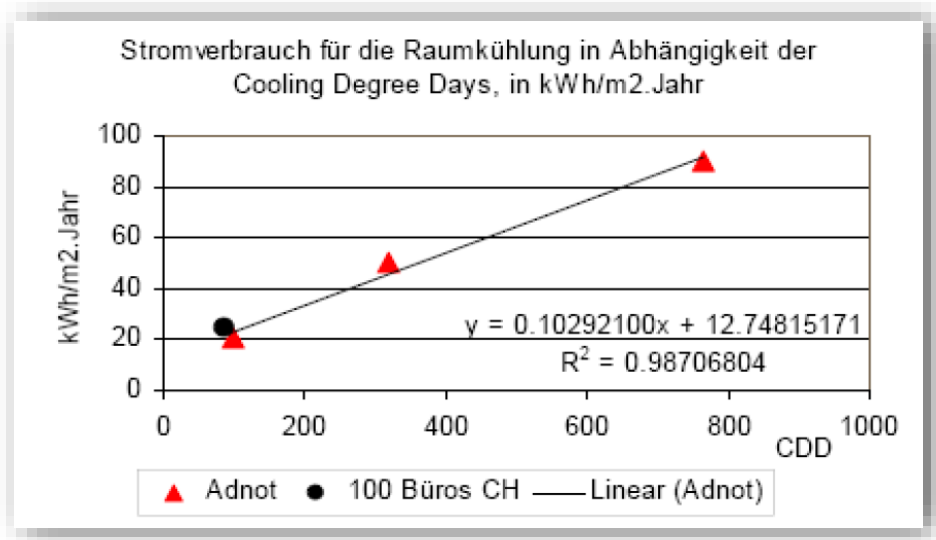


Abbildung 6-14 Flächenspezifischer Strombedarf für Klimatisierung von Bürogebäuden als Funktion der Kühlgradtage. Basierend auf Gebäudesimulationen in London, Mailand und Sevilla (rote Dreiecke). Als Vergleichswert wird der gemessene Wert von 100 vollklimatisierten Bürogebäuden in der Schweiz abgebildet (schwarzer Punkt).  
Quelle: Aebischer et al. (2007).

Aebischer et al. (2007) gehen hinsichtlich des Strombedarfs für Kühlung von einem „autonomen“ Effizienzgewinn von 0,5 % pro Jahr aus. Diese Annahme wird übernommen und somit ausgehend vom Basisjahr 2005 auf das Modelljahr 2035 der Effizienzgewinnfaktor von 0,86 (= 0,995<sup>30</sup>) berücksichtigt, welcher im Übrigen nahezu exakt dem angenommenen Effizienzgewinn der Klimageräte für Wohngebäude entspricht.

### 6.5.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse zum flächenspezifischen Strombedarf für Klimatisierung in NWG sind in Abbildung 6-15 dargestellt. Die regionalen Mittelwerte in Wels-Land steigen demnach von ca. 13 kWh/m<sup>2</sup>/a unter Referenzklima auf ca. 19 kWh/m<sup>2</sup>/a unter Klimaperiode 2021-2050. In Feldbach ist ein Anstieg der regionalen Mittelwerte von knapp 18-20 kWh/m<sup>2</sup>/a auf 27-30 kWh/m<sup>2</sup>/a zu verbuchen. Die maximalen Werte hier reichen bis zu 37 kWh/m<sup>2</sup>/a. Die Werte in Tamsweg verharren hingegen weitgehend auf dem minimal auftretenden Wert von 10,9 kWh/m<sup>2</sup>/a.

Die Unterschiede innerhalb einer Region sind teils beträchtlich, wie man an dem Unterschied zwischen minimalem und maximalem regionalen Wert erkennen kann. Lediglich Tamsweg zeigt durch die nahezu konstant niedrigen Ergebnisse keine deutlichen regionsinternen Differenzen.

Die Ergebnisse liegen innerhalb der in anderen Studien angegebenen Werte: so nennen Streicher et al. (2010) verweisend auf thermische Gebäudesimulationen und Messungen für Österreich<sup>23</sup> spezifische Kühlbedarfswerte auf Nutzenergieebene<sup>24</sup> von 10-70 kWh/m<sup>2</sup>/a, während Bettgenhäuser et al. (2011) ebenso anhand thermischer Gebäudesimulationen spezifische Kühlbedarfswerte auf Endenergieebene (Strom) für die Standorte Frankfurt am Main und Hamburg von 5-55 kWh/m<sup>2</sup>/a berechnen.

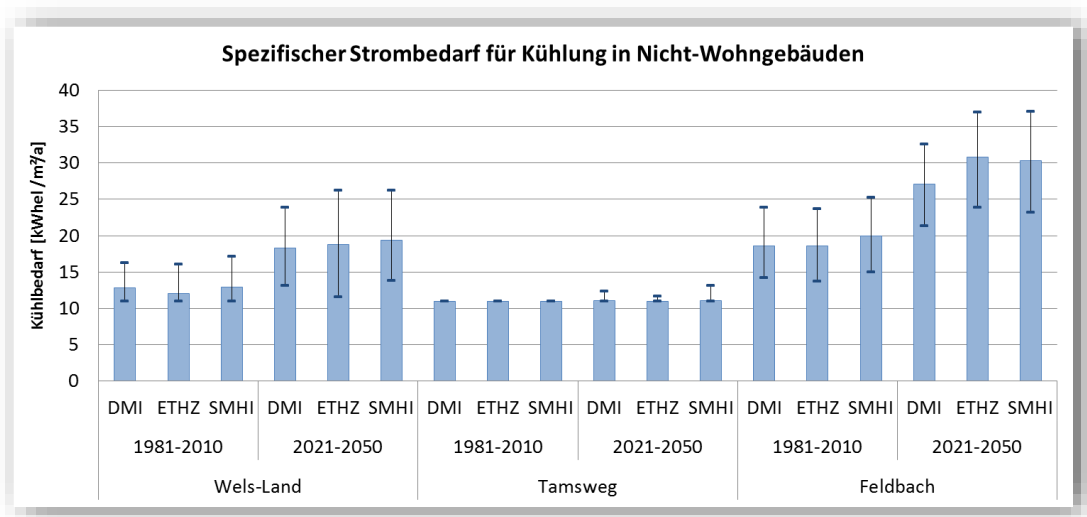


Abbildung 6-15 Flächenspezifischer (theoretischer) Strombedarf für Kühlung in Nicht-Wohngebäuden (vollklimatisierte Flächen).

Die relativen klimawandelbedingten Änderungen des spezifischen Kühlbedarfs für NWG sind in Tabelle 6-2 dargestellt. Während Tamsweg keine Änderung zeigt, liegt der Anstieg der regionalen Mittelwerte in Wels-Land je nach Klimamodell zwischen 43% und 56% und in Feldbach zwischen 46% und 66%. Die Änderungen bei den NWG fallen zwar durch den Charakter der verwendeten Modellierungsfunktion (Offset-Wert von 11 kWh/m<sup>2</sup>/a bei 0 Kd/a) nicht so deutlich aus wie bei den Wohngebäuden, jedoch sind auch die hier abgebildeten Steigerungen im Bereich von 50% als sehr hoch einzuschätzen.

Tabelle 6-2 Relative Änderung des flächenspezifischen (theoretischen) Kühlbedarfs in Nicht-Wohngebäuden durch den Klimawandel. Vergleich regionaler Mittelwerte.

Änderung spez. Kühlbedarf in NWG durch Klimawandel			
	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	43%	56%	50%
Tamsweg	-	-	-
Feldbach	46%	66%	52%

### 6.5.3 Ergebnis: Kühlbedarf in Nicht-Wohngebäuden

Auf Basis des Gebäuderasters, der Ergebnisse zum Anteil klimatisierter Flächen und zum spezifischen Strombedarf für Kühlung wird der Strombedarf für die Klimatisierung von NWG zellengenau berechnet. Als Bezugsfläche wird dabei die Nettogrundfläche verwendet. Der Anteil klimatisierter Flächen wird annahmegemäß zu gleichen Teilen auf vollklimatisierte und teilklimatisierte Flächen aufgeteilt und der spezifische Bedarf der teilklimatisierten Flächen beträgt 24% des Bedarfs der vollklimatisierten Flächen. Daraufhin werden die Ergebnisse über die gesamte Region aufsummiert.

<sup>23</sup> in Mach (2008) und Voss et al. (2005)

<sup>24</sup> Für Vergleichbarkeit ist Umrechnung auf Endenergieebene (Strom) erforderlich, z.B. per Faktor 0,42 nach Töglhofer et al. (2008).

Die Ergebnisse sind in Abbildung 6-16 und in Tabelle-A 18 im Anhang dargestellt. Wie nach den Modellierungen zum spezifischen Kühlbedarf und den klimatisierten Flächen zu erwarten war, ist der Kühlbedarf in Tamsweg mit 0,8-1,3 GWh/a verschwindend gering, während in Wels-Land und insbesondere in Feldbach erheblicher Kühlbedarf auftritt. Das erwärmte Klima trägt hierbei zu einem starken Anstieg bei, wie auch in Tabelle 6-3 zu sehen ist. So steigen die Werte in Wels-Land von ca. 5 GWh/a auf bis zu 12,5 GWh/a, was einer Steigerung von bis zu 200% (Modell ETHZ) entspricht. In Feldbach liegen die Werte der Referenzperiode 1981-2010 bereits bei 12,5-14 GWh/a und erhöhen sich auf 22-26 GWh/a, so dass Anstiege von 76-110% erreicht werden.

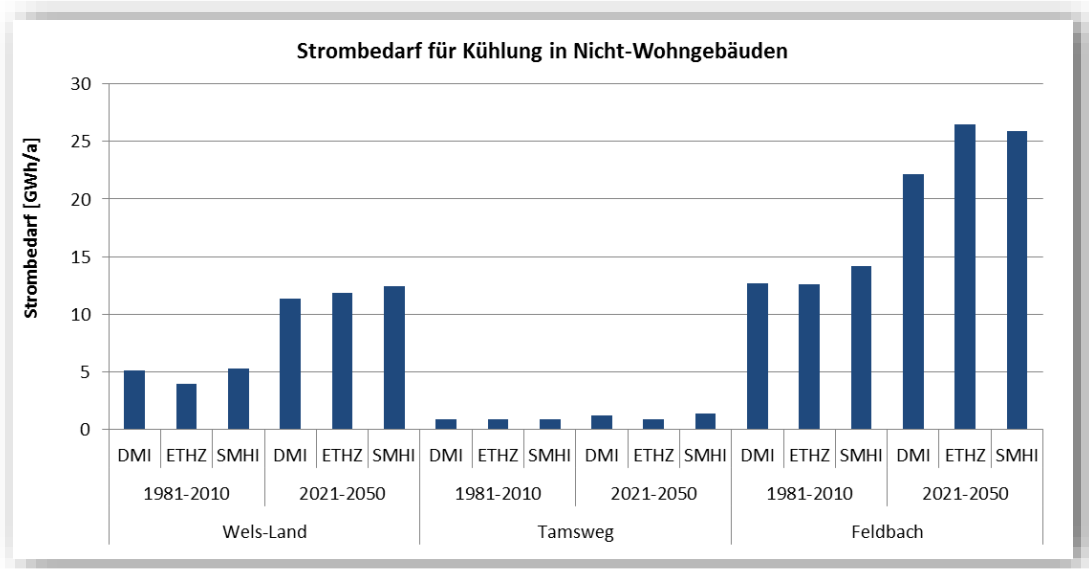


Abbildung 6-16 Regionaler Strombedarf für Kühlung von Nicht-Wohngebäuden in GWh/a.

Tabelle 6-3 Relative Änderung des Strombedarfs für Kühlung von Nicht-Wohngebäuden durch den Klimawandel.

Änderung Kühlbedarf in NWG durch Klimawandel			
	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	122%	200%	136%
Tamsweg	33%	1%	52%
Feldbach	76%	110%	82%

## 6.6 Ergebnis: Regionaler Strombedarf für Kühlung

Die für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude kumulierten Ergebnisse sind in Abbildung 6-17 dargestellt. Wie nach den Einzelergebnissen abzusehen war, steigt der regionale Strombedarf für Kühlung unter Berücksichtigung des fortschreitenden Klimawandels in Wels-Land und Feldbach stark an, während dieser in Tamsweg auf vernachlässigbar geringem Niveau verbleibt. Der Bedarf für den privaten Bereich liegt deutlich unter dem für den Bereich der NWG, was in Abbildung 6-17 zu sehen ist, obwohl hier das starke Szenario bei den Wohngebäuden dargestellt ist.

Letztlich ist nur der Kühlbedarf in Feldbach unter Klimaperiode 2021-2050 als signifikant hoch einzustufen. Dieser liegt zwischen 25 und 31 GWh/a, was bezogen auf eine Einwohnerzahl von 68.600 (im Jahr 2035 nach ÖROK-Prognosen) einen durch Kühlung verursachten Strombedarf von etwa 360-450 kWh pro Jahr und Einwohner ergibt. Dieser Wert liegt in Feldbach bei Annahme des Referenzklimas bei 190-215 kWh pro Jahr und Einwohner.



Die Ergebnisse weisen für die unterschiedlichen Klimamodelle nur leichte Unterschiede auf. Lediglich der Kühlbedarf für die Zukunftsperiode des Modells DMI zeigt in Feldbach deutlich geringere Werte auf als für die anderen beiden Klimamodelle.

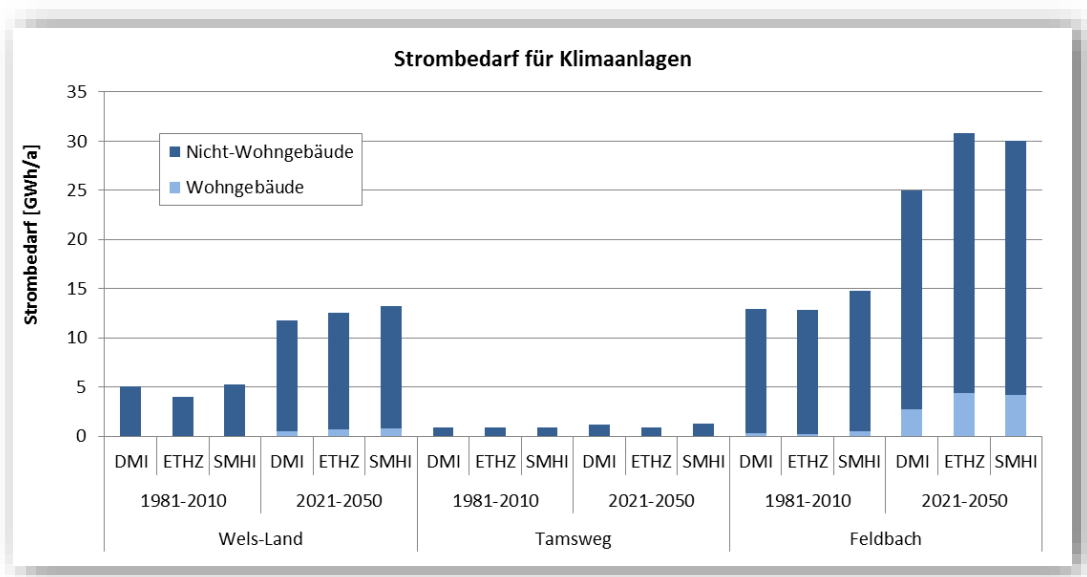


Abbildung 6-17 Regionaler Strombedarf für Klimatisierung in GWh/a. Starkes Szenario bei Wohngebäuden.

Zwar sind die in absoluten Zahlen größten Anstiege in Feldbach zu verzeichnen, so erscheinen die größten relativen Anstiege (s. Tabelle 6-4) mit bis zu 218% in Wels-Land, was daran liegt, dass hier die Werte für die Referenzperiode (1981-2010) noch auf geringem Niveau sind.

Tabelle 6-4 Relative Änderung des regionalen Strombedarfs für Klimatisierung durch den Klimawandel. Starkes Szenario bei Wohngebäuden.

Änderung des Strombedarfs für Kühlung durch Klimawandel	Änderung des regionalen Strombedarfs für Klimatisierung durch den Klimawandel. Starkes Szenario bei Wohngebäuden.		
	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	132%	218%	150%
Tamsweg	33%	1%	52%
Feldbach	93%	139%	104%

## 6.7 Abschätzung der Kosten für Klimageräte

Im Folgenden wird eine Abschätzung der Investitions- und Wartungskosten für Klimageräte durchgeführt, welche später in die Analyse zu den klimawandelbedingten Kostenänderungen der Energieversorgung in Kap. 11 eingeht. Die Abschätzung basiert primär auf den zuvor berechneten Diffusionsraten für Klimaanlage in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden und der Anzahl der jeweiligen Gebäude, und wird unter Annahme typischer Dimensionierungen und Kosten von Klimageräten durchgeführt.

Die mittleren regionalen Diffusionswerte von Klimaanlage werden dabei mit der Anzahl der Haushalte (in EFH und MFH) bzw. der Anzahl der NWG multipliziert und daraufhin mit den jährlichen Investitions- und Wartungskosten (s. Anhang Tabelle-A 20) für als typisch angenommene Klimaanlage beaufschlagt. Hierbei wird von einem Kühlgerät mit einer Leistung von  $2,6 \text{ kW}_{\text{Kälte}}$  für klimatisierte Haushalte und einer Klimaanlage mit einer Leistung von  $50 \text{ kW}_{\text{Kälte}}$  für zur Gänze klimatisierte NWG<sup>25</sup> ausgegangen. Die gesamten Investitionskosten werden zuvor – wie bei den späteren Optimierungsrechnungen – per Annuitätsmethode<sup>26</sup> über die typische Lebensdauer von Klimaanlage von 12,5 Jahren (Dupont&Adnot, 2005) auf ein Jahr umgerechnet.

Die Berechnung erfolgt für die Zeitpunkte 2015 (mit Referenzklima 1981-2010) und 2035 (mit Referenzklima 1981-2010 und Zukunftsklima 2021-2050) und nur für das Klimamodell SMHI. Abbildung 6-18 illustriert jedoch nur die Ergebnisse für das Jahr 2035 unter Verwendung der zwei Klimaperioden, da sich die Ergebnisse für das Jahr 2015 und 2035 mit Referenzklima kaum unterscheiden.

Eine deutliche Erhöhung der Kosten für Klimageräte durch den Klimawandel ist in Wels-Land (von 2,9 auf 5,2 Mio. €/a) und Feldbach (von 5,7 auf 8,2 Mio. €/a) zu erkennen. Klimageräte für NWG übersteigen in jedem Fall die Kosten für Klimageräte im privaten Bereich, obwohl hier das starke Diffusionsszenario für WG vorliegt. Wie später bei der Darstellung der Gesamtkosten für den Wärme- und Strombereich zu sehen sein wird, sind die hier vorliegenden Kosten jedoch vergleichsweise niedrig. Eine tabellarische Aufstellung ist im Anhang in Tabelle-A 21 zu sehen.

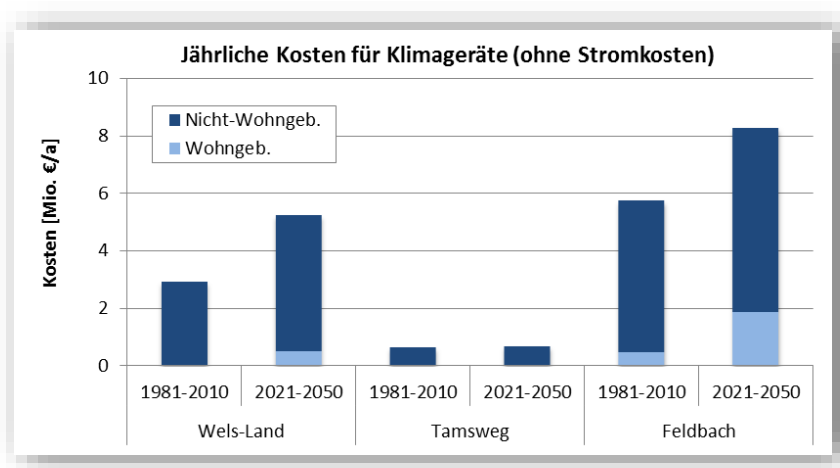


Abbildung 6-18 Jährliche Investitions- und Wartungskosten für Klimageräte in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden bei unterschiedlichem Klima. Ohne Stromkosten. Starkes Diffusionsszenario bei Wohngebäuden.

<sup>25</sup> Berechnet anhand einer spez. Kühlleistung von  $60 \text{ W/m}^2$  und der NGF von  $859 \text{ m}^2$ .

<sup>26</sup> Zinssatz 5%, Lebensdauer 12,5 a → Annuitätsfaktor: 10,95%

## 7. Zusatz: Wärmeinsel Effekt, Überhitzung und dynamische Gebäudesimulationen

Der so genannte Wärmeinsel Effekt im urbanen Raum vor dem Hintergrund des Klimawandels sowie dessen Einfluss auf den Heiz- und Kühlbedarf von Gebäuden wurde in der angewendeten Modellierung nicht berücksichtigt. Grund hierfür war, neben dem ländlichen Charakter der Testregionen, die relativ geringe zeitliche Auflösung der Klimadaten (täglich / monatlich) und die sehr hohe Anzahl an Klima- und Gebäudedaten. Auch deshalb wurden keine dynamischen Gebäudesimulationen durchgeführt, mit denen thermische Prozesse hinsichtlich der Überhitzungsproblematik im Sommer deutlich besser abgebildet werden können. Im Folgenden werden jedoch der Wärmeinsel Effekt, die Überhitzungsproblematik und entsprechende Gegenmaßnahmen sowie der Mehrwert thermischer Gebäudesimulationen erläutert.

### 7.1 Wärmeinsel Effekt

Der angesprochene Wärmeinsel Effekt im urbanen Raum beschreibt die Modifikation des lokalen Klimas durch bestimmte für städtische Siedlungsräume charakteristische Einflüsse, was u.a. zu höheren Temperaturen führt. Hierfür sind primär folgende Gründe verantwortlich (s. auch Abbildung 7-1).

- Anreicherung von Gasen und Aerosolen führt zu einem lokalen Treibhauseffekt („Dunstglocke“) und somit höherer Gegenstrahlung.
- Hohe Wärmeabsorption, -speicherung und -abstrahlung der Baukörper (z.B. Beton, Stein) führen zur Reduktion nächtlicher Abkühlung.
- Anthropogene Wärmeemissionen, z.B. von Autos, Maschinen, Klimaanlage erwärmen die Stadt verstärkt.
- Niedrige Windgeschwindigkeiten durch dichte Bebauung verringern Abtransport von Wärme.
- Versiegelung des Bodens und Verringerung der Vegetation führen zu verringerter Verdunstung, die Wärme benötigt und somit kühlenden Effekt hat.

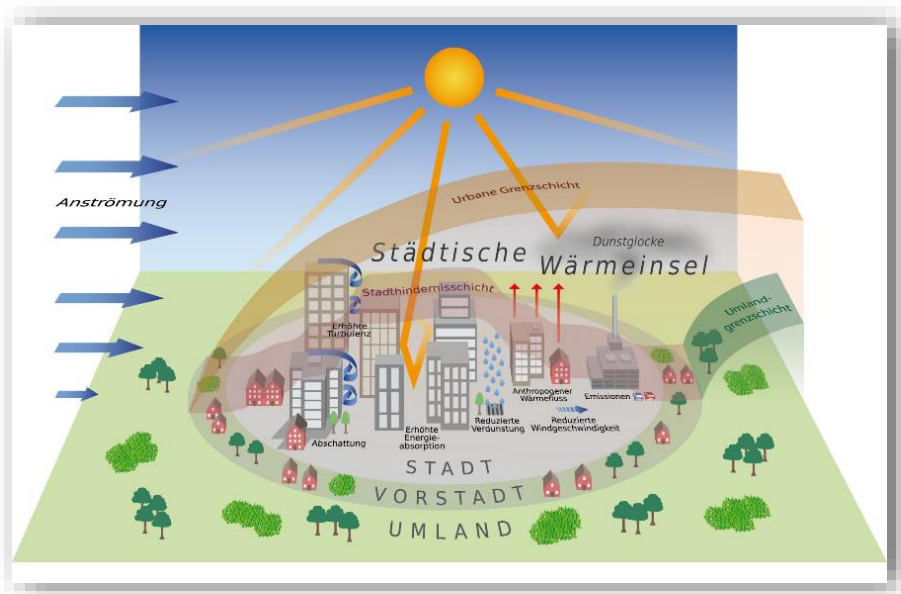


Abbildung 7-1 Darstellung des Wärmeinsel Effekts. Quelle: DWD.

Die Intensität des Effekts steigt mit der räumlichen Ausdehnung der Stadt und der Bebauungsdichte an und wird durch windschwache, wolkenarme Wetterlagen begünstigt, die durch den Klimawandel häufiger und verstärkt auftreten (Matzarakis, 2013). Solche Wetterlagen sind auch charakteristisch für sommerliche Hitzeperioden. Somit ist der Wärmeinsel Effekt im Sommer deutlich stärker als im Winter. Die Stadttemperaturen können zeitweise um bis zu 10°C höher sein als im Umland. Im Jahresmittel wird von Temperaturunterschieden zwischen 0,5 und 2°C berichtet. (DWD, 2011)

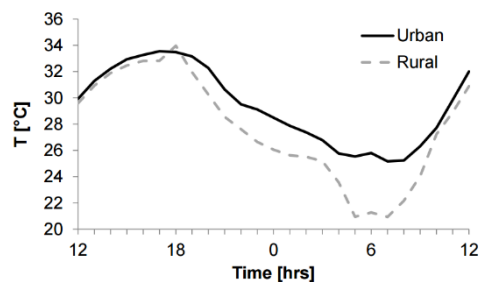


Abbildung 7-2 Wärmeinsel Effekt anhand eines Außentemperaturverlaufs. Quelle: Fallmann et al. (2014)

Der Wärmeinsel Effekt macht sich vor allem in der Nacht bemerkbar, da der tagsüber auftretende Wärmeeintrag in der Bausubstanz gespeichert wird und erst nachts wieder allmählich abgegeben wird. Mittags hingegen ist der Effekt eher gering.

Dies ist auch anhand der vom DWD bereitgestellten aktualisierten und erweiterten Testreferenzjahre (TRY) zu erkennen. Dort wird neben Zukunfts- und Extremszenarien ein Programmmodul zur Verfügung gestellt, welches anhand der Eingabe der Einwohnerzahl und der Seehöhe basierend auf empirischen Studien den zusätzlichen Einfluss der städtischen Wärmeinsel auf das gewählte Klimaszenario berücksichtigt. Im Handbuch zu den TRY werden empirisch hergeleitete Formeln zur Abschätzung der Wärmeinsel-Intensität unter Berücksichtigung der Einwohnerzahl, der Windgeschwindigkeit sowie des Bewölkungsgrads angegeben. Zur exemplarischen Veranschaulichung des Wärmeinsel Effekts wird mit diesem Modul ein stündlicher Temperaturverlauf für die Stadt München simuliert. Hierzu wird die Klimaregion 13 (Schwäbisch-fränkisches Stufenland / Alpenvorland) ausgewählt. Die Aufprägung des Wärmeinsel Effekts geschieht über die Angabe einer Einwohnerzahl von 1,4 Mio., wie es in etwa der Stadt München entspricht. Folgende Abbildung zeigt hierzu einen Ausschnitt von 13 aufeinander folgenden Tagen im August in Klimaperiode 2021-2050 bei Annahme eines Extremsommers. Der Wärmeinsel Effekt ist deutlich an der geringeren Nachtabkühlung zu erkennen. Hierdurch treten sog. Tropennächte auf, in denen die Nachttemperaturen nicht unter 20°C absinken, was sich negativ auf die Überhitzungsproblematik auswirkt. Auch im Extremsommer-Szenario der aktuellen Klimaperiode 1988-2007 sind bereits Tropennächte durch den Wärmeinsel Effekt zu beobachten.

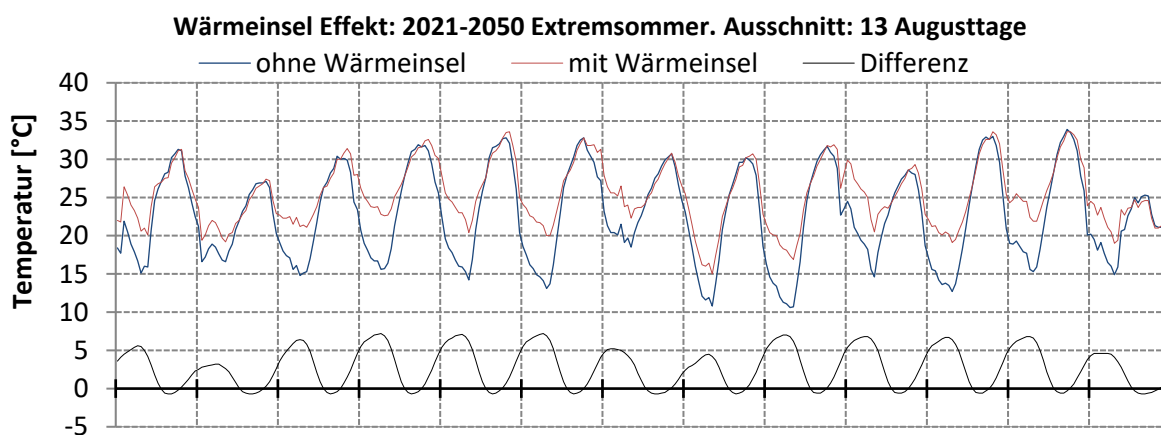


Abbildung 7-3 Wärmeinsel Effekt anhand DWD Testreferenzjahren (TRY). Stündlicher Temperaturverlauf an 13 Augusttagen. Region 13 Schwäbisch-fränkisches Stufenland /Alpenvorland (Mühlendorf/Inn), Wärmeinsel Effekt in Stadt mit 1,4 Mio. Einwohnern (ähnlich München).

## 7.2 Überhitzung und Gegenmaßnahmen

Für Gebäude in der Stadt bedeutet der Wärmeinsel Effekt eine geringere Nachtabkühlung, so dass zu Tagesbeginn höhere Raumtemperaturen vorherrschen und mehr Wärme in der Bausubstanz vorhanden ist als in vergleichbaren Gebäuden außerhalb der Stadt. In der Heizperiode ist dann mit geringerem Heizwärmebedarf zu rechnen, während in der Kühlperiode eine Erhöhung des Kühlbedarfs auftritt.

Durch die geringere Auskühlung des Gebäudes wirkt sich der Wärmeinsel Effekt hinsichtlich der Überhitzungsproblematik im Sommer besonders negativ aus, wenn sich mehrere Hitzetage ohne starke Nachtabenkung der Außentemperatur aneinander reihen. Der Wärmeeintrag kumuliert sich dann über mehr als einen Tag hinweg, wodurch in vielen Fällen erst Überhitzung und folglich Kühlbedarf auftritt. Gute Voraussetzungen für die Nachtlüftung, die oft als geeignetes Instrument gegen Überhitzung genannt wird, sind laut Treberspurg et al. (2011) nur bis ca. 20°C Außentemperatur gegeben, was innerhalb städtischer Wärmeinseln heutzutage teils schon nicht mehr sichergestellt ist. Die durch den Klimawandel häufiger und intensiver auftretenden Hitzeperioden stellen somit in Kombination mit dem Wärmeinsel Effekt einen starken Einflussfaktor auf den Kühlbedarf dar.

Es gibt zahlreiche Gegenmaßnahmen zur Überhitzung von Städten und Gebäuden im Kontext des Klimawandels, wobei dabei zwischen städtebaulichen, gebäudetechnischen und architektonischen Maßnahmen unterschieden wird. Abbildung 7-4 zeigt hierzu vom DWD im Rahmen des INKAS-Projekt<sup>27</sup> gesammelte Maßnahmen gegen städtische Überhitzung auf. Als weitere Maßnahmen auf Gebäudeebene können architektonische Konzepte und passive Maßnahmen wie die Gebäudeausrichtung, die Reduktion transparenter Flächen (ausgerichtet nach Ost und West), bauliche oder aktive Außenverschattungen, eine Wärmedämmung der der Sonne zugewandten Außenflächen und thermische Speichermassen in Verbindung mit einer Nachtlüftung (möglichst über Fenster) genannt werden<sup>28</sup>. Ebenso wird die Verwendung energieeffizienter Geräte zur Reduktion innerer Lasten empfohlen.



Abbildung 7-4 Maßnahmen zur Reduzierung der städtischen Überwärmung. Quelle: DWD.

<sup>27</sup> INKAS - Informationsportal KlimaAnpassung in Städten: [www.dwd.de/inkas](http://www.dwd.de/inkas)

<sup>28</sup> siehe auch Treberspurg et al. (2006), Hausladen et al. (2005)

Nicht zu vergessen ist der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den thermischen Komfort in Gebäuden. Treberspurg et al (2006) weisen etwa darauf hin, dass Fensterlüftung und Sonnenschutz oft falsch eingesetzt werden. So besteht beispielsweise ein starkes Bedürfnis, Fenster im Sommer zu öffnen, wodurch es zu ungewollten Wärmeeinträgen durch heiße Sommerluft kommt, die es zu vermeiden gilt. Weiterhin nennen Treberspurg et al (2006) folgende wichtige „Faustregeln“:

- Richtiges Lüften zum richtigen Zeitpunkt: im Winter genügt aufgrund des hohen Temperaturunterschieds zwischen innen und außen kurzes Stoßlüften. Im Sommer ist der Temperaturunterschied gering und daher langes Lüften am Morgen notwendig.
- Zuluft von sonnenabgewandter Seite einströmen lassen
- kühle Innenhöfe nutzen (beachten, ob Klimageräte Wärme in den Innenhof abgeben)
- durch Querlüftung eine höhere Luftbewegung erzielen und somit einen Behaglichkeitsgewinn erreichen
- Einsatz von Ventilatoren anstatt der Fensterlüftung während der Tagesspitzentemperaturen, um eine höhere Luftbewegung zu erzielen und gleichzeitig zusätzlichen Wärmeeintrag durch warme Außenluft zu vermeiden. Ventilatoren haben zum Teil nur eine Leistungsaufnahme von 10-50 Watt, so dass dadurch bereits mit geringem Energieaufwand ein wichtiger Komfortgewinn erzielt werden kann.
- Bei Nachtlüftung: Notwendigkeit für ausreichend Speichermassen, ausreichend große Lüftungsöffnungen und hohen Luftwechsel

### 7.3 Dynamische thermische Gebäudesimulationen

Zur genauen Abbildung der stunden- und tagesübergreifenden thermischen Effekte ist die Verwendung von dynamischen thermischen Gebäudesimulationen (z.B. in TRNSYS) nötig, die zeitlich hoch aufgelöste Klimadaten (mindestens stündlich) verwenden. Dies war in der hier durchgeführten regionalen Modellierung nicht vorgesehen, obwohl dies insbesondere hinsichtlich der Modellierung des Kühlbereichs einen Mehrwert darstellen würde.

Simulationsprogramme wie TRNSYS stellen die grundlegenden thermischen Prozesse anhand von Wärmeflussbilanzgleichungen dar. Dabei wird beispielsweise der Wärmefluss durch die Außenflächen anhand der Außentemperatur, der Konvektion (über den Strahlungseintrag von außen und die Windstärke), der Innentemperatur und des Strahlungseintrags von innen bestimmt. Bei der Berechnung des derzeitigen Zustands des Wärmeflusses gehen auch die Temperaturen und Wärmeflüsse in den vorigen Zeitschritten mit ein, da die thermische Kapazität einer Wand davon abhängig modelliert wird. Für innenliegende Elemente, Fenster und die Raumlauft werden ebenso Wärmeflussgleichungen aufgestellt, so dass letztlich ein Gleichungssystem entsteht, das für jeden Zeitschritt gelöst wird, wodurch die resultierenden Temperaturen ermittelt werden. So kann das thermische Verhalten eines Gebäudes vor allem im Sommer deutlich besser dargestellt werden.

Auch das von Frank (2005) im Rahmen einer Studie verwendete Programm HELIOS bildet die thermischen Vorgänge entsprechend ab. Mittels thermischer Gebäudesimulation auf Stundenbasis wird anhand vier unterschiedlicher Klimasets für den Standort Zürich deutlich die Überhitzungsproblematik unter dem Einfluss des Klimawandels dargestellt (s. auch Abbildung 7-5). Das wärmste Klimaszenario (Szenario D) weist dabei sehr hohe mittlere Sommertemperaturen (JJA) von 22,1°C, maximale Außentemperaturen von 36,7°C, 29 Hitzetage (Tage mit Tagesmax. über 30°C) und Hitzewellen mit einer Dauer von 5-15 Tagen auf. Die Außentemperaturen in der Nacht sinken aber selbst während der Hitzewellen auf 15-20°C ab, so dass hier nicht von einem deutlichen Wärmeinsel Effekt gesprochen werden kann.

