



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Vienna University of Technology

# DIPLOMARBEIT

**Erweiterung eines Investitions- und Optimierungsmodells zur  
kostenminimalen Strom-, Wärme- und Kälteversorgung mit Fokus auf  
Fernwärmeausbau und CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Beispielregionen Graz und Salzburg

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs

am **Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe**

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik**

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr- techn. Reinhard Haas

und als verantwortliche Mitwirkende

Dipl.-Ing. Marcus Hummel

Dipl.-Ing. Richard Büchele

Mag. Michael Hartner

durch

Manuel Fenz, BSc MA

0825349

Wien, im April 2015



## **Erklärung zur Verfassung der Arbeit**

„Hiermit erkläre ich Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabelle, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht habe.“

Manuel Fenz, Wien im April 2015

## **Kontaktdaten**

Das im Rahmen dieser Diplomarbeit implementierte Optimierungsmodell wurde vom Verfasser in Zusammenarbeit mit der „Energy Economics Group“ des Instituts für Energiesysteme und Elektrische Antriebe der TU Wien erstellt. Der im Zuge dieser Tätigkeit erstellte Programmcode soll frei zugänglich sein und als Grundlage für weitere Forschung dienen. Aufgrund der Länge und Unhandlichkeit des Modellcodes, wird dieser nicht an die Arbeit angehängt, sondern – bei Wunsch zum Erhalt des Programmcodes – um Kontaktaufnahme mit dem Institut oder mit dem Verfasser gebeten.

manuel@fenz.at

Manuel Fenz



## Kurzfassung

In dieser Arbeit wird über ein Optimierungsmodell der kostenoptimale Technologiemix zur Energiebereitstellung unter Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>-Einsparungen in zwei Modellstädten ermittelt. Die Deckung der nachgefragten Menge an Strom, Wärme und Kälte in einem Versorgungsgebiet soll zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Um diese Deckung sicherzustellen stehen, je nach Versorgungsgebiet, verschiedene Technologien in unterschiedlichem Ausmaß zur Verfügung. Diese Technologien können anhand ihrer Eigenschaften charakterisiert werden und reichen von der möglichen bereitzustellenden Energieform, über die damit verbundenen Kosten bis hin zu den zeitlichen Einsatzmöglichkeiten der Technologien. Abhängig von Rahmenbedingungen wie der zeitlichen Energienachfrage und Investitionskosten, stehen die Technologien miteinander in Wechselwirkung. Für die Abbildung der komplexen Zusammenhänge wird in dieser Arbeit ein bestehendes Modell erweitert.

Das Modell nimmt die Einsatz- und Investitionsplanung eines regionalen Energieparks vor. Die Strom-, Wärme- und Kältenachfrage eines Jahres des Versorgungsgebietes wird dabei anhand von stündlichen Lastprofilen abgebildet. Die Deckung der Nachfragen geschieht anhand der bestehenden Erzeugungstechnologie, welche teilweise auch erweitert werden können. Zusätzlich implementierte Erweiterungsmöglichkeiten umfassen das Fernwärmenetz und Abwärmeauskopplung aus Industriebetrieben. Das Modell wird für die Städte Graz und Salzburg implementiert.

Erste Modellläufe ergaben aufgrund der aktuell niedrigen Strommarktpreise hohe Investitionen in strombetriebene Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen und Boiler. In Graz wird im Modell zur Deckung der Fernwärmenachfrage vorwiegend das mit Steinkohle betriebene Kraftwerk Mellach eingesetzt, welches mit hohem CO<sub>2</sub>-Ausstoß, aber weitaus geringeren Kosten als andere Technologien, verbunden ist. Vergleicht man die Städte Graz und Salzburg, werden in Graz 342 t CO<sub>2</sub> pro GWh und in Salzburg 168 t CO<sub>2</sub> pro GWh nachgefragter Energie (Wärme und Strom) ausgestoßen. In einem weiteren Modelllauf werden die Auswirkungen auf die Versorgungsstruktur bei CO<sub>2</sub>-Einsparung von 20% (im Vergleich zu einem Referenzlauf) analysiert. In Graz können Emissionen vorwiegend durch Reduktion des Einsatzes des Steinkohlekraftwerks eingespart werden. Die im Modell errechneten Kosten pro eingesparter Tonne CO<sub>2</sub> belaufen sich dabei auf € 72,38 pro t. Die Reduktion in Salzburg ist aufgrund des durchschnittlich geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoßes mit deutlich höheren Kosten von € 141,60 pro t eingespartem CO<sub>2</sub> verbunden, da in Photovoltaikanlagen investiert werden müsste, um die Einsparungsziele von -20% im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß in einem unbeschränktem Modelldurchlauf zu erreichen.



## Abstract

This thesis aims at evaluating the cost optimal technology mix for energy supply in two sample regions. The demand of electrical, heating and cooling energy has to be satisfied at any time. Depending on the supply area, different technologies are available to meet the target of continuous supply. These technologies can be categorized by their energy output (heat or electricity), costs and technical constraints. Different conditions of energy demand levels, fuel- and investment costs as well as varying electricity prices induce a competitive relationship within these technologies. To analyse these complex interrelations in an existing energy system, an existing linear optimization model is extended and used for this analysis.

The model and its extensions provide the dispatch- and investment plan of a local energy park. The demand of electrical, heating and cooling energy is modelled in hourly resolution using standard demand profiles. To meet demand existing energy conversion technologies are used. The maximum power output of some of these technologies can be extended by the model. Additional features of the model are enlargements of the district heating grid and the utilisation of waste heat. The model is implemented for the cities of Graz and Salzburg.

Due to the current situation of low prices for electricity on the wholesale market, model results show a strong tendency towards investments in power to heat technologies (heat pumps and boilers). The district heating demand in Graz is mainly covered by the CHP plant Mellach, which is powered by hard coal. In comparison to other power sources hard coal is characterized by a low fuel price, but high CO<sub>2</sub>-emissions. This is the main reason why Graz and Salzburg show different CO<sub>2</sub>-emissions per GWh (heat plus electricity). In Graz the CO<sub>2</sub>-emissions per GWh are 342 t while in Salzburg 168 t CO<sub>2</sub> per GWh are emitted. To analyse the impact of CO<sub>2</sub>-reductions on the structure of supply, a restriction to reduce the CO<sub>2</sub>-emissions by 20% (in comparison to a reference result) is implemented. In Graz reductions can be mainly achieved through reducing the operating time of the hard coal fired power plant. The costs to reduce the CO<sub>2</sub>-emissions are € 72,38 per ton in Graz. In Salzburg other steps have to be taken to reduce the CO<sub>2</sub>-emissions by 20%. To achieve the target PV-panels have to be installed. The costs for each ton of reduction are therefore much higher (€ 141,60 per ton).



## Danksagung

Durch den Abschluss dieser Arbeit geht mein Studium der Elektrotechnik im Masterstudium Energie- und Automatisierungstechnik an der TU Wien zu Ende. Es war ein interessanter und lehrreicher Abschnitt meines Lebens, welchen ich nicht missen möchte. Da es meiner Meinung nach in vielerlei Hinsicht nicht selbstverständlich ist, ein Studium zu absolvieren, möchte ich mich auf diesem Wege bei allen, die mich in dieser Zeit unterstützt haben, bedanken.

In erster Linie möchte ich mich bei meinen Eltern und Großeltern, welche durch ihre laufende Unterstützung und Motivation dieses Studium ermöglichen haben, bedanken. Im Zuge dieser Arbeit konnte ich auch eine eigene Familie gründen, welcher ich auch zu Dank verpflichtet bin. Meiner Freundin Lydia für ihre motivierende Art, ihr stets offenes Ohr, die Zeit die ich während des ganzen Studiums mit ihr verbringen durfte und die sie mir auch für mich alleine gab, wenn ich sie brauchte. Des Weiteren natürlich meinem Sohn Leon, der einen wesentlichen Teil zu meiner Motivation beitrug.

Auf keinen Fall vergessen möchte ich meine Freunde, die mich in meiner Studienzeit begleitet haben, sei es direkt im Studium oder in der Freizeit. Ohne euch wäre es sicher schwieriger und bei weitem nicht so lustig gewesen.



# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>XI</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVATION .....	1
1.2. AUFGABENSTELLUNG UND ZENTRALE FRAGESTELLUNG .....	1
1.3. METHODIK UND WERKZEUGE .....	2
1.4. AUFBAU DER ARBEIT .....	2
1.5. NOMENKLATUR .....	2
<b>2. METHODIK UND MODELLIERUNG .....</b>	<b>3</b>
2.1. BESCHREIBUNG UND ÜBERNAHMEN AUS DEM BESTEHENDEN MODELL .....	3
2.2. ERWEITERUNG DES MODELLS .....	6
<b>3. ERMITTLUNG DER MODELLINPUTDATEN .....</b>	<b>13</b>
3.1. METHODIK ZUR ERARBEITUNG DER BENÖTIGTEN INPUTDATEN .....	13
3.1.1. <i>Energiebedarf nach Sektoren</i> .....	13
3.1.1.1. Methode anhand von Nutzenergieanalysen .....	13
3.1.1.2. Methode anhand der Betrachtung von einzelnen Verbrauchseinheiten .....	16
3.1.2. <i>Zeitliche Auflösung der Energienachfrage</i> .....	25
3.1.2.1. Stromnachfrage .....	25
3.1.2.2. Wärmebedarf .....	25
3.1.2.3. Kältenachfrage .....	29
3.1.3. <i>Räumliche Auflösung der Energienachfrage</i> .....	31
3.2. GRAZ .....	34
3.2.1. <i>Energiebedarf Graz</i> .....	34
3.2.1.1. Siedlungsbereich/private Haushalte .....	36
3.2.1.2. Industriebetriebe .....	36
3.2.1.3. Öffentlicher Sektor und private Dienstleistungen, Landwirtschaft, Verkehr .....	45
3.2.1.1. Übersicht .....	47
3.2.2. <i>Zeitliche Aufteilung Graz</i> .....	48
3.2.3. <i>Räumliche Aufteilung Graz</i> .....	51
3.2.4. <i>Technologien</i> .....	53
3.3. SALZBURG .....	59
3.3.1. <i>Energiebedarf Salzburg</i> .....	59
3.3.1.1. Siedlungsbereich/private Haushalte .....	61
3.3.1.2. Industriebetriebe .....	61
3.3.1.3. Öffentliche Sektor und private Dienstleistungen, Landwirtschaft, Verkehr .....	67
3.3.1.4. Übersicht .....	69
3.3.2. <i>Zeitliche Aufteilung Salzburg</i> .....	70
3.3.3. <i>Räumliche Aufteilung Salzburg</i> .....	70
3.3.4. <i>Technologien</i> .....	73
<b>4. ANWENDUNG DES MODELLS .....</b>	<b>80</b>
4.1. KOSTENANNAHMEN UND PREISE .....	80
4.1.1. <i>Brennstoffpreise</i> .....	80
4.1.2. <i>CO<sub>2</sub> Preise und Emissionsfaktoren</i> .....	80
4.1.3. <i>Investitionskosten</i> .....	81
4.2. MODELLEINSTELLUNGEN .....	81
4.3. ERGEBNISSE .....	82
4.3.1. <i>Graz</i> .....	82

4.3.1.1.	Durchlauf mit und ohne Ausbau des Fernwärmenetzes .....	82
4.3.1.2.	Durchlauf mit Stromhandelspreisen aus dem Jahr 2011 .....	91
4.3.1.3.	Durchlauf mit Ausbaubeschränkung .....	94
4.3.1.4.	Durchlauf mit der Berücksichtigung von Stromspitzen .....	98
4.3.1.5.	CO <sub>2</sub> -Reduktionsdurchlauf .....	102
<b>4.3.2.</b>	<b>Salzburg .....</b>	<b>107</b>
4.3.2.1.	Durchlauf mit Strompreisen aus 2013 und Fernwärmeausbau .....	107
4.3.2.2.	Durchläufe mit beschränktem Ausbau und Berücksichtigung von Stromspitzen .....	113
4.3.2.3.	Durchlauf mit entkoppelten und gekoppelten Fernwärmenetzen von Salzburg und Hallein .....	118
4.3.2.4.	CO <sub>2</sub> -Reduktionsdurchlauf .....	123
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG .....</b>	<b>130</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>A</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>D</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>F</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>J</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AW .....	Abwärme
CO <sub>2</sub> .....	Kohlendioxid
DG.....	Deckungsgrad
EFH.....	Einfamilienhaus
el.....	elektrisch
EMAS .....	Eco-Management and Audit Scheme
FHKW .....	Fernheizkraftwerk
FHW .....	Fernheizwerk
FW .....	Fernwärme, Fernwärmegebiet
GebTyp .....	Gebäudetyp
GHD .....	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
HK .....	Heizkessel
HP .....	Heat Pump (Wärmepumpe)
HS.....	Heat Storage (Wärmespeicher)
HT .....	Hochtemperatur
IK.....	Investitionskosten
K_FW .....	Fernkälte
KWK.....	Kraft-Wärme-Kopplung
MFH .....	Mehrfamilienhaus
MILP.....	Mixed Integer Linear Program
MT.....	Mitteltemperatur
nFW .....	nicht Fernwärmegebiet
NT .....	Niedertemperatur
PV.....	Photovoltaik
RDH.....	Reihendoppelhaus
RW .....	Raumwärme
ST .....	Solarthermie
th .....	thermisch
VDEW.....	Verband des Elektrizitätswirtschaft
WH.....	Wohneinheit
WW.....	Warmwasser

# 1. Einleitung

## 1.1. Motivation

Der Energiesektor in Österreich unterliegt derzeit einem großen Wandel, da in den letzten Jahren eine Verschiebung von zentraler zu dezentraler Energieerzeugung stattfand. Diese ist besonders am dezentralen Einsatz von erneuerbaren Energien zu erkennen. Im Gegenzug kann es vorkommen, dass zentrale Anlagen nicht mehr gewinnbringend betrieben werden können und müssen vom Netz genommen werden. Diese Entwicklungen entstehen durch ein komplexes Zusammenspiel von Investitionskosten, verfügbaren Technologien, Energie- und Rohstoffpreisen. Anhand von Energiesystemmodellen kann dieser Zusammenhang modelliert und die Auswirkung von einzelnen Parametern auf eine Modellregion untersucht werden. Die dabei zu wählenden Parameter können soweit gestaltet werden, dass gegebene politische Situationen und Rahmenbedingungen nachgebildet werden können.

Ein Beispiel dafür ist, dass sich Österreich in der zweiten Kyoto-Verpflichtungsperiode von 2013 bis 2020 das Ziel von Treibhausgaseinsparung von -20% gegenüber dem Jahr 1990 gesetzt hat. Im Jahr 2011 lagen die Treibhausgasemissionen um rund 6% über dem Wert von 1990, was Anlass dazu gibt, mögliches Einsparungspotential aufzuzeigen, um durch ihre Umsetzung die neu gesteckten Ziele zu erreichen. Nach dem Verkehrssektor und der Industrie stellt der Sektor der Energieerzeugung den größten Produzenten von Treibhausgasen in Österreich dar. Der Gesamtwert aus Treibhausgasen konnte in den Jahren vor 2011 auf einem konstanten Niveau gehalten werden. Dies ist teilweise auf die schlechte wirtschaftliche Lage und den vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energieträgern zurückzuführen (Schneider, 2013). Um die Einsparungspotentiale im Sektor der Energieerzeugung aufzuzeigen wurde ein Modell entwickelt, welches im Zuge dieser Arbeit erweitert wird.

## 1.2. Aufgabenstellung und zentrale Fragestellung

Diese Arbeit soll verschiedene Aspekte einer effizienten und kostengünstigen Strom-, Wärme- und Kälteversorgung in Österreich untersuchen. Dabei werden die einzelnen Teilbereiche des Strom-, Wärme- und Kältesystems getrennt voneinander betrachtet. Aufbauend auf einem bestehenden Modell soll durch dessen Erweiterung auf die Möglichkeit von Fernwärmeausbau im urbanen Bereich, die Möglichkeit zur Modellierung der Kälteversorgung und die Einbindung von Industriebetrieben zur Abwärmeauskopplung betrachtet werden. Das Ziel dieser Modellerweiterung ist es Ergebnisse im Bezug auf Investitionsmöglichkeiten und Technologieauswahl zur Strom-, Wärme- und Kälteversorgung zu liefern, um kostengünstige Versorgung zu gewährleisten.

Ein weiterer Aspekt ist die Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Sektor der Energieerzeugung, welcher durch gewisse Restriktionen im Modell erreicht werden kann. Die Einspeisung von Abwärme aus Industriebetrieben in das Fernwärmenetz bietet eine Möglichkeit. Prozesswärmeerzeugung in Industriebetrieben ist mit CO<sub>2</sub>-Ausstoß verbunden und erzeugt oftmals ungenutztes Abwärmepotential. Durch die Nutzung dieses Potentials kann die Energieerzeugung durch andere CO<sub>2</sub>-erzeugende Technologien eingespart und der Gesamtausstoß verringert werden. Wird CO<sub>2</sub> eingespart, kann ein alternativer Erzeugermix erwartet werden, welcher vermehrt auf erneuerbare Energien setzt. Dabei ist herauszufinden inwieweit sich die Gesamtkosten zur Versorgung einer Modellregion durch die Einsparung von CO<sub>2</sub> verändern.

### 1.3. Methodik und Werkzeuge

Im Zuge einer Literaturanalyse wird auf Modellierungsmöglichkeiten hinsichtlich des Ausbaus der Fernwärmeversorgung in Städten eingegangen. Da auf einem bestehenden Modell aufgesetzt wird, ist besonders auf die Kompatibilität der Methoden zu achten. Weitere Teile der Literaturanalyse beinhalten die Möglichkeit der Einbindung von Industriebetrieben in die Wärme und Stromversorgung im Zuge von Abwärmeauskopplung und die Möglichkeiten zur Errechnung des Kältebedarfs in den Modellregionen und Einbindung in das Modell.

Beim Modell handelt es sich um ein gemischt-ganzzahliges Problem („Mixed Integer Linear Program“, MILP), welches in MATLAB® erstellt wird. Dazu wird die YALMIP-Toolbox verwendet, um die MATLAB®-Syntax verwenden zu können. Gelöst wird das Problem durch den externen Solver GUROBI.

### 1.4. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in 5 Hauptteile, wobei der erste Teil die Einleitung darstellt. Im folgenden Kapitel wird die Methodik zur Modellerweiterung genauer beschrieben. Dabei wird auf die Übernahmen aus dem Ausgangsmodell und die umgesetzten Erweiterungen eingegangen. Im dritten Teil der Arbeit wird die Methodik zur Ermittlung der benötigten Inputdaten beschrieben, welche auf die Modellstädte Graz und Salzburg angewendet wird. Die erzeugten Inputdaten werden im Kapitel 0 in das Modell implementiert und in Modelldurchläufe mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen eingesetzt. Die aus den Modelldurchläufen erhaltenen Daten werden im Folgenden interpretiert und analysiert. Im abschließenden Kapitel werden die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Modellregionen aufgezeigt und Erkenntnisse aus der Arbeit zusammengefasst.