Anhand der Ergebnisse der dynamischen Simulationen kann die über mehrere Tage erfolgende Aufheizung des Gebäudes bis zu einer Innentemperatur von über 30°C im wärmsten Klimaszenario erkannt werden. Diese tritt auf, sofern keine passiven Kühlmaßnahmen wie Sonnenschutz und Nachtlüftung angewendet werden (linke Abbildung). Selbst bei einer zwischenzeitlichen Abkühlung der Außentemperaturen gibt das Gebäude kaum Wärme ab, sondern speichert diese. Im Fall der Anwendung der passiven Maßnahmen (rechte Abbildung) ergeben sich hingegen „akzeptable“ Innentemperaturen im Bereich von 25°C bis maximal 29°C. Die Verringerung der solaren Wärmeeinträge untertags durch den Sonnenschutz und der Wärmetransport aus dem Gebäudeinneren durch die Nachtlüftung weisen in diesem Fall einen sehr hohen Nutzen auf.

An dieser Stelle muss aber nochmals erwähnt werden, dass die simulierten Außentemperaturen in der Nacht stets unter 20°C sinken, so dass eine effektive Nachtlüftung möglich ist, was in einer städtischen Wärmeinsel während einer starken Hitzeperiode zum Teil jetzt schon nicht mehr gegeben ist. Außerdem sind derartige Simulationen stark von den eingestellten Nutzungsbedingungen abhängig.

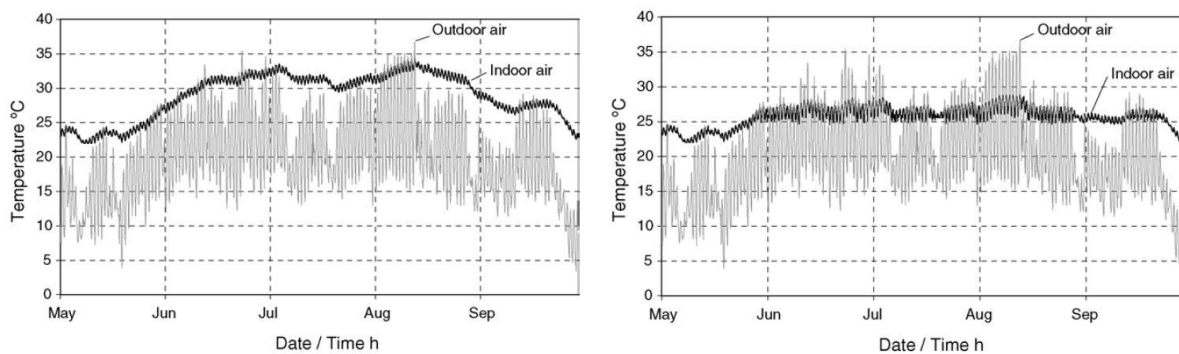


Abbildung 7-5 Stündlicher Verlauf der Innen- und Außentemperaturen ohne passive Kühlmaßnahmen (linke Abb.) und mit passiven Kühlmaßnahmen (rechte Abb.) für ein Wohngebäude bei sehr warmem Klima (29 Hitzetage). Quelle: Frank (2005).

Im Gegensatz zu dynamischen Simulationen werden die zeitlichen Vorgänge in stationären Ansätzen nur sehr pauschal oder gar nicht berücksichtigt. Durch die mangelnde Abbildung zeitlicher Dynamik werden der zeitliche Temperaturverlauf und der thermische Vorzustand der Bausubstanz und des Innenraums kaum berücksichtigt. Die thermische Trägheit, dargestellt durch die von der Wärmespeicherkapazität abhängige Gebäudezeitkonstante  $\tau$ , wird beispielsweise zur Berechnung des Ausnutzungsgrads der Wärmegewinne in Bilanzverfahren oder zur Bestimmung des Korrekturfaktors für den Kühlbedarf in der ÖNORM B 8110-6 angewendet. Bei einem Gebäude mit kurzer Zeitkonstante (< 90 Stunden) wird hier pauschal mit einem um den Faktor 1,4 vergrößerten Kühlbedarf gegenüber einem Gebäude mit hoher Zeitkonstante (> 130 Stunden) gerechnet. Dies spiegelt den Umstand wider, dass sich schwere Gebäude langsamer aufheizen als Gebäude in Leichtbauweise, da die höhere Wärmespeicherkapazität eine verzögernde Wirkung hat.

Die thermische Dynamik von Gebäuden im urbanen Raum unter Einfluss des Klimawandels und klimatischer Extremereignisse ist jedenfalls ein wichtiger Aspekt in der Gebäude- und Stadtplanung. Vor diesem Hintergrund kann für Gebäude mit sehr hohem Fensterflächenanteil und mit hohen internen Wärmelasten, wie etwa Bürogebäuden, eine genaue Aussage über den zu erwartenden Heiz- und Kühlenergiebedarf nur über detaillierte thermische Gebäudesimulationen getätigt werden. Bei derartigen Gebäuden ist auch gesondert die Sommertauglichkeit unter Berücksichtigung zu erwartender Hitzewellen und der spezifischen Nutzungsbedingungen zu überprüfen.

## 8. Auswirkungen des klimawandelbedingten Verschiebungseffekts zwischen Wärme- und Kältebedarf

Der Klimawandel führt zu einer Verschiebung vom Wärme- zum Kältebedarf. Die Auswirkungen dieses Verschiebungseffekts auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen können bereits anhand der regionalen Wärme- und Kältebedarfsänderungen aus Kapitel 5 und 6 abgeschätzt werden, jedoch nur sofern eine Annahme bezüglich der Art der Energiebereitstellung getroffen wird.

Auf Basis der Ergebnisse im Jahr 2035 erfolgt somit eine Abschätzung der klimawandelbedingten Netto-Änderung von nicht-erneuerbarem Primärenergieverbrauch (PE) und Treibhausgasemissionen (THG) im Wärme- und Kältebereich. Hierfür wird die Verwendung eines Erdgas-Heizkessels zur Wärmebereitstellung und eines elektrisch betriebenen Klimageräts angenommen. Die Wärmebedarfsänderung (Nutzenergie) wird über den angenommenen Nutzungsgrad des Heizsystems auf Endenergieebene umgerechnet, während die Änderungen zum Strombedarf im Kühlbereich aus den vorigen Modellierungen bereits auf Endenergieebene (Strom) vorliegen und weiterverwendet werden. Die Faktoren zum nicht-erneuerbaren Primärenergieaufwand und den CO<sub>2</sub>-Emissionen für Erdgas und Strom werden dem österreichischen Energieausweis und den entsprechenden Richtlinien<sup>29</sup> entnommen.

Tabelle 8-1 zeigt die Gegenüberstellung der berechneten Änderungen des Energieaufwands (Endenergie und Primärenergie) und der Treibhausgase (CO<sub>2</sub>) zur Wärme- und Kältebereitstellung. Der Rückgang der Ergebnisparameter im Wärmebereich überwiegt unter den gemachten Annahmen in allen Regionen und Szenarien (Klimamodellen) deutlich den Anstieg im Kältebereich. Die erwartete klimawandelbedingte Verschiebung vom Wärme- zum Kältebedarf verursacht demzufolge einen Rückgang des kumulierten Energieverbrauchs und der THG-Emissionen. Dies trägt somit indirekt zur Minderung des Klimawandels bei und stellt einen negativen Rückkopplungseffekt dar. Hierbei ist jedoch gesondert die Abhängigkeit der Ergebnisse von den der Berechnung zugrunde liegenden Annahmen zu betonen. Eine kurze Diskussion hierzu folgt im unteren Abschnitt.

Tabelle 8-1 Gegenüberstellung der Änderungen des Energieaufwands (End- und Primärenergie) und der Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>) im Wärme- und Kältebereich bei Annahme eines Erdgas-Heizwertkessels und einer elektrisch betriebenen Klimaanlage.

		Endenergie [GWh/a]		Primärenergie [GWh/a]		THG-Emissionen [t/a]	
		Wärme (Erdgas)	Kälte (Strom)	Wärme (Erdgas)	Kälte (Strom)	Wärme (Erdgas)	Kälte (Strom)
Wels-Land	DMI	-43	7	-50	14	-10.034	2.795
	ETHZ	-80	9	-94	19	-18.992	3.592
	SMHI	-58	8	-68	17	-13.633	3.307
Tamsweg	DMI	-27	0	-32	1	-6.368	121
	ETHZ	-44	0	-52	0	-10.410	4
	SMHI	-34	0	-40	1	-8.140	190
Feldbach	DMI	-39	12	-46	26	-9.232	5.022
	ETHZ	-134	18	-156	39	-31.528	7.491
	SMHI	-61	15	-71	33	-14.343	6.385

Anmerkung: Gegenüberstellung auf Basis der Änderungen des Wärme- und Kältebedarfs. Verwendung von Daten eines Erdgas-Heizwertkessels zur Wärmebereitstellung (Nutzungsgrad=85%, Nicht-erneuerbarer Primärenergiefaktor = 1,17, CO<sub>2</sub>-Emissionen = 236 g/kWh Endenergie) und Strom zur Kältebereitstellung (Nicht-erneuerbarer Primärenergiefaktor = 2,15, CO<sub>2</sub>-Emissionen = 417 g/kWh)

<sup>29</sup> Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz. Ausgabe: Oktober 2011



Die für Wärme und Kälte kumulierten Ergebnisse sind zusätzlich grafisch in Abbildung 8-1 dargestellt.

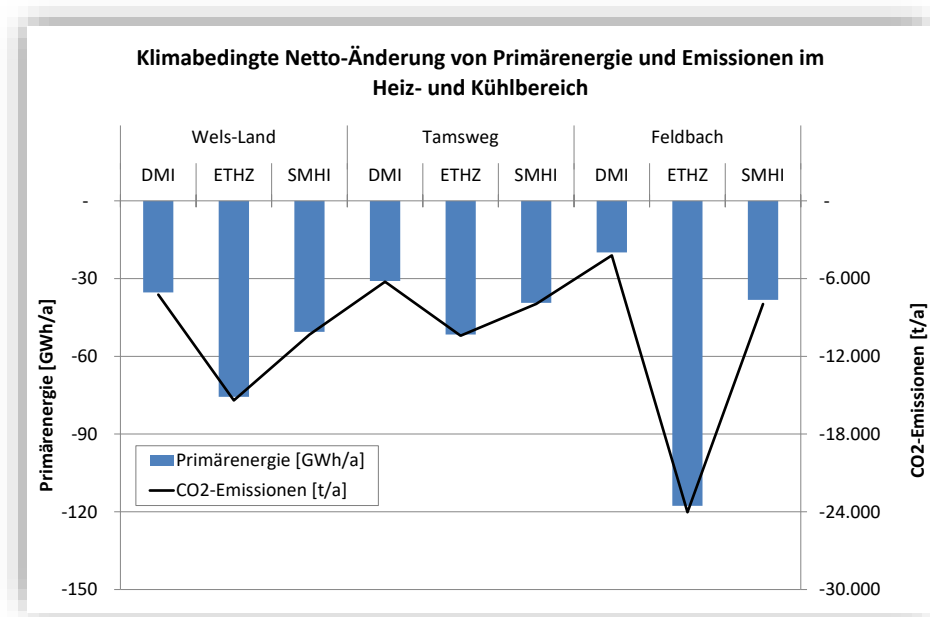


Abbildung 8-1 Klimawandelbedingte Änderung des nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Heiz- und Kühlenergiebereich. Annahmen wie oben (Tabelle 8-1).

Generell gilt, dass die ökologischen Vorteile (in Bezug auf Primärenergie und THG-Emissionen) des Wärmebedarfsrückgangs umso höher sind, je weniger ökologisch die angenommene Art der Wärmebereitstellung ist. Für den Kältebereich gilt, dass der ökologische Nachteil des Kältebedarfsanstiegs zunimmt, je weniger ökologisch die Kältebereitstellung ist. Auf dies bezugnehmend wurde beispielsweise eine analoge Rechnung unter Annahme einer elektrischen Direktheizung<sup>30</sup> für die Wärmebereitstellung durchgeführt, welche als wenig ökologisch und nachhaltig gilt aufgrund der hohen PE- und THG-Faktoren des Stroms. Dies führte zwar zu leicht niedrigeren Rückgängen auf Endenergieebene, jedoch zu weitaus höheren Rückgängen auf Primärenergie- und THG-Ebene, so dass der ökologische Vorteil der Bedarfsverschiebung noch höher war als bei obiger Annahme einer Erdgas-Heizung. Im Gegensatz dazu hätte der Rückgang des Wärmebedarfs im Falle einer (quasi) PE- und CO<sub>2</sub>-neutralen Heiztechnologie, wie etwa einer Biomasse-Heizung, keinen Rückgang der nicht-erneuerbaren Primärenergie und THG-Emissionen zur Folge. Dies verdeutlicht nochmals die Ergebnisabhängigkeit von den zugrunde liegenden Annahmen.

Weiterhin ist beim Vergleich der Energiebedarfe und -verbräuche auf die betrachtete Energieebene (Nutz-, End-, Primärenergie) hinzuweisen. So ist in Tabelle 8-1 der Netto-Rückgang auf End- und Primärenergie, welche Indikatoren für Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit sind, deutlich zu erkennen. Werden die Ergebnisse zur Endenergie jedoch per Multiplikation mit dem Nutzungsgradfaktor von 0,85 für Erdgas-Heizsysteme und einem EER von 6 für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen<sup>31</sup> auf Nutzenergieebene umgerechnet, so ist der Kältebedarfsanstieg teils<sup>32</sup> höher als der Rückgang des Wärmebedarfs. Dies verdeutlicht wiederum die Notwendigkeit, die eingesetzten Energieumwandlungstechnologien und deren Effizienzen beim Vergleich unterschiedlicher Energiedienstleistungen (hier: Wärme- und Kältebereitstellung) zu beachten, da ein reiner Vergleich auf

<sup>30</sup> Nutzungsgrad = 100%, Sonstige Faktoren analog zu Strom für Klimaanlage

<sup>31</sup> wie für Nicht-Wohngebäude üblich. EER aus Hinterdorfer et al. (2010)

<sup>32</sup> in folgenden Fällen: Wels-Land, DMI; Feldbach DMI und SMHI.

Nutzenergieebene möglicherweise zu unterschiedlichen Folgerungen führt als ein Vergleich auf PE- oder THG-Ebene.

An obige Analyse anknüpfend sind in Tabelle 8-2 die relativen Änderungen des kumulierten PE-Aufwands und der THG-Emissionen abgebildet. Die als Bezug dienenden Gesamtwerte für die Bereitstellung des Wärme- und Kältebedarfs sind im Anhang in Tabelle-A 19 zu sehen. Tamsweg weist szenarienübergreifend die höchsten Rückgänge (-7 bis -11,4%) auf, da der Kühlbedarf trotz leichtem Anstieg verschwindend gering ist und der Wärmebedarf deutlich sinkt. Die Ergebnisse in Feldbach sind sehr heterogen (-2 bis -11,2%), was vor allem an den deutlichen Unterschieden bei den Ergebnissen zum Wärmebedarf liegt. In Wels-Land sind die Ergebnisse deutlich ausgewogener (-3 bis -7,1%). Die hohen regionsübergreifenden Rückgänge für das Klimamodell ETHZ sind auf den durchgehend hohen Rückgang des Wärmebedarfs in diesem Szenario zurückzuführen.

Tabelle 8-2 Relative klimawandelbedingte Änderung des nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Heiz- und Kühlbereich. Annahmen wie oben (Tabelle 8-1).

	Primärenergie			CO <sub>2</sub> -Emissionen		
	DMI	ETHZ	SMHI	DMI	ETHZ	SMHI
Wels-Land	-3,3%	-7,1%	-4,8%	-3,4%	-7,1%	-4,9%
Tamsweg	-7,0%	-11,4%	-9,0%	-7,0%	-11,4%	-9,0%
Feldbach	-2,0%	-11,2%	-3,9%	-2,1%	-11,4%	-4,0%

## 9. Strombedarf

Der Klimawandel führt zu einem Anstieg des Strombedarfs im Kühlbereich, wie in Kap. 6 aufgezeigt wurde. Um den Einfluss des gestiegenen Kühlstrombedarfs auf die regionale Strombilanz abschätzen zu können, wird der Strombedarf für die Sektoren Haushalte, Wirtschaft (Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistung) und Elektromobilität modelliert und deren Entwicklung aufgezeigt. Somit ist ein Vergleichswert für den berechneten Kühlbedarf verfügbar, welcher es ermöglicht, dessen Einfluss und Höhe besser einschätzen zu können. Der regionale Gesamtstrombedarf wiederum wird in weiterer Folge für die Optimierungen (Kap. 11) verwendet. Die Methodik folgt dem Vorgehen in Hausl et al. (2013), so dass diese hier nur in Grundzügen erläutert wird.

### 9.1 Haushalte

Die Berechnung des Strombedarfs im Haushaltssektor basiert auf Daten aus Statistik Austria (2009) über den mittleren Stromverbrauch von Haushalten in Ein- bzw. Zweifamilienhäusern (EFH / ZFH) und im verdichteten Wohnbau (Mehrfamilienhäuser: MFH) aus dem Jahr 2008 und die Anzahl entsprechender Haushalte in den betrachteten Bezirken aus dem Jahr 2001 (Statistik Austria, 2007).

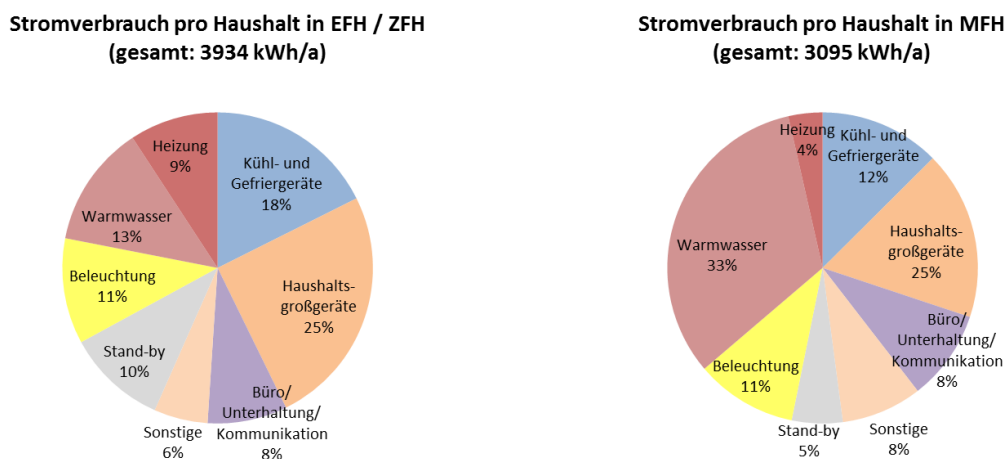


Abbildung 9-1 Stromverbrauch je Haushalt nach aggregierten Verbrauchsklassen im Jahr 2008 für Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH/ZFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH).  
Quelle: Eigene Darstellung nach Statistik Austria (2009).

Die zukünftige Entwicklung wird berechnet auf Basis der ÖROK-Prognosen zur Haushaltsentwicklung (Hanika, 2011) in den Testregionen sowie geringfügiger Änderungen einzelner Verbrauchsklassen infolge besonderer Entwicklungen, wie etwa einer weiteren Durchdringung der Haushalte mit bestimmten elektrisch betriebenen Geräten im Büro- und Unterhaltungsgerätebereich oder auch Effizienzmaßnahmen im Beleuchtungsbereich. Hierdurch erfährt der Strombedarf pro Haushalt leichte Netto-Rückgänge (s. Tabelle-A 10 und Tabelle-A 11 im Anhang).

Der Strombedarf der Kategorie „Heizung“ bei Haushalten beinhaltet an dieser Stelle nur Strom für „Umwälzpumpen“, nicht für „Heizen“, da der Heizstrombedarf aus elektrischen Widerstandsheizungen und Wärmepumpen Teil der späteren Optimierung ist und deshalb zu diesem Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt wird. Somit wird eine mögliche Doppelberücksichtigung des klimaabhängigen Heizstrombedarfs vermieden.

Die Ergebnisse zum Strombedarf für Haushalte sind in Tabelle 9-1 zu sehen. Der Anstieg der Haushaltszahlen führt insbesondere in Wels-Land zu einer deutlichen Erhöhung des Haushaltsstrombedarfs.

Tabelle 9-1 Entwicklung Strombedarf der Haushalte (ohne Heizstrombedarf)

<b>Strombedarf Haushaltssektor in GWh/a (ohne Heizstrombedarf)</b>					
	2001	2015	2025	2035	2045
Wels-Land	95	108	117	122	127
Tamsweg	29	31	32	32	31
Feldbach	90	99	101	102	101
Wels-Land	100%	115%	124%	130%	135%
Tamsweg	100%	108%	109%	109%	107%
Feldbach	100%	110%	113%	114%	113%

## 9.2 Wirtschaft

In den drei wirtschaftlichen Bereichen Landwirtschaft, Industrie und Dienstleistung wird im Gegensatz zum Haushaltssektor nach einem Top-Down Ansatz vorgegangen, mit welchem der jeweilige Strombedarf basierend auf der Stromintensität<sup>33</sup> (SI, in TJ pro Mio. €) und der regionalen Bruttowertschöpfung<sup>34</sup> (BWS, in Mio. €) des jeweiligen Wirtschaftssektors berechnet wird. Dieses Vorgehen ist auch aus AEA (2010) und AEA (2011) bekannt.

Die verwendeten Werte zur Stromintensität aus AEA (2011) sind in Tabelle 9-2 abgebildet. Für den Industriesektor wird ein relativ niedriger Wert („sonstiger produzierender Bereich“) ausgewählt, da in den betrachteten Bezirken keine energieintensiven Industriezweige ansässig sind.

Tabelle 9-2 Verwendete Stromintensitäten (Stromverbrauch je Bruttowertschöpfung).  
Quelle: Eigene Abbildung nach AEA (2011).

	Landwirtschaft	Industrie	Dienstleistung
Stromintensität [TJ/Mio.€]	1,2	0,3	0,18

Um die Werte für die Bruttowertschöpfung der Bezirke zu ermitteln, wird auf Daten der Statistik Austria zurückgegriffen, welche die Bruttowertschöpfung der drei Wirtschaftssektoren für die betreffenden NUTS3-Regionen wiedergeben. Dies ist notwendig, da keine sektorspezifischen BWS-Werte für die Bezirke vorliegen. Für den Sektor Landwirtschaft wird sodann die BWS auf Bezirksebene über das Flächenverhältnis von Bezirk und jeweiliger NUTS3-Region berechnet. Im Industrie- und Dienstleistungssektor wiederum werden die auf NUTS3-Ebene vorliegenden Wirtschaftsleistungswerte über das Verhältnis der Gesamtbeschäftigten in den Bezirken und den jeweiligen NUTS3-Regionen auf die Bezirksebene transformiert. Somit wird in einer ersten Näherung von einer identischen Wirtschaftsstruktur bzw. einer homogenen Aufteilung der Wirtschaftsleistung innerhalb einer NUTS3-Region ausgegangen. Dieses Vorgehen wird nur für die Region Wels-Land kritisch gesehen, so dass hier einige Korrekturen bei der Berechnung der Wirtschaftsleistung durchgeführt werden.

Um die zeitliche Entwicklung des Strombedarfs in den Wirtschaftszweigen zu berechnen, wird von gleichbleibenden Stromintensitäten und einem Wirtschaftsleistungswachstum ausgegangen, welches proportional zu den Erwerbstätigenzahlen aus den ÖROK-Regionalprognosen (Kytir et al., 2010)

<sup>33</sup> Stromverbrauch je Einheit erbrachter Wirtschaftsleistung

<sup>34</sup> Wirtschaftsleistung

bestimmt wird. Somit steigt bzw. sinkt der Strombedarf der Wirtschaftszweige proportional zu den Beschäftigtenzahlen.

Tabelle 9-3 Entwicklung Strombedarf der Wirtschaft

Strombedarf Wirtschaftssektor in GWh/a					
	vor 2010	2015	2025	2035	2045
Wels-Land	122	126	126	126	128
Tamsweg	34	33	30	28	27
Feldbach	107	105	98	92	90
Wels-Land	100%	104%	103%	103%	105%
Tamsweg	100%	98%	90%	83%	80%
Feldbach	100%	99%	92%	87%	84%

### 9.3 Elektromobilität

Der Verkehrssektor ist derzeit für etwa ein Viertel der österreichischen Treibhausgasemissionen verantwortlich (UBA, 2010). Elektromobilität in Form von Elektroautos oder Hybrid-Fahrzeugen kann hier ein geeignetes Substitutionselement darstellen, um Fahrzeuge mit konventionellen Antrieben zu ersetzen. Dies in Verbindung mit Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gilt im Verkehrssektor als nachhaltige Zukunftstechnologie mit dem höchsten Potenzial zur Treibhausgaseinsparung, so dass schon aus diesem ökologischen Grund mit einem vergrößerten Bestand an (teil-)elektrisch betriebenen Fahrzeugen gerechnet wird.

Diesen Überlegungen wird auch bei der Modellierung des regionalen Strombedarfs Rechnung getragen, indem der Strombedarf für Elektromobilität berechnet wird. Die Berechnungen hierzu stützen sich auf UBA (2010) und AEA (2010). AEA (2010) gibt eine Schätzung bezüglich des Bestands an Elektrofahrzeugen ab, wobei drei Szenarien vorgestellt werden. Für diese Arbeit wird die Entwicklung des Szenarios „Waiting“ übernommen, welches das Szenario mit der niedrigsten Bestandsentwicklung der drei Szenarien ist. Dies erscheint aufgrund der derzeit niedrigen Bestands- und Absatzzahlen als die wahrscheinlichste Variante und somit am sinnvollsten. Da die verwendete Schätzung nur die rein elektrisch betriebenen Fahrzeuge (EV) betrifft, wird aus dem UBA-Szenario das Verhältnis zwischen diesen Fahrzeugen und Hybrid-Fahrzeugen (HV) verwendet, um für das AEA-Szenario die Anzahl der Hybrid-Fahrzeuge zu berechnen. Weiterhin wird aus UBA (2010) der Strombedarf pro Fahrzeug für EV und HV verwendet, um den absoluten Strombedarf für die auftretende Elektromobilität zu berechnen. Da diese Berechnungen allesamt für Gesamtösterreich gelten, werden die regionalen Strombedarfswerte anhand der Bevölkerungszahlen (s. Anhang Tabelle-A 23) in den betrachteten Bezirken ermittelt. Tabelle 9-4 zeigt die wichtigsten in diesem Zusammenhang verwendeten Daten und die Ergebnisse zum Strombedarf für Elektromobilität.

Tabelle 9-4 Kennzahlen und Ergebnisse zum Strombedarf für Elektromobilität.  
Quellen: Eigene Abbildung aus Hausl et al. (2013).

		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Fahrzeugbestand	EV	310	7.876	15.441	64.973	114.505	254.309	394.112	680.399	966.686
	Österreich HV	930	23.625	46.323	145.978	198.350	345.476	423.548	579.599	649.846
Energiebedarf pro Fzg. [MWh/a]	EV	2,6	2,5	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9
	HV	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6
Gesamtstrombedarf Österreich		3	69	128	420	597	1.126	1.498	2.257	2.838
Gesamtstrombedarf [GWh/a]	Wels-Land	0,0	0,6	1,0	3,5	5,0	9,5	12,7	19,1	24,1
	Tamsweg	0,0	0,2	0,3	1,0	1,3	2,4	3,2	4,7	5,8
	Feldbach	0,0	0,5	1,0	3,2	4,5	8,4	11,1	16,5	20,5

## 9.4 Übersicht und Einfluss des Kühlbedarfs

Abbildung 9-2 gibt einen Überblick über die hergeleitete Entwicklung des Strombedarfs inklusive dem Strombedarf für Kühlung. So wird eine Ansicht ermöglicht, die die verschiedenen Bedarfssektoren und deren Entwicklungen vergleichbar macht. Die Werte sind tabellarisch in Tabelle-A 22 abgebildet.

Die Darstellung des Strombedarfs erfolgt für das Jahr 2015 mit Referenzklima 1981-2010 sowie für das Jahr 2035 mit Referenzklima („2035, ohne KW“) und Zukunftsklima 2021-2050 („2035, mit KW“). Die beiden Szenarien für das Jahr 2035 unterscheiden sich somit nur durch den Strombedarf für Raumkühlung. Die Abbildung zeigt den Verlauf unter Klimamodell SMHI. Der Kühlbedarf für Wohngebäude wird anhand der Ergebnisse des starken Diffusionsszenarios berücksichtigt.

Eine deutliche Erhöhung des Strombedarfs durch den erhöhten Kühlbedarf ergibt sich demnach nur in der Region Feldbach. Ohne den zusätzlichen Kühlstrombedarf wäre hier ein leichter Rückgang von 2015 auf 2035 zu beobachten. Der Strombedarf von Wels-Land steigt im zeitlichen Verlauf deutlich an aufgrund des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums. Dies wird durch den zusätzlichen Kühlstrombedarf noch verstärkt. In Tamsweg hingegen kommt es zu einem leichten Rückgang von 2015 auf 2035 und der Anstieg durch den zusätzlichen Kühlstrombedarf ist sehr gering.

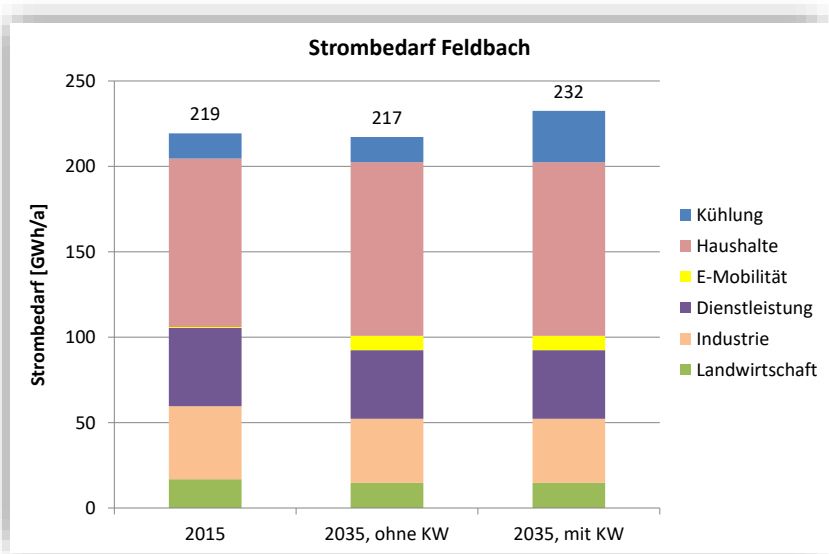
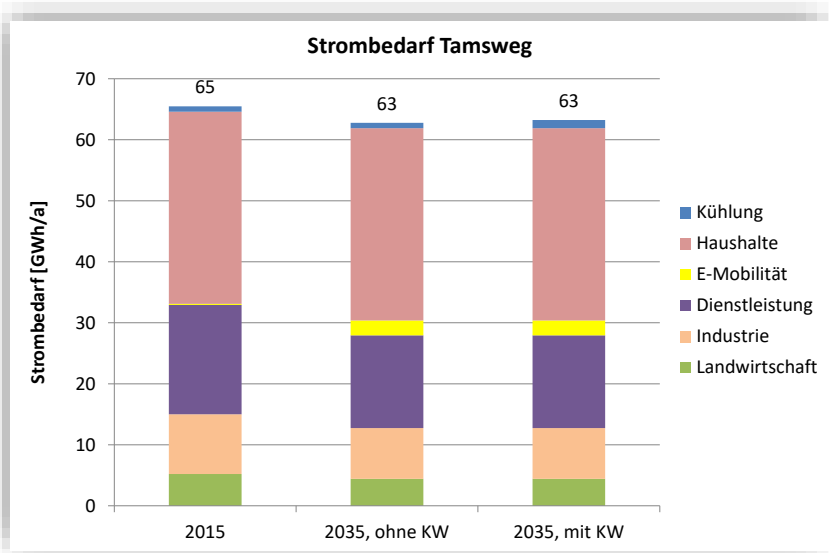
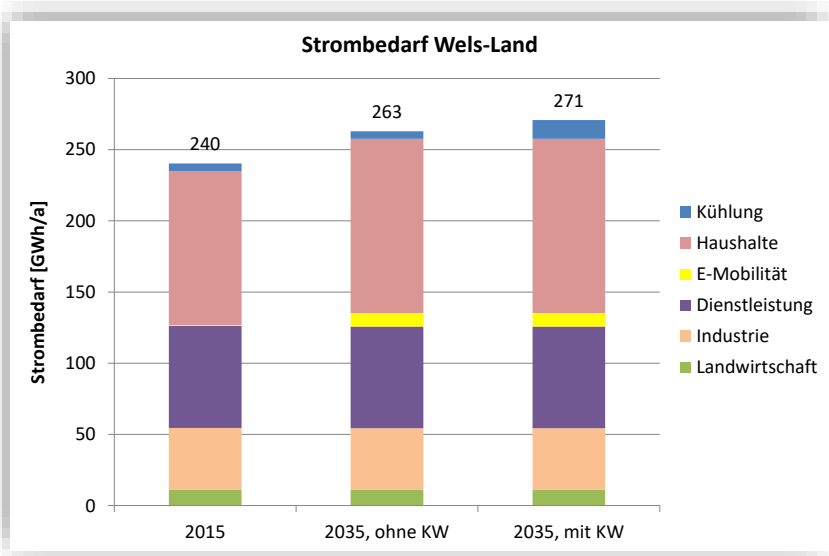


Abbildung 9-2

Übersicht über Entwicklung des Strombedarfs nach Sektoren. Klimamodell SMHI. Ohne Heizstrombedarf.

Von besonderem Interesse ist der klimawandelbedingte Anstieg des regionalen Strombedarfs aufgrund des Kühlbedarfsanstiegs. Hierzu wird der Gesamtstrombedarf für „2035, ohne KW“ mit dem für „2035, mit KW“ verglichen. Die Änderungen des regionalen Strombedarfs sind in Tabelle 9-5 aufgelistet.

Ein sehr deutlicher Anstieg des Strombedarfs durch den Klimawandel (5,6 - 8,3%) ist somit nur in der warmen Region Feldbach zu verbuchen, während Wels-Land (2,6 - 3,3%) einen deutlich geringeren Anstieg sowie Tamsweg eine vernachlässigbare Veränderung (max. 0,7%) aufweisen. Diese Ergebnisse korrelieren mit den Ergebnissen zum Kühlbedarf in den Regionen.

Tabelle 9-5 Anstieg des regionalen Strombedarfs aufgrund des klimawandelbedingten Kühlbedarfsanstiegs. Ohne Heizstrombedarf.

<b>Klimabedingter Anstieg des Strombedarfs</b>			
	<b>DMI</b>	<b>ETHZ</b>	<b>SMHI</b>
Wels-Land	2,6%	3,3%	3,0%
Tamsweg	0,5%	0,0%	0,7%
Feldbach	5,6%	8,3%	7,1%

Ein noch nicht berücksichtigter Effekt ist hier der klimabedingte Rückgang des Heizstrombedarfs sowie der dem entgegenwirkende, bedarfssteigernde Effekt der zukünftigen vermehrten Nutzung von Wärmepumpen (unabhängig vom Klima). Diese Aspekte sind jedoch Teil der Optimierung, wo die bereichsübergreifenden Wechselwirkungen zwischen Wärme- und Strombereich (z.B. bei KWK und Wärmepumpen) modelliert sind.



## 10. Potenziale erneuerbarer Energien

Die Methodik und die Ergebnisse zu den Potenzialen erneuerbarer Energien in den Testregionen stützen sich weitgehend auf die Erkenntnisse in Hausl et al. (2013). Analysiert werden die für die Untersuchung relevanten Energieträger Solar (Photovoltaik, Solarthermie), Umgebungswärme (Wärmepumpe) und Biomasse. Ein expliziter Einfluss des Klimawandels wird dabei nicht berücksichtigt, da dieser hinsichtlich der betrachteten Potenziale wenig relevant oder unsicher ist.

### 10.1 Solarenergie

„Currently, there is no evidence indicating a substantial impact of climate change on regional solar resources“ IPCC (2012)

Auf Basis der Solardaten aus den Klimamodellen (s. Kap. 3.3.2) und dem 250 m Gebäuderaster werden die Solarpotenziale auf Dachflächen für Photovoltaik (PV) und Solarthermie (ST) nach folgender Formel berechnet.

$$Pot_{Solar} = (A_{GF} * f_{Geb}) * \sum_{Monat} (GS_{Monat} * trsp_{Monat}) * \eta_{System}$$

$Pot_{Solar}$	Solarpotenzial je Gebäude
$A_{GF}$	Gebäudegrundfläche
$f_{Geb}$	Mobilisierungsfaktor: Verhältnis geeigneter Dachfläche zu Grundfläche
$GS_{Monat}$	Globalstrahlung pro Monat
$trsp_{Monat}$	Transpositionsfaktor für GS je Monat
$\eta_{System}$	Systemnutzungsgrad: bei PV inkl. Performance Ratio, bei ST inkl. Leitungs- und Speicherverlusten

Wesentlich für das Solarpotenzial sind die zur Verfügung stehenden Dachflächen und somit die in der Zelle vorhandenen Gebäude. Die für Solarflächen verfügbaren Dachflächen werden ausgehend von den Gebäudegrundflächen berechnet. Dabei wird für Einfamilienhäuser ein Schrägdach mit einem Mobilisierungsfaktor von 35% (Biberacher et al., 2010) und bei Mehrfamilienhäusern und Nicht-Wohngebäuden ein Flachdach mit einem Mobilisierungsfaktor von 50% (Lödl et al., 2010) angenommen. Dies gilt für die Berechnung sowohl der PV- als auch der Solarthermie Potenziale. Die verwendeten Nutzungsgrade (9% für PV, 30% für ST) sind Hausladen&Hamacher (2011) entnommen.

Die monatlichen GS-Werte auf die Horizontale werden über monatliche Transpositionsfaktoren (PVGIS, Münzkirchen, aus Biberacher et al., 2010) auf eine Neigung von 35° transformiert, welches die optimale Neigung für PV-Module in weiten Teilen Österreichs ist. So ist der maximale Jahresertrag zu erreichen. Für Solarthermie wird ein Neigungswinkel von 60° angenommen, da so in der Übergangszeit (Frühling / Herbst) und im Winter, wenn niedriger Sonnenstand herrscht, mehr Wärmeertrag erzielt werden kann.

Tabelle 10-1 Aus Globalstrahlung auf verschiedene Neigungen abgeleitete Transpositionsfaktoren nach Monaten und Neigungswinkeln. Quelle: Hausl et al. (2013), Daten aus PVGIS.

	Globalstrahlung [kWh/m <sup>2</sup> ]				Transpositionsfaktoren		
	0°	35°	45°	60°	35°	45°	60°
Jan	27	39	41	42	1,47	1,55	1,59
Feb	43	61	63	64	1,41	1,46	1,48
Mär	90	115	117	115	1,28	1,30	1,28
Apr	139	159	157	146	1,14	1,13	1,05
Mai	162	165	158	141	1,02	0,97	0,87
Jun	170	166	157	137	0,97	0,92	0,81
Jul	168	166	158	140	0,99	0,94	0,83
Aug	142	154	150	137	1,09	1,06	0,97
Sep	99	119	120	115	1,21	1,21	1,16
Okt	63	88	91	91	1,39	1,44	1,44
Nov	32	49	51	53	1,54	1,63	1,69
Dez	22	34	36	37	1,57	1,66	1,73
<b>Jahr</b>	<b>1156</b>	<b>1314</b>	<b>1298</b>	<b>1219</b>	<b>1,14</b>	<b>1,12</b>	<b>1,05</b>

Abbildung 10-1 stellt nach beschriebener Methodik die PV-Potenziale für die Testregionen dar.

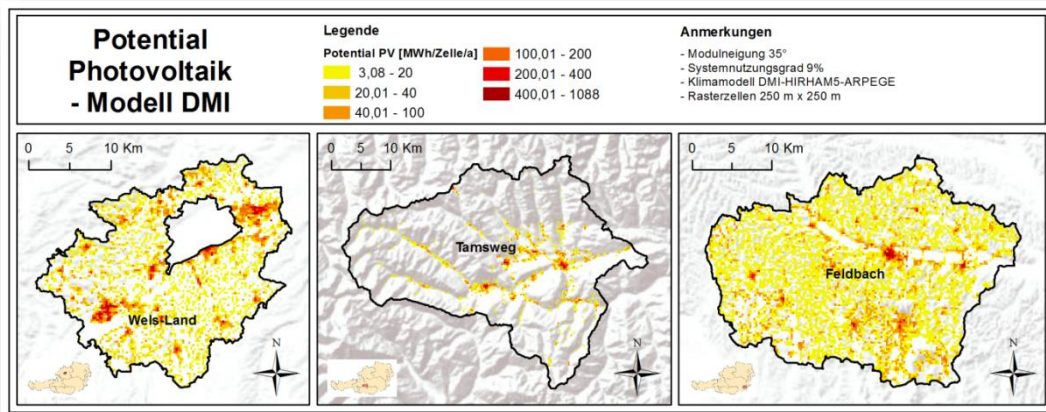


Abbildung 10-1 Potenzial Photovoltaik. Klimamodell DMI, 1981-2010. Quelle: Hausl et al. (2013).

In Tabelle 10-2 sind die regionalen Ergebnisse der Berechnung dargestellt, um einen Überblick über Solarflächen und Potenziale in den Regionen zu gewinnen.

Tabelle 10-2 Verfügbare Solarflächen auf Gebäudedächern und Solarpotenziale. Gebäudepark Stand 2001, Klimaperiode 1981-2010. Quelle: Hausl et al. (2013).

	Solarfläche [m <sup>2</sup> ]	Potential Solarthermie [GWh/a]			Potential PV [GWh/a]		
		DMI	SMHI	ETHZ	DMI	SMHI	ETHZ
Wels-Land	992.574	362	357	358	117	115	116
Tamsweg	337.458	132	129	130	42	41	41
Feldbach	976.305	383	379	384	123	122	123

Kommentar: Bei Systemnutzungsgraden Solarthermie 30% und PV 9% (Hausladen&Hamacher, 2011)

Die Potenziale zwischen den Klimamodellen unterscheiden sich kaum, da die zugrunde liegenden Strahlungsmengen einander sehr ähnlich sind. Die Potenziale von ST und PV unterscheiden sich in der Berechnung über die verwendeten Transpositionsfaktoren durch die unterschiedlichen Neigungen und die verwendeten Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade. Beachtenswert ist, dass die etwas höhere GS in

Feldbach (s. auch Tabelle 3-1) dazu führt, dass dort trotz geringerer Solarflächen als in Wels-Land höhere Solarpotenziale vorliegen.

Auch die Potenziale der anderen Zeit- und Klimaperioden sind den oben gezeigten ähnlich, da sich die Globalstrahlung kaum ändert. In diesem Zusammenhang sind lediglich die veränderten Solarflächen und Lerneffekte bezüglich der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade der verwendeten Technologien von Bedeutung. Diese Effizienzsteigerungen sind im Kapitel über die Technologiedaten erläutert (s. Kap. 11.1.7).

Werden die Ergebnisse in Bezug zum entsprechenden Wärme- und Strombedarf gesetzt, ergibt sich der theoretisch maximal erzielbare Deckungsanteil der Solarenergie, wobei dieser nur auf bilanzieller Betrachtungsweise beruht und somit an dieser Stelle die für Solartechnologien sehr wichtige zeitliche Übereinstimmung zwischen Erzeugung und Verbrauch komplett außen vor lässt. Dennoch werden die theoretischen Deckungsanteile unter Verwendung der vorgestellten Solarpotenziale aus dem Jahr 2001 und dem Wärme- und Strombedarf aus dem Jahr 2015 (Klima SMHI) berechnet, wodurch sich Werte von 38-51% für Solarthermie und 48-63% für Photovoltaik ergeben.

## 10.2 Umgebungswärme (Wärmepumpe)

*“Climate change is not expected to have any major impacts on the effectiveness of geothermal energy” IPCC (2012)*

Berücksichtigt werden Erdreichwärmetechnologien wie Flächenkollektoren und Tiefensonden unter Einsatz elektrischer Wärmepumpen (WP), da diese die häufigsten Vertreter der Umgebungswärmetechnologien sind (Wagner, 2009). Die Temperaturspreizung zwischen Wärmequelle und Heizvorlauf sollte aufgrund der Effizienz nicht zu hoch sein, weshalb nur die Nutzung von Heizsystemen mit geringen Vorlauftemperaturen (hier: Niedertemperatur) und großflächigen Wärmeabgabeflächen (z.B. Fußbodenheizung) sinnvoll ist. Das Potenzial wird deshalb begrenzt durch die Möglichkeit zur Niedertemperatur-Heizungsversorgung, welche von den Gebäudemerkmalen (Dämmstandard, Baualter, etc.) abhängt. Der Ansatz beruht auf der Definition technischer Potenziale, die u.a. die Möglichkeit zur Nutzung der Potenziale voraussetzt. Dies wird entscheidend durch den auftretenden Bedarf, hier also den Wärmebedarf der jeweiligen Gebäude, beeinflusst. Die verfügbare Fläche für Kollektoren oder Sonden wird nicht als begrenzender Faktor angenommen, da die Testregionen im ländlichen, eher dünnbesiedelten Raum anzutreffen sind, wo von ausreichend großen Freiflächen um die Gebäude ausgegangen wird.

Das Potenzial der Umgebungswärme wird somit bestimmt über den Wärmebedarf der Gebäude, die per Definition sinnvoll mit Niedertemperatur-Wärme versorgt werden können. Diese Information liegt letztlich auch räumlich vor und wird so auch in den Optimierungen in Kap. 11 verwendet. Als Niedertemperatur- und somit Umgebungswärme-kompatible Gebäude werden alle Wohngebäude ab Bauperiode 1991 und Nicht-Wohngebäude ab Bauperiode 1981 (Standard-Energieklasse), sowie alle sanierten Gebäude angenommen.

Hierdurch ergeben sich verhältnismäßig hohe Potenziale für die Umgebungswärme, wie in Abbildung 10-2 für die Jahre 2015 und 2035 und für zwei unterschiedliche Klimaperioden zu sehen ist. Die Einflussparameter auf die Entwicklung der Umgebungswärme-Potenziale sind die bedarfssenkende Klimaerwärmung und die Entwicklung des Gebäudeparks (Sanierungen und neue Haushalte). Die Sanierungstätigkeiten wirken dabei zum einen bedarf- und somit potenzialsenkend, zum anderen jedoch werden Gebäude durch die Sanierung teilweise Umgebungswärme-kompatibel und tragen dadurch zu einer Erhöhung der Potenziale bei. Weiterhin hat die Entwicklung der Haushaltszahlen einen

Einfluss, da die neuen Haushalte auch in die Kategorie der Wärmepumpen-kompatiblen Gebäude fallen. Der Anteil des Potenzials am gesamten Wärmebedarf liegt für das Jahr 2015 (Klima SMHI) zwischen 32 und 38% und erhöht sich durch den Rückgang des regionalen Wärmebedarfs und des gleichzeitigen Potenzialanstiegs im zeitlichen Verlauf.

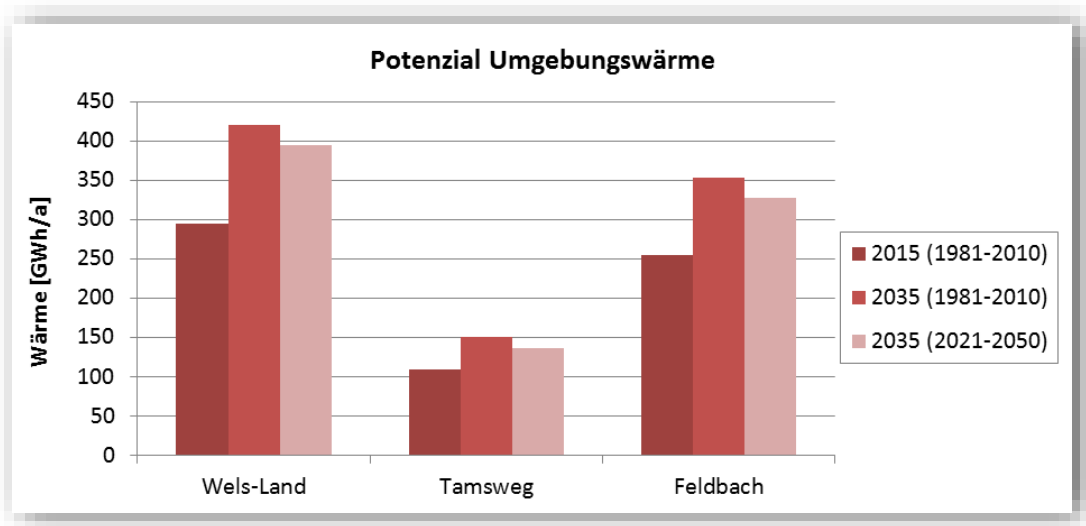


Abbildung 10-2 Potenzial Umgebungswärme (Wärmepumpe) anhand Niedertemperatur-Wärmebedarf mit Klimamodell SMHI. Unterschieden nach Zeitpunkt der Betrachtung und Klimaperiode.

### 10.3 Biomasse

Österreich ist aufgrund seiner weiträumigen Waldflächen (ca. 47% der Landesfläche ist bewaldet) ein traditionelles „Holzland“ (Kalt, 2010). Dies spiegelt sich auch in der Struktur der Energieversorgung wider, wo hölzerne Biomasse vor allem im Wärmebereich eine große Rolle spielt. Der Anteil von Holz<sup>35</sup> am Bruttoinlandsverbrauch für Bioenergie beträgt etwa 80%. Biogas spielt demgegenüber keine große Rolle, wie es etwa in Deutschland der Fall ist. Dennoch werden auch landwirtschaftliche Flächen als potentielle Energieflächen betrachtet. Der Einfluss des Klimawandels auf Forst- und Landwirtschaft wird anhand von Forschungsergebnissen kurz angesprochen, aber nicht in der Modellierung angewendet. Die Ergebnisse sind Hausl et al. (2013) entnommen.

#### 10.3.1 Forstwirtschaftliche Biomasse

##### Einfluss des Klimawandels

Wälder sind durch den Klimawandel betroffen. In Nordeuropa wird durch das mildere Klima von allgemein verbesserten Bedingungen für Waldflächen und somit einer Erweiterung der Waldflächen ausgegangen, während in Südeuropa durch die sehr hohen Temperaturen und geringen Niederschlägen das Gegenteil der Fall ist (CEPS, 2010). In Österreich muss aufgrund des heterogenen Klimas regional differenziert werden.

Insbesondere die Klimaparameter Temperatur und der saisonale Niederschlag gelten als wichtige Einflussparameter auf die Nettoprimärproduktion des Waldes. Ein Ansteigen der Temperaturen fördert prinzipiell das Wachstum, sofern ausreichend Wasser, z.B. in Form von Niederschlägen, zur Verfügung steht. Dies wird jedoch nicht überall der Fall sein. Eine mögliche Häufung von Extremereignissen wie

<sup>35</sup> v.a. Brennholz, Hackschnitzel, Sägenebenprodukte, Rinde

Stürmen (Leckebusch et al., 2006), Hitzeperioden oder extremer Trockenheit könnte ebenso starke Auswirkungen auf die Wälder haben. Störungen wie Windwürfe oder Borkenkäferschäden, die bereits heute großen Einfluss auf die Waldbewirtschaftung haben, sind direkt oder indirekt vom Klima abhängig und somit auch vom Klimawandel betroffen. Gerade diese Phänomene sind schwer zu modellieren und prognostizieren (Lexer&Seidl, 2007).

Aus anderen Forschungsergebnissen (Dobbertin&Giuggiola, 2006) wird berichtet, dass in hoch gelegenen Regionen in den Alpen von einem Zuwachs des Forsts ausgegangen wird, der somit auch die energetischen Holz-Potenziale ansteigen lassen wird, während in niedrigeren Lagen das Gegenteil der Fall ist. Was die energetische Nutzung der forstlichen Biomasse betrifft, so wird dennoch von einem relativ geringen Einfluss des Klimawandels ausgegangen.

Da sowohl die Berücksichtigung der Klimas als auch der möglicherweise noch wichtigere Faktor von Störungen wie Stürmen, Waldbränden, Dürren und Schadinsekten nur schwer zu modellieren ist und der Einfluss auf die zukünftige Energieversorgung als gering eingeschätzt wird, wird eine Modellierung der forstwirtschaftlichen Potenziale unter gleichbleibenden Bedingungen durchgeführt.

### Methodik und Ergebnisse

Für die Modellierung regionaler Potenziale aus forstwirtschaftlicher Biomasse werden im vorliegenden Ansatz (Hausl et al., 2013) bestehende Waldflächen betrachtet, wobei die digitale Katastermappe (DKM) und statistische Daten der Forstinventur als Datengrundlagen für die Abschätzung der forstwirtschaftlichen Flächen dienen. Informationen zu spezifischen Ertragspotenzialen auf Bezirksebene liefert die Österreichische Waldinventur (BWF, o.J. und Bundesamt für Wald). Der Modellansatz unterscheidet die vier Ertragsarten: Brennholz, Schleifholz, Spezialexport oder Sägerundholz. Diese vier Ertragsarten verfügen über fixe Anteile an der forstwirtschaftlichen Ernte, wobei jedoch eine zusätzliche Differenzierung zwischen Nadel- und Laubwald gegeben ist.

Die Durchführung der beschriebenen Methodik ergibt folgende Ergebnisse zu den forstwirtschaftlichen Potenzialen, aufgeteilt auf die typischen Nutzungskategorien. Es fallen sehr große Unterschiede zwischen den Regionen auf. So sind die forstwirtschaftlichen Potenziale in Wels-Land sehr niedrig, in Tamsweg sehr hoch, während die Werte für Feldbach in etwa dazwischen liegen.

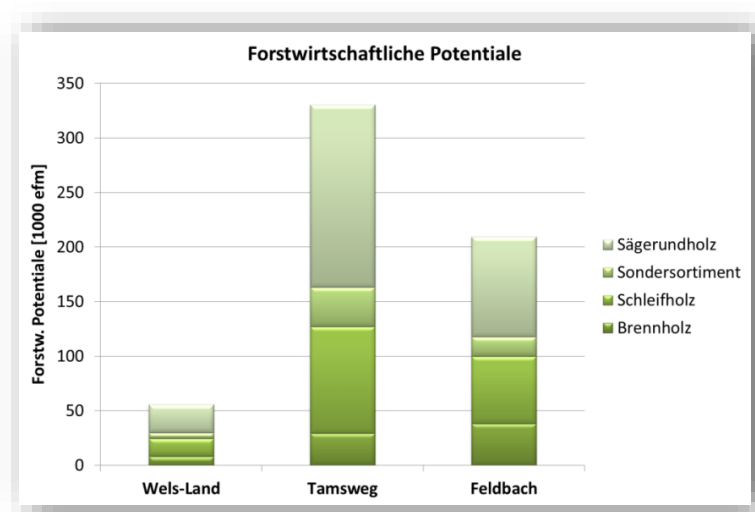


Abbildung 10-3 Aggregierte forstwirtschaftliche Biomassepotenziale (in efm = Erntefestmeter).  
Quelle: Hausl et al. (2013).

Die Karten in Abbildung 10-4 zeigen Ergebnisse zu den forstwirtschaftlichen Biomassepotenzialen in den Regionen (v.l.n.r.: Wels-Land, Tamsweg, Feldbach).

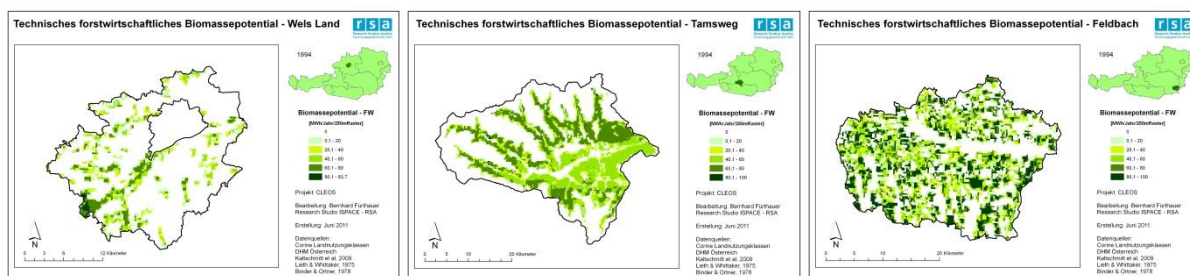


Abbildung 10-4 Darstellung forstwirtschaftlicher Biomassepotenziale. Quelle: Hausl et al. (2013).

### 10.3.2 Landwirtschaftliche Biomasse

#### Einfluss des Klimawandels

Wasserhaushalt und Temperaturen sind die klimatisch wichtigsten Einflussparameter auf die Wachstumsverhältnisse in der Landwirtschaft. Höhere Temperaturen, wie sie in allen Klimaszenarien erwartet werden, bewirken dabei u.a. eine zügiger ablaufende Entwicklungsrate bei Pflanzen, welche sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Abnehmende oder stagnierende Sommer-niederschläge bei einer ganzjährigen Erwärmung führen hingegen zu einer Zunahme des Verdunstungspotenzials und einem Trend zur Trockenheit (Eitzinger, 2009), was negativ auf das Wachstum wirkt. Darüber hinaus werden in der Fachliteratur weitere Effekte des Klimawandels auf die Landwirtschaft genannt, welche sich teils gegenseitig beeinflussen. Kranzl et al. (2010) listen hierzu die negativen als auch positiven Effekte des Klimawandels auf die Landwirtschaft wie folgt auf.

Tabelle 10-3 Relevante Trends bezüglich der Effekte des Klimawandels auf die Landwirtschaft in Österreich. Quelle: Eigene Abbildung nach Kranzl et al. (2010).

Negative Effekte	Positive Effekte
- Änderungen der saisonalen Niederschlagsmuster (zunehmend im Winter, abnehmend im Sommer)	+ Verlängerung der Vegetationsperioden
- Häufung von Extremereignissen (Hochwasser/Überflutungen im Winter, Trockenperioden im Sommer)	+ Gesteigertes Wachstum durch CO <sub>2</sub> -Düngung
- Gefahr zunehmender Bodenerosion und -versalzung	+ Kulturartenspezifische Verschiebung der Anbauggebiete
- Möglicherweise zunehmender Schädlingsdruck, verstärkter Unkrautdruck, häufigeres Auftreten von Pflanzenkrankheiten	

Großteils ist noch nicht bekannt, inwieweit sich negative und positive Klimawirkungen gegenseitig beeinflussen (Weigel, 2011). Dies ist jedoch von entscheidender Bedeutung für zukünftige Erträge. Durch die relative Ungewissheit über die Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Flächen und der geringen Verwendung landwirtschaftlicher Bioenergie wird hier auf eine Klimaanpassung verzichtet und unter gleichbleibenden Bedingungen modelliert.

#### Methodik und Ergebnisse

Die Daten für die landwirtschaftliche Biomassemodellierung werden primär aus dem Projektbericht zu „Energie und Raumentwicklung“ der ÖROK (Prinz et al., 2009) entnommen. Hier wurden

landwirtschaftliche Flächen auf räumlich hochaufgelöster Basis in verschiedene Ertragsklassen eingeteilt und bewertet. Folgende Abbildungen zeigen hierzu landwirtschaftliche Potenziale in den Regionen. In Tamsweg werden dabei einige Gebiete durch Merkmale wie etwa zu hohen Hangneigungen, Seehöhen oder auch Schutzgebieten nicht berücksichtigt, so dass nur noch wenige landwirtschaftliche Flächen angezeigt werden.

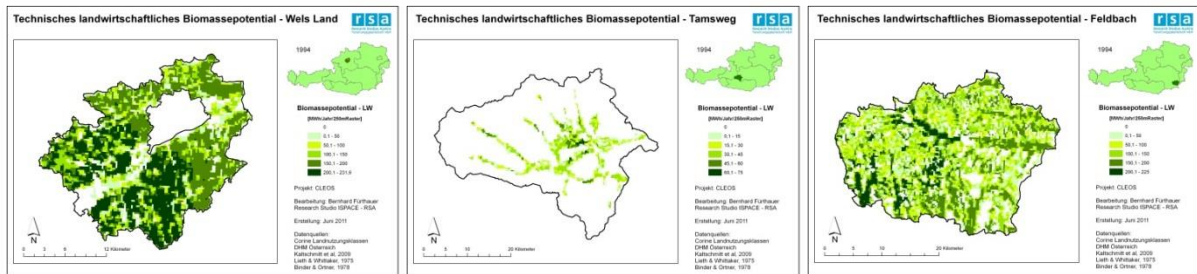


Abbildung 10-5 Darstellung landwirtschaftlicher Biomassepotenziale. Quelle: Hausl et al. (2013).

### 10.3.3 Energetisch nutzbare Biomasse

Wie hoch die maximale energetische Biomasse-Nutzung in einer Region ausfallen kann, war Teil der Lösungsfindung im Modell ORES (Schardinger et al., 2012) innerhalb des CLEOS Projekts (Hausl et al., 2013), wo auch Nutzungskonkurrenzen, etwa zur stofflichen Holznutzung (z.B. für Möbelherstellung, Papierindustrie) oder zur nicht-energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Flächen, abgebildet wurden. Die im ORES Modell maximal genutzten Biomasse-Anteile dienen in den Optimierungen mit dem Modell RESRO als regionalspezifische Obergrenzen für die energetisch verfügbare Biomasse. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10-6 dargestellt. Die beiden niederwertigsten Holz-Nutzungsarten (Brennholz und Schleifholz) werden voll energetisch genutzt. Gülle stellt das überwiegende Biogas-Substrat dar, da kaum landwirtschaftliche Flächen für die Energieversorgung genutzt werden.

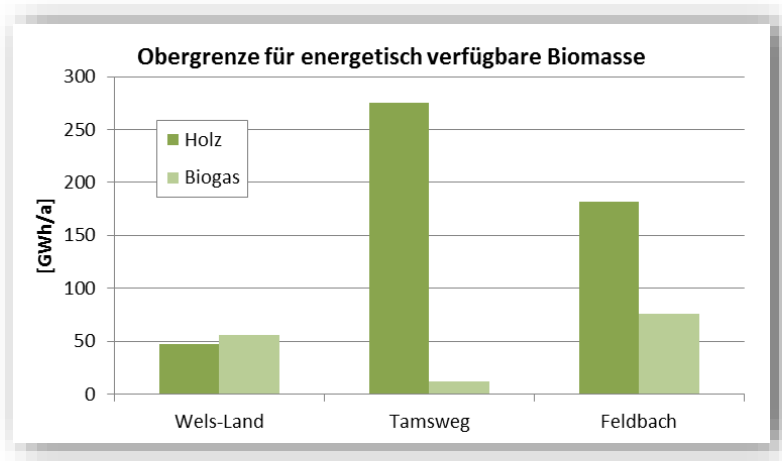


Abbildung 10-6 Obergrenze für energetisch verfügbare Biomasse. Quelle: Hausl et al. (2013).

## 10.4 Zusammenfassung

Die Potenziale der betrachteten erneuerbaren Energien (Solar, Umgebungswärme, Biomasse) weisen geringe klima-induzierte Änderungen auf.

Die für die Solarpotenziale relevante Globalstrahlung ändert sich laut den verwendeten Klimadaten kaum merklich, so dass hier der Einfluss des Klimawandels als nahezu vernachlässigbar angesehen werden kann. Entscheidender für den Einsatz der Solartechnologien ist der rapide Preisverfall der letzten Jahre, der auch für die kommenden Jahre weiter angenommen wird. Dadurch werden PV-Module und Solarthermie-Flächen weiter an Attraktivität gewinnen und dadurch möglicherweise mehr zum Einsatz kommen. Außerdem wird teils eine Erhöhung der Wirkungsgrade angenommen, was die Solarpotenziale bei gleichbleibenden verfügbaren Flächen stark steigern würde. Der Anstieg der Temperaturen, der vor allem im Sommer, wenn Solarflächen den höchsten Energieertrag generieren, stärker ausgeprägt sein wird, führt tendenziell zu einer Verringerung der Wirkungsgrade und somit der Potenziale. Dieser Wirkungsgradverlust wird jedoch als gering eingestuft und nicht weiter berücksichtigt.

Die Umgebungswärme weist ähnlich wie die Solartechnologien nur geringe Klimasensitivität auf. Eine Temperaturerhöhung der Wärmequellen wird als vernachlässigbar eingeschätzt, zumal die möglichen Potenzialerhöhungen durch den gleichzeitig sinkenden Wärmebedarf relativiert werden. Als entscheidender für die zukünftige Nutzung der Umgebungswärme erweist sich der Anteil der Gebäude, die ohne hohen Zusatzaufwand mit der Wärmepumpentechnologie versorgt werden können. Für Gebäude mit derzeitigem und zukünftigem Bau- und Dämmstandard ist dies der Fall, so dass durch neue Gebäude auch das Potenzial der Umgebungswärme- bzw. Wärmepumpentechnologie ansteigt. Ähnliches gilt für sanierte Gebäude, wobei hier eine individuelle Einschätzung erfolgen sollte.

Die klimabedingten Änderungen der energetischen Nutzung von Biomasse sind an den allgemeinen Effekten auf die Forst- und Landwirtschaft abzulesen. Höhere Gebiete, wie die Region Tamsweg, profitieren von höheren Temperaturen, solange sich die Niederschläge nicht stark verringern. Sehr geringe Niederschläge im Sommer könnten jedoch in anderen Regionen zu Rückgängen beim Biomasseertrag führen. Die sich ändernden klimatischen Bedingungen (Hitze, Dürre) führen zudem zu verschlechterten Bedingungen für Nadelwälder, so dass eine Überführung in Laub- oder Mischwälder sinnvoll erscheint (Kranzl et al., 2010). Anders als bei den Solarenergie- und Umgebungswärme-Potenzialen ist die Landnutzungsstruktur entscheidend für die Höhe des Biomasse-Potenzials, so dass die primär relevanten Holz-Potenziale in der dünn besiedelten, aber stark bewaldeten Region Tamsweg am höchsten sind.



# 11. Regionale Energiesystemoptimierung

Im folgenden Abschnitt werden die Methodik und die Ergebnisse zur regionalen Energiesystemoptimierung beschrieben. Hierbei kommt das Optimierungsmodell RESRO zum Einsatz, welches ausführlich vorgestellt wird. Durch die zusätzliche Erläuterung der getroffenen Annahmen und spezifischen Einschränkungen werden zudem die Ergebnisse besser verständlich und nachvollziehbarer.

## 11.1 Methodik

### 11.1.1 Modellgrundlagen

Detailanalysen der Ausgestaltung eines Energiesystems werden durch eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung ermöglicht, wobei je nach Zielsetzung und aufgrund der unterschiedlichen Speicher- und Transporteigenschaften von Wärme und Strom der jeweilige Detailgrad unterschiedlich gewählt werden sollte. So ist laut Hausl&Biberacher (2012) auf regionaler Ebene im Wärmebereich die räumliche Komponente und im Strombereich die zeitliche Komponente hervorzuheben.

Das techno-ökonomische Energiesystemmodell RESRO (Reference Energy System Regional Optimization) ermöglicht deshalb Optimierungen des regionalen Energiesystems mit Fokus auf der räumlich detaillierten Betrachtung des Wärmebereichs und der zeitlich detaillierten Betrachtung des Strombereichs. Das auf linearer Programmierung basierende Modell ist in der Optimierungssoftware GAMS (General Algebraic Modeling System) implementiert. Ziel ist es, die kostengünstigste Art der Energiebedarfsdeckung für Wärme und Strom unter Einhaltung verbindlicher Vorgaben zu finden.

Um Wechselwirkungen zwischen Wärme- und Strombereich darzustellen, wird eine integrative Modellierung bereichsübergreifender Technologien wie Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Wärmepumpen angewendet. Weiterhin werden die regionale Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und technologiespezifische Einschränkungen explizit berücksichtigt. Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Modellierungen zum Wärme- und Strombedarf sowie zu den Potenzialen erneuerbarer Energien werden dabei als Eingangsdaten verwendet. Somit können die mit RESRO durchgeführten Szenarienrechnungen zur Ableitung von Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung beitragen, welche an regionale Rahmenbedingungen angepasst sind.

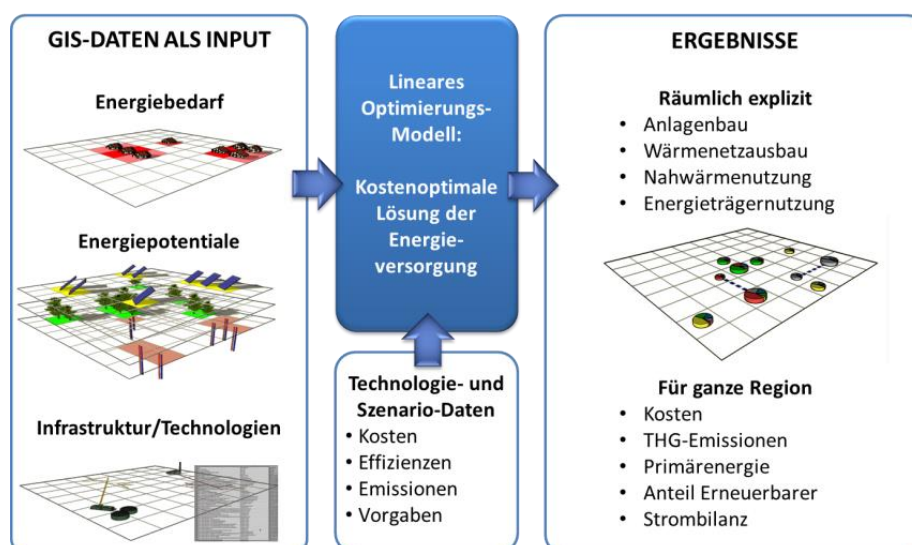


Abbildung 11-1 Modellverbund des Optimierungsansatzes mit RESRO im Zentrum (blaues Feld).

Der Optimierungszeitraum pro Szenario umfasst ein Jahr (Snap-Shot Ansatz), in welchem die Rahmenbedingungen (z.B. Preise) konstant bleiben. Die zu minimierende Zielfunktion beinhaltet sämtliche in einem Jahr anfallenden Investitions-, Wartungs- und Betriebs- sowie Brennstoffkosten innerhalb des Energiesystems. Die Investitionskosten werden dabei aus Gründen der Vergleichbarkeit per Annuitätsmethode über die Lebensdauer auf ein Jahr umgerechnet. Die betrachteten Energiewandlungstechnologien umfassen neben dezentralen Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung auch zentrale Heiz- und Heizkraftwerke und entsprechende Nahwärmenetze sowie dezentrale Stromerzeuger (hier: PV).

Die Deckung des Wärmebedarfs wird auf Rasterebene dargestellt. In diesem Fall wird mit der 250 m Auflösung des verwendeten Gebäuderasters gearbeitet. So können auch jene Gebiete identifiziert werden, die eine ausreichend hohe Wärmebedarfsdichte aufweisen, um Nahwärmenetze zu installieren oder auszubauen. Die Entscheidung zur zentralen Wärmeversorgung und die entsprechende Ausdehnung der Nahwärmenetze ist dabei Teil der Optimierung. Weiterhin kann dadurch die räumliche Verfügbarkeit erneuerbarer Energien berücksichtigt werden. Auf der zeitlichen Ebene wird im Wärmebereich zwischen den drei Jahreszeiten Winter, Übergang (umfasst Herbst, Frühling) und Sommer unterschieden. Eine kurzzeitige Wärmespeicherung wird dabei implizit vorausgesetzt, eine saisonale jedoch außen vor gelassen.

Im Gegensatz dazu steht im Strombereich eine hohe zeitliche Auflösung im Vordergrund, um die zeitliche Übereinstimmung zwischen Erzeugung und Verbrauch zu analysieren. Basierend auf typischen Stromlastprofilen für sechs repräsentative Typtage pro Jahr wird der Strombereich in einer Auflösung von 2 Stunden modelliert. Dabei kann beobachtet werden, zu welcher Zeit wieviel Strom regional erzeugt wird und inwieweit dieser ausreicht, um die Stromlast zu decken. Eine Stromspeicherung wird nicht berücksichtigt, da eine mögliche Diskrepanz von Stromerzeugung und Stromlast über den regionalen Stromimport und -export bewerkstelligt wird.

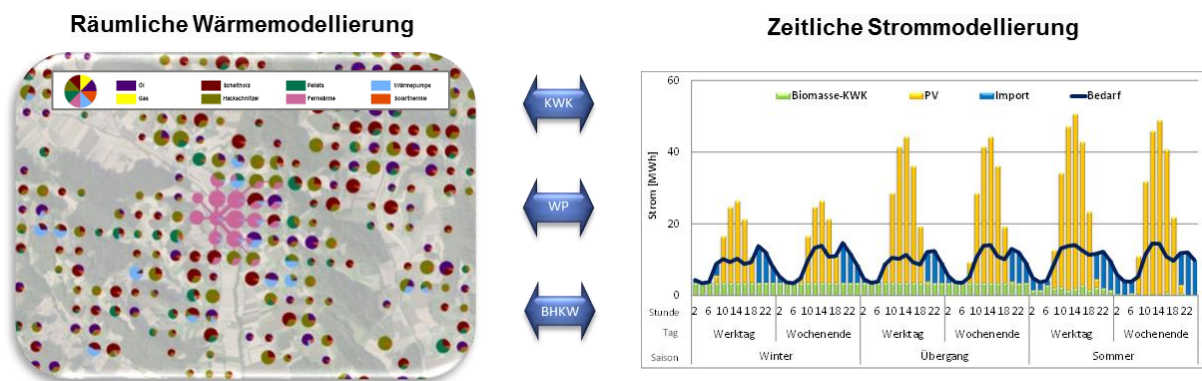


Abbildung 11-2 Darstellung der integrativen Wärme- und Strommodellierung. Exemplarisches Ergebnis mit RESRO. Linke Abb.: Ausschnitt aus räumlich disaggregierter Wärmeerzeugung nach Energieträgern inkl. Fernwärmefläßen (rosa) im 250 m Raster. Rechte Abb.: Strombilanz in 2-stündiger Auflösung an 6 Typtagen.