### 1.5. Nomenklatur

Um die bessere Verständlichkeit der in dieser Arbeit angeführten Gleichungen und Formeln zu gewährleisten, wird anhand eines Beispiels die Schreibweise der Gleichungen erläutert. Es wird zwischen tiefgestellten und hochgestellten Indices unterschieden. Wird der Index nicht eingeklammert hat er lediglich eine beschreibende Funktion. Im unten angeführten Beispiel sollen die Indices  $n_{FW}$  und  $DG$  auf des nicht mit Fernwärme versorgte Gebiet und den Deckungsgrad hinweisen. Der hochgestellte und eingeklammerte Index „Gebiet“ weist diese darauf hin, dass der in der Gleichung beschriebene Zusammenhang für jedes einzelne Gebiet gilt. Wird der hochgestellte und eingeklammerte Index zusätzlich als Laufvariable in der Summe verwendet, bedeutet dies die Summenbildung für den jeweiligen Index. Die Beispielformel berechnet die Anzahl der nicht mit Fernwärme versorgten Gebäude in jedem einzelnen Stadtgebiet. Dies geschieht anhand des Fernwärmedeckungsgrades jedes einzelnen Gebietes, multipliziert mit der gesamten Gebäudeanzahl in einem Gebiet. Zur Berechnung der gesamte Gebäudeanzahl in einem Gebiet wird die Anzahl der einzelnen Gebäudetypen ( $GebTyp$ ) in einem Gebiet aufsummiert.

$$Anzahl_{n_{FW}}^{(Gebiet)} = FW_{DG}^{(Gebiet)} \cdot \sum_{GebTyp} Anzahl^{(Gebiet)}(GebTyp)$$

## 2. Methodik und Modellierung

### 2.1. Beschreibung und Übernahmen aus dem bestehenden Modell

Beim bestehenden Modell handelt es sich um ein Investitions- und Optimierungsmodell zur kostenminimalen Jahresdeckung des Strom- und Wärmebedarfs innerhalb eines regionalen Energieparks, welches im Zuge einer Diplomarbeit von Richard Büchele (Büchele, 2013) entwickelt wurde. Die Grundstruktur des Modells ist in Abbildung 1 dargestellt und basiert auf der Beispielregion Wien.

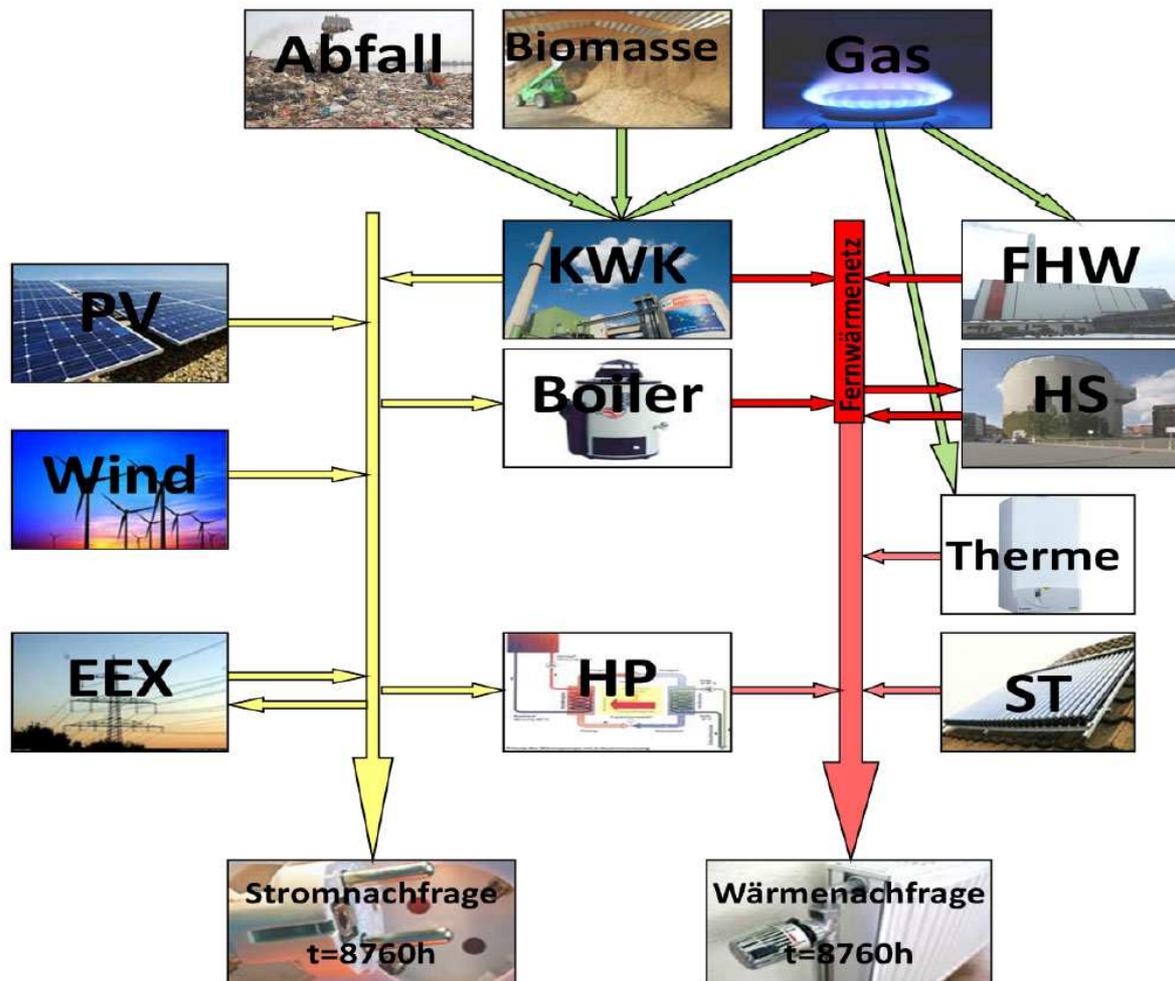


Abbildung 1 Übersicht über die Erzeugungstechnologien im bestehenden Modell, (Büchele, 2013)

Das Modell stellt ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell dar, welches die Nachfrage nach thermischer und elektrischer Energie anhand des vorherrschenden Kraftwerksparks in der Beispielregion kostenminimal decken soll. Der bestehende Kraftwerkspark kann dabei teilweise erweitert werden und die Möglichkeit des Stromhandels durch Export oder Import ist gegeben. Das Jahr wird in einen Raster von 8.760 Stunden geteilt, wobei die thermische, als auch die elektrische Energie in jedem Zeitpunkt gedeckt werden muss. Die Nachfrage innerhalb einer Stunde wird dabei als konstant betrachtet.

Die Jahresstromnachfrage wird anhand des Energieberichts der Stadt Wien aus dem Jahr 2012 prozentuell auf Sektoren mit unterschiedlichem Verbrauchsverhalten (Haushalte, Verkehr,

Landwirtschaft,...) aufgeteilt, welchen im Weiteren Standardlastprofile zugewiesen werden. Durch die Aufsummierung dieser zeitlichen Stromnachfrage wird ein Gesamtstromlastprofil im Raster von 8.760 Stunden erstellt. Ähnlich wird mit dem Wärmebedarf verfahren, mit dem Zusatz einer weiteren Untergliederung der Sektoren in zum Beispiel Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser im Sektor der Haushalte. Den Bereichen werden wiederum Lastprofile zugeordnet und zu einem Gesamtwärmelastprofil aufsummiert.

Die Nachfragen werden anhand unterschiedlicher Technologien, wie in Abbildung 1 dargestellt, gedeckt. Da die Energienachfrage auch von KWK-Anlagen gedeckt wird, können die Wärmenachfrage und Stromnachfrage nicht getrennt voneinander betrachtet werden. In das Modell eingebundene KWK-Anlagen sind Gegendruck-Dampfturbinen, Entnahme-Kondensations-Dampfturbinen, Gasturbine mit Wärmerückgewinnung und kombinierte GuD-Anlagen mit Wärmeauskopplung. Im Weiteren wurden Technologien die rein der Wärmeversorgung bzw. Stromversorgung dienen modelliert. Als reine Wärmeerzeuger wurden Fernheizwerke, Boiler, solarthermische Anlagen, Gastherme und Wärmepumpen modelliert. Rein der Stromversorgung dienende Technologien sind photovoltaische Anlagen und Windkraftanlagen<sup>1</sup>. Zusätzlich zu den Erzeugungstechnologien steht ein Wärmespeicher zur Verfügung, dessen Kapazität auch erweitert werden kann. Wie auch der Wärmespeicher, kann die Modulfläche der solarthermischen und photovoltaischen Anlage vergrößert werden. Dies gilt auch für die Erzeugungsleistung der Wärmepumpe, Boiler, Gastherme und der Lade- bzw. Entladeleistung des Speichers. Im Weiteren können zusätzliche Windkraftanlagen gebaut werden. Eine Einschränkung bilden KWK-Anlagen und Fernheizwerke, welche nicht erweitert bzw. neu errichtet werden können.