### Einbindung der Potenziale erneuerbarer Energien

Von besonderem Interesse, insbesondere vor dem Hintergrund von Diskussionen zur Energieautarkie oder zur Dezentralisierung der Energieversorgung, ist auch die Nutzung regional verfügbarer erneuerbarer Energieträger. Diese werden auf Basis der vorangegangenen Modellierungen zu den Potenzialen erneuerbarer Energien (Kap. 10) folgendermaßen in die Optimierungen eingebunden. Ob diese Potenziale genutzt werden, ist Teil der kostengetriebenen Optimierung.

- Solarenergie (Photovoltaik & Solarthermie): wird zellengenau begrenzt über vorhandene geeignete Solarflächen. PV und ST konkurrieren um diese Flächen. Auch die monatliche Globalstrahlung

(aus den Klimamodellen) wird zellengenau eingebunden und an die zeitliche Auflösung im Wärme- (saisonal) und Strombereich (stündlich über typischen Tagesverlauf) angepasst.

- Umgebungswärme (Wärmepumpe): wird zellengenau begrenzt über möglichen Wärmeabsatz (hier: saisonaler Wärmebedarf der geeigneten Gebäude).
- Biomasse: je Biomasse-Art (hier: Holz, Biogas) wird eine regionale Obergrenze vorgegeben, da die Möglichkeit zum regionsinternen Transport aufgrund der geringen Größe der Regionen vorausgesetzt wird.

Wind- und Wasserkraft werden im Übrigen nicht berücksichtigt, da beide eher zum überregionalen Stromsystem gezählt werden. Weiterhin sind die Wasserkraft-Potenziale weitgehend ausgeschöpft und der Windkraft wird in den Testregionen aufgrund des Widerstands aus der Bevölkerung und schlechter Windverhältnisse nur geringes Potenzial eingeräumt.

### 11.1.2 Übersicht über mögliche Ergebnisparameter und typische Fragestellungen

Folgende Ergebnisparameter können mit dem Modell RESRO berechnet werden und somit diese typischen Fragestellungen beantwortet werden, auch wenn in dieser Arbeit aufgrund des gesamtregionalen Fokus nicht auf alle genannten Aspekte eingegangen wurde.

- Ausbau und Betrieb der Anlagen:
  - Wie viel von welcher Technologie (z.B. in kW Leistung) soll installiert werden, um die Ziele zu erreichen und wie viel Energie erzeugen diese Anlagen?
  - Wie müssen die Anlagen betrieben werden bzw. auf wie viele Volllaststunden kommen die Anlagen?
- Energieträgermix: Zu welchen Anteilen tragen die verwendeten Energieträger zur Energieversorgung bei?
- Kosten: Welche Kosten für Investitionen, Betrieb, Brennstoff und Stroman- und -verkauf fallen an?  
Anmerkung: Die Summe aller jährlich anfallenden Kosten ist die sog. Zielfunktion, welche minimiert wird.
- Treibhausgasemissionen: Durch welche Energieträger fallen wie viele THG-Emissionen an?
- Primärenergie: Durch welche Energieträger fällt wie viel Primärenergieaufwand an?
- Anteil Erneuerbarer: Wie hoch ist der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Energieversorgung?
- Selbstversorgungsgrad:
  - Wie viel der genutzten Energie stammt aus der Region?
  - Ist die 100%-ige Selbstversorgung (=Autarkie) möglich?
- Nahwärme:
  - Wie hoch ist der ökonomisch-ökologisch sinnvolle Anteil an Nahwärme?
  - Welche Gebiete können sinnvoll mit Nahwärme versorgt werden?
  - Wie ist der optimale Netzverlauf?
  - Wo sind die optimalen Standorte für Heizwerke?
  - Welche Wärmeverluste treten bei der Wärmeverteilung auf?

Für nahezu alle genannten Parameter können szenarienspezifische Vorgaben oder Ziele festgelegt werden, so dass die kostenoptimale Lösung unter Einhaltung dieser Vorgaben gefunden wird. Sinnvolle Vorgaben für Szenarien können die Einhaltung von Emissionszielen, ein gewünschter Mindestgrad an energetischer Selbstversorgung oder ein Mindestanteil an erneuerbaren Energieträgern sein. Durch die kostengetriebene Optimierung und die Variation bestimmter Vorgaben kann auch eine

Kostensensitivitätsanalyse durchgeführt werden, welche Kostenveränderungen bei Änderung der Zielvorgaben analysiert.

### Zusatzanwendung: Fokus auf räumliche Optimierung von Wärmenetzen

Beim Fokus auf die räumliche Optimierung von Wärmenetzen sind folgende Anwendungen möglich, die in dieser Arbeit in vereinfachter Form (Rasteransatz) bzw. nur zum Teil zum Einsatz kamen. So wurde beispielsweise die optimale Standort-Auswahl von Heiz(kraft)werken in dieser Arbeit aufgrund der rechnerischen Komplexität ausgeklammert. Ebenso kann anstatt der hier angewendeten Modellierung des Wärmenetzes auf Rasterebene (s. Abbildung 11-3) auch eine räumlich deutlich detailliertere Modellierung, z.B. auf Punkt- oder Straßenzugsebene (s. Abbildung 11-4), durchgeführt werden.

Mögliche Anwendungen:

- Integrative Ermittlung der optimalen Auslegung und des Betriebs der Wärmeerzeugungstechnologien inkl. optimaler Ausdehnung und Verlauf des Wärmenetzes
- Identifikation von Subclustern des Wärmebedarfs im Versorgungsgebiet für eine mögliche Dezentralisierung der Versorgung durch mehrere Kraftwerks- oder Einspeisestandorte
- Auswahl von optimalen Kraftwerksstandorten, angepasst an die Verteilung des Wärmebedarfs und andere räumliche Indikatoren (z.B. Flächenverfügbarkeit, notwendige Infrastruktur)
- Dimensionierung von Kraftwerkskapazitäten, angepasst an die Höhe des Bedarfs und den Lastverlauf. Hierfür wird eine detaillierte Modellierung des Wärmebedarfs benötigt.
- Kraftwerks-Einsatzplanung (auch für KWK), angepasst an das zeitliche Aufkommen des Bedarfs. Kostensoptimale, zeitlich detaillierte Aufteilung der Wärmelasten auf verschiedene Erzeugungseinheiten (Grund-, Mittel-, Spitzenlast)
- Ermittlung des topologisch optimalen Netzverlaufs, angepasst an den räumlich auftretenden Bedarf und unter Berücksichtigung kurzer und somit energieeffizienter Transportdistanzen
- Identifikation und Berücksichtigung relevanter Wärmequellen als potenzielle Einspeisepunkte in eine Netzinfrastruktur
- Modellierung der Energieflüsse im Wärmenetz zur Netzauslegung und zur Berechnung der Übertragungsverluste
- Berechnung von Kosten, Systemeffizienz und Treibhausgasemissionen, um verschiedene Lösungen und Szenarien vergleichen zu können.

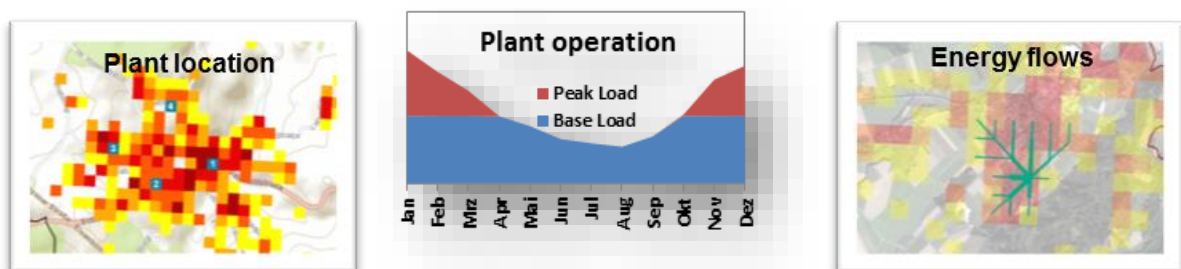


Abbildung 11-3 Mögliche Anwendungen: Auswahl von Heiz(kraft)werks-Standorten, Heiz(kraft)werks-Einsatzplanung (hier auf Monatsbasis) und Wärmeflüsse auf Rasterebene (räumliche Auflösung). Exemplarische Ergebnisse mit RESRO.

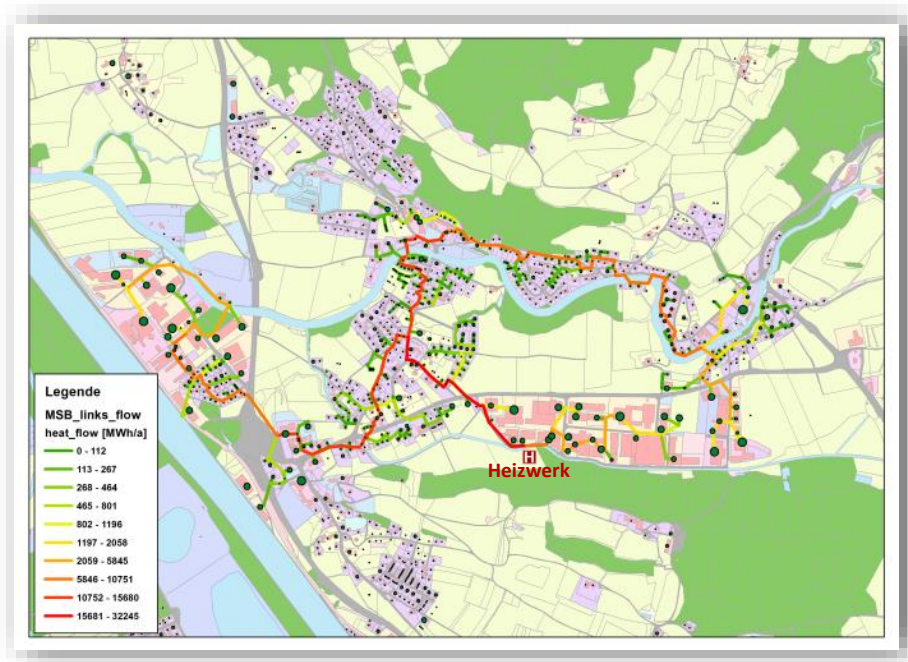


Abbildung 11-4 Wärmenetzausbau und Wärmefluss, gespeist durch ein 12 MW<sub>th</sub> Heizwerk, basierend auf räumlich explizitem Wärmebedarf (dargestellt durch nach Größe unterschiedene Kreise). Exemplarisches Ergebnis mit RESRO auf Punktebene (räumliche Auflösung).

### 11.1.3 Modellgleichungen

Folgend sind die Modellgleichungen und deren Funktion aufgelistet. Um höchstmögliche Transparenz und die Möglichkeit zur Nachvollziehbarkeit und Reproduktion zu gewährleisten, sind die detaillierten Gleichungen im Anhang in Kap. 14.1 zu finden.

- 1 Kostenfunktion (Zielfunktion, zu minimieren): enthält alle Kosten innerhalb eines Jahres
- 1 Wärmelastdeckung: Deckung des saisonalen Wärmebedarfs je Rasterzelle
- 1 Stromlastdeckung: Deckung der 2-stündlichen Stromlast an den sechs Typtagen
- 2 KWK-Gleichungen: verknüpft 2-stündliche Stromerzeugung mit saisonaler Wärmeerzeugung für KWK (Großanlagen) bzw. BHKW (Kleinanlagen)
- 8 Kapazitäts-Aktivitäts-Gleichungen: beschränkt Energieerzeugung über installierte Kapazität; unterteilt nach verschiedenen Technologiearten (thermisch/KWK, dezentral/zentral, Solarthermie, PV) und zeitlichen Auflösungen (jährlich, saisonal, 2-stündlich)
  - dezentrale Wärmetechn. - jährlich über zellengenaue Volllaststunden
  - dezentrale Wärmetechn. - saisonal
  - dezentrale Stromtechn. (primär BHKW) - jährlich
  - dezentrale Stromtechn. (primär BHKW) - 2-stündlich an Typtagen
  - zentrale Heizwerke - saisonal
  - zentrale Heizkraftwerke (KWK)- 2-stündlich an Typtagen
  - Solarthermie - saisonal über zellengenaue Globalstrahlung
  - Photovoltaik - 2-stündlich an Typtagen über zellengenaue Globalstrahlung
- 1 Wärmepumpen-Limit: saisonale Obergrenze für Wärmepumpen je Rasterzelle
- 1 Raster-Limit: Obergrenze für Technologie-Nutzung je Rasterzelle. Hier: Verfügbare Solarflächen
- 1 Region-Limit: Regionale Obergrenze für Ressourcen. Hier: Verfügbare Biomasse (Holz) und Biogas
- 4 Wärmenetzgleichungen
  - Mindestkapazität je Rasterzelle: bestimmt die Netzkosten je Zelle

- Kapazitäts-Aktivitäts-Gleichung LINK: zellenübergreifender Wärmefluss und -kapazität
- Wärmebilanzgleichung saisonal: zellenübergreifender Wärmefluss inkl. Verlusten, Wärmeerzeugung und Wärmeabnahme
- Spitzenlastdeckung Wärmenetz: bestimmt die zu installierende Wärmekapazität der zentralen Erzeuger über kumulierte maximale Heizlast, Gleichzeitigkeitsfaktor und Verteilverluste

### Optional

- Begrenzung Wärmetechnologien: Unter- und Obergrenze für Anteil an Wärmeerzeugung  
Beispiel: Solarthermie muss mind. 10% des Wärmebedarfs der Region decken.  
Öl darf höchstens 20% des Wärmebedarfs decken.
- Mindestanteil Erneuerbarer Energien (kumuliert) an Wärmeerzeugung
- Obergrenze Stromimport: Maximaler Anteil des Netto-Stromimports am Strombedarf (entspricht Vorgabe einer Mindest-Stromerzeugung)
- CO<sub>2</sub>-Obergrenze

### 11.1.4 Einbindung des Strombedarfs über Lastprofile

Um den sektoralen Strombedarf aus Kap. 9 sinnvoll in die Optimierungen einzubinden, werden sektorspezifische Lastprofile verwendet, die den berechneten Jahresbedarf auf die einzelnen Stunden aufteilen und so ein stündliches Lastprofil erzeugen. Um nicht jede der 8760 Stunden des Jahres abbilden zu müssen, werden sechs Typtage verwendet, die einen repräsentativen Tag darstellen, je nach Jahreszeit (Winter, Übergang, Sommer) und unterschieden nach Werktag und Nicht-Werktag (Wochenende & Feiertage). Abbildung 11-5 zeigt hierzu exemplarisch das verwendete Lastprofil für Haushalte H0 des VDEW (jetzt: BDEW) für die sechs Typtage, wobei die Werte den Anteil am Jahresstrombedarf der Haushalte angeben.

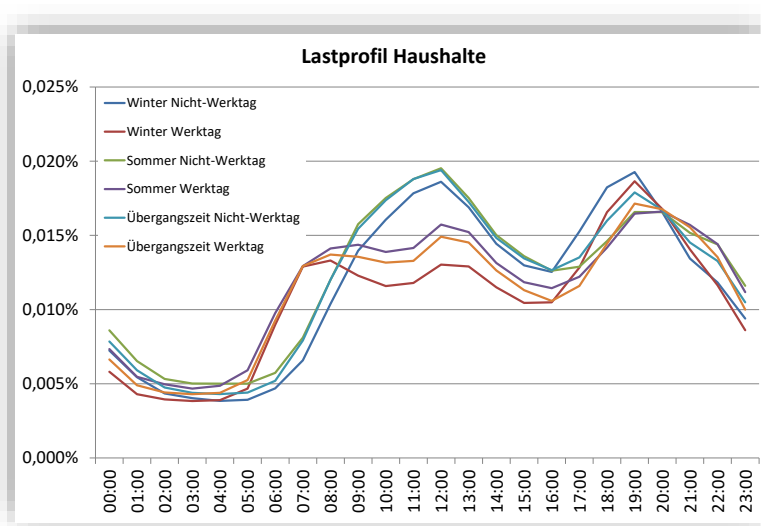


Abbildung 11-5 Stündliches Lastprofil für Haushalte: Anteil am Jahresstrombedarf der Haushalte. Nach Standardlastprofilen Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW, jetzt BDEW), leicht angepasst an Typtagkonzept in RESRO.

Für die drei Wirtschaftssektoren werden folgende Lastprofile des VDEW verwendet.

- Landwirtschaft: L0 (Landwirtschaft allgemein)
- Industrie: G3 (Gewerbe durchlaufend)
- Dienstleistung: G1 (Gewerbe werktags 8-18:00)

Der Strombedarf der Elektromobilität wird der Einfachheit halber gleichmäßig aufgeteilt (konstante Last), zumal dieser nicht sehr hoch ist.

Der Strombedarf für Kühlung wird über eigens erstellte Kühllastprofile, unterschieden nach Wohngebäuden (WG) und Nicht-Wohngebäuden (NWG), auf die beiden Sommertypstage (Werktag / Nicht-Werktag) aufgeteilt. Diese sind in normierter Form in Abbildung 11-6 abgebildet.

Das Kühllastprofil für NWG orientiert sich primär an den Arbeitszeiten zwischen 8:00 und 18:00, wobei die Höchstlast werktags zwischen 12:00 und 16:00 erreicht wird. Dies deckt sich mit den in Zoll (2010) dargestellten Kühllastprofilen. Auch an Nicht-Werktagen (besteht primär aus Wochenende) kommt es zu einem geringen Aufkommen, wobei an Samstagen von einer 50%-igen und an Sonntagen von einer 25%-igen Last im Vergleich zu Werktagen ausgegangen wird, deren Durchschnitt für den Nicht-Werktag verwendet wird.

Ein typisches Kühllastprofil für Wohngebäude für Mitteleuropa ist aufgrund mangelnder Erfahrungen nur schwer zu akquirieren und wohl auch sehr von den Gewohnheiten der Bewohner (Mittagskühlung vs. Nachtkühlung) abhängig. Dennoch wird ein Lastprofil verwendet, welches sich primär am Verlauf der Außentemperatur (maximale Last am Nachmittag) und der typischen Personenbelegung der Haushalte orientiert, so dass die Lasten werktags teils niedriger sind als an Nicht-Werktagen. Außerdem treten dadurch die Lasten zu späteren Uhrzeiten auf als in NWG.

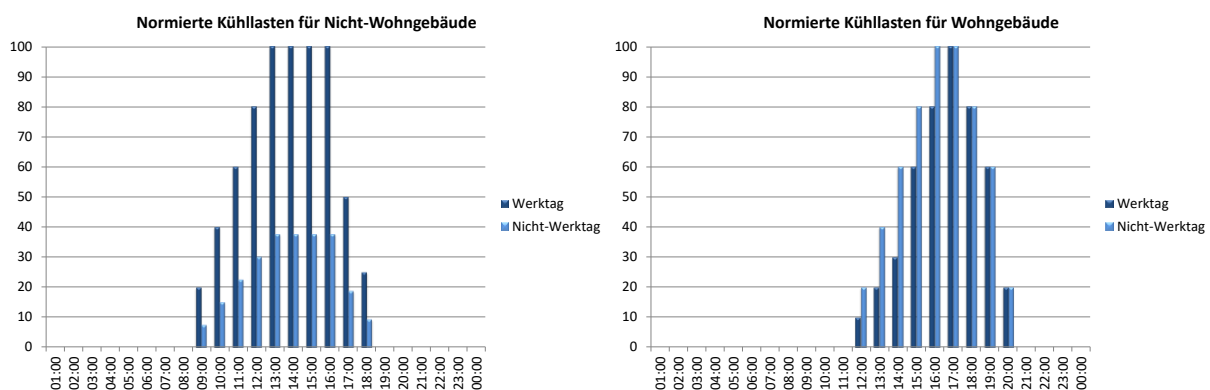


Abbildung 11-6 Normiertes Lastprofil für Kühlung im Sommer. 100 entspricht Volllast.

### 11.1.5 Nebenbedingungen und Annahmen

Um die Energiesystemoptimierungen realistisch durchführen zu können, werden vor Beginn einige Nebenbedingungen und Annahmen getroffen, die den allgemeinen Rahmenbedingungen und den speziellen Voraussetzungen in den Testregionen möglichst entsprechen. Diese Annahmen sind im Folgenden beschrieben, was nicht zuletzt dazu dient, die Szenarienergebnisse nachvollziehen und korrekt interpretieren zu können.

#### Scheitholz Kleinanlagen

Dem Energieträger Scheitholz wird maximal ein Anteil von 15% an der Wärmeerzeugung zugestanden, da Scheitholz-Heizkessel durch das manuelle Nachfüllen als benutzerunfreundlich gelten und somit deren Gebrauch nicht als allzu hoch einzuschätzen ist. Da diese Form der Wärmeerzeugung zudem sehr günstig ist und sich somit häufig in der Optimierung durchsetzt, ist der Einsatz in der Modellierung einzuschränken.

#### Hackschnitzel Kleinanlagen

Hackschnitzel-Anlagen sind nur in größeren Dimensionierungen sinnvoll bzw. verfügbar, weshalb deren Nutzung nur in MFH und NWG, nicht aber in EFH zugelassen wird. Um eine höhere Nutzung zu

vermeiden, wird deshalb eine relative Obergrenze in Abhängigkeit des regionalen Wärmebedarfs gesetzt. Diese liegt nach Auswertung der Wärmebedarfsstruktur bei 38% in Wels-Land, 46% in Tamsweg und 35% in Feldbach.

### **Energetisch verfügbare Biomasse**

Die energetisch verfügbaren Biomasse-Potenziale (Holz, Biogas) stammen aus den Optimierungsläufen mit dem Modell ORES und wurden bereits in Kap. 10.3 vorgestellt. Die Potenziale an hölzerner Biomasse können dabei für Scheitholz- und Hackschnitzeltechnologien verwendet werden.

### **Pellets Import**

Pellets sind mittlerweile ein internationales Handelsprodukt und können auch von außerhalb der Region zugekauft werden, weshalb in den Optimierungen keine Pellets-Beschränkung vorgenommen wird.

### **Anlagen Ist-Bestand**

Der Ist-Bestand der dezentralen und zentralen Anlagen wird in den Szenarien nicht berücksichtigt, da im Snap-Shot Ansatz für jeden Zeitschritt die zum Zeitpunkt der Betrachtung optimale Zusammensetzung des Energiesystems gefunden werden soll und auch der Vergleich und die Unterschiede zwischen den Modellperioden aufgezeigt werden sollen.

### **Zinssatz**

Für die Annuitätsrechnungen wird ein Zinssatz von 5% p.a. angesetzt und die Lebensdauer der Technologie als Abrechnungszeitraum verwendet.

### **Anbindung Erdgas**

Nach Sichtung der Daten zum Ist-Bestand der Wärmeversorgung und einer Internet-Recherche wurde festgelegt, dass in Wels-Land eine Erdgasversorgung im kompletten Gebiet möglich ist. In Tamsweg ist keine Möglichkeit der Anbindung an das Erdgasnetz gewährleistet, während in Feldbach einige Gebiete Gasanbindung haben.

### **Modellierung Stromhandel**

Um die wirtschaftlichen Aspekte der Stromerzeugung in einer Region korrekt zu modellieren, sind einige Überlegungen vor der Optimierung anzustellen. Allgemein ausgedrückt leiten sich die Kosten für Strom aus der Summe der Endverbraucherkosten ab. Die Region wird also nicht als ein einzelner Teilnehmer am Strommarkt behandelt, sondern als die Summe der einzelnen in der Region auftretenden Verbraucher und Erzeuger. Wird regionsintern Strom erzeugt, verbraucht oder auch regionsextern exportiert, so wird dies natürlich auch berücksichtigt. Verkauft oder kauft die Region Strom, so wird der Haushaltsstrompreis berechnet. Der regionsinternen Stromerzeugung wird je nach Technologie ein Eigenverbrauchswert zugeordnet, welcher den Anteil des direkt im Gebäude verbrauchten Stroms angibt. Für diesen Anteil fallen keine Netzkosten oder ähnliches an. Er ersetzt jedoch zugekauften Strom in der Strombilanz. Für den restlichen, nicht eigenverbrauchten Anteil wird ein Netzkostenaufwand berechnet, welcher die Differenz aus den Stromkosten des Stromanbieters und dem Großhandelsstrompreis (welchen private Stromerzeuger bei Einspeisung üblicherweise mindestens vom Stromanbieter erhalten) ist. Der Großhandelsstrompreis wird zu Beginn auf 5 Cent/kWh festgelegt<sup>36</sup>, der Preisanstieg zeigt die selbe Entwicklung wie der Haushaltsstrom auf.

Angenommene Eigenverbrauchsanteile: KWK 0%, PV 50%, BHKW 20% (UBA, 2011)

---

<sup>36</sup> <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=285>, OEMAG Marktpreis 4,52 Cent/kWh Energy Exchange Austria (EXAA), Spotmarkt Base Load 21.02.2013: 4,9 Cent/kWh



## CO<sub>2</sub>-Emissionen Strom

Bei Import von Strom (Netzbezug) wird der THG-Bilanz ein spezifischer CO<sub>2</sub>-Wert von 155 g/kWh hinzugefügt, welcher laut OEE (2011) den österreichischen Strommix widerspiegelt. Im Falle des Stromexports (Netzeinspeisung) wird dieser Wert abgezogen. Der verwendete Wert ist im internationalen Vergleich sehr niedrig, was durch den sehr hohen Anteil der Wasserkraft an der nationalen Stromerzeugung erklärt werden kann.

## Nahwärme Transportverluste und Kosten

Bei einem zellenübergreifendem Wärmetransport wird in Anlehnung an Gassel (1997) von einem Verlust von 2,6% per 100 m Distanz ausgegangen (65 mm Leitung, Verzweigungsfaktor 1,2). Die Wärmetransportverluste werden somit prozentual berücksichtigt, wodurch die Variablen für den Netzausbau und -betrieb als rein lineare Größen behandelt werden können. Dadurch wird auch eine rechentechnisch weitaus komplexere Verwendung von Binärvariablen für den Netzausbau umgangen, die bei einer Anwendung von pauschalen Verlusten, beispielsweise von 25 W/m (C.A.R.M.E.N., 2012), notwendig gewesen wäre. Der Verwendung des relativ hohen Verlustwerts liegt auch die Überlegung zugrunde, dass nur die direkte Verbindung zwischen den Zellen und somit nur kurze, vereinfachte Distanzen im Modell dargestellt werden. In der Realität haben große urbane Fernwärmenetze im Übrigen Gesamtverluste von ca. 10%, während diese bei kleinen Nahwärmenetzen bei etwa 20% liegen.

Die Investitionskosten für das Nahwärmenetz in jeder Zelle werden basierend auf den in UBA (2007) vorgestellten Daten für den Siedlungstyp ST II (Dorf-, Stadtrandgebiete) auf 0,169 € pro kWh Jahresaufnahmekapazität bei einer Lebensdauer von 40 Jahren (Torekov et al., 2007) festgelegt. Bei einer räumlich detaillierteren Netzbetrachtung (z.B. auf Straßenzugesebene) wäre auch die Verwendung längenbezogener Investitionskosten von 150-300 €/m (C.A.R.M.E.N., 2012) möglich gewesen.

## Standort-Vorauswahl der zentralen Anlagen

Die möglichen Standorte der zentralen Anlagen (Heizwerke, KWK) für die potenziellen Nahwärmenetze werden aus Gründen der rechnerischen Komplexität vorgegeben, obwohl das Modell RESRO auch die optimale Standortauswahl mitberücksichtigen könnte. Da jedoch in der regionalen Betrachtung mehrere potentielle Nahwärmenetze simultan betrachtet werden, wäre die optimale Lösungsfindung für dieses Problem zu komplex und hätte darüber hinaus kaum Mehrwert für die Analyse.

### 11.1.6 Szenarien

Die drei gerechneten Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich des Jahres der Betrachtung (2015 / 2035) und der Klimaperiode. Dies hat Einfluss auf den verwendeten Wärme- und Strombedarf sowie die Technologie- und Preisdaten.

**2015:** Jahr 2015 mit Klimaperiode 1981-2010.

**2035, ohne KW:** Jahr 2035 ohne fortschreitenden Klimawandel (ohne KW), Klimaperiode 1981-2010.

**2035, mit KW:** Jahr 2035 mit fortschreitenden Klimawandel (mit KW), Klimaperiode 2021-2050.

Bei Szenario „2015“ und „2035, ohne KW“ wird sozusagen von gleichbleibendem Klima ausgegangen, während der Unterschied zwischen „2035, ohne KW“ und „2035, mit KW“ nur das erwärmte Klima ist. Somit kann, wie schon zuvor bei der Modellierung des Wärme- und Strombedarfs, die zeitliche Entwicklung des Energiesystems und der Einfluss des Klimawandels darauf analysiert werden. Die Rechnungen erfolgen mit den Daten aus Klimamodell SMHI.

### 11.1.7 Technologie- und Preisdaten

Auf Basis mehrerer Quellen werden die spezifischen Investitions- und Wartungskosten, die Nutzungsgrade und andere relevante Daten zu den Technologien gesammelt und verwendet. Dies umfasst sieben dezentrale Wärmetechnologien (Heizöl, Erdgas, Holz-Pellets, Scheitholz, Wärmepumpe, Hackschnitzel, Solarthermie), die Photovoltaik sowie drei unterschiedliche zentrale Wärmetechnologien (Hackschnitzel-Heizwerk, Hackschnitzel-KWK, Biogas-KWK) in je zwei Größenklassen zur Einspeisung in Wärmenetze. Die entsprechenden Daten sind im Anhang in Tabelle-A 24 und Tabelle-A 25 dargestellt.

Infolge „technologischer Lerneffekte“ und teils auftretenden Skaleneffekten kommt es bei den Investitionskosten einiger Technologien zu Preisrückgängen. Besonders hoch sind diese bei den Solartechnologien Solarthermie und Photovoltaik. Auch für Wärmepumpen wird ein starker Preisrückgang prognostiziert. Für die Wartungskosten wird dieselbe Entwicklung wie bei den Investitionskosten unterstellt. Laut den angegebenen Quellen werden sich auch die Wirkungsgrade (bzw. Nutzungsgrade) von Wärmepumpen und von PV erhöhen. Die angenommenen Entwicklungen für Kleinanlagen sind in Abbildung 11-7 zu sehen. Die Entwicklung zentraler Anlagen ist im Anhang in Abbildung-A 2 abgebildet.

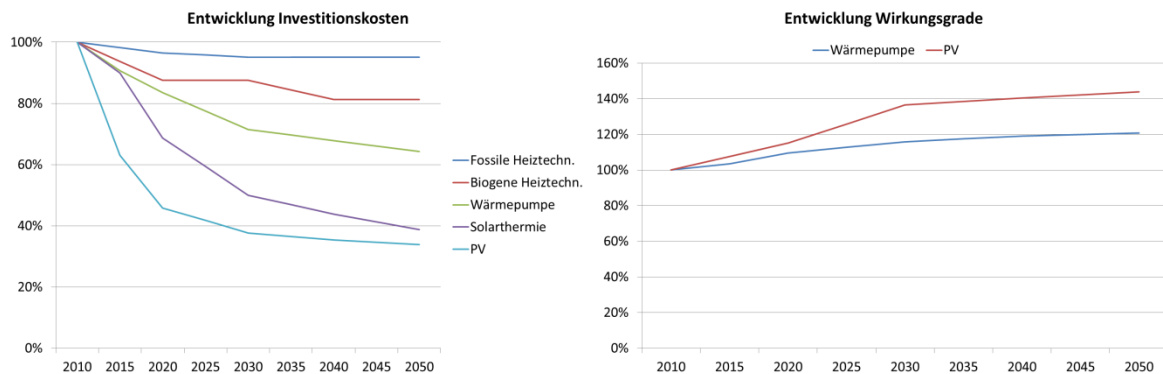


Abbildung 11-7 Entwicklung bei Investitionskosten und Wirkungsgraden von dezentralen Kleinanlagen.

**Quellen:** Fossile nach Öko-Institut. Biogene, Solarthermie, PV, Wärmepumpe nach BMU (2012).  
Wirkungsgradentwicklung PV nach Wirkungsgrad PV-Modul aus IEA (2010) und Performance Ratio PV aus BMU (2012)

### Energiepreise

Es werden Energiepreisentwicklungen für Öl und Gas nach IEA (2010) angenommen. Dabei werden für die erste Modellperiode 2015 die derzeitigen Energiepreise für Haushalte inklusive Steuern und Abgaben verwendet, welche aus Statistik Austria und anderen Portalen (z.B. proPellets) bekannt sind. Allen Energieträgern wird die Preisentwicklung des Gaspreises zugrunde gelegt. Lediglich dem Ölpreis wird eine noch höhere Steigerung unterstellt (nach IEA, 2010). Der Verwendung der Haushaltspreise inkl. Steuern liegt die Überlegung zugrunde, dass eine regionale Energiesystemmodellierung möglichst an der Bevölkerung bzw. den Endverbrauchern orientiert sein sollte. Eine tabellarische Darstellung ist im Anhang in Tabelle-A 26 gegeben.

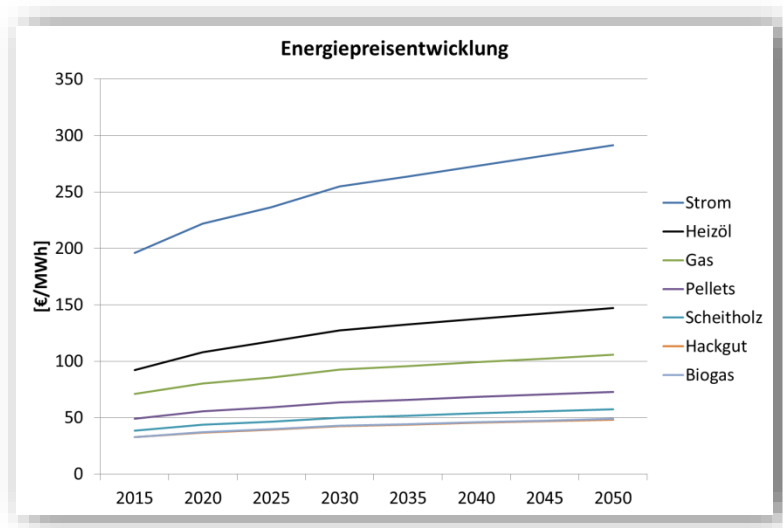


Abbildung 11-8 Angenommene Preisentwicklung (real) der Energieträger.

**Quellen:** Preise für Strom, Öl und Gas nach Statistik Austria (2011). Jahresdurchschnittspreise und -steuern für die wichtigsten Energieträger 2011. Preisverlauf für Öl und Gas nach IEA (2010) World Energy Outlook 2010. Preise für Pellets nach proPellets-Austria. Preise für Hackschnitzel, Scheitholz nach Waldverband Steiermark. Biogaspreise: eigene Berechnungen basierend auf Eder (2011).

## 11.2 Ergebnisse

### 11.2.1 Allgemein

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Optimierungsszenarien in den Testregionen vorgestellt. Diese sind vor dem Hintergrund der kostengetriebenen Lösungsfindung und den zugrunde liegenden Annahmen und Einschränkungen zu sehen und interpretieren. Ist eine Technologie aus wirtschaftlicher Sicht besser als eine andere, so wird diese Technologie bis zu den gesetzten Grenzen eingesetzt. Dies ist beispielsweise am hohen Einsatz kompetitiver Technologien wie der Wärmepumpen nach dem Jahr 2015, begrenzt durch den Einsatz in Gebäuden mit gutem Dämmstandard, und der Scheitholz Öfen ab dem Jahr 2015, begrenzt durch einen Anteil von 15% an der Wärmeerzeugung, zu sehen.

Die regionale Prägung bei der Wärmeerzeugungsstruktur resultiert hauptsächlich aus den unterschiedlichen Biomasse-Vorkommen und der Anbindung an das Erdgasnetz. Die Scheitholz- und Hackschnitzel-Kleinanlagen werden aufgrund der niedrigen Wärmegestehungskosten soweit wie möglich eingesetzt. Als begrenzender Faktor wirken dabei die verfügbaren Holz-Potenziale oder die technologiespezifischen Obergrenzen. Erdgas zählt im Jahr 2015 noch zu den wettbewerbsfähigen Wärmeerzeugern, wird jedoch im Jahr 2035 aufgrund der erhöhten Energiepreise weitgehend von den dann günstigeren Pellets- und Wärmepumpen-Systemen verdrängt. Dies führt zu einem sinkenden Anteil fossiler Energien am Wärmemix. Auch der steigende Anteil von Gebäuden, die mit Wärmepumpen versorgt werden können sowie durch den sinkenden Wärmebedarf freiwerdende Holz-Ressourcen, die aus Kostengründen prioritär verwendet werden, tragen zur dieser Entwicklung bei. Die explizit im Modell berücksichtigte Nahwärme wird nicht eingesetzt, da die Wärmebedarfsdichten zu niedrig und die spezifischen Kosten der Heiz(kraft)werke und des Netzausbaus zu hoch sind und deshalb die zentrale Nahwärmeversorgung im ökonomischen Nachteil gegenüber den dezentralen Technologien ist.