Die Summe aller KWK-Stromerzeugungen  $\sum_{KWK} p^{(KWK)} [t]$  und die gehandelte Strommenge  $EEX[t]$  decken die nachgefragte Strommenge in jedem Zeitpunkt. Diese setzt sich aus der Stromnachfrage im Versorgungsgebiet  $d_{el}[t]$ , dem elektrischen Verbrauch der Wärmepumpen  $\frac{q_{HP}[t]}{COP_{HP}}$  und des Boilers  $\frac{q_{boiler}[t]}{\eta_{boiler}}$ , vermindert um die Erzeugung aus Photovoltaik  $p_{PV}[t]$  und Windkraft  $p_{wind}[t]$  zusammen (Gl. 1).

$$\sum_{KWK} p^{(KWK)} [t] + EEX[t] \geq d_{el}[t] + \frac{q_{HP}[t]}{COP_{HP}} + \frac{q_{boiler}[t]}{\eta_{boiler}} - p_{PV}[t] - p_{wind}[t] \quad \text{Gl. 1}$$

Die thermische Nachfrage wird anhand eines Deckungsgrades  $FW_{DG}$  in die Nachfrage im Fernwärmegebiet und der im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet aufgeteilt. Die thermische Nachfrage des mit Fernwärme versorgten Gebietes  $FW_{DG} \cdot d_{th}[t]$  wird durch die Summe aus den Produktionen durch KWK-Anlagen und Fernheizwerken  $\sum_{KWK} q^{(KWK)} [t] + \sum_{FHW} q^{(FHW)} [t]$ , der vom Boiler zur Verfügung gestellten  $q_{boiler}[t]$  und aus dem Speicher entnommen Wärmemenge  $q_{HS}[t]$ , vermindert um die Netzverluste, decken (siehe Gl. 2).

$$\left( \sum_{KWK} q^{(KWK)} [t] + \sum_{FHW} q^{(FHW)} [t] + q_{HS}[t] + q_{boiler}[t] \right) \cdot (1 - Loss_{net}) \geq FW_{DG} \cdot d_{th}[t] \quad \text{Gl. 2}$$

<sup>1</sup> Zu weiteren Details der Modellierung der Kraftwerkstechnologien wird auf (Büchle, 2013) verwiesen

Die Deckung des nicht mit Fernwärme versorgten Gebietes  $(1 - FW_{DG}) \cdot d_{th}[t]$ , erfolgt durch die erzeugten Wärmemengen der Wärmepumpe  $q_{HP}[t]$ , Gastherme  $q_{therme}[t]$  und solarthermischen Anlagen  $q_{ST}[t]$ .

$$q_{HP}[t] + q_{therme}[t] + q_{ST}[t] \geq (1 - FW_{DG}) \cdot d_{th}[t] \quad \text{Gl. 3}$$

Die zu optimierende Zielfunktion (Gl. 4) besteht erstens aus den Anfahrkosten von Kraftwerken, welche abhängig von den verwendeten Technologien unterschiedlich hoch ausfallen. Zweitens aus den Energieproduktionskosten, abhängig von der verwendeten Technologie und Brennstoff. Im Weiteren aus Investitionskosten und Kosten für den Stromhandel. Da bestehende Kraftwerke in der Beispielregion als abgeschrieben in das Modell implementiert wurden, handelt es sich bei den Investitionskosten um Kosten zur Erweiterung des Kraftwerksparks. Wie bereits erwähnt ist es möglich alle Technologien, außer KWK-Anlagen und Fernheizwerke, zu erweitern. Aus den gesamten Investitionskosten einer Technologie wird anhand des gewählten Zinssatzes von 5% und einer Lebensdauer von 25 Jahren eine jährliche Annuität ermittelt, welche in die Kostenfunktion aufgenommen wird. Der Stromhandel, welcher auf den Spotmarktpreise der „European Energy Exchange“ – Börse (EEX) basiert, wird als letzter Term hinzugefügt. Der maximale stündliche Handel kann durch eine Export- und Importkapazität festgelegt werden.

$$\min \sum (c^{startup} + c^{produktion} + c^{investiton} + c^{handel}) \quad \text{Gl. 4}$$

## 2.2. Erweiterung des Modells

Im Zuge dieser Arbeit wird auf dem bestehenden Modell aufgebaut, welches um folgende Funktionen erweitert wird:

- Möglichkeit zur Erweiterung des Fernwärmenetzes bzw. des Fernwärmedeckungsgrades
- Berücksichtigung von unterschiedlichen Temperaturniveaus in der Wärmeversorgung bzw. Kälteversorgung
- Möglichkeit zur Abwärmeauskopplung aus Industriebetrieben

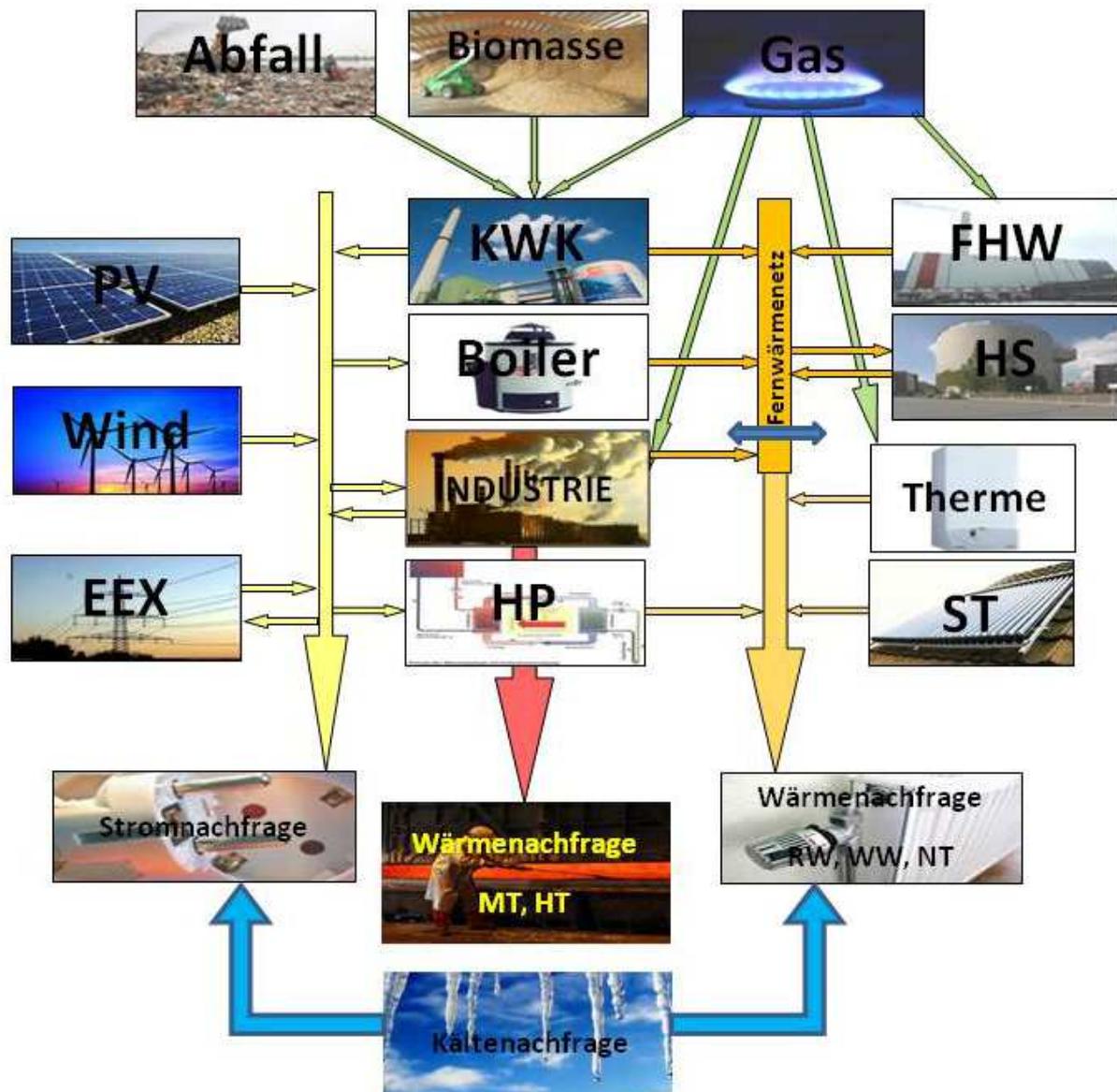


Abbildung 2 Übersicht über die Erzeugungstechnologien und Nachfragen in erweitertem Modell, in Anlehnung an (Büchtele, 2013)

Abbildung 2 zeigt die Auswirkungen der Erweiterungen auf die Modelldarstellung laut Abbildung 1. Der mögliche Ausbau des Fernwärmenetzes wird durch den Pfeil auf dem Fernwärmenetz symbolisiert. Im Weiteren werden die Industriebetriebe als gesonderte Erzeugertechnologie in das Modell aufgenommen. In manchen Sektoren der Industrie wird Prozesswärme auf einem höheren Temperaturniveau als zur Deckung von Raumwärme und Warmwasser erforderlich ist nachgefragt.

Diese Nachfrage wird durch spezielle Anlagen, welche zum Beispiel mit Gas oder Strom betrieben werden, gedeckt. Die dabei entstehende Überschusswärme, auch Abwärme genannt, kann in das Fernwärmenetz eingespeist werden. Durch industrielle Prozesse kann es auch zu weiteren Abfallprodukten wie Biogas kommen, welche anhand entsprechender Technologien direkt in Strom umgewandelt werden können. Aus diesen Gründen ist es möglich, dass Industrieunternehmen im Zuge der Modellerweiterung in das Fernwärme- und Stromnetz einspeisen. Zusätzlich wird die Nachfragekategorie Kälte eingeführt, welche über Strom (elektrische Klimaanlage) oder Fernkälte gedeckt werden kann und dadurch die Nachfrage in diesen Bereichen erhöht. Im Weiteren soll die Umsetzung dieser Erweiterungen im Modell erläutert werden.