Im Strombereich sind regionsübergreifend folgende Entwicklungen zu beobachten: Nach 2015 erfolgt ein maximaler Ausbau der Photovoltaik in allen Regionen, da aufgrund der ansteigenden Strompreise

bei gleichzeitig fallenden Systempreisen für PV-Anlagen die Nutzung dieser Technologie in den Szenarien nach 2015 ökonomisch sinnvoll wird. Hierdurch werden sehr hohe Strommengen generiert. Diese werden bei gleichzeitig auftretendem Strombedarf regional genutzt, während zu Zeiten maximaler PV-Stromerzeugung (um die Mittagszeit) in Sommer- und Übergangszeit Strom aus der Region exportiert wird. Der PV-Strom und der dadurch vermiedene Strombezug führen weiterhin zu einem starken Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs. Der hohe Wärmepumpen-Einsatz bewirkt einen deutlichen Anstieg des regionalen Strombedarfs und führt insbesondere im Winter zu einem Anstieg des Stromlastprofils. Weiterhin erscheint der interessante Effekt des Klimawandels, dass der Strombedarf leicht abnimmt, sofern der klimawandelbedingte Rückgang des Wärmebedarfs zu einem geringeren Wärmepumpen-Einsatz führt. Der durch die Kühlung hervorgerufene Anstieg der Stromlast im Sommer fällt vor allem in Feldbach deutlich auf, auch in Wels-Land ist dieser Effekt zu beobachten, während das kühle Tamsweg kaum Auswirkungen spürt.

Allgemein ist zu bemerken, dass die Verfügbarkeiten von Energieträgern und wirtschaftliche Aspekte einen weitaus größeren Einfluss auf die Ergebnisse zum Energiemix haben als die Berücksichtigung des Klimawandels oder der Entwicklung des Gebäudeparks (z.B. Sanierungen). Die relativ geringen Auswirkungen des Klimawandels insbesondere auf die Optimierungsergebnisse im Wärmebereich sind insofern nicht überraschend, als dass der Einfluss des Klimawandels neben der überschaubaren Änderung des Wärmebedarfs kaum für veränderte Rahmenbedingungen – mit Ausnahme geringerer Volllaststunden von Heizsystemen – hinsichtlich des Einsatzes der betrachteten Technologien sorgt.

### **11.2.2 Wels-Land**

Wels-Land hat im Verhältnis zur Bevölkerung kleine Forstbestände und somit auch geringe Holz-Potenziale. Die niedrigen energetisch zur Verfügung stehenden Holz-Ressourcen werden somit aus Kostengründen in allen Szenarien voll ausgeschöpft und für die Scheitholz-Heizungen verwendet, die dennoch nur einen Anteil von ca. 5% an der Wärmeerzeugung erreichen, wodurch die gesetzte Obergrenze von 15% nicht erreicht wird.

Weiterhin besteht die Möglichkeit zur Wärmeversorgung mit Erdgas. Dies zeigt sich in den Ergebnissen zur Wärmeversorgung in Szenario 2015, in welchem sich Erdgas aufgrund des Kostenvorteils als der primäre Wärmeenergieträger durchsetzt. Nur Scheitholz-Heizungen und zum Teil Wärmepumpen haben 2015 geringere Wärmegestehungskosten als Erdgas und erscheinen in den Ergebnissen.

Ab 2035 ist jedoch die Wärmebereitstellung aus Wärmepumpen und Pellets günstiger, so dass der fossile Energieträger Erdgas rein kostengetrieben verdrängt wird. Die WP-Potenziale werden dabei vollständig ausgeschöpft. Somit wird die Wärme ab 2035 nur durch Wärmepumpen, Pellets- und Scheitholz-Heizungen bereitgestellt. Der klimabedingte Rückgang des Wärmebedarfs führt zu einem entsprechenden Rückgang des Pellets- und WP-Einsatzes in Szenario „2035 mit KW“.

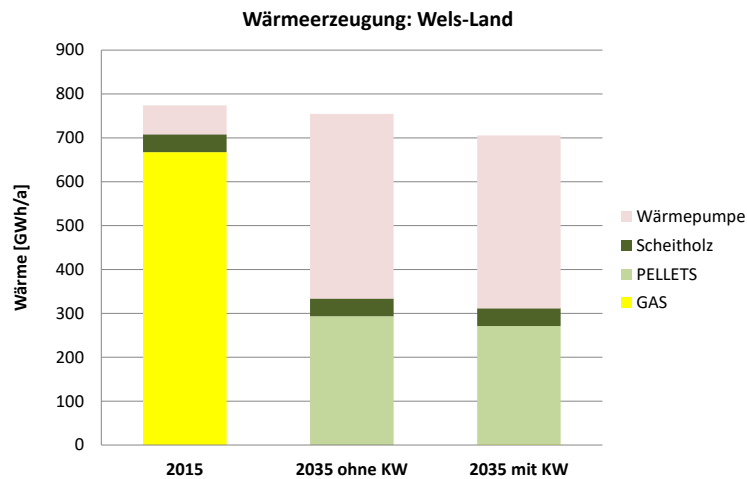


Abbildung 11-9 Wärmezeugung, Wels-Land

Der starke Anstieg des Wärmepumpen-Anteils von 2015 auf 2035 führt zu einem starken Anstieg des Strombedarfs, wie in der Strombilanz zu sehen ist. Der exogen vorgegebene Strombedarf (ohne WP-Strom) steigt dabei von 2015 auf „2035 ohne KW“ durch die Haushaltsentwicklung und nochmals in „2035 mit KW“ durch den Kühlbedarf an. Wird der Zusatzbedarf für WP berücksichtigt, so ist der Gesamtstrombedarf für die beiden „2035“ Szenarien jedoch nahezu identisch, da der klimabedingte Anstieg des Kühlbedarfs durch den klimabedingten Rückgang des WP-Stroms, welcher aus dem Wärmebedarfsrückgang resultiert, in der Strombilanz kompensiert wird.

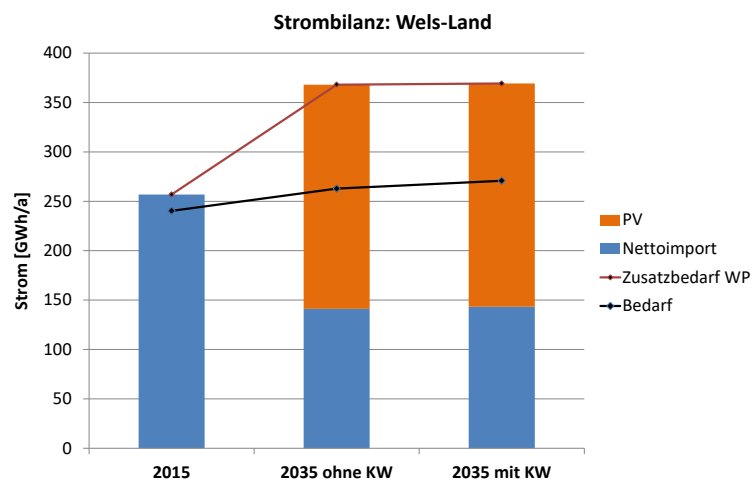


Abbildung 11-10 Strombilanz, Wels-Land

Die Kosten steigen, verursacht vom höheren Strombedarf, von 2015 auf 2035 an, wobei eine deutliche Umstrukturierung der Kosten von Erdgas und Strom hin zu Pellets, Wärmepumpen, PV und Strom erfolgt. Die zusätzlichen Anschaffungskosten für Klimageräte führen zu einer weiteren leichten Kostenerhöhung in Szenario „2035 mit KW“.

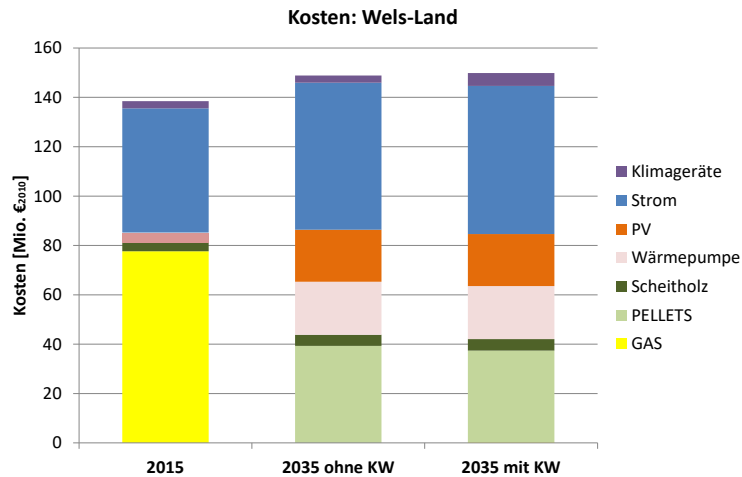


Abbildung 11-11 Systemkosten, Wels-Land

Der Wechsel weg vom Erdgas führt zu einem deutlichen Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauchs (PE-Verbrauch), was aus ökologischer Sicht sehr wünschenswert ist. Lediglich der netto zugekaufte Strom ist für die noch verbliebenen THG-Emissionen und PE-Verbrauch verantwortlich.

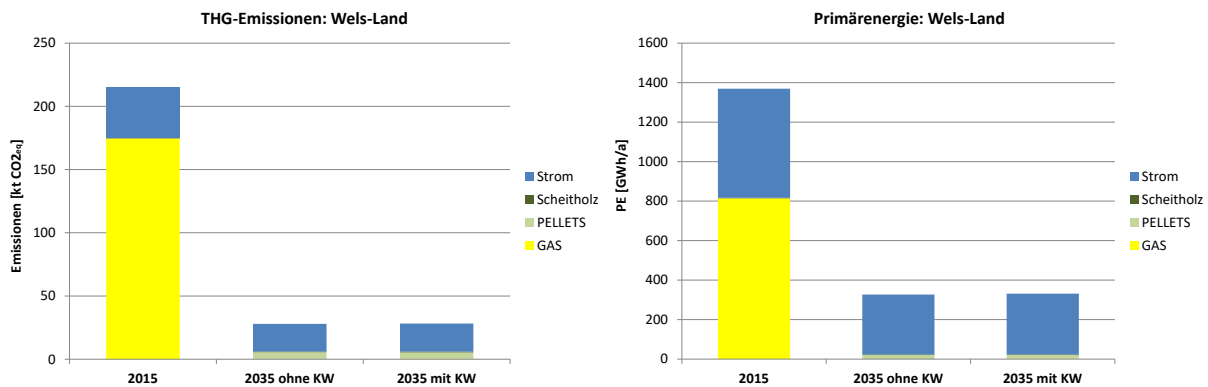


Abbildung 11-12 CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergieverbrauch, Wels-Land

### 11.2.3 Tamsweg

In Tamsweg sind große Waldflächen vorhanden, weshalb hier hohe Potenziale für hölzerne Biomasse vorliegen. Es besteht jedoch keine Anbindung an das überregionale Erdgasnetz. Dies spiegelt sich auch in der Wärmeerzeugungsstruktur wider, die zu einem großen Teil durch die kostengünstigen Energieträger Hackschnitzel und Scheitholz bestimmt wird. Die Anteile von Hackschnitzel- und Scheitholz-Heizungen stoßen dabei in jedem Szenario an die exogen vorgegebenen Obergrenzen von 46% bzw. 15%. Die energetisch zur Verfügung stehenden Holzmengen werden deshalb nicht vollständig ausgenutzt. Die restlichen Anteile an der Wärmeerzeugung werden in sehr hohem Ausmaß von Wärmepumpen (32-39%) übernommen. Im Jahr 2015 kommen noch geringfügig Pellets zum Einsatz, wobei dies darauf zurückzuführen ist, dass hier die WP-Potenziale bereits voll ausgeschöpft werden.

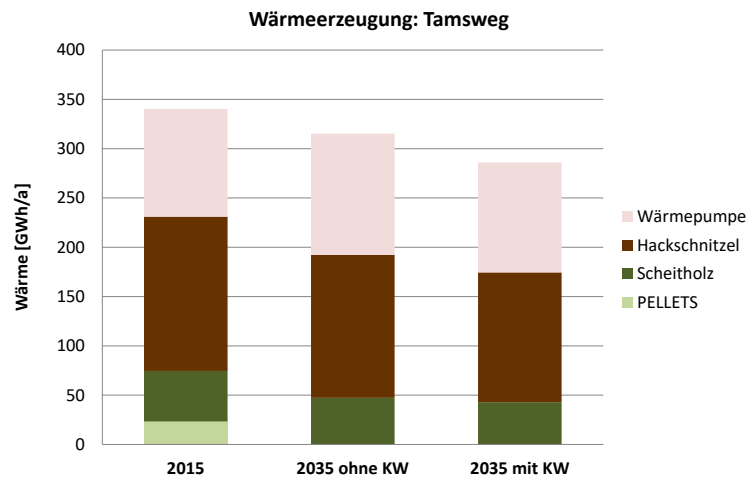


Abbildung 11-13 Wärmeerzeugung, Tamsweg

Der gesamte Strombedarf steigt durch den erhöhten WP-Einsatz von 2015 auf „2035 ohne KW“ noch leicht an und sinkt demgegenüber in Szenario „2035 mit KW“ wieder etwas durch den klimabedingten Rückgang des Wärmebedarfs und den daraus resultierenden geringeren WP-Einsatz. Der Kühlstrombedarf hat hier kaum Einfluss. Wie in Wels-Land kommt ab 2035 die PV maximal zur Geltung, wobei die bilanziellen Deckungsanteile sogar noch höher ausfallen als in Wels-Land.

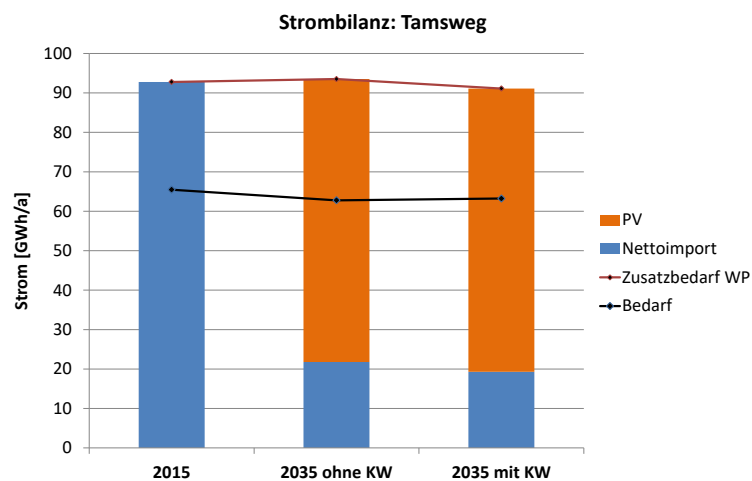


Abbildung 11-14 Strombilanz, Tamsweg

Auch die Kosten sinken etwas ab, wobei die Einsparungen hauptsächlich im Wärmebereich auftreten.

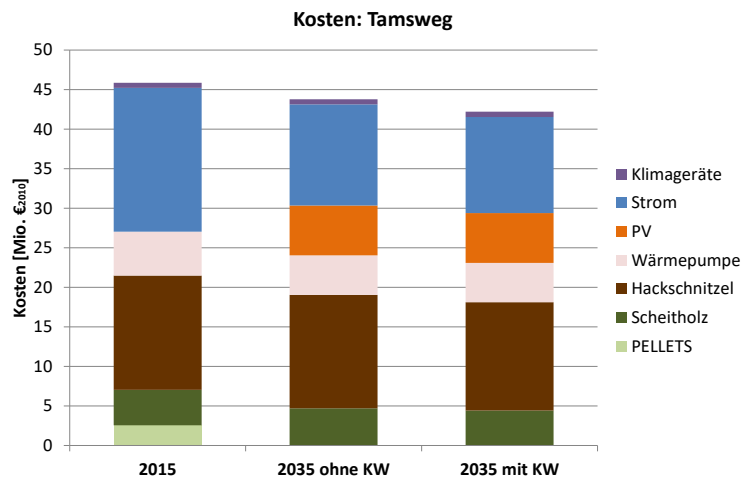


Abbildung 11-15 Kosten, Tamsweg

Nachdem bereits 2015 keine fossilen Energieträger im Wärmebereich zu finden sind, werden hier die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der PE-Verbrauch hauptsächlich vom Strombezug hervorgerufen, welche dann im Zuge des PV-Einsatzes stark sinken.

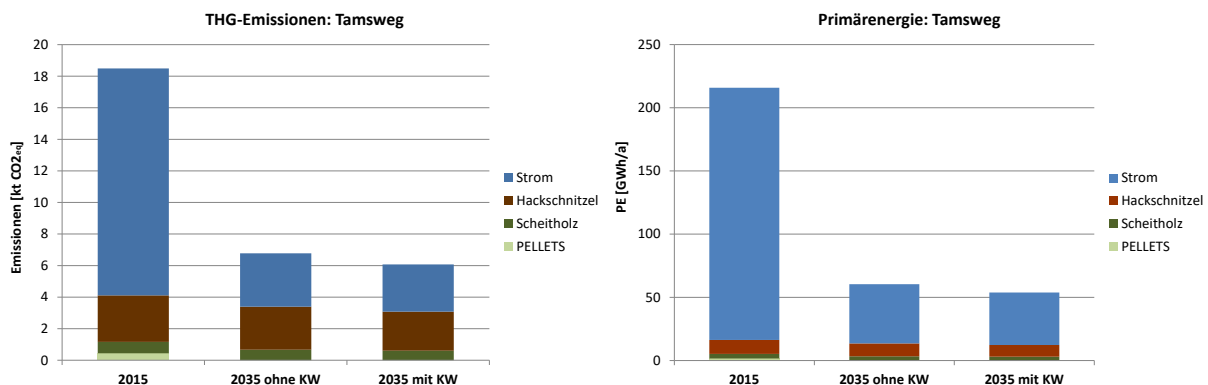


Abbildung 11-16 CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergieverbrauch, Tamsweg

Somit sinken sowohl Emissionen als auch Kosten, was eher ungewöhnlich ist für ein Energiesystem, da sich in der Vergangenheit häufig ökonomische und ökologische Aspekte und Interessen eher widersprochen haben. An dieser Stelle darf jedoch nicht vergessen werden, dass der Rückgang des Wärmebedarfs und die entsprechenden Kosteneinsparungen neben der Klimaerwärmung Folge thermischer Sanierungen sind, die nicht in der Kostenbilanz erscheinen.

### 11.2.4 Feldbach

Die Region Feldbach weist ähnlich wie Wels-Land nur relativ geringe forstwirtschaftliche Potenziale auf, die in allen Szenarien voll ausgeschöpft werden. Die Holz-Nutzung erfolgt dabei hauptsächlich in Scheitholz-Heizungen, während die verbliebenen Holz-Ressourcen in Hackschnitzel-Systemen eingesetzt werden. Die Versorgung mit Erdgas ist nur in einigen Gebieten möglich und wird dort 2015 auch verwendet. Wärmepumpen (22%) und Pellets (25%) liefern 2015 die restlichen beträchtlichen Anteile. Wie in Wels-Land führen die Preisänderungen und höhere WP-Potenziale „2035 ohne KW“ zu einem starken Rückgang von Erdgas, wobei dieser durch höheren WP- und Pellets-Einsatz ausgeglichen wird. Demgegenüber erscheinen in Szenario „2035 mit KW“ wieder höhere Erdgas-Anteile, was damit erklärt werden kann, dass in einigen Zellen die klimabedingt gesunkenen Volllaststunden zu einem ökonomischen Vorteil gegenüber den Pellets führen. Dies verdeutlicht die sehr



geringen Unterschiede bei den Wärmegestehungskosten und die Abhängigkeit der Ergebnisse von den zellengenauen Volllaststunden.

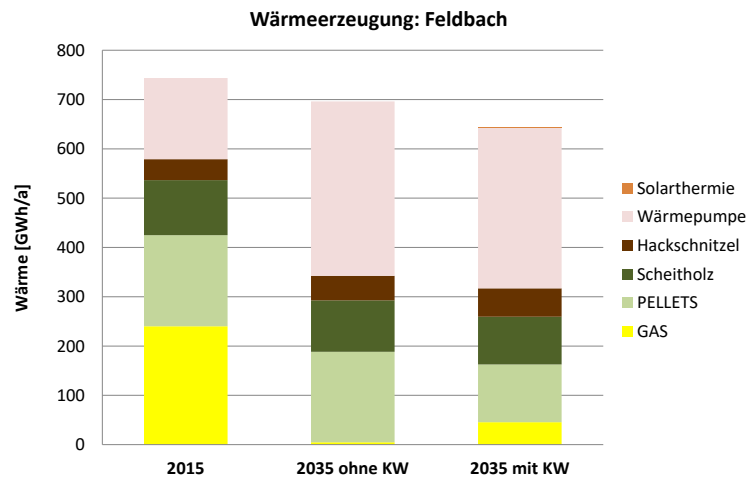


Abbildung 11-17 Wärmeerzeugung, Feldbach

Die Entwicklung der Strombilanz kann in Feldbach analog zu den anderen Regionen erklärt werden. Der größte Unterschied liegt in dem relativ starken Anstieg des Strombedarfs durch Kühlung. Die PV-Nutzung wird im Übrigen in Szenario „2035 mit KW“ geringfügig durch die Solarthermie-Nutzung beeinflusst, da für PV geeignete Solarflächen von der Solarthermie genutzt werden.

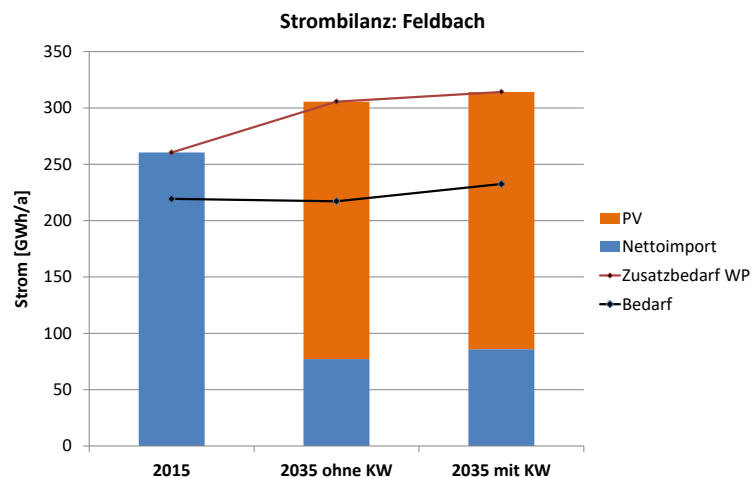


Abbildung 11-18 Strombilanz, Feldbach

Die Kosten sinken von 2015 auf „2035 ohne KW“ etwas ab, um dann in Szenario „2035 mit KW“ durch den Kühlbedarfsanstieg und die Zusatzkosten für Klimageräte wieder leicht anzusteigen.

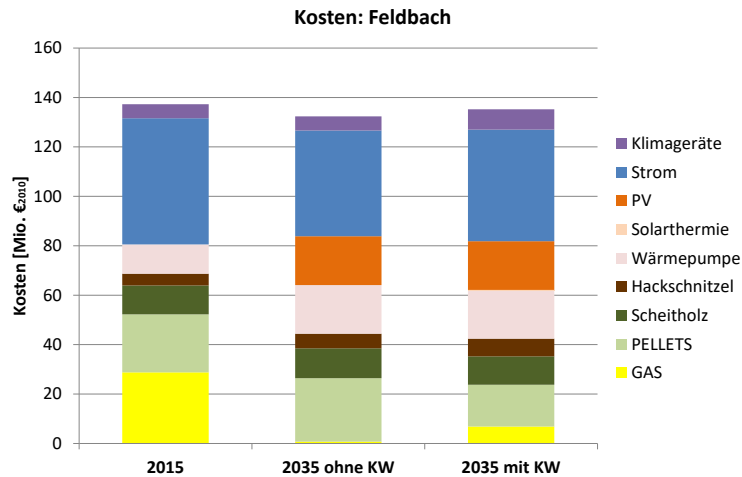


Abbildung 11-19 Kosten, Feldbach

THG-Emissionen und PE-Verbrauch sinken von 2015 zu „2035 ohne KW“ stark ab durch die Verdrängung von Erdgas und den PV-Einsatz, um dann in Szenario „2035 mit KW“ wieder leicht anzusteigen.

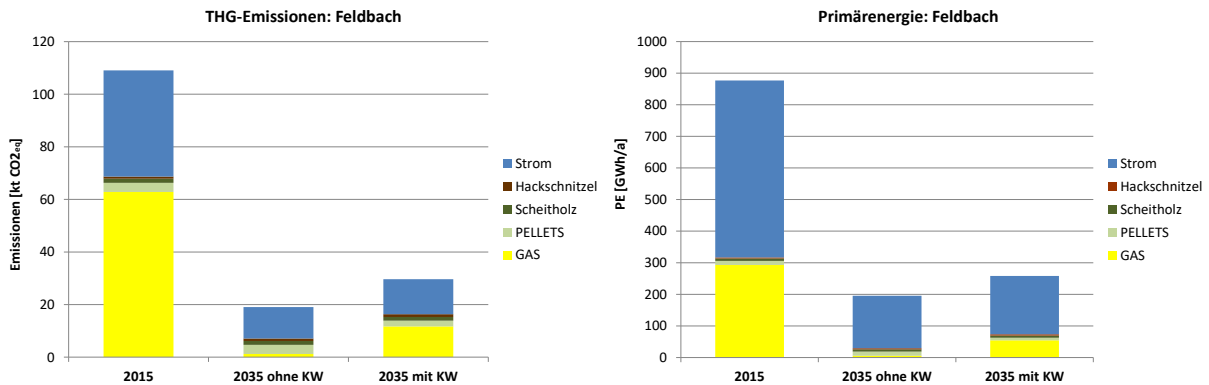


Abbildung 11-20 CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergieverbrauch, Feldbach

### 11.2.5 Strombilanzen im Detail

Der Effekt des zusätzlichen Kühlbedarfs im Sommer und des primär im Winter auftretenden Wärmepumpen-Bedarfs auf das Stromlastprofil lässt sich anhand der Strombilanzen in 2-stündiger Auflösung an den sechs Typtagen abbilden, welche auch Teil der Optimierungen sind. Die Zusammensetzung der Stromlast ergibt sich primär durch die Aufteilung der sektoralen Strombedarfe über die verwendeten Lastprofile, welche als Eingangsparameter für das Optimierungsmodell dienen, sowie durch den auftretenden WP-Bedarf, der ein Teilergebnis der Optimierung ist. Die Höhe der Kühllasten ist dabei stark von der Region und dem zugrunde liegenden Szenario (ohne KW / mit KW) abhängig.

Abbildung 11-21 veranschaulicht hierzu die Zusammensetzung der Stromlast in Tamsweg in Szenario „2035, mit KW“ unter Mitberücksichtigung der WP-Lasten und der Kühllasten. Der WP-Einsatz führt hier, wie in nahezu allen Szenarien, zu einem starken Anstieg der Stromlast im Winter und in der Übergangszeit. Hierbei wird auch die im Modell vorgesehene konstante Aufteilung der WP-Last innerhalb einer Saison deutlich. Es ist schwierig zu prognostizieren, ob die Wärmepumpen-Technologie tatsächlich in diesem Ausmaß in Neubauten und speziell in sanierten Gebäuden eingesetzt werden wird. Die Ergebnisse der Szenarien ermöglichen jedenfalls einen interessanten Eindruck darüber,

inwieweit ein solch hoher WP-Einsatz das Stromlastprofil verändern kann. Die Kühllast im Sommer ist demgegenüber relativ gering.

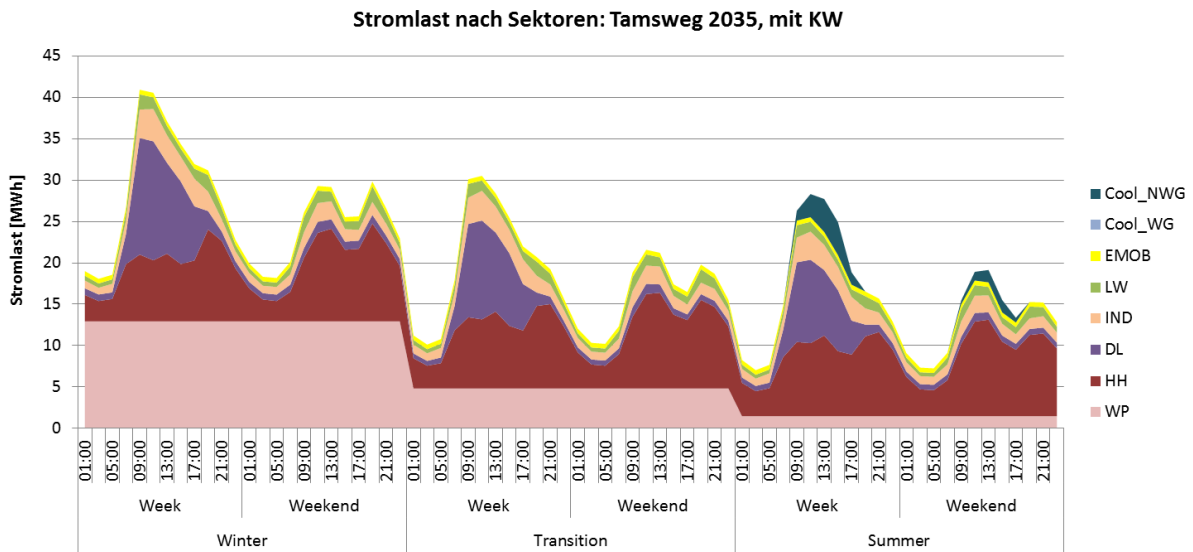


Abbildung 11-21 Stromlast nach Verbrauchssektoren inkl. Wärmepumpen- und Kühlbedarf.

Kommentar: WP = Wärmepumpe, HH = Haushalte, DL = Dienstleistung, IND = Industrie, LW = Landwirtschaft, EMOB = Elektromobilität, Cool\_WG = Kühlung Wohngebäude, Cool\_NWG = Kühlung Nicht-Wohngebäude

Im Gegensatz dazu weist die in Abbildung 11-22 dargestellte Stromlast für Feldbach „2035, mit KW“ weitaus höheren Kühlbedarf, vor allem aus Nicht-Wohngebäuden, auf, der starke Lastspitzen im Sommer verursacht.

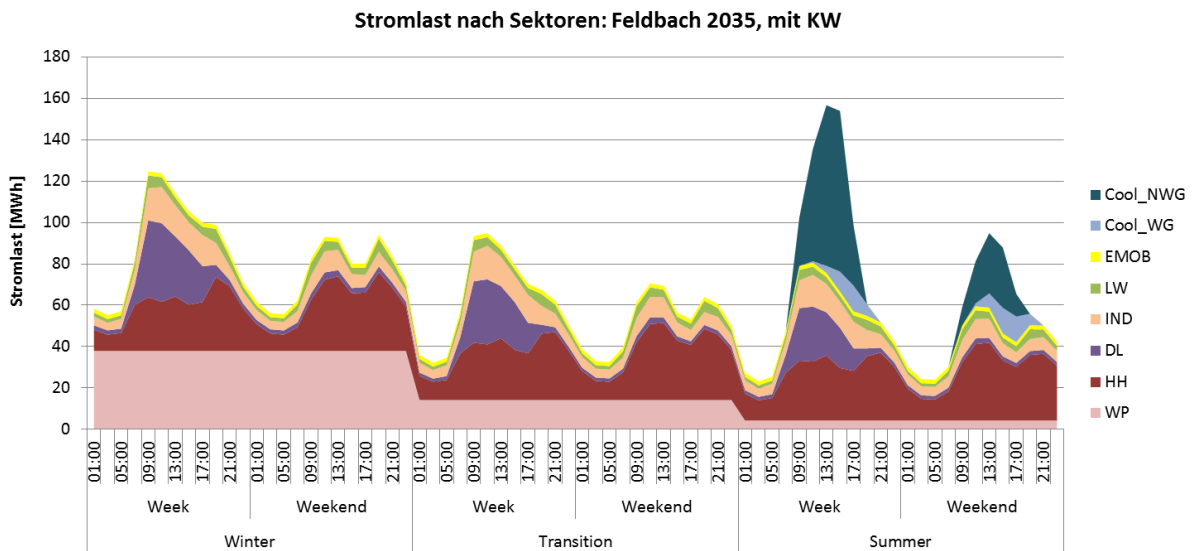


Abbildung 11-22 Stromlast nach Verbrauchssektoren inkl. Wärmepumpen- und Kühlbedarf.

Kommentar: WP = Wärmepumpe, HH = Haushalte, DL = Dienstleistung, IND = Industrie, LW = Landwirtschaft, EMOB = Elektromobilität, Cool\_WG = Kühlung Wohngebäude, Cool\_NWG = Kühlung Nicht-Wohngebäude

Die folgenden Abbildungen zeigen die über die Lastsektoren aggregierten Lastprofile für alle Testregionen und Szenarien. Folgende Entwicklungen sind zu beobachten.

- Starker Anstieg im Winter und Übergang bei höherem Wärmepumpen-Einsatz
- Klimabedingter Rückgang des WP-Bedarfs (von „2035, ohne KW“ zu „2035, mit KW“)
- Klimabedingter Anstieg im Sommer durch Kühllasten in Wels-Land und Feldbach

Die beschriebenen Entwicklungen sind am Beispiel Wels-Land gut zu beobachten. Durch den Anstieg des WP-Einsatzes kommt es zu einer starken Erhöhung der Stromlast von 2015 zu „2035 ohne KW“ im Winter und in den Übergangszeiten. Mit fortschreitender Klimaerwärmung (2035, mit KW) erfolgt ein Anstieg der Spitzenlast im Sommer um 15% (gegenüber „2035, ohne KW“). Die jährliche Maximallast tritt jedoch noch immer im Winter auf.

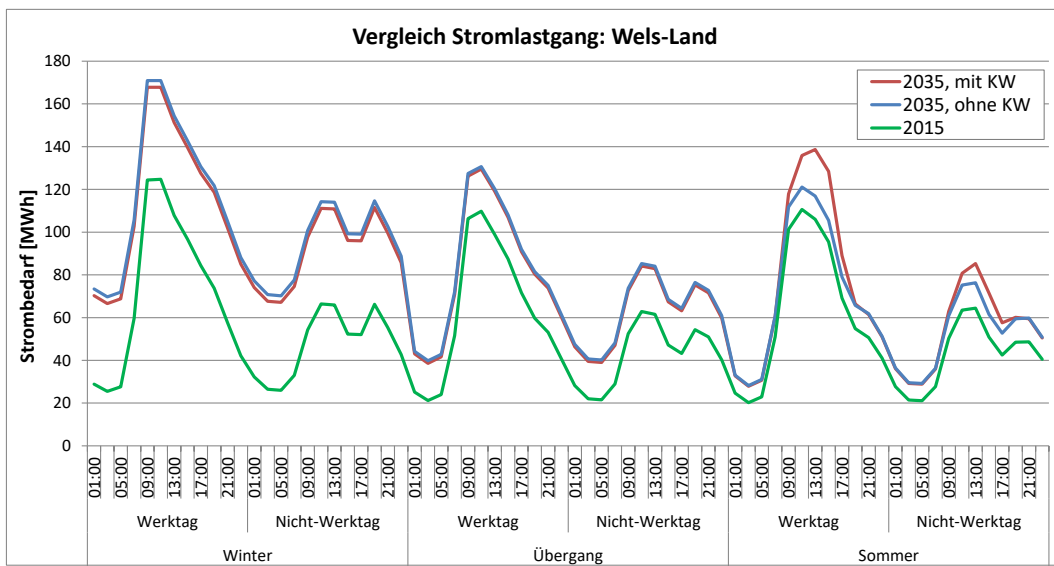


Abbildung 11-23 Vergleich der Stromlastgänge, Wels-Land.

In Tamsweg hingegen unterscheiden sich die Stromlastprofile der Szenarien kaum. Dies liegt an dem nahezu konstant hohen Anteil der WP und dem sehr geringen Kühlbedarf in allen Szenarien. Somit sind die oben beschriebenen Entwicklungen nur angedeutet. Die Berücksichtigung des fortschreitenden Klimawandels (ohne KW vs. mit KW) führt zu einem sehr geringen Rückgang der Winter-Spitzenlast um 3%, während die Sommer-Spitzenlast um 3% ansteigt.

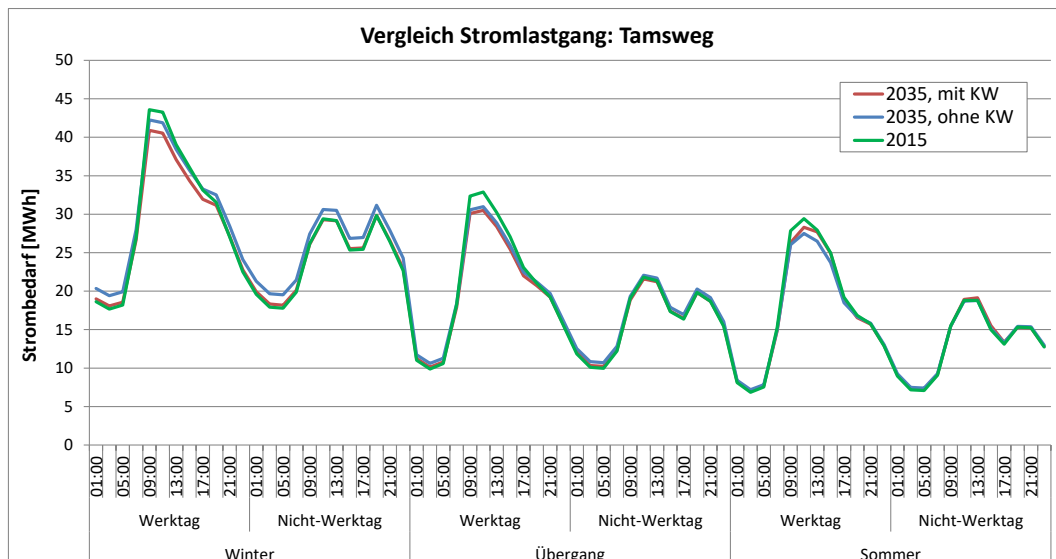


Abbildung 11-24 Vergleich der Stromlastgänge, Tamsweg.

In Feldbach fallen insbesondere die Spitzenlasten im Sommer auf, die bereits 2015 und „2035, ohne KW“ auf sehr hohem Niveau sind und durch die weitere Klimaerwärmung in Szenario „2035 mit KW“ nochmals um deutliche 32% ansteigen. Auch der WP-Einsatz führt wieder zu einem Anstieg von 2015 auf 2035. In den Szenarien 2015 und „2035, mit KW“ tritt die jährliche Spitzenlast sogar im Sommer auf.

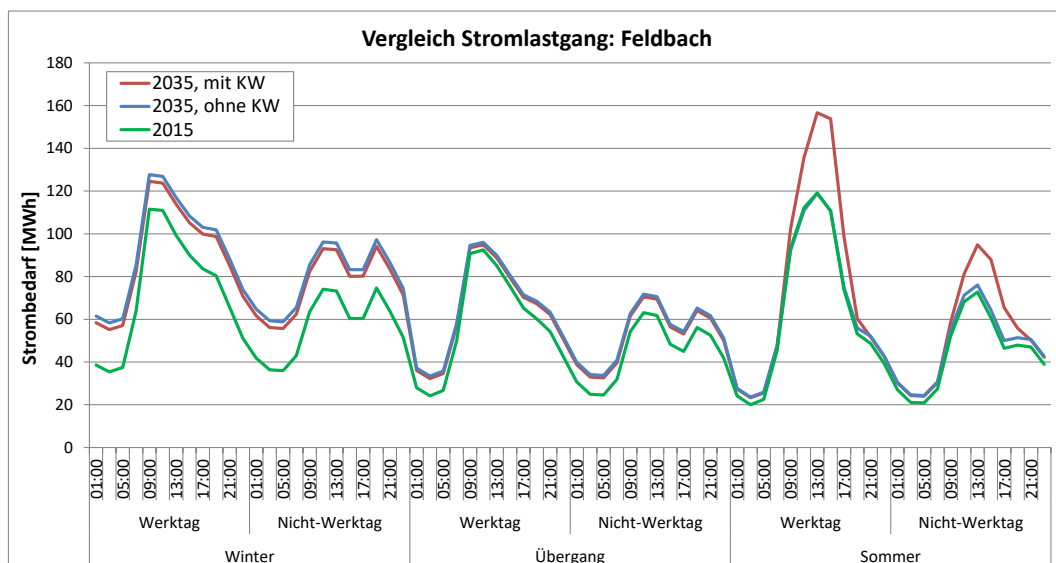


Abbildung 11-25 Vergleich der Stromlastgänge, Feldbach

Neben den Lastprofilen ist die zeitlich detaillierte Deckung des Strombedarfs von Bedeutung und wichtiger Teil der Optimierungsergebnisse. Als Stromerzeugungstechnologien sind nur PV-Anlagen enthalten, da sich die ebenso berücksichtigten KWK-Anlagen nicht durchsetzen. Die Diskrepanz zwischen PV-Erzeugung und Verbrauch wird durch den überregionalen Stromimport und -export ausgeglichen.

Anhand der Ergebnisse zur jährlichen Strombilanz war bereits zu erkennen, dass die Strombilanzen nach 2015 vom starken Ausbau der Photovoltaik geprägt sind. Dieser bewirkt eine sehr hohe Stromerzeugung untertags, wie in Abbildung 11-26 anhand der Ergebnisse in Feldbach für Szenario „2035, mit KW“ zu sehen ist. Im Falle des Auftretens von Kühllasten ist eine hohe Übereinstimmung zwischen PV-Erzeugung und den Kühllasten im Sommer zu erkennen.

Die hohe PV-Einspeisung in der Übergangszeit und im Sommer bewirkt untertags einen Stromüberschuss und daraus folgenden Stromexport aus der Region, während im Winter und in den Abend- und Nachtstunden Strom importiert werden muss. Die Diskrepanz innerhalb eines Tages könnte zu Teilen wohl über Kurzzeit-Speicher ausgeglichen werden. Im Winter jedoch sind auf jeden Fall weitere Erzeuger notwendig, die in der Realität ja auch verfügbar sind.

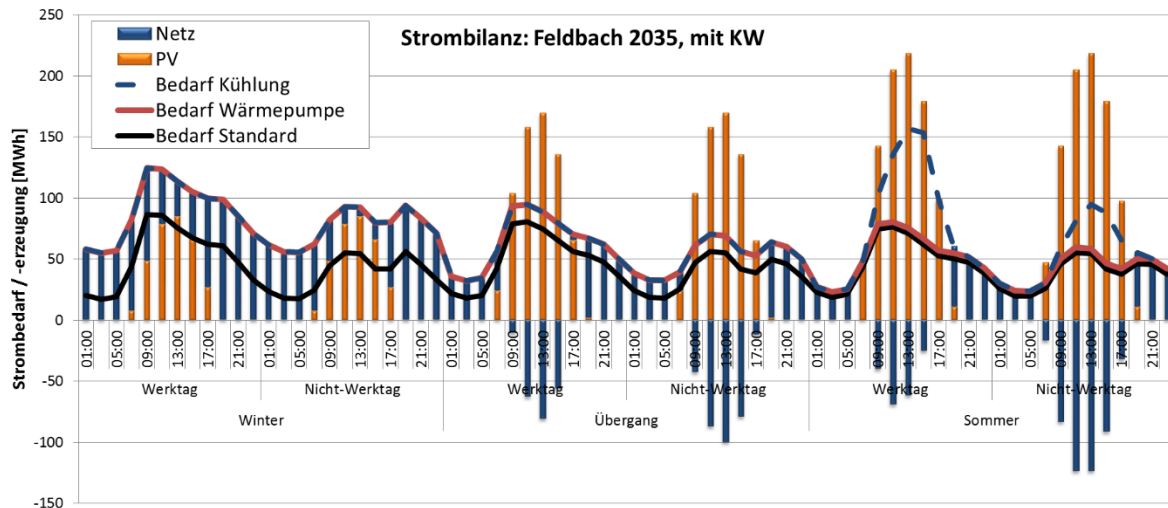


Abbildung 11-26 Deckung des Strombedarfs inkl. PV-Erzeugung sowie Netzbezug und -einspeisung

Die entsprechenden Abbildungen für die anderen Regionen bzw. Szenarien werden nicht dargestellt, da diese sich visuell nur über den Strombedarf unterscheiden oder im Jahr 2015 gar keine eigene PV-Erzeugung vorliegt.

## 12. Empfehlungen

### 12.1 Wärmebereich

Durch den sehr großen Energiebedarf für Heizen und Warmwasser und den noch immer hohen Anteil fossiler Energieträger an der Wärmebereitstellung ist es notwendig, den Wärmebedarf durch thermische Sanierungen deutlich zu verringern und den Anteil erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung zu erhöhen.

Im Bereich der Wärmeerzeugung ist somit eine Abkehr von den fossilen Energieträgern Erdöl und Erdgas, die ja bereits heute forciert wird, nötig. Die Gründe dafür sind neben dem Klimaschutz die Importabhängigkeit, die unsichere Preisentwicklung sowie die Knappheit fossiler Ressourcen. Deshalb werden Technologien und Energieträger benötigt, die diese fossilen Energieträger substituieren können. Als Alternativen sind laut den Optimierungsergebnissen insbesondere hölzerne Biomasse und Umgebungswärme (Wärmepumpe) zu empfehlen. Aus ökologischer Sicht ist jedoch auch der Einsatz von Solarthermie und – sofern die Grundvoraussetzungen (s. unten) vorhanden sind – die Nutzung der Nahwärme über biogene Brennstoffe zu nennen.

Gerade in Österreich mit seinen ausgeprägten Waldflächen, bietet sich hölzerne Biomasse (Scheitholz, Hackschnitzel, Pellets) als Energieträger zur Wärmeerzeugung an. Die regionalen Voraussetzungen hierfür sind jedoch stark unterschiedlich, wie man am Vergleich der betrachteten Modellregionen sehen kann. Da Pellets als überregionale Energieträger gehandelt werden, liegt jedoch im Grunde keine Beschränkung der Nutzung von Biomasse vor. Der Transport verschlechtert aber natürlich die ökologische Bilanz dieses erneuerbaren Energieträgers.

Eine weitere Alternative im Wärmebereich ist die Umgebungswärme-Nutzung durch elektrische Wärmepumpen, die jedoch den Energieeinsatz auf den Strombereich verlagert. Somit ist die ökologische Bilanz von der Erzeugungsstruktur des verwendeten Stroms abhängig. Der Einsatz elektrisch betriebener Wärmepumpen führt zudem zu einem erhöhten Flexibilitätspotenzial des Strombedarfs, welches vor dem Hintergrund der vermehrten Einbindung von Strom aus fluktuierenden, erneuerbaren Energiequellen (z.B. Windkraft) wünschenswert ist. Hinsichtlich der möglichen Deckung des Wärmepumpen-Strombedarfs durch erneuerbare Energieträger ist zu beachten, dass der Hauptanteil des Bedarfs in der Heizsaison, also primär im Winter, auftritt, in dem die Solarstromerzeugung gering ist.

Obwohl sich die Solarthermie bei den kostengetriebenen Optimierungen nicht durchsetzte, ist diese im Sinne einer klimafreundlichen Wärmeerzeugung klar zu empfehlen. Insbesondere die teilweise Deckung des Warmwasserverbrauchs durch Solarkollektoren ist für Wohngebäude, unabhängig vom Dämmstandard, schon mit einer geringen Kollektorfläche von ca. 1-1,5 m<sup>2</sup> pro Person möglich. Bei richtiger Dimensionierung kann damit schon etwa 60% des jährlichen Warmwasserbedarfs gedeckt werden. Bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard kann auch ein erheblicher Anteil des Heizwärmebedarfs durch Solarthermie zur Verfügung gestellt werden, wobei im Fall der teilsolaren Raumheizung Kollektorflächen von 10-20 m<sup>2</sup> für Ein- und Zweifamilienhäuser empfohlen werden (STMWIVT, 2010).

Ebenso können aus ökologischer Sicht bei passender Abnehmerstruktur kleine Fernwärmenetze (Nahwärme), die durch Biomasse- oder Biogas-Anlagen gespeist werden, empfohlen werden. Diese Art der Wärmeversorgung setzte sich ebenso wie die Solarthermie in der Optimierung aus Kostengründen nicht durch, wird aber bereits heute auch in weiten Teilen des ländlichen Bereichs eingesetzt. Ob eine netzgebundene Versorgung in der Realität wirtschaftlich sinnvoll ist, ist fallspezifisch anhand der

konkreten Bedarfssituation vor Ort, den resultierenden Wärmebelegungsdichten, aber auch der verfügbaren Brennstoff-Potenzialsituation (Holz, Gülle, sonstige organische Abfallstoffe) zu entscheiden. Wärmeabnehmer mit hohem Bedarf (möglichst auch im Sommer) wie beispielsweise Hotels, Schwimmbäder, Krankenhäuser und Mehrfamilienhäuser bieten sich hierfür an. C.A.R.M.E.N. (2012) gibt hierzu einen guten Überblick über Erfolgsfaktoren von Nahwärmenetzen und Heizwerken.

Neben der Substitution fossiler Energieträger gilt es, den Wärmebedarf von Gebäuden drastisch zu senken. Hier ist insbesondere bei Gebäuden aus der Bauperiode vor dem Jahr 1980 mit entsprechend schlechten thermischen Eigenschaften (Dämmung, Fenster) anzusetzen, da diese den Großteil des Bedarfs verursachen und auch noch über die nächsten Jahrzehnte den Gebäudepark dominieren werden (Eicker, 2009). Die in der Modellierung durchgeführten thermischen Gebäudesanierungen mit einer Sanierungsrate von 1% pro Jahr führen über einen Zeitraum von 20 Jahren (Jahr 2015 bis 2035) zu einem Rückgang des Wärmebedarfs im Gebäudebestand von 8,5%. Dies ist angesichts der ambitionierten Ziele in diesem Bereich als sehr gering einzustufen. Somit ist eine deutliche Erhöhung der derzeitigen Sanierungsrate von 1% pro Jahr zu forcieren, was durch entschlossene finanzielle Anreize erreicht werden kann. Außerdem sollte im Fall einer Sanierung eine möglichst weitreichende und qualitativ hochwertige Sanierung durchgeführt werden, da ansonsten eine deutliche Verbesserung des energetischen Standards durch die langen Sanierungszyklen auf lange Sicht aufgeschoben würde (Lock-In Effekt).

Durch die Erneuerung des Gebäudeparks und des sukzessiven Rückgangs der Wärmelasten neuer Gebäude werden Heizsysteme im kleinen Leistungsbereich benötigt, die effizient und auch preisgünstig die nötige Wärme liefern können. Dies gilt insbesondere für Biomasse-Heizsysteme im kleinen Leistungsbereich, da bei diesen noch Aufholbedarf gesehen wird (Kranzl et al., 2010).

Der sinkende Wärmebedarf, der neben dem Klimawandel vor allem von Sanierungs- und Neubaumaßnahmen verursacht wird, resultiert in einer abnehmenden Wirtschaftlichkeit von Fern- und Nahwärmenetzen. Bei bereits existierenden Netzen und Anlagen führt der geringere Wärmebedarf zu sinkenden Auslastungen bzw. Volllaststunden, es sei denn, der Einzugsbereich des Netzes und die Anzahl der versorgten Gebäude werden vergrößert. Bei der Neuplanung oder Anlagenerneuerung ist der sinkende Bedarf in der Planung auf jeden Fall zu berücksichtigen. Dann sind Anlagen mit kleinerer Dimensionierung oder bei KWK-Anlagen höhere Stromkennzahlen (mehr Strom, weniger Wärme) eine Option. Die wärmebedarfssenkenden Effekte sind jedoch im Allgemeinen als positiv zu bewerten, da damit im Normalfall ein geringerer Energieaufwand einhergeht.

## 12.2 Kühlbereich

Die Berechnungen zum Kühlbedarf haben gezeigt, dass dieser zukünftig eine Herausforderung werden könnte. Grund für den erhöhten Kühlbedarf sind die ansteigenden Sommertemperaturen und die damit einhergehenden häufiger und stärker auftretenden Hitzeperioden. Hier muss jedoch stark regional differenziert werden, wie an den Ergebnissen zu den Sommertemperaturen und den Kühlgradtagen beobachtet werden kann. Der städtische Bereich ist dabei aufgrund des Wärmeinsel Effekts wohl besonders sensibel hinsichtlich der Klimaerwärmung, weshalb Anpassungsmaßnahmen auf diesen Siedlungsraum fokussieren sollten.

Nach derzeitigem Stand wird der Kühlbedarf hauptsächlich vom Energieträger Strom über konventionelle Kühlanlagen gedeckt, was den Strombedarf erhöht. Die Kühllasten in Nicht-Wohngebäuden, wie etwa Büros, treten dabei hauptsächlich zu den Nutzungszeiten, also primär untertags, auf, wodurch sich der Einsatz von Photovoltaik-Anlagen zur (zumindest teilweisen) Deckung



dieser Kühllasten sehr stark anbietet. Im privaten Bereich werden eventuell unterschiedliche Kühlzeiten und damit andere Lastprofile auftreten als im gewerblichen Bereich. Diese verlagern sich möglicherweise eher in die Abend- oder Nachtstunden, wo eine direkte Deckung durch PV nicht mehr gewährleistet wäre. Stromspeicher könnten die zeitliche Diskrepanz zwischen PV-Erzeugung und Kühlstrombedarf überbrücken. Das ist jedoch noch spekulativ und wie auch der Wunsch nach gekühlten privaten Räumlichkeiten stark vom Verhalten und Empfinden der jeweiligen Bewohner abhängig. Vor diesem Hintergrund ist auch der Effekt der städtischen Wärmeinsel entscheidend, der einen stark erhöhten Kühlbedarf in Städten gegenüber dem Umland erwarten lässt.

Am vorteilhaftesten wäre es natürlich, den zunächst als theoretisch zu bezeichnenden Kühlbedarf so weit wie möglich einzudämmen bzw. gar nicht erst aufkommen zu lassen. Hierfür gibt es zahlreiche Maßnahmen, angefangen bei der Gebäudeplanung, in Form von architektonischen Konzepten und passiven Maßnahmen wie der Reduktion transparenter Flächen, Außenverschattungen, welche auch nachträglich installiert werden können, und thermische Speichermassen in Verbindung mit einer Nachtlüftung (möglichst über Fenster). Hohe innere Lasten, hervorgerufen durch thermische Verluste von elektrischen Geräten, gelten ebenso als Ursache hoher Kühllasten. Somit wird die Verwendung energieeffizienter Geräte auch im Hinblick auf die Verringerung von Kühllasten empfohlen. Im städtischen Raum ist die Verringerung des Wärmeinsel Effekts von maßgeblicher Bedeutung, da ansonsten Überhitzung droht, die zu einem starken Anstieg des Kühlbedarfs führen kann. Auf städtebaulicher Ebene – Stichwort Urban Planning – kann dem Wärmeinsel Effekt durch Maßnahmen wie großzügigen Grün- und Wasserflächen, hoher Winddurchspülung und hellerer Farbgestaltung (beispielsweise der Dächer) entgegengewirkt werden. Weiterhin kann richtiges Nutzerverhalten, wie etwa Morgen- und Nachtlüftung oder auch Maßnahmen zu erhöhter Luftbewegung über Querlüftung oder den Einsatz von Ventilatoren, bereits zu einer Erhöhung des thermischen Komforts beitragen, der ohne oder nur mit geringem Energieaufwand erzielt werden kann.

In der hier vorgestellten Modellierung der aktiven Kühlbedarfsdeckung wurde von konventionellen Klimaanlage ausgegangen. Jedoch wäre – sofern aktiver Kühleinsatz nötig ist – der Einsatz nachhaltiger aktiver Kühlmaßnahmen wünschenswert. Als solche zählen Erdkühlung, solare Kühlung und Fernkälte. Pilotprojekte und weitere Forschung auf diesem Gebiet würden die zukünftige Verwendung solcher Kühltechnologien sicher steigern.

Eine weitreichende, auch durch Kampagnen unterstützte Aufklärung und Bewusstseinsbildung der Bürgerinnen und Bürger über Grundlagen im Energiebereich und über geeignetes, energiesparendes Verhalten sind sicher weitere Maßnahmen, die in nicht unerheblichem Ausmaß zu einem nachhaltigeren und verantwortungsbewussteren Umgang mit dem Thema Energie führen. Hierzu zählen nicht zuletzt Hinweise bezüglich dem bereits angesprochenen richtigen Nutzerverhalten. Ebenso sollte durch entsprechende Kampagnen darauf hingewirkt werden, dass die Verwendung von Klimaanlage nicht zum Standard in privaten Wohngebäuden wird.

## 13. Diskussion und Ausblick

Zum Abschluss werden die zugrunde liegenden Methoden und Daten und die erarbeiteten Ergebnisse kritisch hinterfragt und diskutiert sowie ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und relevante Forschungsschwerpunkte und -methoden entworfen, der einem erleichterten Zugang zukünftiger Arbeiten dienen soll.

### 13.1 Räumlicher Ansatz und regionale Energiesystemoptimierung

Die dezidierte Berücksichtigung und Einbindung von räumlichen Aspekten in die regionale Energiesystemmodellierung und -optimierung bietet Vorteile hinsichtlich der Darstellung der Energiebedarfs- und -potenzialstrukturen. Im Fokus ist dabei primär die räumlich korrekte Abbildung des Wärmesektors. Ohne die Berücksichtigung von räumlichen Aspekten, die beispielsweise Bedarfsdichten, Distanzen und die räumliche Potenzialverfügbarkeit wiedergeben, können netzgebundene Technologien wie Fern- und Nahwärme oder auch von den räumlichen Voraussetzungen abhängigen Technologien (z.B. Umgebungswärme, Solarenergie) auf einer regionalen Skala nur ungenügend in einer Systemmodellierung und -optimierung berücksichtigt werden. Ein weiteres Argument einer hohen räumlichen Diversifizierung ist die standortspezifische Aussagekraft von Ergebnissen. Dies macht Ergebnisse leichter nachvollziehbar und als Vorstufe für eine spätere konkrete technische Planung zugänglich.

Der für die Energiebedarfsmodellierung verwendete Rasteransatz mit einer räumlichen Auflösung von 250 m bildet die räumlichen Strukturen, insbesondere die Siedlungsstruktur, des regionalen Energiesystems im Rahmen von strategischen oder konzeptionellen Analysen adäquat ab. Für konkretere Analysen hin zur Planung ist der Ansatz jedoch nicht detailliert genug, so dass für solche Zwecke eine bessere Datengrundlage und möglicherweise eine Vor-Ort-Analyse vonnöten ist.

Hinsichtlich der Energiesystemoptimierung ganzer Regionen, wie sie hier durchgeführt wurde, ist die aggregierte Darstellung der Gebäude im Rasteransatz positiv zu bewerten, da hierdurch die Anzahl der zu modellierenden Objekte deutlich verringert wird und somit die regionale Energiesystemoptimierung inklusive der modellendogenen Modellierung mehrerer Wärmenetze überhaupt erst möglich wird. Eine gebäudegenaue Optimierung würde in diesem Fall zu viel Rechenkapazität erfordern. Für eine reine Bedarfsmodellierung ist jedoch sicherlich die gebäudegenaue Darstellung vorzuziehen, sofern ein geeigneter Datensatz verfügbar ist.

Der Vorteil der angewendeten regionalen Energiesystemoptimierung besteht in der Verknüpfung der gewonnenen Informationen zu Energiebedarf und Energiepotenzialen, wobei sowohl räumliche als auch zeitliche Aspekte einbezogen werden. Somit können Konzepte und Ziele zur zukünftigen Energieversorgung unter expliziter Berücksichtigung der regionalspezifischen Gegebenheiten definiert und überprüft werden. Dies betrifft höchst relevante Ziel- bzw. Ergebnisparameter wie die Treibhausgasemissionen, den Primärenergie-Verbrauch, die Zusammensetzung der Energieträger und -technologien, den Anteil erneuerbarer Energien, den Autarkiegrad und nicht zuletzt die Kosten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Einbindung von räumlich diskreten Informationen in eine Systemmodellierung und -optimierung immer der Abwägung bedarf, welcher Mehrwert damit für die Aussagekraft eines Ergebnisses erzielt werden kann, da die Aufbereitung von räumlichen Informationen auf regionaler Skala mitunter einen sehr hohen Aufwand bedeuten kann (s. auch Kap. 13.3).

## 13.2 Gebäudedaten

Der verwendete Rasterdatensatz der Statistik Austria zum Gebäudebestand ist kostenpflichtig verfügbar. Weiterhin gibt er einen guten ersten Eindruck über die Siedlungsstruktur inklusive der Nutzungsarten und der Bauperioden der Gebäude, was für die Bedarfsmodellierung von Bedeutung ist. Eine weitere Aufgliederung der Nutzungskategorie „Nicht-Wohngebäude“, z.B. in die Kategorien Büro, Einzelhandel, öffentliche Gebäude und Hotel, würde jedoch zu einer differenzierteren Darstellung und somit verbesserten Datengrundlage führen. Der im Rahmen der Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ) im Jahr 2001 erstellte Datensatz ist nicht mehr sonderlich aktuell und Datenschutzrestriktionen in dünn besiedelten Gebieten (Rasterzellen mit weniger als vier Gebäuden) verringern die Qualität. Die für Bedarfsanalysen relevante Information über Gebäudeflächen ist zudem im vorliegenden Datensatz nicht vorhanden, weshalb typische Gebäudeflächen verwendet wurden, die insbesondere im Fall von Mehrfamilienhäusern und Nicht-Wohngebäuden zu einer hohen Abweichung im Vergleich zur Realität führen können. Ein Datensatz der Statistik Austria über die vorkommenden Wohnungsflächen steht zwar zur Verfügung, bildet aber die Flächen im Nicht-Wohnbereich nicht ab und kann zudem nicht in Verbindung mit der Gebäudenutzung und den -bauperioden verwendet werden. Hier ist abzuwägen, welcher Parameter (Fläche oder Nutzung/Bauperiode) eine höhere Relevanz hinsichtlich des Fokus der Untersuchung besitzt.

Ebenso gibt es die Möglichkeit, auf andere Gebäudedatensätze zurückzugreifen, die möglicherweise einen Mehrwert gegenüber den Statistik Austria Datensätzen darstellen. Zu nennen ist an dieser Stelle der frei verfügbare, kostenlose Gebäudedatensatz aus Open Street Map (OSM), der gebäudegenaue Grundrisse darstellt, was einen wichtigen Hinweis für die Flächenbestimmung darstellt. Jedoch sind speziell im ländlichen Raum nicht alle Gebäude in diesem Datensatz hinterlegt, obwohl die Vollständigkeit in Österreich und Deutschland im internationalen Vergleich als hoch eingestuft wird. Ein potenzieller Vorteil der OSM Daten liegt in der Möglichkeit, weitere für die Bedarfsbestimmung relevante Zusatzinformationen wie Gebäudetyp, Anzahl der Stockwerke und Gebäudehöhe zu vermerken, wobei die Vollständigkeit dieser Zusatzinformationen leider nicht gegeben ist. Sind diese Informationen bekannt, steht eine sehr gute Datengrundlage zur gebäudegenauen Modellierung des Energiebedarfs zur Verfügung. Hier ist regions- und fallspezifisch zu entscheiden, ob die OSM Daten zur Nutzung geeignet sind.

Der Zugriff auf detailliertere Datensätze zum Gebäudebestand ist häufig nur öffentlichen Institutionen wie Gemeinden, Ländern und Ministerien möglich. Als Beispiel sind in Österreich die Daten aus dem Adress-, Gebäude- und Wohnungsregister (AGWR) zu nennen, die ausführliche, auch energetische Eckdaten von Gebäuden und Wohnungen aufweisen. Die Daten sind jedoch nicht öffentlich zugänglich und können somit in der Regel nicht verwendet werden. Gleiches gilt für Energieverbrauchsdaten (z.B. Erdgas, Fernwärme), die von Energieversorgungsunternehmen im Rahmen der Abrechnung erhoben werden. Diese geben ein realistisches Bild von der Verbrauchssituation wieder, was für die Abschätzung des Energiebedarfs verwendet werden kann.

## 13.3 Klimadaten mit hoher räumlicher Auflösung

Klimadaten aus regionalen Klimamodellen (RCM) mit einer räumlichen Auflösung von 25 km wurden im Rahmen des CLEOS-Projekts (Hausl et al., 2013) vom Wegener Center auf eine sehr hohe Auflösung von 1 km verfeinert, um eine genauere Darstellung des fein gegliederten Alpenraums zu ermöglichen (s. Kap. 3). Vor allem in der alpinen Region Tamsweg, die starke Höhenunterschiede aufweist, können hierdurch größere regionsinterne Unterschiede beobachtet werden, wodurch ein Mehrwert entsteht.

Die Verfeinerung verbessert die räumliche Zuweisung der in den RCM erstellten Ergebnisse, die Klimaprognose hängt aber weiterhin maßgeblich von den zugrunde liegenden globalen und regionalen Modellen ab. In Anbetracht der Unsicherheiten bei der globalen und regionalen Klimamodellierung bis zum Jahr 2050 sind solche hoch aufgelösten Klimadaten hinsichtlich der Unsicherheit ähnlich zu bewerten wie die der darüber liegenden Modelle.

Die Verknüpfung der Klimadaten, die hohe Datenmengen aufweisen, mit den Gebäudedaten im GIS führt zu einem Mehraufwand, der bei geringerer räumlicher Differenzierung der Klimaszenarien (beispielsweise nur ein Klimasatz pro Region und Klimaszenario) vermieden werden könnte und nur einen relativ geringen Verlust bezüglich der Aussagekraft mit sich bringen würde.

Für die simulationstechnische Bewertung der klimabedingten Überhitzungsproblematik in Gebäuden ist darüber hinaus die hohe zeitliche Auflösung von höherer Relevanz als die eben diskutierte hohe räumliche Auflösung der Klimadaten.

### **13.4 Klimaabhängige Modellierung des Wärme- und Kältebedarfs**

Die Wärme- und Kältebedarfsmodellierung basiert auf einem stationären Bottom-Up Ansatz, mit dem ausgehend von Einzelgebäuden der Energiebedarf der Regionen berechnet wird. Die Klimaanpassung erfolgt weitgehend über die Korrektur der spezifischen Bedarfswerte mittels der Heiz- und Kühlgradtage. Aufgrund der hohen Relevanz von Sanierungen im Wärmebereich, werden diese berücksichtigt, um den Sanierungseffekt im untersuchten Zeithorizont zu analysieren. Im Kühlbereich wird zudem die Ausbreitung von Klimaanlage klimaabhängig modelliert.

Die verwendeten Heiz- und Kühlgradtage geben mittlere Temperaturwerte auf Monats-, Tages- oder Stundenbasis unter Berücksichtigung einer Grenztemperatur wieder, wobei eine Berechnung mit höherer zeitlicher Auflösung zu genaueren Ergebnissen führt. Die Variation innerhalb eines Zeitschritts wird durch die Verwendung von Mittelwerten jedoch nicht explizit berücksichtigt. Durch die Mittelwertbildung des Klimas über mehrere Jahre, so wie hier durch die 30-Jahresperioden geschehen, gehen zudem Informationen über auftretende Temperaturextremwerte verloren. Es entsteht ein geglätteter Verlauf. Dennoch stellen die Heiz- und Kühlgradtage Größen dar, die einen Hinweis auf die zu erwartenden klimabedingten Änderungen des Energiebedarfs geben und zudem einfach zu berechnen sind.

Im angewendeten stationären Ansatz werden die zeitlichen Vorgänge im Gegensatz zu dynamischen Simulationen nur pauschal oder gar nicht berücksichtigt. Für die klimaabhängige Heizbedarfsberechnung gelten stationäre Verfahren unter Verwendung von Heizgradtagen dennoch als geeignet, was sich mit der geringeren zeitlichen Dynamik durch den geringeren Einfluss der solaren Wärmeinträge in der Heizperiode erklären lässt. Diese Eignung gilt nur bedingt für detaillierte Kühlbedarfsberechnungen, die mit dynamischen Verfahren deutlich besser abgebildet werden können. Nachdem die meisten Gebäude in der durchgeführten Analyse Wohngebäude (mit im Gegensatz zu Nicht-Wohngebäuden geringerem Kühlbedarf) sind und keine Städte betrachtet werden, verringert sich jedoch die Relevanz der Anwendung dynamischer Gebäudesimulationen.

Die Herausforderungen bei der klimaabhängigen Kühlbedarfsmodellierung lagen, sowohl bezüglich des spezifischen Kühlbedarfs, da keine eigenen detaillierten dynamischen Modellierungen durchgeführt wurden, als auch der Diffusion von Klimaanlage, in der allgemein schlechten Datenverfügbarkeit sowie der eindeutigen Zuweisung vorhandener Daten zu einem entsprechenden Klima. Somit war die Übertragbarkeit von Erkenntnissen und Analysen auf die Testregionen und die Erstellung darauf aufbauender Prognosen zu hinterfragen.

Im vorliegenden Ansatz wurde daher die Plausibilität der verwendeten Funktionen und Ergebnisse zum spezifischen Kühlbedarf überprüft und deren Verwendung als ausreichend gut eingestuft. Bei den Wohngebäuden geschah die Plausibilisierung über den Vergleich mit den Ergebnissen und Schätzungen aus vorhandenen Quellen, während die für Nicht-Wohngebäude verwendete Funktion bereits auf dynamischen Gebäudesimulationen und einer weitreichenden empirischen Analyse aus der Schweiz beruhte, was für die Verwendung sprach.

Die zukünftige Ausbreitung von Klimaanlage wurde ebenso wie der spezifische Kühlbedarf über eine KGT-Abhängigkeit auf Basis vorhandener Quellen modelliert wurde. Auch hier stellen die schlechte Datenverfügbarkeit und die Übertragbarkeit Herausforderungen dar. Der Vorteil der angewendeten Methodik liegt hingegen in der rein funktionsbasierten Diffusionsmodellierung, durch welche sich das Treffen von Annahmen für jedes einzelne Szenario oder gar für jede Rasterzelle erübrigt. Die konsistente Modellierung in unterschiedlichen Testregionen und unter unterschiedlichen Klimaniveaus vermittelt zudem durch den großen Szenarien- bzw. Lösungsraum (Regionen / Klimamodelle / Klimaperioden) eine Übersicht über mögliche Entwicklungen im Kühlbereich, zumal diese mit hohen Unsicherheiten behaftet sind. Im Wohnbereich resultiert durch das angewendete Vorgehen ein regionaler Durchdringungsgrad mit Klimaanlage von bis zu 34% in Haushalten, was insbesondere im Vergleich zu den derzeit sehr geringen Werten und vor dem Hintergrund des ländlichen Charakters der Testregionen (keine Wärmeinseln) als hoch einzuschätzen ist. Im Bereich der Nicht-Wohngebäude kommt ein ähnlicher Ansatz zum Einsatz, wobei durch die verwendete Funktion selbst bei KGT von null von einem Anteil klimatisierter Flächen von 15% ausgegangen wird, was u.a. durch stärkere innere Wärmelasten und höhere Komfortansprüche, beispielsweise in Bürogebäuden, begründet wird. Die Vorgehensweise führt im maximalen Szenario in der Region Feldbach zu einem Anteil klimatisierter Flächen in Nicht-Wohngebäuden von 64%, was ebenfalls als hoch eingeschätzt wird. Vor allem hierdurch steigt der Anteil des Klimatisierungsstrombedarfs am Gesamtstrombedarf in der Region Feldbach auf bis zu 13%. Zu beachten ist dabei, dass alle im Rasterdatensatz vorhandenen NWG berücksichtigt und als Bürogebäude behandelt wurden. Möglicherweise wurde dadurch der Anteil der klimatisierten Flächen in NWG als zu hoch angenommen. Die in Kap. 13.2 bereits angesprochene weitere Aufgliederung der Nutzungskategorie „Nicht-Wohngebäude“ würde wohl zu genaueren Ergebnissen führen.

Zusammenfassend wird die angewendete Modellierung des Heizbedarfs anhand der Heizgradtage inklusive der vorgenommenen thermischen Sanierungen als adäquat eingestuft, während die Modellierung des Kühlbedarfs im Rahmen einer gesamtregionalen Analyse als geeignet angesehen wird, um die Größenordnung der zu erwartenden Kühlbedarfssteigerung abzuschätzen. Der derzeitige (und zukünftige) Zustand im Kühlbereich wird mit der angewendeten Methodik plausibel abgebildet und die relativ einfache Prozessierbarkeit ermöglicht die Modellierung einer hohen Szenarien- und Objektanzahl, wie es zur Umsetzung der GIS-basierten Modellierung nötig ist.

## 14. Anhang

### 14.1 Optimierungsmodell RESRO: Mathematische Gleichungen

Das verwendete Modell RESRO wurde bereits in Hausl et al. (2012) vorgestellt. Dennoch werden im Folgenden die Modellgleichungen präsentiert, nicht zuletzt, weil es einige Anpassungen im Vergleich zur bereits publizierten Version gibt. Das auf linearer Programmierung basierende Modell ist in der Optimierungssoftware GAMS (General Algebraic Modeling System) implementiert und verfügt über Input- und Output-Schnittstellen zu Excel.

Um die Häufigkeit des Auftretens der Typtage innerhalb eines Jahres zu berücksichtigen, wird eine Typtagmatrix verwendet, mit deren Faktoren (TDM) die Betriebskosten und auch die erzeugte Energie eines Typtages auf ein Jahr hochgerechnet werden.