### Möglichkeit zur Erweiterung des Fernwärmenetzes bzw. des Fernwärmedeckungsgrades

Die Erweiterung des Fernwärmenetzes in einer Modellregion ist mit Investitionskosten verbunden, welche in den Investitionsterm der Zielfunktion (Gl. 4) des Modells eingebunden werden müssen. Um die Beurteilung eines wirtschaftlich sinnvollen Fernwärmeausbaus zu ermöglichen, muss eine Modellregion in mehrere Teilgebiete unterteilt werden. Diese Notwendigkeit entsteht dadurch, dass zum Beispiel Städte verschiedene Bebauungsstrukturen in geografisch unterschiedlichen Bereichen aufweisen. Ein Beispiel hierfür wäre der dicht bebaute Stadtkern im Vergleich zu Einfamilienhaussiedlungen am Stadtrand. Aufgrund dieser baulichen Differenzen herrschen in den einzelnen Gebieten unterschiedliche Bedingungen für den Fernwärmeausbau. Es unterscheiden sich die Längen der Leitungen welche verlegt werden müssen und auch die Kosten für diese, welche in Tabelle 1 für unterschiedliche Siedlungstypen dargestellt sind. Die Beschreibung der einzelnen Siedlungstypen kann in Tabelle 6 nachgelesen werden.

Bezeichnung	Typ01	Typ02	Typ04	Typ05a	Typ05b	Typ06	Typ07a	Typ07b	Typ08	Typ09	Typ11b
Unterverteilnetzlänge [m/Geb.]	81	15	6	13	13	13	17	17	14	6	133
Hausanschlussnetzlänge [m/Geb.]	0	8	8	10	10	15	10	10	8	6	25
Unterverteilung [€/m]	235	260	260	265	265	275	275	275	295	295	230
Hausanschluss [€/m]	0	275	335	330	330	265	330	330	360	320	300

Tabelle 1 Netzlängen und Kosten unterschiedlicher Siedlungstypen, (Lutsch et al., 2004)

Um die zusätzlichen Investitionskosten eines Gebietes zu ermitteln, müssen die Anzahl der nicht angeschlossenen Gebäude in einem Gebiet  $Anzahl_{nFW}^{(Gebiet)}$  bekannt sein.

$$Anzahl_{nFW}^{(Gebiet)} = FW_{DG}^{(Gebiet)} \cdot \sum_{GebTyp} Anzahl^{(Gebiet)(GebTyp)} \quad \text{Gl. 5}$$

Aufgrund dieser Anzahl kann eine Investitionssumme berechnet werden, welche einen Fernwärmeausbau auf hundertprozentige Deckung widerspiegelt. Aus diesem Investitionsvolumen wird anhand des Annuitätenfaktors  $\alpha$  eine jährliche Annuität der Investitionssumme ermittelt. Der Annuitätenfaktor  $\alpha$  basiert auf der Lebensdauer der Technologie und einem jährlichen Zinssatz (Büchele, 2013). Es werden ein konstanter Zinssatz von 5% und eine Netzlebensdauer von 60 Jahren gewählt, was dem Mittel der üblich angegebenen Lebensdauer für Fernwärmenetze von 50 bis 70 Jahren entspricht (Wolff and Jangow, 2011). Zur Ermittlung der Investitionskosten werden die in Tabelle 1 dargestellten Netzlängen und Kosten verwendet. In Gebieten mit hohem Deckungsgrad kann angenommen werden, dass das notwendige Unterverteilnetz der

Fernwärmeversorgung bereits vollständig ausgebaut ist und lediglich der Hausanschluss zu verlegen ist. Aus diesem Grund wurde die Binärvariable  $FW_{Typ}$  eingeführt, welche über diesen Sachverhalt entscheidet.

$$IK_{FW}^{(Gebiet)} = \alpha \cdot Anzahl_{nFW}^{(Gebiet)} \cdot (FW_{Typ} \cdot (UV_{Länge}^{(ST)} \cdot UV_{Kosten}^{(ST)}) + HA_{Länge}^{(ST)} HA_{Kosten}^{(ST)}) \quad \text{Gl. 6}$$

Da es sich bei den berechneten Investitionskosten um die Ausbaukosten eines ganzen Gebietes auf hundertprozentige Deckung handelt wird diesen eine Entscheidungsvariablen, welche den zukünftigen Fernwärmedeckungsgrad  $FW_{DG,neu}^{(Gebiet)}$  eines Gebietes angibt, beigefügt. Es ergeben sich die zusätzlichen Investitionskosten durch den Ausbau des Fernwärmenetzes (Gl. 7). Die bisherigen Investitionskosten  $c^{investition}$  werden um diesen Betrag erhöht und in Form von Gl. 8 in der Zielfunktion aufgenommen.

$$c_{FW}^{investition} = \sum_{Gebiet} IK_{FW}^{(Gebiet)} \cdot \frac{FW_{DG,neu}^{(Gebiet)} - FW_{DG}^{(Gebiet)}}{1 - FW_{DG}^{(Gebiet)}} \quad \text{Gl. 7}$$

$$c_2^{investition} = c^{investition} + c_{FW}^{investition} \quad \text{Gl. 8}$$

Die Entscheidungsvariable wird im Modell durch folgende Nebenbedingung beschränkt, da das Fernwärmenetz nicht rückgebaut und kein Deckungsgrad über 100% erreicht werden kann:

$$FW_{DG}^{(Gebiet)} \leq FW_{DG,neu}^{(Gebiet)} \leq 1 \quad \text{Gl. 9}$$

Durch das Einführen der Entscheidungsvariablen über den Fernwärmenetzausbau, wird auch der Wärmeenergiebedarf laut Gl. 2 und Gl. 3 von dieser in Abhängigkeit gestellt. Die von den Technologien zur Deckung der Wärmenachfrage im Fernwärmenetz zur Verfügung gestellte Wärmemenge wird in  $q_{FW}[t]$  zusammengefasst und muss nach den Netzverlusten zu jedem Zeitpunkt die Wärmenachfrage im Fernwärmegebiet decken. Die Nachfrage setzt sich dabei aus der Summe der einzelnen Fernwärmenachfragen in den Gebieten zusammen, welche aus der Multiplikation der neuen, gebietsabhängigen Fernwärmedeckungen  $FW_{DG,neu}^{(Gebiet)}$  und dem gebietsabhängigen Wärmeenergiebedarf  $d_{th}^{(Gebiet)}[t]$  berechnet wird.

$$q_{FW}[t] \cdot (1 - Loss_{net}) \geq \sum_{Gebiet} FW_{DG,neu}^{(Gebiet)} \cdot d_{th}^{(Gebiet)}[t] \quad \text{Gl. 10}$$

Für das nicht mit Fernwärme versorgte Gebiet ergibt sich der in Gl. 11 dargestellte Zusammenhang.

$$q_{nFW}[t] \geq \sum_{Gebiet} (1 - FW_{DG,neu}^{(Gebiet)}) \cdot d_{th}^{(Gebiet)}[t] \quad \text{Gl. 11}$$

## Berücksichtigung von unterschiedlichen Temperaturniveaus in der Wärmeversorgung bzw. Kälteversorgung

Wärmebedarfswerte fallen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus, welche in drei Kategorien eingeteilt werden können, an. Dem Nieder- (NT) (<100°C), dem Mittel- (MT) (100 – 500°C) und dem Hochtemperaturbereich. Die Wärmemengen für Raumheizung und Warmwasser fallen in den Niedertemperaturbereich. Im Weiteren kann laut (Blesl et al., 2009) eine Temperaturgrenze von 200°C eingeführt werden, anhand welcher zwischen Wärmenutzer und potentiellen Wärmequellen unterschieden werden kann. Diese Grenze stellt üblicherweise die Grenztemperatur von Fernwärmenetzen dar und dadurch das maximale Temperaturniveau, welches von den Erzeugungstechnologien in dieser Arbeit zur Verfügung gestellt werden muss. Die Grenze wird bereits bei 100°C gezogen, was ermöglicht, dass der Wärmebedarf für Raumheizung, Warmwasser und Niedertemperaturprozesswärme durch das Fernwärmenetz, aber auch durch die restlichen Erzeugungstechnologien gedeckt werden kann. Die Summe dieser Bedarfswerte ergibt die gebietsspezifischen Verbrauchswerte  $d_{th}^{(Gebiet)}[t]$  wie in Gl. 12 dargestellt.

$$d_{th}^{(Gebiet)}[t] = d_{RW}^{(Gebiet)}[t] + d_{WW}^{(Gebiet)}[t] + d_{NT}^{(Gebiet)}[t] \quad \text{Gl. 12}$$

Als zusätzliches Temperaturniveau kann der Kältebedarf eingeführt werden. In den österreichischen Nutzenergieanalysen (Statistik Austria, 2012) ist der ersichtlich, dass dieser Bedarf lediglich mit elektrischem Strom gedeckt wird, wobei im produzierenden Bereich auch Fernkälte genutzt wird. Die Darstellung der Nutzenergieanalysen erlaubt es nicht zu beurteilen, ob auch Fernkältebedarf im öffentlichen Bereich besteht, was jedoch angenommen werden kann. Da es sich bei diesen Bedarfen zu direkt zuordenbaren Größen handelt, können diese wie folgt den Bedarfswerten zugeordnet werden. Gl. 10 wird um den Gesamtbedarf an Fernkälte  $d_{K\_FW}[t]$  und Gl. 1 um den Strombedarf für die Kälteversorgung erweitert.

$$q_{FW}[t] \cdot (1 - Loss_{net}) \geq \left( \sum_{Gebiet} FW_{DG,neu}^{(Gebiet)} \cdot d_{th}^{(Gebiet)}[t] \right) + d_{K\_FW}[t] \quad \text{Gl. 13}$$

$$\sum_{KWK} p^{(KWK)}[t] + EEX[t] \geq d_{el}[t] + \frac{q_{HP}[t]}{COP_{HP}} + \frac{q_{boiler}[t]}{\eta_{boiler}} - p_{PV}[t] - p_{wind}[t] + d_{K\_el}[t] \quad \text{Gl. 14}$$

Im Weiteren wird angenommen, dass Industriebetriebe, welche Temperaturniveaus im MT oder HT-Bereich aufweisen, diesen Wärmebedarf hausintern durch eigene Befeuerungsanlagen erzeugen. Dadurch muss der Bedarf auf diesen Temperaturniveaus nicht in die Nachfrage des Modells eingebunden werden. Die dadurch entstehende Abwärme kann aber möglicherweise ausgekoppelt werden.