Tabelle 14-1 Verwendete Typtagmatrix. Auftreten der jeweiligen Typtage innerhalb eines Jahres.

Art des Tages	Winter (Nov-Feb)	Übergang (Mrz, Apr, Sep, Okt)	Sommer (Mai-Aug)	$\Sigma$
Werktag	82,3	83,6	84,3	250,2
Nicht-Werktag	37,7	38,4	38,7	114,8
$\Sigma$	120	122	123	365

Durch Verwendung zahlreicher Teilmengen (subsets), sowohl bei den Technologien als auch den Rasterzellen, wird versucht, den Rechenaufwand möglichst gering zu halten.

So werden beispielsweise die Wärmedeckungsgleichungen nur auf Rasterzellen mit Wärmebedarf (regions\_sub) angewandt. Es wird auch eine grobe Vorauswahl an potentiellen Fernwärme-Gebieten (regions\_grid) und eine Vorauswahl an Standorten für zentrale Erzeugungsanlagen (regions\_plant) festgelegt. Auch die Gebiete mit möglicher Erdgasversorgung werden festgelegt. In folgender Darstellung werden die Rasterzellen (reg) jedoch nicht unterschiedlich dargestellt.

Tabelle 14-2 Indices der Modellgleichungen, -variablen und -parameter. Im GAMS-Code als Sets bezeichnet.

Indices (sets)	
<b>TIME-Sets</b>	
sn	season
d	day
hr	hour
<b>p</b>	<b>plant technology (large-scale), centralised</b>
p_chp	subset of p, chp
p_h	subset of p, only-heat
<b>reg</b>	<b>regions (raster cells)</b>
reg-nb	from reg to nb
nb	subset of reg, neighbour region
nb-reg	from nb to reg
<b>s</b>	<b>supply technology (small scale), decentralised</b>
Amb	subset of s, ambient heat technologies
PV	subset of s, photovoltaic
s_chp	subset of s, only chp
s_el	subset of s, only-electric or chp
s_g	subset of s, grid-bound heat exchanger (for district heating)

s_h	subset of s, only heat
s_renew	subset of s, renewable heat supply technol.
Sol	subset of s, Solar technologies, ST+PV
ST	subset of s, solar thermal heat
<b>t</b>	<b>technology, supply s + plants p</b>
t_Biom	subset of t, biomass technologies
t_chp	subset of t, chp
t_el	subset of t, only-electric or chp
t_h	subset of t, only-heat
<b>Others</b>	
Biom	biomass (wood&biogas)
EL	electricity exchange (power grid)
g	grid technology (here: district heating)

Tabelle 14-3 Variablen und Parameter der Modellgleichungen

Variables and parameters		Unit	Variable	Parameter
Add	Additional power demand	kWh	x	
Amax	Maximum available solar areas	m <sup>2</sup>		x
Irr	Irradiation values	kWh/m <sup>2</sup>		x
CO2	CO <sub>2eq</sub> -Emissions	t	x	
CoF	Concurrence Factor			x
Cp	Installed capacity	kW	x	
Cp_n	New Capacity	kW	x	
Dem_el	Power demand	kWh		x
Dem_h	Heat demand	kWh		x
E	Energy input, Final energy level	kWh	x	
EL	Electricity costs	€/kWh		x
EL_in	Electricity Feed-In revenues	€/kWh		x
emi	Specific CO <sub>2</sub> -emissions	g/kWh		x
Ex	Export revenues for power	€/kWh		x
FI	Feed-In share of generation			x
FLH	Full load hours	h		x
Fw	Heat flow between subregions	kWh	x	
G_n	New grid capacity	kWh	x	
n_hr	number of hour(-blocks) per type-day			x
I	Investment costs, capacity-dependant	€/kW		x
Im	Import costs for power	€/kWh		x
Ld	Heat load (heat generation)	kWh	x	
Ld_ex	Regional electricity export load	kWh	x	
Ld_im	Regional electricity import load	kWh	x	
Lk	Linkage capacity of district heating grid	kWh	x	
M	Maintenance costs, capacity-dependant	€/kW		x
Op	Operation costs, load-dependant (fuel costs)	€/kWh		x
Pot	Potential	kWh		x
r	Ratio of heat generation		x	
r_min	Minimum ratio of renewable heat generation			x
TDM	Type-Day Matrix Factor			x
v	Heat transportation losses between subregions			x
η_el	Electric efficiency			x
η_th	Heat efficiency			x

eq\_cost

Kostenfunktion (Zielfunktion): enthält sämtliche in einem Jahr anfallenden Investment- (I), Wartungs- (M) und Brennstoffkosten (Op) für dezentrale und zentrale Anlagen (t) sowie Netzinfrastruktur (g). Außerdem Stromkosten aus überregionalem Netzbezug (Ld\_im) und Stromeinnahmen aus überregionaler Netzeinspeisung (Ld\_ex). Zusätzlich wird ein Netznutzungsentgelt (Differenz aus Einkaufspreis EL und Verkaufspreis EL\_in) für den eingespeisten Anteil (FI) selbst erzeugten Stroms aufgeschlagen.

$$\begin{aligned} \text{Min! } Z = & \sum_{t,reg} (Cp_{n,t,reg} * (I_t + M_t)) + \sum_{g,reg} (Cp_{n,g,reg} * I_g) \\ & + \sum_{t,h,sn,reg} (E_{t,h,sn,reg} * Opt_{t,h}) + \sum_{t,el,sn,d,hr,reg} (E_{t,el,sn,d,hr,reg} * Opt_{t,el} * TDM_{sn,d}) \\ & + \sum_{sn,d,hr} ((Ld_{im,sn,d,hr} - Ld_{ex,sn,d,hr}) * EL * TDM_{sn,d}) \\ & + \sum_{t,el,reg,sn,d,hr} (E_{t,el,sn,d,hr,reg} * \eta_{el,t,el} * TDM_{sn,d} * FI_{t,el} * (EL - EL_{in})) \end{aligned} \quad (1)$$

eq\_Heat\_Demand(sn,reg)

Wärmelastdeckung für jede Saison und jede Rasterzelle durch Kleintechnologien (s\_h, s\_chp).

$$\sum_{s,h} Ld_{s,h,sn,reg} + \sum_{s,chp} Ld_{s,CHP,sn,reg} = Dem_{h,sn,reg} \quad (2)$$

mit saisonaler Wärmeerzeugung Kleintechnologien (nur thermisch)

$$Ld_{s,h,sn,reg} = E_{s,h,sn,reg} * \eta_{th,s,h} \quad (3)$$

und

saisonaler Wärmeerzeugung KWK-Technologien (hier dargestellt für Groß- und Kleinanlagen t\_chp): wird für jede Saison berechnet anhand des Betriebs an den Typtagen der entsprechenden Saison.

$$Ld_{t,chp,sn,reg} = \sum_{d,hr} (E_{t,chp,sn,d,hr,reg} * \eta_{th,s,chp} * TDM_{sn,d}) \quad (4)$$

eq\_Electric\_Demand(sn,d,hr)

Strombilanz für jeden 2-Stunden-Zeitschritt jedes Typtags. Enthält Eigenerzeugung, regionalen Stromimport (Ld\_im) und -export (Ld\_ex) sowie vorgegebene Stromlast (Dem\_el) und über Saison konstante Last von Wärmepumpen (Add).

$$\sum_{t,el,reg} (E_{t,el,sn,d,hr,reg} * \eta_{el,t,el}) + Ld_{im,sn,d,hr} - Ld_{ex,sn,d,hr} = Dem_{el,sn,d,hr} + Add_{sn,d,hr} \quad (6)$$

mit

$$Add_{sn,d,hr} = \sum_{Amb,reg} E_{Amb,sn,reg} / (d_{sn} * n_{hr}) \quad (6)$$

eq\_Kap\_Akt\_S\_th1(s\_h,reg)

Jahres-Kapazitäts-Aktivitäts-Begrenzung thermische Kleintechnologien (s\_h) für jede Rasterzelle: Jährliche Wärmeerzeugung wird begrenzt durch installierte Leistung (Cp) und zellengenaue Volllaststunden (FLH).

$$\sum_{sn} (E_{s,h,sn,reg} * \eta_{th,s,h}) \leq Cp_{s,h,reg} * FLH_{reg} \quad (7)$$

eq\_Kap\_Akt\_t\_th2(t\_h,sn,reg)

Kapazitäts-Aktivitäts-Begrenzung thermische Technologien (t\_h) für jede Saison und Rasterzelle: Saisonale Wärmeerzeugung wird begrenzt durch install. Leistung (Cp) und Dauer der Saison (in Stunden).

$$E_{t,h,sn,reg} * \eta_{th,t,h} \leq Cp_{t,h,reg} * d_{sn} * 24 \quad (8)$$



eq\_Kap\_Akt\_S\_time1(s\_el,reg)

Kapazitäts-Aktivitäts-Begrenzung Kleintechnologien mit Stromerzeugung (z.B. BHKW). Jährliche Stromerzeugung wird begrenzt über installierte Leistung (Cp) und Vollaststunden (FLH).

$$\sum_{sn,d,hr} (E_{s,el,sn,d,hr,reg} * \eta_{el,s,el} * TDM_{sn,d}) \leq Cp_{s,el,reg} * FLH_{reg} \quad (9)$$

eq\_Kap\_Akt\_t\_time2(t\_el,sn,d,hr,reg)

Kapazitäts-Aktivitäts-Begrenzung für Technologien mit Stromerzeugung (z.B. BHKW, KWK) für jede Rasterzelle und kleinstes Zeitintervall an Typtagen (hier: 2-Stunden-Intervall).

$$E_{t,el,sn,d,hr,reg} * \eta_{el,t,el} \leq Cp_{t,el,reg} * (24 / n_{hr}) \quad (10)$$

### Anmerkung:

Die Erzeugung aus Kleintechnologien wird auf Jahresebene über die zellenspezifischen Vollaststunden des Heizobjekts begrenzt. So wird sichergestellt, dass die installierte Kapazität passend dimensioniert wird. Auf Saison- bzw. Stundenebene wird die Erzeugung zusätzlich über den kleinsten Zeitschritt begrenzt. Es ergibt sich eine an das Wärmebedarfsprofil angepasste Auslegung und Erzeugung der Anlagen.

Bei den ins Wärmenetz einspeisenden Großanlagen (Heizwerke, KWK) wird nur über den kleinsten Zeitschritt begrenzt, da im Rahmen dieser maximal möglichen Grenzen der Betrieb frei eingeteilt werden kann. Somit kann modellendogen ein Grundlast- oder Spitzenlastbetrieb abgebildet werden.

### Solargleichungen

Die bisherigen Kap-Akt-Gleichungen werden nicht auf die Solartechnologien angewandt. Die Solargleichungen sind wie folgt modelliert.

Die zugrunde liegende monatliche Globalstrahlung je Rasterzelle wird über monatliche Transpositionsfaktoren auf die jeweilig angenommene Neigung (60° für ST, 35° für PV) transformiert. Für PV wird zusätzlich ein typischer Tagesverlauf der Sonne berücksichtigt. Der Wirkungsgrad wird wie bei den anderen Technologien in Formel (3) berücksichtigt.

eq\_Kap\_Akt\_Solar(ST,sn,reg)

Zeitlich veränderliche Verfügbarkeit von Solarthermie für jede Saison und Rasterzelle: Solarinput (Globalstrahlung) wird begrenzt durch installierte Fläche (Cp) und zellengenauer spezifischer Globalstrahlung pro Saison (Irr<sub>ST,sn</sub>, in kWh/m<sup>2</sup>).

$$E_{ST,sn,reg} \leq Cp_{ST,reg} * Irr_{ST,sn} \quad (11)$$

eq\_Kap\_Akt\_PV(PV,sn,d,hr,reg)

Zeitlich veränderliche Verfügbarkeit von PV für jede Rasterzelle und jeden 2h-Zeitschritt. Solarinput (Globalstrahlung) wird begrenzt durch installierte Fläche (Cp) und zellengenauer spezifischer Globalstrahlung pro 2-Stunden-Schritt je Typtag (Irr<sub>PV,sn,hr</sub>, in kWh/m<sup>2</sup>).

$$E_{PV,sn,d,hr,reg} \leq Cp_{PV,reg} * Irr_{PV,sn,hr} \quad (12)$$

## Beschränkungen

eq\_Raster\_LIMIT(reg)

Obergrenze für Technologieausbau für jede Rasterzelle, hier für Solarflächen (ST & PV).

$$\sum_{\text{Sol}} Cp_{\text{Sol},\text{reg}} \leq \text{AmaX}_{\text{reg}} \quad (13)$$

eq\_Raster\_LIMIT\_Saison(sn,reg)

Obergrenze für Technologienutzung für jede Saison und Rasterzelle, hier für Umgebungswärme (Amb)

$$\sum_{\text{Amb}} Ld_{\text{Amb},\text{sn},\text{reg}} \leq \text{Dem}_h_{\text{amb},\text{sn},\text{reg}} \quad (14)$$

eq\_Total\_LIMIT(Biom)

Gesamtregionale Obergrenze für Ressourcen, hier für Biomasse-Nutzung (Holz, Biogas).

$$\sum_{\text{t},\text{Biom},\text{sn},\text{reg}} E_{\text{t},\text{Biom},\text{sn},\text{reg}} + \sum_{\text{t},\text{Biom},\text{sn},\text{d},\text{hr},\text{reg}} (E_{\text{t},\text{Biom},\text{sn},\text{d},\text{hr},\text{reg}} * \text{TDM}_{\text{sn},\text{d}}) \leq \text{Pot}_{\text{Biom}} \quad (15)$$

## Netzgleichungen

Um Netze wie etwa ein Fernwärmenetz<sup>37</sup> modellieren zu können, werden spezielle Netzgleichungen berücksichtigt, die nur auf Rasterzellen mit potentiell Fernwärmenetz angewandt werden. Die grobe Vorauswahl beinhaltet Rasterzellen mit Wärmebedarf und angrenzende Rasterzellen, so dass auch durch Zellen ohne Wärmebedarf gebaut werden kann.

eq\_GRID\_low\_bound(g,reg)

Netzkapazität pro Rasterzelle ( $Cp_g$ , in kWh/a) muss größer-gleich der Erzeugungskapazität (über install. Leistung  $Cp_p$  und typische Volllaststunden FLH) der zentralen Wärmeerzeuger (p) in der Rasterzelle und der Übertragungskapazität (Lk) aus benachbarten Rasterzellen (nb) abzgl. Verluste (v) sein. Die (neue) Netzkapazität pro Rasterzelle bestimmt die Investitionskosten für das Netz in (1).

$$Cp_{g,\text{reg}} \geq \sum_p (Cp_{p,\text{reg}} * \text{FLH}_p) + \sum_{\text{nb}} (Lk_{\text{nb},\text{reg}} * (1-v)) \quad (16)$$

eq\_Kap\_Akt\_LINK(g,reg-nb)

Wärmefluss (Fw) zwischen benachbarten Zellen wird durch Übertragungskapazität (Lk) begrenzt. Diese beeinflusst wiederum die Netzkapazität innerhalb einer Rasterzelle, siehe (16).

$$\sum_{\text{sn}} Fw_{\text{reg-nb},\text{sn}} \leq Lk_{\text{reg-nb}} \quad (17)$$

eq\_GRID\_BILANCE(g,sn,reg)

Fernwärme-Bilanzgleichung saisonal für jede Rasterzelle in kWh:

Bilanzgleichung (18) bildet rasterzellenübergreifende Wärmezu- und -abflüsse (Fw) inklusive der verbrauchten Fernwärme durch Wärmetauscher ( $E_{s,g}$ ) und der eingespeisten Wärme aus zentralen Anlagen ( $Ld_p$ ) ab: Export + Verbrauch  $\leq$  Import (abzgl. Verluste) + Erzeugung

$$\sum_{\text{nb}} Fw_{\text{reg-nb},\text{sn}} + E_{s,g,\text{sn},\text{reg}} \leq \sum_{\text{nb}} (Fw_{\text{nb-reg},\text{sn}} * (1-v)) + \sum_p Ld_{p,\text{sn},\text{reg}} \quad (18)$$

eq\_GRID\_BILANCE\_load(g,reg)

Bilanzgleichung Anschlussleistung in kW, äquivalent zu (18) auf Leistungsebene.

Kap-Export + Kap-Verbrauch  $\leq$  Kap-Import (abzgl. Verluste) + Kap-Plants (inkl. Gleichzeitigkeit CoF)

$$\sum_{\text{nb}} (Lk_{\text{reg-nb}} / \text{FLH}_{\text{nb}}) + Cp_{s,g,\text{reg}} \leq$$

<sup>37</sup> Gleichungen sind auch übertragbar auf Strom- oder Gasnetze.

$$\sum_{nb} (Lk_{nb-reg} * (1-v) / FLH_{reg}) + (\sum_{p,h} Cp_{p,h,reg} + \sum_{p,el} (Cp_{p,el,reg} * \eta_{th_{p,el}} / \eta_{el_{p,el}})) / CoF \quad (19)$$

### Optionale Gleichungen

eq\_co2\_emiss

Co<sub>2</sub><sub>eq</sub>-Emissionen gesamt in Tonnen pro Jahr: berechnet anhand der Technologien auf Saisonebene (t<sub>h</sub>), der Technologien auf Stundenebene (t<sub>el</sub>) und des überregionalen Netto-Stromimports. Kann verbindlich begrenzt werden.

$$CO2 = 10^{-6} * (\sum_{t,h,sn,reg} (E_{t,h,sn,reg} * emi_{t,h}) + \sum_{t,el,sn,d,hr,reg} (E_{t,el,sn,d,hr,reg} * TDM_{sn,d} * emi_{t,el}) + \sum_{sn,d,hr} ((Ld_{im_{sn,d,hr}} - Ld_{ex_{sn,d,hr}}) * TDM_{sn,d} * emi_{EL})) \quad (20)$$

eq\_restrict\_techn(s)

Anteil der Technologien an Wärmeerzeugung (r<sub>s</sub>) berechnet aus regionaler Erzeugung und regionalem Wärmebedarf. Kann für technologiespezifische Unter- und Obergrenzen genutzt werden.

$$r_s = \sum_{sn,reg} Ld_{s,sn,reg} / \sum_{sn,reg} Dem_{h,sn,reg} \quad (21)$$

eq\_renew

Anteil Erneuerbarer Energien an Wärmeerzeugung. Mindestanteil r<sub>min</sub> kann vorgegeben werden.

$$\sum_{s,renew} r_{s,renew} \geq r_{min} \quad (22)$$

eq\_restrict\_el\_import

Obergrenze Stromimport: Maximaler Anteil des Netto-Stromimports am Strombedarf inkl Wärmepumpen-Strom (entspricht Mindestvorgabe eines Stromerzeugungsanteils min<sub>el\_gen</sub>).

$$\sum_{sn,d,hr} ((Ld_{im_{sn,d,hr}} - Ld_{ex_{sn,d,hr}}) * TDM_{sn,d}) \leq (1 - min_{el\_gen}) * \sum_{sn,d,hr} ((Dem_{el_{sn,d,hr}} + Add_{sn,d,hr}) * TDM_{sn,d}) \quad (23)$$

## 14.2 Tabellen und Grafiken

Tabelle-A 1 Mittlere Jahres-, Winter-(DJF) und Sommertemperaturen (JJA), Klimaperiode 1981-2010. Darstellung des regional auftretenden minimalen, mittleren und maximalen Werts.

		Jahr			Winter			Sommer		
		Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Wels-Land	DMI	7,8	8,8	9,6	-2,3	0,2	0,4	15,9	17,4	18,5
	ETHZ	7,8	8,8	9,6	-0,5	0,0	0,2	16,0	17,5	18,6
	SMHI	8,0	9,0	9,8	-0,1	0,5	0,8	16,1	17,6	18,7
Tamsweg	DMI	-1,1	3,7	6,6	-6,7	-4,3	-2,6	5,2	11,7	15,6
	ETHZ	-1,2	3,7	6,6	-7,0	-4,6	-2,8	5,4	11,8	15,8
	SMHI	-0,9	3,9	6,8	-6,6	-4,3	-2,5	5,4	11,8	15,8
Feldbach	DMI	9,2	9,9	10,6	-0,2	0,4	1,0	18,0	18,9	19,7
	ETHZ	9,2	9,9	10,6	-0,3	0,2	0,8	18,1	19,1	19,9
	SMHI	9,4	10,1	10,8	-0,8	0,7	1,3	18,3	19,2	20,0

Tabelle-A 2 Mittlere Jahres-, Winter-(DJF) und Sommertemperaturen (JJA), Klimaperiode 2021-2050. Darstellung des regional auftretenden minimalen, mittleren und maximalen Werts.

		Jahr			Winter			Sommer		
		Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Wels-Land	DMI	8,5	9,5	10,3	0,6	1,1	1,4	17,1	18,5	19,6
	ETHZ	9,3	10,3	11,1	1,2	1,8	2,2	17,7	19,1	20,2
	SMHI	9,1	10,1	10,9	0,9	1,6	2,0	17,7	19,1	20,2
Tamsweg	DMI	0,3	4,8	7,6	-4,8	-2,8	-1,1	7,1	13,2	17,0
	ETHZ	1,0	5,4	8,2	-4,6	-2,7	-1,0	7,9	13,8	17,5
	SMHI	0,7	5,3	8,0	-5,3	-3,2	-1,5	7,9	13,9	17,6
Feldbach	DMI	9,9	10,6	11,3	0,6	1,1	1,7	19,2	20,1	20,8
	ETHZ	10,7	11,4	12,1	1,3	1,9	2,5	19,9	20,7	21,5
	SMHI	10,6	11,4	12,1	1,6	2,2	2,8	19,8	20,7	21,5

Tabelle-A 3 Verlauf der minimalen, mittleren und maximalen Globalstrahlung in besiedelten Rasterzellen nach Zeitperiode, Klimamodell und Bezirk; bezogen auf Werte der Zeitperiode 1981-2010

	Modell DMI				Modell SMHI				Modell ETHZ		
	Min	Mittelwert	Max		Min	Mittelwert	Max		Min	Mittelwert	Max
<b>Wels-Land</b>				<b>Wels-Land</b>				<b>Wels-Land</b>			
1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%	1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%	1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%
2011-2020	97,69%	97,60%	97,63%	2011-2020	99,31%	99,19%	99,05%	2011-2020	100,04%	100,10%	100,27%
2021-2030	98,51%	98,41%	98,31%	2021-2030	98,33%	98,12%	97,87%	2021-2030	101,39%	101,28%	101,14%
2031-2040	97,50%	97,35%	97,22%	2031-2040	98,89%	98,75%	98,62%	2031-2040	100,25%	100,39%	100,52%
2041-2050	101,46%	101,49%	101,56%	2041-2050	97,97%	97,65%	97,40%	2041-2050	98,86%	98,79%	98,65%
<b>Tamsweg</b>				<b>Tamsweg</b>				<b>Tamsweg</b>			
1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%	1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%	1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%
2011-2020	100,27%	99,20%	99,35%	2011-2020	100,86%	99,69%	99,58%	2011-2020	99,85%	98,71%	98,35%
2021-2030	100,74%	99,46%	99,28%	2021-2030	100,25%	99,17%	99,14%	2021-2030	100,46%	99,30%	98,80%
2031-2040	100,00%	98,70%	98,56%	2031-2040	100,71%	99,77%	99,78%	2031-2040	99,38%	98,18%	97,98%
2041-2050	102,03%	101,25%	101,43%	2041-2050	100,83%	99,74%	99,58%	2041-2050	98,21%	97,20%	97,12%
<b>Feldbach</b>				<b>Feldbach</b>				<b>Feldbach</b>			
1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%	1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%	1981-2010	100,00%	100,00%	100,00%
2011-2020	99,47%	99,46%	99,49%	2011-2020	99,42%	99,39%	99,39%	2011-2020	99,73%	99,77%	99,74%
2021-2030	98,89%	98,87%	98,94%	2021-2030	98,24%	98,19%	98,21%	2021-2030	99,62%	99,56%	99,53%
2031-2040	98,53%	98,47%	98,55%	2031-2040	99,34%	99,28%	99,35%	2031-2040	101,07%	100,99%	101,03%
2041-2050	101,91%	101,84%	101,91%	2041-2050	97,93%	97,80%	97,85%	2041-2050	99,55%	99,52%	99,48%

Tabelle-A 4 Anzahl Gebäude nach Zuordnung der Gebäude mit unbekanntem Gebäudetyp und/oder Bauperiode

Typ	Bauperiode	gesamt	Wels		Tamsweg		Feldbach	
Gebäude mit 1 bis 2 Whg (EFH)	bis 1945	5.029	1.823	11%	631	13%	2.575	14%
	1946-1980	23.550	9.005	56%	2.986	61%	11.559	64%
	1981-1990	4.927	2.410	15%	601	12%	1.916	11%
	1991-2001	5.822	2.977	18%	715	14%	2.130	12%
	Summe	39.328	16.215	100%	4.933	100%	18.180	100%
Gebäude mit 3+ Whg (MFH)	bis 1945	345	205	22%	42	17%	98	16%
	1946-1980	678	364	40%	111	44%	203	33%
	1981-1990	304	144	16%	51	20%	109	18%
	1991-2001	457	203	22%	48	19%	206	33%
	Summe	1.784	916	100%	252	100%	616	100%
NWG	bis 1945	1.089	412	18%	189	19%	488	20%
	1946-1980	3.046	1.224	54%	567	58%	1.255	51%
	1981-1990	650	284	12%	109	11%	257	10%
	1991-2001	926	363	16%	112	11%	451	18%
	Summe	5.711	2.283	100%	977	100%	2.451	100%

Tabelle-A 5 Sanierungsentwicklung Wels-Land.  
„Anteil“ gibt Anteil der bis dahin sanierten Gebäude innerhalb des jeweiligen Gebäudetyps an. Bezugswert: „Anzahl Gebäude“, in entsprechender Zeile.

Typ	Bauperiode	Anzahl Gebäude	Saniert bis 2000		Saniert bis 2015		Saniert bis 2035	
			Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
EFH	bis 1945	1.823	570	31%	729	40%	912	50%
	1946-1980	9.005	1.256	14%	3.529	39%	5.569	62%
	1981-1990	2.410	-	0%	-	0%	723	30%
	1991-2001	2.977	-	0%	-	0%	298	10%
	Summe	16.215	1.826	11%	4.258	26%	7.501	46%
MFH	bis 1945	205	64	31%	82	40%	103	50%
	1946-1980	364	51	14%	170	47%	269	74%
	1981-1990	144	-	0%	-	0%	43	30%
	1991-2001	203	-	0%	-	0%	20	10%
	Summe	916	115	13%	252	28%	435	47%
NWG	bis 1945	412	-	0%	165	40%	206	50%
	1946-1980	1.224	-	0%	177	14%	472	39%
	1981-1990	284	-	0%	-	0%	85	30%
	1991-2001	363	-	0%	-	0%	36	10%
	Summe	2.283	-	0%	342	15%	799	35%

Tabelle-A 6 Sanierungsentwicklung Tamsweg  
 „Anteil“ gibt Anteil der bis dahin sanierten Gebäude innerhalb des jeweiligen Gebäudetyps an. Bezugswert: „Anzahl Gebäude“, in entsprechender Zeile.

Typ	Bauperiode	Anzahl Gebäude	Saniert bis 2000		Saniert bis 2015		Saniert bis 2035	
			Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
EFH	bis 1945	631	197	31%	252	40%	316	50%
	1946-1980	2.986	416	14%	1.101	37%	1.772	59%
	1981-1990	601	-	0%	-	0%	180	30%
	1991-2001	715	-	0%	-	0%	72	10%
	Summe	4.933	613	12%	1.353	27%	2.340	47%
MFH	bis 1945	42	13	31%	17	40%	21	50%
	1946-1980	111	15	14%	49	44%	75	68%
	1981-1990	51	-	0%	-	0%	15	30%
	1991-2001	48	-	0%	-	0%	5	10%
	Summe	252	28	11%	66	26%	116	46%
NWG	bis 1945	189	-	0%	76	40%	95	50%
	1946-1980	567	-	0%	71	13%	204	36%
	1981-1990	109	-	0%	-	0%	33	30%
	1991-2001	112	-	0%	-	0%	11	10%
	Summe	977	-	0%	147	15%	342	35%

Tabelle-A 7 Sanierungsentwicklung Feldbach  
 „Anteil“ gibt Anteil der bis dahin sanierten Gebäude innerhalb des jeweiligen Gebäudetyps an. Bezugswert: „Anzahl Gebäude“, in entsprechender Zeile.

Typ	Bauperiode	Anzahl Gebäude	Saniert bis 2000		Saniert bis 2015		Saniert bis 2035	
			Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
EFH	bis 1945	2.575	805	31%	1.030	40%	1.288	50%
	1946-1980	11.559	1.612	14%	4.114	36%	6.705	58%
	1981-1990	1.916	-	0%	-	0%	575	30%
	1991-2001	2.130	-	0%	-	0%	213	10%
	Summe	18.180	2.417	13%	5.144	28%	8.780	48%
MFH	bis 1945	98	31	31%	39	40%	49	50%
	1946-1980	203	28	14%	112	55%	172	85%
	1981-1990	109	-	0%	-	0%	33	30%
	1991-2001	206	-	0%	-	0%	21	10%
	Summe	616	59	10%	151	25%	275	45%
NWG	bis 1945	488	-	0%	195	40%	244	50%
	1946-1980	1.255	-	0%	172	14%	492	39%
	1981-1990	257	-	0%	-	0%	77	30%
	1991-2001	451	-	0%	-	0%	45	10%
	Summe	2.451	-	0%	368	15%	858	35%

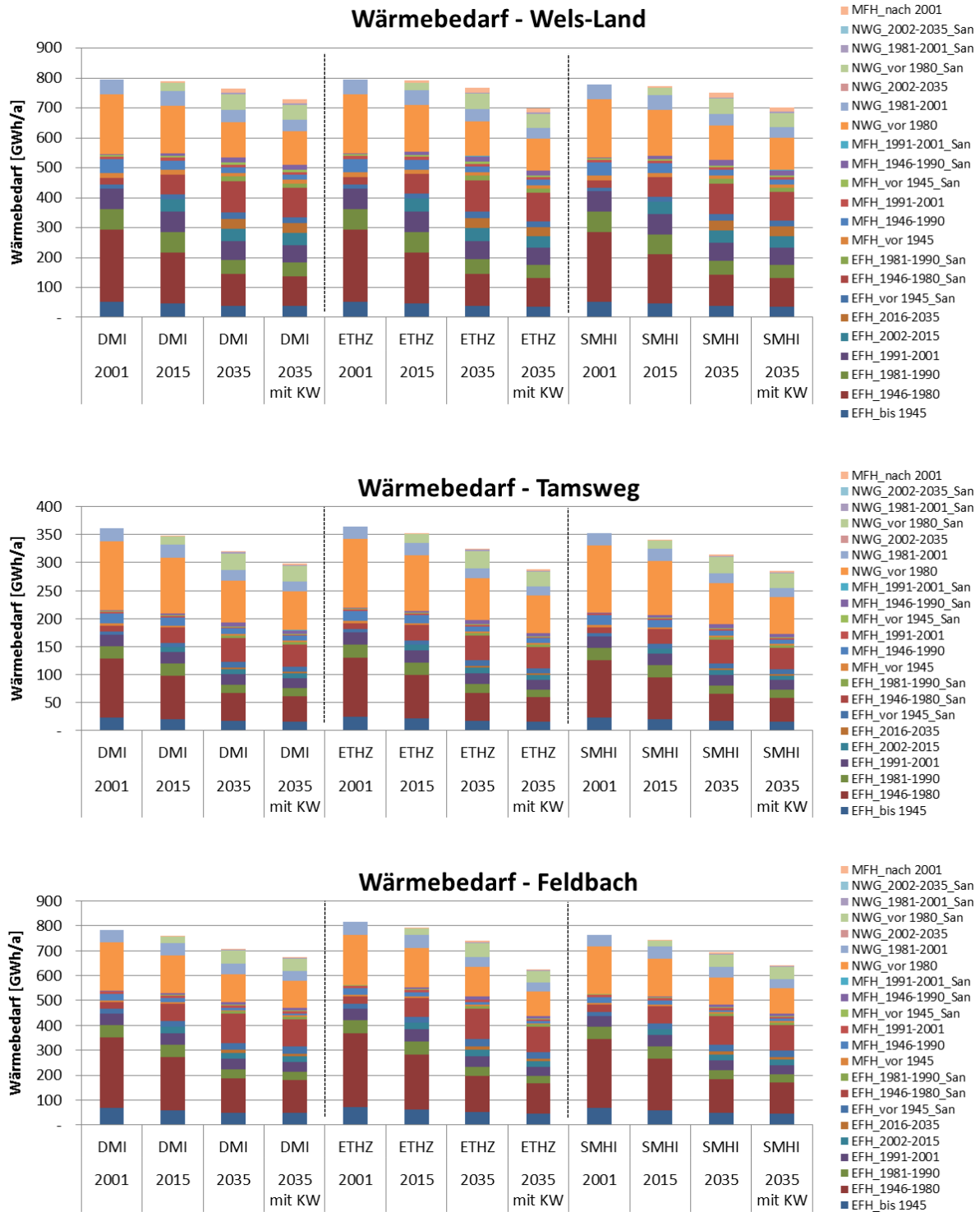


Abbildung-A 1 Entwicklung des Wärmebedarfs nach Gebäudetypen

Tabelle-A 8 Verwendete Standardbedingungen der zugrunde liegenden energetischen Bilanzierungen aus IWU (2011)

Standardbedingungen der energetischen Bilanzierung		
Raumtemperatur	20	°C
Heizgrenztemperatur	12	°C
Referenzklima:		
Durchschnittliche Außentemp. während		
Heizperiode	4,4	°C
Heiztage	222	d/a
Heizgradtage 20/12	3.463	Kd/a
Globalstrahlung während Heizperiode	403	kWh/m <sup>2</sup>
Nutzungsbedingungen:		
Hygienischer Luftwechsel	0,4	1/h
Interne Wärmequellen	3	W/m <sup>2</sup>
Verschattungsfaktor	0,6	
Warmwasserwärmebedarf:		
EFH	10	kWh/m <sup>2</sup> /a
MFH	15	kWh/m <sup>2</sup> /a

Tabelle-A 9 Kennwerte der Gebäude für die Berechnungen im Wärmebereich bei Referenzklima und Standardbedingungen aus IWU (2011). Werte für NWG aus Töglhofer et al. (2009)

	Temperatur- und flächenspezifische Wärmeverluste [W/m <sup>2</sup> /K]	Transmissions- und Lüftungs-wärmeverluste [kWh/m <sup>2</sup> /a]	Solare Gewinne [kWh/m <sup>2</sup> /a]	Interne Gewinne [kWh/m <sup>2</sup> /a]	Effizienzfaktor für Wärmegewinne	Nutzungs-faktor	Spez. Heizwärme-bedarf [kWh/m <sup>2</sup> /a]	Spez. Heizlast [W/m <sup>2</sup> ]
<b>Einfamilienhäuser (EFH)</b>								
EFH_D bis 1945	4,8	320,2	14,4	16,0	93%	0,786	292	144
EFH_E 1946-1980	3,1	218,4	12,3	16,0	94%	0,864	192	93
EFH_H 1981-1990	2,7	192,7	17,6	16,0	92%	0,944	162	81
EFH_I 1991-2001	2,1	155,4	19,9	16,0	91%	1,000	123	63
EFH_J 2002-2015	1,5	109,2	14,6	16,0	93%	1,084	81	45
Niedrigenergiehaus ab 2016	1,0	74,7	14,6	16,0	93%	1,167	46	30
<b>EFH - nach Sanierung</b>								
EFH_D bis 1945	2,0	150,0	11,6	16,0	94%	1,000	124	60
EFH_E 1946-1980	1,5	113,2	9,9	16,0	94%	1,084	89	45
EFH_H 1981-1990	1,7	128,5	14,1	16,0	93%	1,084	100	51
EFH_I 1991-2001	1,1	85,5	16,6	16,0	92%	1,167	56	33
EFH_J 2002-2015	1,0	77,7	12,1	16,0	93%	1,167	51	30
<b>Mehrfamilienhäuser (MFH)</b>								
MFH_D vor 1945	3,1	232,6	12,0	16,0	94%	0,864	206	93
MFH_H 1946-1990	2,2	171,1	17,4	16,0	93%	1,000	140	66
MFH_J 1991-2009	1,0	78,2	9,5	16,0	95%	1,167	54	30
<b>MFH - nach Sanierung</b>								
MFH_D vor 1945	1,3	103,5	9,6	16,0	95%	1,084	79	39
MFH_H 1946-1990	1,3	98,8	13,9	16,0	93%	1,084	71	39
MFH_J 1991-2009	0,8	62,1	7,9	16,0	95%	1,167	39	24
<b>Nicht-Wohngebäude</b>								
bis 1980							134	63
1981-2001							82	40
nach 2001							42	22



Tabelle-A 10 Entwicklung Strombedarf für Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäusern nach Verbrauchskategorien in kWh/a. (Bei gleichbleibendem Bedarf im Bereich Heizung und WWB.)