## Möglichkeit zur Abwärmeauskopplung aus Industriebetrieben

Unter Wärmeauskopplung aus Industriebetrieben versteht man die Einspeisung von überschüssigen Wärmemengen, verursacht durch industrielle Prozesse, in Nah- und Fernwärmenetze. Da diese Netze üblicherweise mit maximalen Temperaturen von 100°C bis 150°C betrieben werden (maximal 200°C laut (Blesl et al., 2009)), werden an diese Wärmemengen keine besonderen Anforderungen gestellt (Blesl and Kessler, 2013).

Anhand des Temperaturniveaus und der benötigten Wärmemenge können potentielle Industriebetriebe zur Wärmeauskopplung identifiziert werden. Kriterien dafür sind der ganzjährige Betrieb und ein Vorhandensein von Mindestabwärmemengen. Als Mindestabwärmemenge wird ein Wert von 1 *GWh/a* festgelegt. Das Abwärmepotential eines Industriebetriebes kann anhand der in Tabelle 2 angegebenen prozentuellen Werte und dem Energiebedarf im MT- und HT-Bereich eines Industriebetriebes abgeschätzt werden (Niedermair, 2012). Sind die Betriebszeiten des Betriebes bekannt, kann das jährliche Potential auf diese Zeiten aufgeteilt werden.

Branche	Prozent
Eisen- und Stahlerzeugung	25%
Chemie und Petrochemie	20%
Nicht Eisen Metalle	25%
Steine und Erden, Glas	20%
Fahrzeugbau	10%
Maschinenbau	10%
Bergbau	5%
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	25%
Papier und Druck	15%
Holzverarbeitung	10%
Bau	10%
Textil und Leder	15%
Sonstiger produzierender Bereich	15%

**Tabelle 2 Übersicht technischer Abwärmepotentiale auf Branchenbasis, (Niedermair, 2012)**

Zur Einbindung des Abwärmepotentials einer Modellregion in das Optimierungsmodell, müssen die Kosten des Ausbaus einer Abwärmeanlage abgeschätzt und im Falle eines Ausbaus zur Zielfunktion addiert werden. Abwärme kann verstromt oder in das Nah- und Fernwärmenetz zur Deckung der Wärme- und Kältenachfrage eingespeist werden. Dazu sind unterschiedliche Technologien auf verschiedenen Preisniveaus vorhanden, wobei auch die Kosten der Rohrleitung zum Anschluss an das Fernwärmenetz berücksichtigt werden müssen. Da die Verwendungsmöglichkeit unterschiedlicher Technologien und die Kosten der Rohrleitung stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängen, wurde versucht eine generelle Investitionskostenstruktur einer Abwärmeauskopplungsanlage auf Basis von vorhandenen Potentialen zu ermitteln. Dazu wurden das Abwärmepotential von bestehenden bzw. in Planung befindlichen Abwärmeauskopplungsanlagen, den dazu entstandenen bzw. veranschlagten Kosten gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung ist in Abbildung 3 dargestellt, wobei sich aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit keine genaue Kostenstruktur ermitteln lässt. Bei der Papierfabrik Sappi handelt es sich um ein veranschlagtes Projekt, welches zusätzlich zur Wärmeauskopplungsanlage eine 9 km lange Versorgungsleitung beinhalten (Holzcluster Steiermark, 2012), wobei es sich bei den weiter angeführten Anlagen um bereits realisierte Projekte handelt (Niedermair, 2012).

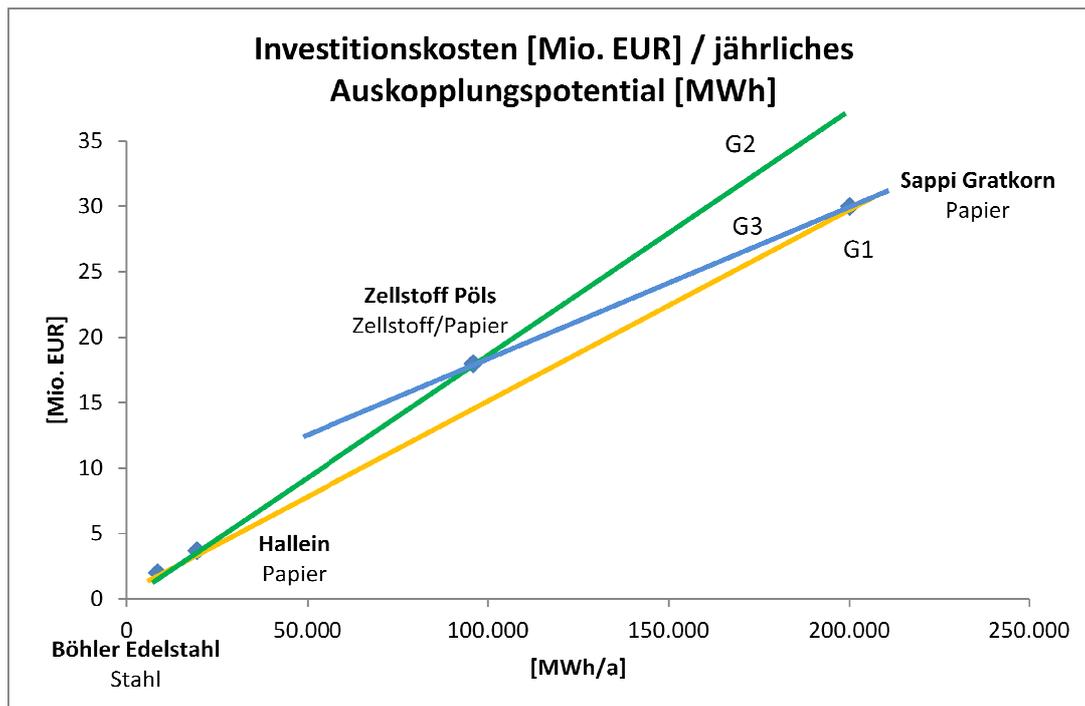


Abbildung 3 Investitionskosten über der Abwärmemenge von Abwärmeauskopplungsanlagen

Aufgrund der geringen Datenmenge wird zur Abschätzung der Kostenstruktur die Methode einer Kostenlinearisierung gewählt. Dazu ergeben sich die Möglichkeit der Linearisierung anhand der Geraden G1, G2 und G3 in Abbildung 3. Da sich auf der Geraden G2 die Punkte von drei bestehenden Auskopplungsanlagen befinden, wird der Bereich bis zu einem Abwärmepotential von  $96.000 \text{ MWh/a}$  anhand dieser Geraden linearisiert. Bei Anlagen mit höherem Abwärmepotential kann eine Kostendegression angenommen werden. Aus diesem Grund wird zur Linearisierung ab dieser Abwärmemenge die Gerade G3 verwendet. Die entstehenden Investitionskosten müssen aufgrund der Betrachtung eines Zeitraumes von einem Jahr, auf eine jährliche Annuität vermindert werden. Dies geschieht, wie bei allen Investitionen im Modell anhand des Annuitätenfaktors  $\alpha$ , welcher auf der Lebensdauer von 25 Jahren und einem jährlichen Zinssatz von 5% basiert. Aus den gewählten Werten und Geraden ergibt sich die Kostenstruktur der jährlichen Annuität laut Gl. 16 und Gl. 18 .

$$\text{Abwärmepotential } \sum_t q_{AW\_add}^{(Betrieb)} [t] \leq 96.000 \text{ MWh/a} \quad \text{Gl. 15}$$

$$c_{AW\_add}^{(Betrieb)} = \alpha \cdot \left( \sum_t q_{AW\_add}^{(Betrieb)} [t] \cdot 182 \text{ EUR/MWh} + 433.669 \text{ EUR} \right) \quad \text{Gl. 16}$$

$$\text{Abwärmepotential } \sum_t q_{AW\_add}^{(Betrieb)} [t] > 96.000 \text{ MWh/a} \quad \text{Gl. 17}$$

$$c_{AW\_add}^{(Betrieb)} = \alpha \cdot \left( \sum_t q_{AW\_add}^{(Betrieb)} [t] \cdot 115 \text{ EUR/MWh} + 6.923.077 \text{ EUR} \right) \quad \text{Gl. 18}$$

Die Summe aller Kosten für den Ausbau von Abwärmeauskopplungen wird zu den bisherigen Investitionskosten  $c_2^{investment}$  addiert.

$$c_{AW}^{investment} = \sum_{Betrieb} c_{AW\_add}^{(Betrieb)} \quad \text{Gl. 19}$$

$$c_3^{investment} = c_2^{investment} + c_{AW}^{investment} \quad \text{Gl. 20}$$

Im Weiteren wird zur produzierten Wärmemenge, welche zur Deckung des Wärmebedarfs im Fernwärmegebiet verwendet wird, die Summe der in den Abwärmebetrieben erzeugten und auskoppelbaren Wärmemenge  $\sum_{Betrieb} q_{AW\_add}^{(Betrieb)} [t]$  addiert.

$$\left( q_{FW}[t] + \sum_{Betrieb} q_{AW\_add}^{(Betrieb)} [t] \right) \cdot (1 - Loss_{net}) \geq \sum_{Gebiet} FW_{DG,neu}^{(Gebiet)} \cdot d_{th}^{(Gebiet)} [t] + d_{K\_FW}[t] \quad \text{Gl. 21}$$

### Beschränkung des Stromhandels

Im Laufe der Arbeit wurde es notwendig eine zusätzliche Erweiterung einzufügen, welche im Folgenden beschrieben wird. Zu manchen Zeitpunkten treten negative Handelspreise am Strommarkt auf. Durch die Größer- bzw. Kleiner-Gleich-Bedingung in der Gleichung zur Strombedarfsdeckung (Gl. 14) kann es im Modell dazu kommen, dass durch einen bedarfsüberschreitenden Stromimport bei negativen Strompreisen eine Verringerung der Kostenfunktion (Gl. 4) erwirkt wird. Um dies zu vermeiden wird eine weitere Nebenbedingung eingeführt. Diese verbietet mehr Strom zu importieren, als zum gegebenen Zeitpunkt benötigt wird.

$$EEX[t] \leq d_{el}[t] + \frac{q_{HP}[t]}{COP_{HP}} + \frac{q_{boiler}[t]}{\eta_{boiler}} - p_{PV}[t] - p_{wind}[t] + d_{K\_el}[t] \quad \text{Gl. 22}$$

## 3. Ermittlung der Modellinputdaten

### 3.1. Methodik zur Erarbeitung der benötigten Inputdaten

#### 3.1.1. Energiebedarf nach Sektoren

Die Gesamtenergienachfrage eines Versorgungsgebietes unterteilt sich in unterschiedliche Energieformen, welche von den Verbrauchern in unterschiedlicher Höhe und zu unterschiedlichen Zeitpunkten abgerufen werden. In diesem Kapitel werden Möglichkeiten zur Nachfrageermittlung dieser Energieformen von unterschiedlichen Verbrauchern anhand verschiedener Methoden vorgestellt. Als Energieformen werden elektrische und thermische Energie berücksichtigt, wobei sich die thermische Energie weiter in Raumwärme, Kälte, Warmwasser und Prozesswärme aufteilen lässt.

Die Verbrauchertypen werden dabei in Bereiche wie private Haushalte, produzierender Bereich, öffentliche und private Dienstleistungen, Landwirtschaft und Verkehr unterteilt. Diese Unterteilung ergibt sich aus dem unterschiedlichen zeitlichen Verbrauchsverhalten, worauf in Kapitel 0 eingegangen wird, und den zu bedienenden Temperaturniveaus an thermischer Energie der Verbraucher. Treten zum Beispiel im Bereich der privaten Haushalte nur Stromnachfrage, Raumwärmenachfrage, Warmwassernachfrage und Kältenachfrage auf, wird im produzierenden Bereich auch Prozesswärme nachgefragt.

##### 3.1.1.1. Methode anhand von Nutzenergieanalysen

Die Statistik Austria stellt für die Jahre 1993 bis 2012 Nutzenergieanalysen Österreichs und dessen Bundesländer zur Verfügung (Statistik Austria, 2012). Darin wird der aktuelle energetische Endenergieverbrauch auf die Strukturdaten zur Nutzenergieanalyse des Jahres 2010 angewendet. Dadurch ergeben sich der Energieeinsatz unterschiedlicher Sektoren und die zur Erzeugung verwendeten Energieträger.

Die Sektoren werden in folgende Bereiche gegliedert:

- Produzierender Bereich
  - Eisen- und Stahlerzeugung
  - Chemie und Petrochemie
  - Nicht Eisen Metalle
  - Steine und Erden, Glas
  - Fahrzeugbau
  - Maschinenbau
  - Bergbau
  - Nahrungs- und Genussmittel, Tabak
  - Papier und Druck
  - Holzverarbeitung
  - Bau
  - Textil und Leder
  - Sonst. produzierender Bereich
- Transport
  - Eisenbahn
  - Sonstiger Landverkehr

- Transport in Rohrfernleitungen
- Binnenschifffahrt
- Flugverkehr
- Sonstige Wirtschaftsbereiche
  - Öffentliche und private Dienstleistungen
  - Private Haushalte
  - Landwirtschaft

Diese Untergliederung entspricht der IEA/UNECE/EUROSTAT konformen Zuteilung (in weiterer Folge IEA) der Wirtschaftssektoren, ohne dem Energiesektor. Vergleicht man die Werte der Nutzenergieanalysen mit den ebenfalls von der Statistik Austria zur Verfügung gestellten Energiebilanzen, in welchen der Energiesektor gesondert ausgewiesen wird, stimmt der Gesamtbedarf der einzelnen Sektoren überein.

Die Nutzenergieanalysen stehen für Gesamt-Österreich und die einzelnen Bundesländer zur Verfügung. Um auf den Energiebedarf von Teilgebieten bzw. einzelnen Städten zu schließen, wie in dieser Arbeit erforderlich, wird der Gesamtbedarf auf die Stadt skaliert. Dies wird abhängig vom Sektor anhand der Einwohner oder den Arbeitsstätten, welche einem Bereich zugeordnet sind, im jeweiligen Gebiet durchgeführt. Die dazu benötigten Einwohnerzahlen und Arbeitsstättenzahlen können ebenfalls bei der Statistik Austria abgerufen werden (Statistik Austria, 2011a, 2011b). Die Arbeitsstättenzuteilung der Statistik Austria erfolgt laut der Klassifikation der Wirtschaftstätigkeit ÖNACE 2008, welche jeder Arbeitsstätte einen wirtschaftlichen Schwerpunkt zuweist und auf der in der Europäischen Union angewendeten Wirtschaftstätigkeitenklassifikation NACE basiert. Die in Österreich verwendete nationale Ableitung wird ÖNACE 2008 (in weiterer Folge ÖNACE) genannt und kommt seit dem Jahr 2008 zur Anwendung. Die Gliederung weist vier Ebenen auf, wobei die von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Daten bis zur dritten Ebene abrufbar sind.

Die erste Ebene wird durch einen Buchstaben gekennzeichnet, welcher die Wirtschaftssektoren wie folgt gliedert:

A	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei
B	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden
C	Verarbeitendes Gewerbe/Herstellung von Waren
D	Energieversorgung
E	Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen
F	Baugewerbe/Bau
G	Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen
H	Verkehr und Lagerei
I	Gastgewerbe/Beherbergung und Gastronomie
J	Information und Kommunikation
K	Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen
L	Grundstücks- und Wohnungswesen
M	Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen
N	Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen
O	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung
P	Erziehung und Unterricht
Q	Gesundheits- und Sozialwesen
R	Kunst, Unterhaltung und Erholung
S	Erbringung von sonstigen Dienstleistungen
T	Private Haushalte mit Hauspersonal; Herstellung von Waren und Erbringung von Dienstleistungen durch private Haushalte für den Eigenbedarf ohne ausgeprägten Schwerpunkt
U	Exterritoriale Organisationen und Körperschaften

Folgendes Beispiel soll die weiteren Gliederungsebenen verdeutlichen:

Beispiel:

C VERARBEITENDES GEWERBE/HERSTELLUNG VON WAREN	<i>erste Ebene</i>
C10 Herstellung von Nahrungs-und Futtermitteln	<i>zweite Ebene</i>
C101 Schlachten und Fleischverarbeitung	<i>dritte Ebene</i>
C1011 Schlachten (ohne Schlachten von Geflügel)	<i>vierte Ebene</i>
C1012 Schlachten von Geflügel	
C1013 Fleischverarbeitung	
C102 Fischverarbeitung	
C1020 Fischverarbeitung	
C10.3 Obst-und Gemüseverarbeitung	
C1031 Kartoffelverarbeitung	
C1032 Herstellung von Frucht-und Gemüsesäften	
C1039 Sonstige Verarbeitung von Obst und Gemüse	

Unter Verwendung eines festgelegten Schlüssels können die ÖNACE Klassifikationsnummern den IEA Bereichen zugeordnet werden (Statistik Austria, 2011c) und die Arbeitsstättenzahlen der einzelnen Bereiche ermittelt werden. Anhand dieser Überleitung kann der sektorale Energiebedarf aus den Nutzenergieanalysen mithilfe der Arbeitsstättenzahlen auf das ausgewählte Gebiet skaliert werden. Im Sektor der privaten Haushalte werden zur Skalierung die Bevölkerungszahlen der Gebiete verwendet.

Wie bereits erwähnt wird der sektorale Energiebedarf in den Nutzenergieanalysen auf die verwendeten Energieträger wie Kohle, Naturgas, elektrische Energie, aufgeteilt. Eine dritte Unterteilung erfolgt anhand der Nutzenergiekategorien wie Raumheizung, Dampferzeugung und Klimaanlage. Dabei werden Gliederungsarten aus dem Jahre 1998 und 2005 unterschieden. Dies ist wesentlich, da die Gliederung der Nutzenenergiekategorien anhand der Methode aus dem Jahr 2005 detaillierter erfolgt und deshalb für diese Arbeit von größerer Bedeutung ist, aber nur für die Sektoren des produzierenden Bereiches und der privaten Haushalte zur Verfügung steht. Beispiele für diese Gliederungen sind in Anhang I , Anhang II und Anhang III angeführt. Diese Gliederungsebenen können dazu verwendet werden, die elektrische Nachfrage und den Wärmebedarf auf unterschiedlichen Temperaturniveaus durch Skalierung zu ermitteln. Aufgrund der Unterschiede in der Aufteilung der Nutzenergien müssen für den produzierenden Bereich, die privaten Haushalte, der Landwirtschaft und den öffentlichen Sektor unterschiedliche Nutzenenergiekategorien verwendet werden. Folgende Tabellen sollen die Zusammensetzung der einzelnen Energiebedarfe anhand der Nutzenergieanalysen verdeutlichen.