EFH / ZFH	2008	2015	2025	2035	2045
Summe der Verbrauchskategorien	<b>4.964</b>	<b>4.933</b>	<b>4.867</b>	<b>4.799</b>	<b>4.777</b>
Kühlschrank	336	336	336	336	336
Gefriergerät	359	359	359	359	359
Herd und Backrohr	421	421	421	421	421
Waschmaschine	223	223	223	223	223
Wäschetrockner	125	125	125	125	125
Geschirrspüler	222	222	222	222	222
Küchen- und Haushaltsgeräte	191	191	191	191	191
Bürogeräte	82	87	98	94	94
Unterhaltungselektronik	210	224	252	241	241
Kommunikationsgeräte	36	39	43	41	41
Ladegeräte	18	18	18	18	18
Sonstige relevante Stromverbraucher	203	203	203	203	203
Standby Bürogeräte	15	16	18	17	17
Standby Unterhaltungselektronik	144	154	173	166	166
Standby Herd und Backrohr	20	20	20	20	20
Standby Küchen- und Haushaltsgeräte	32	32	32	32	32
Beleuchtung	433	368	238	195	173
Warmwasserbereitung	501	501	501	501	501
Umwälzpumpen	364	364	364	364	364
Heizen	1.031	1.031	1.031	1.031	1.031

Tabelle-A 11 Entwicklung Strombedarf für Haushalte in Mehrfamilienhäuser nach Verbrauchskategorien in kWh/a. (Bei gleichbleibendem Bedarf im Bereich Heizung und WWB.)

MFH	2008	2015	2025	2035	2045
Summe der Verbrauchskategorien	<b>3.403</b>	<b>3.383</b>	<b>3.339</b>	<b>3.286</b>	<b>3.269</b>
Kühlschrank	284	284	284	284	284
Gefriergerät	104	104	104	104	104
Herd und Backrohr	261	261	261	261	261
Waschmaschine	135	135	135	135	135
Wäschetrockner	18	18	18	18	18
Geschirrspüler	130	130	130	130	130
Küchen- und Haushaltsgeräte	124	124	124	124	124
Bürogeräte	112	120	135	129	129
Unterhaltungselektronik	159	170	191	183	183
Kommunikationsgeräte	19	21	23	22	22
Ladegeräte	17	17	17	17	17
Sonstige relevante Stromverbraucher	120	120	120	120	120
Standby Bürogeräte	11	12	13	13	13
Standby Unterhaltungselektronik	112	120	135	129	129
Standby Herd und Backrohr	11	11	11	11	11
Standby Küchen- und Haushaltsgeräte	30	30	30	30	30
Beleuchtung	327	278	180	147	131
Warmwasserbereitung	1.011	1.011	1.011	1.011	1.011
Umwälzpumpen	110	110	110	110	110
Heizen	309	309	309	309	309

Tabelle-A 12 Ergebnisse zu Kühlgradtagen mit unterschiedlichen Kühlgrenztemperaturen. Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Werte in den jeweiligen Regionen.

			18.3°C			20°C			22°C		
			Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Wels-Land	DMI	1981-2010	0.2	20.7	59.4	-	0.6	5.3	-	-	-
		2021-2050	24.3	83.1	146.1	-	17.0	60.6	-	-	-
	ETHZ	1981-2010	-	12.1	57.8	-	-	-	-	-	-
		2021-2050	6.5	88.2	172.2	-	6.8	47.6	-	-	-
	SMHI	1981-2010	-	22.4	69.3	-	0.4	5.2	-	-	-
		2021-2050	32.3	95.0	172.0	0.5	25.8	88.9	-	-	-
Tamsweg	DMI	1981-2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2021-2050	-	0.5	14.8	-	-	-	-	-	-
	ETHZ	1981-2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2021-2050	-	0.0	7.2	-	-	-	-	-	-
	SMHI	1981-2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2021-2050	-	0.9	24.1	-	-	-	-	-	-
Feldbach	DMI	1981-2010	36.4	85.6	145.4	0.4	13.0	35.7	-	-	-
		2021-2050	117.3	182.2	244.1	25.3	77.2	174.6	-	-	-
	ETHZ	1981-2010	31.0	85.8	143.5	-	0.1	14.2	-	-	-
		2021-2050	145.9	224.4	293.6	33.4	83.7	137.2	-	1.1	15.9
	SMHI	1981-2010	45.4	101.6	160.8	0.3	13.5	44.5	-	-	-
		2021-2050	137.6	218.8	295.5	40.3	128.0	227.0	-	-	-

Tabelle-A 13 Ergebnisse zu Kühltagen: Anzahl Tage mit mittlerer Temperatur über Kühlgrenztemperatur. Regionale Mittelwerte. Daten für Klimamodell ETHZ nicht vorhanden.

			18.3 °C	20 °C	22 °C
Wels-Land	DMI	1981-2010	27	2	-
		2021-2050	53	24	-
	SMHI	1981-2010	31	2	-
		2021-2050	59	29	-
Tamsweg	DMI	1981-2010	-	-	-
		2021-2050	1	-	-
	SMHI	1981-2010	-	-	-
		2021-2050	2	-	-
Feldbach	DMI	1981-2010	68	23	-
		2021-2050	81	60	-
	SMHI	1981-2010	70	28	-
		2021-2050	97	76	-

Tabelle-A 14 Ergebnisse der Diffusionsszenarien von Klimaanlage in Haushalten. Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Werte in den jeweiligen Regionen.

			Szenario schwach			Szenario stark		
			min	mean	max	min	mean	max
Wels-Land	DMI	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		2021-2050	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.8%	18.7%
	ETHZ	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		2021-2050	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	6.3%	24.4%
	SMHI	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		2021-2050	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.0%	24.3%
Tamsweg	DMI	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		2021-2050	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	ETHZ	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		2021-2050	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	SMHI	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		2021-2050	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Feldbach	DMI	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.3%	18.5%
		2021-2050	0.0%	0.9%	11.6%	11.9%	26.3%	37.9%
	ETHZ	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.3%	18.1%
		2021-2050	0.0%	7.0%	23.0%	18.7%	34.3%	45.6%
	SMHI	1981-2010	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.9%	22.0%
		2021-2050	0.0%	5.9%	23.4%	16.8%	33.3%	45.9%

Tabelle-A 15 Kühlbedarf pro Haushalt in kWh<sub>el</sub>. Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Werte in den jeweiligen Regionen.

			Kühlbedarf pro Haushalt		
			min	mean	max
Wels-Land	DMI	1981-2010	0	40	116
		2021-2050	47	162	285
	ETHZ	1981-2010	-	24	113
		2021-2050	13	172	336
	SMHI	1981-2010	-	44	135
		2021-2050	63	185	335
Tamsweg	DMI	1981-2010	-	-	-
		2021-2050	-	1	29
	ETHZ	1981-2010	-	-	-
		2021-2050	-	0	14
	SMHI	1981-2010	-	-	-
		2021-2050	-	2	47
Feldbach	DMI	1981-2010	71	167	283
		2021-2050	229	355	476
	ETHZ	1981-2010	60	167	280
		2021-2050	285	438	573
	SMHI	1981-2010	89	198	314
		2021-2050	268	427	576

Tabelle-A 16 Strombedarf für Kühlung in Wohngebäuden, in MWh/a.

			Szenario schwach	Szenario stark
Wels-Land	DMI	1981-2010	-	-
		2021-2050	-	480
	ETHZ	1981-2010	-	-
		2021-2050	-	713
	SMHI	1981-2010	-	-
		2021-2050	-	758
Tamsweg	DMI	1981-2010	-	-
		2021-2050	-	-
	ETHZ	1981-2010	-	-
		2021-2050	-	-
	SMHI	1981-2010	-	-
		2021-2050	-	-
Feldbach	DMI	1981-2010	-	268
		2021-2050	104	2.765
	ETHZ	1981-2010	-	261
		2021-2050	1.020	4.391
	SMHI	1981-2010	-	533
		2021-2050	848	4.167

Tabelle-A 17 Ergebnisse zum Anteil klimatisierter Flächen in Nicht-Wohngebäuden. Darstellung der minimalen, mittleren und maximalen Werte in den jeweiligen Regionen.

			min	mean	max
Wels-Land	DMI	1981-2010	16%	31%	45%
		2021-2050	34%	49%	57%
	ETHZ	1981-2010	15%	24%	45%
		2021-2050	23%	49%	60%
	SMHI	1981-2010	15%	31%	47%
		2021-2050	37%	51%	60%
Tamsweg	DMI	1981-2010	15%	15%	15%
		2021-2050	15%	16%	29%
	ETHZ	1981-2010	15%	15%	15%
		2021-2050	15%	15%	24%
	SMHI	1981-2010	15%	15%	15%
		2021-2050	15%	16%	34%
Feldbach	DMI	1981-2010	39%	50%	57%
		2021-2050	54%	61%	65%
	ETHZ	1981-2010	37%	50%	57%
		2021-2050	57%	64%	68%
	SMHI	1981-2010	42%	52%	59%
		2021-2050	57%	63%	68%

Tabelle-A 18 Strombedarf für Kühlung von Nicht-Wohngebäuden, in MWh/a.

Strombedarf für Klimaanlage in Nicht-Wohngebäuden, in MWh/a			
Wels-Land	DMI	1981-2010	5.081
		2021-2050	11.303
	ETHZ	1981-2010	3.959
		2021-2050	11.860
	SMHI	1981-2010	5.271
		2021-2050	12.443
Tamsweg	DMI	1981-2010	873
		2021-2050	1.163
	ETHZ	1981-2010	873
		2021-2050	881
	SMHI	1981-2010	873
		2021-2050	1.329
Feldbach	DMI	1981-2010	12.634
		2021-2050	22.179
	ETHZ	1981-2010	12.626
		2021-2050	26.460
	SMHI	1981-2010	14.209
		2021-2050	25.887

Tabelle-A 19 Abschätzung des kumulierten Energieaufwands und der THG-Emissionen für Heizen (per Erdgas-Heizkessel) und Kühlen (per strombetriebener Klimaanlage) im Jahr 2035.

Nutzenergie in GWh/a	DMI		ETHZ		SMHI	
	Referenzszenario (Klima konstant)	Klimawandel- szenario	Referenzszenario (Klima konstant)	Klimawandel- szenario	Referenzszenario (Klima konstant)	Klimawandel- szenario
Wels-Land	800	804	795	778	786	785
Tamsweg	327	306	331	294	321	294
Feldbach	789	828	820	814	785	825
<b>Endenergie in GWh/a</b>						
Wels-Land	910	874	911	840	893	843
Tamsweg	380	353	385	341	372	338
Feldbach	850	823	886	771	834	788
<b>Primärenergie in GWh/a</b>						
Wels-Land	1.070	1.034	1.070	995	1.050	999
Tamsweg	445	414	451	399	436	397
Feldbach	1.007	988	1.050	932	990	952
<b>CO2 in t/a</b>						
Wels-Land	215.675	208.436	215.804	200.404	211.714	201.387
Tamsweg	89.742	83.496	90.937	80.531	87.920	79.970
Feldbach	202.983	198.773	211.513	187.475	199.453	191.495

Tabelle-A 20 Spezifische Investitions- und Wartungskosten für Klimageräte. Quelle: Preiskatalog 2012/2013 mit Technischen Daten der Firma Kälte Bast

			IVC in €/kW <sub>Kälte</sub>	OMC in €/kW.a
WG	Mittelwert Leistungsklasse 2-2,9 kW	Wandgerät	595,0	17,8
NWG	Panasonic CS-F50DTE5 / CU-L50DBE8	Gerät für Industrie	602,7	18,1

Tabelle-A 21 Annuierte Investitions- und Wartungskosten für Klimageräte in €/a. Klimamodell SMHI, starkes Diffusionsszenario bei WG.

<b>Kosten für Klimageräte in Wohngebäuden (Ergebnis):</b>					
	2015		2035 ohne KW		2035 mit KW
Wels-Land	€	-	€	-	€ 476.574
Tamsweg	€	-	€	-	€ -
Feldbach	€	412.097	€	439.484	€ 1.841.173
<b>Kosten für Klimageräte in Nicht-Wohngebäuden (Ergebnis):</b>					
	2015		2035 ohne KW		2035 mit KW
Wels-Land	€	2.914.571	€	2.914.571	€ 4.751.354
Tamsweg	€	636.044	€	636.044	€ 674.556
Feldbach	€	5.285.840	€	5.285.840	€ 6.419.709

Tabelle-A 22 Strombedarf nach Sektoren für die Jahre 2015 und 2035 ohne und mit Klimawandel (KW) für das Klimamodell SMHI.

<b>Strombedarf der Szenarien in GWh/a</b>			
<b>Wels-Land</b>			
	<b>2015</b>	<b>2035, ohne KW</b>	<b>2035, mit KW</b>
Landwirtschaft	11,1	11,0	11,0
Industrie	43,4	43,3	43,3
Dienstleistung	71,6	71,4	71,4
E-Mobilität	0,6	9,5	9,5
Haushalte	108,4	122,4	122,4
Kühlung_WG	-	-	0,8
Kühlung_NWG	5,3	5,3	12,4
<b>Summe</b>	<b>240,3</b>	<b>262,9</b>	<b>270,8</b>
<b>Tamsweg</b>			
	<b>2015</b>	<b>2035, ohne KW</b>	<b>2035, mit KW</b>
Landwirtschaft	5,2	4,4	4,4
Industrie	9,8	8,3	8,3
Dienstleistung	17,9	15,2	15,2
E-Mobilität	0,2	2,4	2,4
Haushalte	31,5	31,5	31,5
Kühlung_WG	-	-	-
Kühlung_NWG	0,9	0,9	1,3
<b>Summe</b>	<b>65,5</b>	<b>62,8</b>	<b>63,2</b>
<b>Feldbach</b>			
	<b>2015</b>	<b>2035, ohne KW</b>	<b>2035, mit KW</b>
Landwirtschaft	16,9	14,8	14,8
Industrie	42,8	37,5	37,5
Dienstleistung	45,8	40,1	40,1
E-Mobilität	0,5	8,4	8,4
Haushalte	98,6	101,6	101,6
Kühlung_WG	0,5	0,5	4,2
Kühlung_NWG	14,2	14,2	25,9
<b>Summe</b>	<b>219,3</b>	<b>217,2</b>	<b>232,5</b>

Tabelle-A 23 Bevölkerungszahlen Österreichs und der Bezirke. Quelle: ÖROK

	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>	<b>2050</b>
Österreich	8.355.260	8.382.402	8.554.697	8.732.990	8.888.663	9.034.456	9.162.065	9.276.539	9.377.557	9.460.113
Wels-Land	66.910	67.295	69.387	71.539	73.589	75.454	77.051	78.359	79.395	80.203
Tamsweg	20.946	20.887	20.684	20.487	20.266	20.081	19.917	19.770	19.615	19.413
Feldbach	67.344	67.337	67.439	67.693	67.990	68.336	68.600	68.754	68.692	68.375

Tabelle-A 24 Technologiedaten dezentraler Wärmeerzeugungstechnologien und Photovoltaik (PV) im Jahr 2010.

Beschreibung	IVC	OMC	ESC	AEL	Eff_Th	Eff_EI	EMI	LD	PE
	€/kW	€/kW/a	€/kWh				g/kWh	a	
Gas-BW	796	22	0,071		95%		251	20	1,17
Öl-BW	1.054	17	0,092		93%		319	20	1,23
Pellets	1.422	20	0,049		85%		16	20	0,06
Scheitholz	1.048	20	0,039		85%		12	20	0,06
WP-Sole Wasser	1.810	8	0,000	0,250	400%		0	20	0
Fernwärme-Anschluss	769	37	0,000		100%		0	20	0
Hackschnitzel	1.785	17	0,033		85%		16	20	0,06
Solarthermie	632	23			30%		0	20	
PV kristallin	2.600	26				9%	0	25	

## Anmerkungen:

V.l.n.r. angezeigt: Investitionskosten, Wartungs- und Betriebskosten, Brennstoffkosten, Stromverbrauch im Verhältnis zum Wärmeoutput, Thermischer Nutzungsgrad, Elektrischer Nutzungsgrad, THG-Emissionen in CO<sub>2</sub>eq bezogen auf Endenergie, Lebensdauer, Nicht-erneuerbarer Primärenergiefaktor.

Kosten für Solarthermie in €/m<sup>2</sup>. Kosten für PV in €/kWp.

Therm. Nutzungsgrad bei Wärmepumpe entspricht COP.

## Quellen:

Kosten der Verbrennungstechnologien und Wärmepumpe aus: Bettgenhäuser&Boermans (2011)

Nutzungsgrade Solarthermie und PV aus: Hausladen&Hamacher (2011)

Kosten PV aus: BMU (2012)

Kosten Solarthermie aus: Solaranlagen-Portal, <http://www.solaranlagen-portal.com/>, online, 19.09.2012

Tabelle-A 25 Technologiedaten zentraler Wärmeerzeugungstechnologien für die Nahwärmeversorgung. Unterschieden nach 3 Technologiearten mit je zwei Leistungsklassen.

Name	IVC €/kW	OMC €/kW/a	ESC €/kWh	Eff_EI	Eff_Th	EMI g/kWh	LD a	P_min kW	P_max kW	f_PE
Hackschnitzel-HW 1	750	22,50	0,0325		85%	24	20	400	1.400	0,06
Hackschnitzel-HW 2	510	15,30	0,0325		85%	24	20	1.500	-	0,06
Biogas-KWK 1	6.398	319,90	0,0329	0,26075	34%	61	15	50	200	0,06
Biogas-KWK 2	3.791	189,55	0,0329	0,26075	34%	61	15	250	-	0,06
Hackschnitzel-KWK 1	14.720	314,11	0,0325	0,105	76%	13	15	28	50	0,06
Hackschnitzel-KWK 1	11.862	250,83	0,0325	0,105	76%	13	15	60	-	0,06

Quellen: Kosten Biogas BHKW aus: Eder (2011). Zentrale Hackschnitzel-Technologien aus: Biberacher et al. (2012)

Kommentar: Abkürzungen wie bei Tabelle mit dezentralen Technologien. KWK-Daten bezogen auf kW<sub>elektrisch</sub>. Effizienzen von Biogas-KWK bereits unter Berücksichtigung von Fermenter-Wirkungsgrad 75%. P<sub>min</sub> und P<sub>max</sub> bezeichnen die Unter- und Obergrenzen der Dimensionierung (für gemischt-ganzzahlige Programmierung). Die Preise für Biogas-Anlagen werden indes aus österreichischen Quellen entnommen, da sich die Investitionskosten für derartige Anlagen zwischen Deutschland und Österreich deutlich unterscheiden, was wohl Folge der hohen Förderungen im deutschen Biogas-Sektor ist.

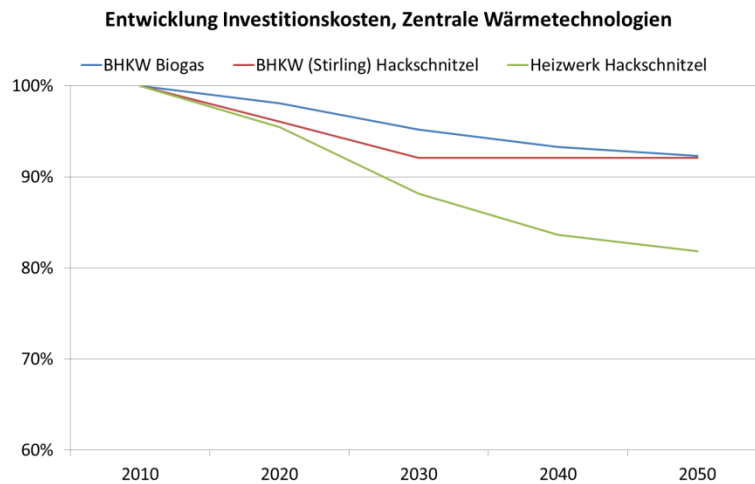


Abbildung-A 2 Entwicklung der Investitionskosten zentraler Wärmeerzeugungsanlagen. Quelle: BMU (2012)

Tabelle-A 26 Angenommene Entwicklung der Haushaltsenergiepreise (real). Absolut und relativ (Referenz 2015).

Haushaltspreise in €/MWh								
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Strom	196,1	221,8	236,4	254,7	263,9	273,1	282,2	291,4
Heizöl	92,2	107,9	117,7	127,5	132,4	137,3	142,2	147,1
Gas	71,1	80,4	85,7	92,4	95,7	99,0	102,3	105,7
Pellets	49,0	55,4	59,1	63,6	65,9	68,2	70,5	72,8
Scheitholz	38,5	43,5	46,4	50,0	51,8	53,6	55,4	57,2
Hackgut	32,5	36,8	39,2	42,2	43,7	45,3	46,8	48,3
Biogas	32,9	37,2	39,7	42,7	44,3	45,8	47,4	48,9

Energiepreisentwicklung								
Index	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Strom	100%	113%	121%	130%	135%	139%	144%	149%
Heizöl	100%	117%	128%	138%	144%	149%	154%	160%
Gas	100%	113%	121%	130%	135%	139%	144%	149%
Pellets	100%	113%	121%	130%	135%	139%	144%	149%
Scheitholz	100%	113%	121%	130%	135%	139%	144%	149%
Hackgut	100%	113%	121%	130%	135%	139%	144%	149%
Biogas	100%	113%	121%	130%	135%	139%	144%	149%



### 14.3 Literatur

- Adnot et al. (1999) Energy Efficiency and Certification of Central Air conditioners (EERAC), Study for the Directorate-General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities, 1999.
- Adnot et al. (2003) Energy Efficiency and Certification of Central Air conditioners (EECCAC), Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U., 2003.
- Adnot et al. (2008) Preparatory Study on the Environmental Performance of Residential Room Conditioning Appliances (Airco and Ventilation) - Draft Report of Task 2, 2008.
- AEA (2010) Visionen 2050 - Identifikation von existierenden und möglichen zukünftigen Treibern des Stromverbrauchs und von strukturellen Veränderungen bei der Stromnachfrage in Österreich bis 2050, Austrian Energy Agency (AEA), Wien, 2010.
- AEA (2011) Energiewirtschaftliche Inputdaten für Klimastrategie 2020 und EU Monitoring Mechanism, Austrian Energy Agency (AEA), Wien, 2011.
- Aebischer (2005) Spezialauswertung der Daten in Weber (2002), CEPE interner Bericht.
- Aebischer (2012) Auskunft von Bernard Aebischer, per Email am 30.07.2012.
- Aebischer et al. (2007) Impact of climate change on thermal comfort, heating and cooling energy in Europe, European Council for an Energy Efficient Economy (EUECE) 2007 summer study, 2007.
- Auer et al. (2007) HISTALP – Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region. *Int. J. Climatol.*, 27, 17-46. Published online in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)) DOI: 10.1002/joc.1377.
- BDEW (2013) Energie-Info: Stromverbrauch im Haushalt, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), Berlin, 2013.
- Beck et al. (2009) Institutionelle und regulatorische Fragestellungen der Bereitstellung von Wetterdaten, *Economics of Weather and Climate Risks Working Paper Series No. 10/2009*, Graz, 2009.
- Bettgenhäuser et al. (2011) Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2011.
- Biberacher et al. (2010) Räumliche Modelle als Entscheidungsgrundlage für die Inwertsetzung regional verfügbarer Energiepotenziale zur CO<sub>2</sub>-neutralen Deckung des lokalen Wärmebedarfs, Endbericht, Salzburg, 2010.
- Biermayr (1999) Einflußparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte - Eine empirisch-ökonomische Analyse, Peter Biermayr, Dissertation, TU Wien, 1999.
- Biermayr et al. (2004) Maßnahmen zur Minimierung von Rebound-Effekten bei der Sanierung von Wohngebäuden (MARESI), Wien, 2004.
- BMFLUW (2013) Maßnahmen im Gebäudesektor und Kyoto-Finanzierung 2011 (Zusammenfassender Bericht des Bundes und der Länder über die Wirkungen von Maßnahmen zur Treibhausgas-Emissionsreduktion im Rahmen der Vereinbarung über Maßnahmen im Gebäudesektor), Lebensministerium (BMFLUW), Wien, 2013.
- Böhme (2013) Wärmeverbrauchsanalyse auf Basis einer raumbezogenen Zusammenführung von Gebäudedaten, Uwe Peter Böhme, Dissertation, TU München, 2013.
- C.A.R.M.E.N. (2012) Nahwärmenetze und Heizwerke - Erfolgsfaktoren und Erfahrungen, Präsentation von Bernhard Pex im Rahmen der Fachtagung „Wärme aus Biomasse – Stand der Technik und Perspektiven“, 2012.
- CEPS (2010) Future Impacts of Climate Change across Europe, Center for European Policy Studies (CEPS), Brüssel, 2010.
- Chen et al. (2008) A statistical method to investigate national energy consumption in the residential building sector of China. *Energy and Buildings* 40, 654–665.

- Christenson et al. (2006) Climate warming impact of degree-days and building energy demand in Switzerland, *Energy Conversion Management* 47 (2006), S. 671-686.
- Connolly et al. (2010) A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems, *Applied Energy*, 87/4, S. 1059 – 1082.
- Dobbertin&Giuggiola (2006) Baumwachstum und erhöhte Temperaturen, *Forum für Wissen 2006*: 35–45.
- Dorfner (2016) Open Source Modelling and Optimisation of Energy Infrastructure at Urban Scale, Johannes Dorfner, Dissertation, Technische Universität München, 2016.
- Dupont&Adnot (2005) Inspection and auditing of air-conditioning facilities in Europe – A new efficiency target, 2005.
- DWD (2011) Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse, Handbuch, Deutscher Wetterdienst (DWD), 2011.
- DWD (2015a) Der Trend zu einem wärmeren Klima ist ungebrochen, 2015-03-10 Pressemitteilung, Deutscher Wetterdienst (DWD), 2015.
- DWD (2015b) Erste klimatologische Einschätzung der Hitzewelle Juli 2015, Deutscher Wetterdienst (DWD), 2015.
- EEA (2012) Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, European Environment Agency (EEA), Kopenhagen, 2012.
- Eicker (2009) Low Energy Cooling for Sustainable Buildings, Ursula Eicker, 2009, ISBN: 978-0-470-69744-3.
- Eitzinger (2009) Landwirtschaft im Klimawandel - Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa, Agrimedia, 2009.
- Eisland et al. (2013) Auswirkungen von Nutzerverhalten und Klimawandel auf den Heizwärmebedarf im europäischen Haushaltssektor bis 2050, 8. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT) an der TU Wien, 2013.
- Formayer et al. (2007) Auswirkungen des Klimawandels in Niederösterreich, NÖ Klimastudie 2007.
- Fourier (1824) Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, *Annales de Chimie et de Physique*, 1824.
- Frank (2005) Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland, *Energy and Buildings* 37 (2005) 1175–1185.
- Haas&Biermayr (2000) The rebound effect for space heating - Empirical evidence from Austria, *Energy Policy* 28 (2000), 403–410.
- Hanika (2010) Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2010-2030 mit Ausblick bis 2050 ("ÖROK-Prognosen"), Teil 1: Endbericht zur Bevölkerungsprognose, Wien, 2010.
- Hanika (2011) Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2010 bis 2030 mit Ausblick bis 2050 ("ÖROK-Regionalprognosen"), Teil 3: Endbericht zu den Modellrechnungen zur regionalen Haushaltsentwicklung, Wien, 2011.
- Hausl et al. (2013) CLEOS: Climate sensitivity of regional energy systems – a spatial optimisation approach (Klimasensitivität regionaler Energiesysteme – Ein räumlicher Optimierungsansatz), Endbericht im Rahmen der Programmlinie Austrian Climate Research Programme (ACRP), Salzburg, 2013.
- Hausladen et al. (2005) Clima- Design: Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können, Callwey Verlag, München, 2005.
- Hausladen&Hamacher (2011) Leitfaden Energienutzungsplan, Technische Universität München (TUM), Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

- Henderson (2005) Home air conditioning in Europe – how much energy would we use if we became more like American households?, European Council for an Energy Efficient Economy (E3E) 2005 summer study, 2005.
- Hinterndorfer et al. (2010) Energieeffiziente Klimatisierung, Im Auftrag der Wiener Magistratsabteilung 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung, Wien, 2010.
- Hofer (2006) Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990-2035, Basel, 2006.
- IEA (2003) Cool Appliances: Policy Strategies for Energy-Efficient Homes, OECD / IEA, Paris, 2003.
- IPCC (2007a) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge, 2007.
- IPCC (2007b) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge (IPCC), Cambridge and New York, 2007.
- IPCC (2012) Managing The Risks Of Extreme Events And Disasters To Advance Climate Change Adaptation, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge, New York, 2012.
- IPCC (2012b) Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation - Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge, New York, 2012.
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge and New York, 2013.
- IPCC (2014a) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge, 2014.
- IPCC (2014b) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge and New York, 2014.
- Isaac&vanVuuren (2009) Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change, Energy Policy 37 (2009) 507–521.
- IWU (2003) Deutsche Gebäudetypologie: Systematik und Datensätze, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2003.
- IWU (2004) Die Heizperiodenbilanz im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren - Abschätzung der Heizgrenztemperaturen und Bilanzzeiten für das Heizperiodenbilanzverfahren nach EN 832 / DIN V 4108-6, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2004.
- IWU (2005) Beiträge der EnEV und des KfW-CO2-Gebäudesanierungsprogramms zum Nationalen Klimaschutzprogramm, Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), 2005.
- IWU (2011) Deutsche Gebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2011.
- Kadian et al. (2007) Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi, Energy Policy 35, 6195–6211.
- Kalt (2010) Biomasse-Außenhandel - Status quo, Trends und Szenarien, Teilbericht 4c im Rahmen der Studie „Save our Surface“ im Auftrag des Österreichischen Klima- und Energiefonds, Wien, 2010.
- Kopf et al. (2008) Using maps of city analogues to display and interpret climate change scenarios and their uncertainty, Natural Hazards and Earth System Sciences 8, 905-918, 2008.
- Kranzl et al. (2010) Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel, Endbericht im Rahmen der Programmlinie "Energie der Zukunft", Wien, 2010.

- Kytir et al. (2010) Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2010-2030 mit Ausblick bis 2050 ("ÖROK-Regionalprognosen"), Teil 2: Endbericht zur Erwerbsprognose, Wien, 2010.
- Leckebusch et al. (2006) Analysis of frequency and intensity of European winter storm events from a multi-model perspective, at synoptic and regional scales, *Climate Research*, 31 (1). pp. 59-74. ISSN 0936-577X doi: 10.3354/cr031059.
- Lexer&Seidl (2007) Der österreichische Wald im Klimawandel - Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung, Ländlicher Raum - Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2007.
- Lödl et al. (2010) Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland, 11. Symposium Energieinnovation, Graz, 2010.
- Loga et al. (2010) Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach; First TABULA Synthesis Report; with contributions by NOA / Greece, ZRMK / Slovenia, POLITO / Italy, ADEME / France, Energy Action / Ireland, VITO / Belgium, NAPE / Poland, AEA / Austria, SOFENA / Bulgaria, STU-K / Czech Republic, SBi / Denmark; IWU Darmstadt /Germany June 2010; Download: [www.building-typology.eu](http://www.building-typology.eu)
- Loga et al. (2013) TABULA Calculation Method – Energy Use for Heating and Domestic Hot Water – Reference Calculation and Adaptation to the Typical Level of Measured Consumption – TABULA Documentation, IWU, Darmstadt, 2013.
- Loibl et al. (2011) reclip:century 1 Research for Climate Protection: Century Climate Simulations:Models, Data and GHG-Scenarios, Simulations: ACRP final report reclip:century part A., Wien, 2011.
- Mach (2008) Die thermische Simulation als Planungsinstrument des Hochbaus, Dissertation von Thomas Mach, Institut für Wärmetechnik, TU Graz, 2008.
- Mahlia et al. (2004) Mitigation of emissions through energy efficiency standards for room air conditioners in Malaysia, *Energy Policy* 32, 1783–1787.
- Matzarakis (2013) Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 03/2013; 73:115-118.
- McNeill&Letschert (2007) Future air conditioning energy consumption in developing countries and what can be done about it: the potential of efficiency in the residential sector, European Council for an Energy Efficient Economy (EUECE) 2007 summer study, 2007.
- Meisel (2014) Grenzen der Bestandserhaltung – Abriss als Paradigma nachhaltiger Quartiersentwicklung?, Präsentation bei Stadtentwicklungsforschung: konkret „Zukunftschancen von Stadtquartieren zwischen Erhaltung und Erneuerung“, Düsseldorf, 2014.
- Müller et al. (1995) Klimanormierung Gebäudemodell Schweiz, Bern, 1995.
- Nakicenovic et al. (2000) IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge, New York, 2000.
- Nemeth (2011) Methodenentwicklung zur Bestimmung von Potenzialen der Energieeffizienzsteigerung im Haushalts- und GHD-Sektor - Am Beispiel von drei Landkreisen in Bayern, Isabell Nemeth, Dissertation, TU München, 2011.
- Olonscheck et al. (2011) Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change, *Energy Policy* 39 (2011) 4795–4806.
- Prettenthaler et al. (2007) Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich. Projektbericht zu StartClim2006, Graz, 2007.
- Price et al. (2006) Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.
- Prinz et al. (2009) Energie und Raumentwicklung - Räumliche Potenziale erneuerbarer Energien, Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK), Wien, 2009.

- Riviere et al. (2008) Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation) - Economic and Market analysis, Armines (Frankreich), 2008.
- Robine et al. (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003, C. R. Biologies 331 (2008) 171–178.
- Rong et al. (2007) Climate Change and the Long-Term Evolution of the US Buildings Sector. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, USA, 2007.
- Sailor&Pavlova (2003) Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change, Energy 28 (2003) 941–951.
- Schardinger (2014) Räumliche Modellierung und Optimierung regionaler Energiesysteme, Ingrid Schardinger, Dissertation, Paris-Lodron-Universität Salzburg, 2014.
- Schriefl (2007) Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter der Annahme verschiedener Optimierungsziele, Ernst Schriefl, Dissertation, TU Wien, 2007.
- Statistik Austria (2007) Gebäude und Wohnungen 2001 nach Art des (Wohn-)Gebäudes und politischen Bezirken, Wien, 2007.
- Statistik Austria (2009) Jahresstromverbrauch 2008 Ein-/Zweifamilienhaus versus verdichteter Wohnbau, Wien, 2009.
- Statistik Austria (2015) Energiestatistik: Energiebilanzen Österreich 1970 bis 2013. Statistik Austria, Erstellt am 12.12.2014, Stand 13.01.2015.
- Streicher (2005) Teilnahme am Task 25 des Implementing Agreements on Solar Heating and Cooling der internationalen Energieagentur (IEA). Endbericht. Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik, Graz, 2005.
- Streicher et al. (2010) Energieautarkie für Österreich 2050, Endbericht im Auftrag des Klima- und Energiefonds, Innsbruck, 2010.
- Sunikka-Blank&Galvin (2012) Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, Building Research & Information, 40:3, 260-273, DOI: 10.1080/09613218.2012.690952
- Taboga (2014) Diffusion der Klimatisierung anhand der Stadt Wien im Vergleich mit der Stadt Mailand, Pia Taboga, Masterarbeit, Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien, 2014.
- Themeßl et al. (2012) Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impacts on the climate change signal, Climatic Change, 2012.
- Töglhofer et al. (2009) HEAT.AT: Die Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich II, Endbericht, Graz, 2009.
- Treberspurg et al. (2011) Sommertauglichkeit im Gebäudebestand, Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien, 2011.
- UBA (2010) Elektromobilität in Österreich Szenario 2020 und 2050, Österreichisches Umweltbundesamt (UBA), Wien, 2010.
- UBA (2015a) Energieverbrauch der privaten Haushalte, Umweltbundesamt Deutschland (UBA), <http://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/energieverbrauch-der-privaten-haushalte>, abgerufen am 27.08.2015.
- UBA (2015b) Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren, Umweltbundesamt Deutschland (UBA), <http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren>, abgerufen am 27.08.2015.
- UNEP (2004) Impacts of Summer 2003 Heat Wave in Europe, United Nations Environment Programme (UNEP), 2004.
- van der Linden&Mitchell (2009) ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Exeter: Met Office Hadley Center, 2009.

- Voss et al. (2005) Bürogebäude mit Zukunft. Köln : TÜV-Verlag, 2005.
- Wagner (2009) Nutzung regenerativer Energien, Vorlesungsskript, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, Technische Universität München (TUM), 2009.
- Weber (2002) Energie in Bürogebäuden. Verbrauch und energierelevante Entscheidungen, vdf Verlag, Zürich, ISBN 3 7281 2819 8.
- Weigel (2011) Klimawandel - Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten, Braunschweig, 2011.
- WHO (2004) Heat-waves: risks and responses, World Health Organization (WHO), 2004.
- Zoll (2010) Szenarien zur Entwicklung der Gebäudeklimatisierung in Österreich, Roland Zoll, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, 2010.