**Produzierender Bereich**

Nutzenergiekategorie	Bereiche
Raumwärme	Summe der Spalte „Raumwärme“
Warmwasser	Summe der Spalte „davon Warmwasser“
Prozesswärme	Summe der Spalten „Dampferzeugung“, „Industrieöfen“ und „davon Trocknung“
Kühlung (elektrisch)	Summe der Zelle „Elektrische Energie/Klimaanlage“ und „Elektrische Energie/davon Kühlung“
Kühlung (Fernkälte)	Summe der Zelle „Fernwärme/Klimaanlage“ und „Fernwärme/davon Kühlung“
Kühlung (sonst)	Summe der Spalten „Klimaanlage“ und „davon Kühlung“ ohne Zellen „Elektrische Energie“
Strombedarf	Summe der Zellen „Elektrische Energie/Beleuchtung und EDV“, „Elektrische Energie/Standmotoren“, „Elektrische Energie/Kfz“, „Elektrische Energie/Elektrochemie“ und „Elektrische Energie/weitere Zwecke“

**Tabelle 3 Überleitung aus den Nutzenergieanalysen zur Ermittlung der Energiebedarfswerte im produzierenden Bereich**

Der Bedarf wird anhand der Tabellenstruktur, wie in Anhang I , dargestellt ermittelt. Dabei stellen die markierten Bereiche, wie auch bei den Berechnungen der folgenden Sektoren, die in die Berechnung

einfließenden Energiemengen dar. Der Bedarf an elektrischer Energie wird ohne die bereits verwendeten Mengen in anderen Bereichen berechnet.

### Öffentliche und private Dienstleistungen & Landwirtschaft

Der Bedarf wird anhand der Tabellenstruktur, wie in Anhang II dargestellt, ermittelt

Nutzenergiekategorie	Bereiche
Raumheizung und Klimaanlage	Summe der Spalte „Raumheizung und Klimaanlage“
Prozesswärme	Summe der Spalten „Dampferzeugung“ und „Industrieöfen“
Strombedarf	Summe der Zellen „Elektrische Energie/Beleuchtung und EDV“, „Elektrische Energie/Standmotoren“, „Elektrische Energie/Kfz“, „Elektrische Energie/Elektrochemie“ und „Elektrische Energie/weitere Zwecke“

**Tabelle 4 Überleitung aus den Nutzenergieanalysen zur Ermittlung der Energiebedarfswerte im Dienstleistungsbereich und Landwirtschaft**

### Private Haushalte

Der Bedarf wird anhand der Tabellenstruktur, wie in Anhang III dargestellt, ermittelt

Nutzenergiekategorie	Bereiche
Raumwärme	Summe der Spalte „Raumwärme“
Warmwasser	Summe der Spalte „Warmwasser“
Strombedarf	Summe der Zeile „Elektrische Energie“ ohne „Raumwärme“ und „Warmwasser“

**Tabelle 5 Überleitung aus den Nutzenergieanalysen zur Ermittlung der Energiebedarfswerte in privaten Haushalten**

Anhand dieser Berechnungsmethode kann der Energiebedarf der unterschiedlichen Verbrauchertypen berechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass Kühlung nur im produzierenden Bereich und Prozesswärme als Gesamtsumme angegeben wird. Die Gesamtsumme der Prozesswärme erfährt keine weitere Unterteilung in unterschiedliche Temperaturniveaus.

Die ermittelten Energiebedarfswerte der einzelnen Sektoren und Bereiche können anhand dieser Methode für Österreich und jedes einzelne Bundesland ermittelt werden. Wie bereits erwähnt werden diese Bedarfswerte anhand der Einwohner- und Arbeitsstättenzahlen von Teilgebieten bzw. Städten auf diese skaliert. Der bisher nicht erwähnte Sektor Verkehr erhält eine Sonderstellung indem nur der elektrische Energiebedarf der Unterkategorien Eisenbahn, sonstiger Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen berücksichtigt wird.

#### 3.1.1.2. Methode anhand der Betrachtung von einzelnen Verbrauchseinheiten

Um Vergleichsdaten zu der in Kapitel 3.1.1.1 vorgestellten Methode generieren zu können, wird eine weitere Berechnungsmethode zur Ermittlung des Wärmebedarfs und auch teilweise von elektrischer Energie vorgestellt. In der bisher in Kapitel 3.1.1.1 vorgestellten Methode anhand der Nutzenergieanalysen handelt es sich um eine Top-Down-Methode, wobei von einem Gesamtenergieverbrauch ausgegangen wird, welcher anhand eines Faktors kleiner 1 auf eine Teilmenge skaliert wird. Bei den in diesem Kapitel vorgestellten Methoden handelt es sich vorwiegend um Bottom-Up-Methoden, wobei der Energiebedarf von einzelnen Verbrauchern ermittelt und zu einem gesamten Energieverbrauch im Versorgungsgebiet summiert wird. Dabei wird der Wärmebedarf wiederum auf unterschiedliche Sektoren aufgeteilt: den Siedlungsbereich, Industriebetriebe, den Bereich Gewerbe-Handel-Dienstleistungen und den öffentlichen Sektor.

## Siedlungsbereich

Anhand der im Siedlungsbereich vorgestellten Methoden kann sowohl der Bedarf an elektrischer Energie als auch an Wärme berechnet werden. Zur Ermittlung des **Wärmebedarfs** stehen Methoden unterschiedlicher Genauigkeit zur Verfügung, welche aufgrund des Bottom-Up-Ansatzes von der Einheit eines Gebäudes bzw. Wohneinheit ausgehen. Die höchste Genauigkeit weist die Gebäudedatenmethode auf. Dabei wird der Wärmebedarf für jedes einzelne Gebäude nach DIN 4701 ermittelt, was einen hohen Erhebungs- und Berechnungsaufwand erfordert, da zur Berechnung viele Einflussfaktoren wie Architektur, Außentemperatur, Standort und Baumasse Berücksichtigung finden. Bei der weniger genauen Gebäudetypmethode wird der Wärmebedarf ebenfalls gebäudescharf bestimmt. Die Berechnung basiert dabei auf der Gebäudegrundfläche, Geschoßen bzw. Gebäudevolumen und der Zuordnung zu Gebäudetypen. Eine weitere Ermittlungsmethode stellt die Siedlungstypmethode dar. Dabei wird der Wärmebedarf basierend auf Siedlungsgebieten unterschiedlicher Größe und Typs ermittelt. Dazu werden Versorgungsgebiete und deren Gebäude anhand deren Erscheinungsbildes in Siedlungsgebiete eingeteilt und zusätzlich anhand deren Bauzeitpunktes charakterisiert. Jeder Siedlungstyp umfasst eine unterschiedliche Anzahl an Gebäuden/Wohneinheiten pro Quadratkilometer. Anhand von durchschnittlichen Wärmebedarfswerten pro Gebäude kann auf den Wärmebedarf eines Siedlungsgebietes geschlossen werden (Blesl, 2002).

Mithilfe der statistischen Datenbank der Statistik Austria (Statistik Austria, 2011d) kann der Gebäude- und Wohnungsbestand bis auf Gemeindeebene abgerufen werden, was eine Ermittlung des Wärmebedarfs anhand der Gebäudetypmethode nahelegt. Wie bereits erwähnt basiert diese Methode auf der Gebäudegrundfläche, den Geschoßen und dem Gebäudetyp. Die Gebäudetypen werden dabei in Einfamilienhaus (EFH), Reihendoppelhaus (RDH) und Mehrfamilienhaus (MFH) unterteilt, wobei manche Literaturquellen die Mehrfamilienhäuser einer weiteren Unterteilung anhand der beinhalteten Wohneinheiten (WE) unterziehen. Für diese unterschiedlichen Gebäudetypen stehen spezifische Raumwärmebedarfsmengen in  $[kWh/m^2 \cdot a]$  zur Verfügung. Dadurch muss zur Berechnung des **Raumwärmebedarfs** die Wohnfläche eines Gebäudes bekannt sein. Diese kann aus der Gebäudegrundfläche und den Geschoßen berechnet werden. Zusätzlich werden unterschiedliche spezifische Raumwärmebedarfsmengen anhand der Baualtersklasse angegeben, welche sich an den Zeitpunkten, zu denen wichtige Rahmenrichtlinien für den Wohnungsbau in Deutschland in Kraft traten, orientieren (Blesl, 2002).

Der Gebäude und Wohnungsbestand eines Versorgungsgebietes kann durch eine weitere Untergliederungsmöglichkeit bei der Verwendung der statistischen Datenbank, auf Wohneinheiten pro Gebäude und der Bauzeit des Gebäudes aufgeteilt werden. Dadurch kann für das ausgewählte Versorgungsgebiet eine Unterteilung, wie in Abbildung 4 dargestellt, erstellt werden. Den Gebäuden kann nunmehr ein Gebäudetyp anhand der Anzahl der Wohneinheiten und eine Baualtersklasse anhand ihres Baujahrs zugeordnet werden.

1.Ebene Gebäude/Wohnungen im Versorgungsgebiet	2.Ebene Anzahl der Wohneinheiten 1 Wohnung 2 Wohnungen 3 bis 5 Wohnungen 6 bis 10 Wohnungen 11 bis 20 Wohnungen 21 und mehr Wohnungen	3.Ebene Baujahr Vor 1919 1919 bis 1944 1945 bis 1960 1961 bis 1970 1971 bis 1980 1981 bis 1990 1991 bis 2000 2001 und später
--	--	---

Abbildung 4 Gliederung des Gebäudebestand zur Ermittlung des Energiebedarfs

Um den Wärmebedarf mit Hilfe der spezifischen Raumwärmebedarfsdichten zu berechnen, muss außerdem die Wohnfläche bekannt sein. Da die Gebäudegrundfläche und Geschoße bei der Statistik Austria nicht abgerufen werden können, werden hierfür mittlere Größen von Wohneinheiten [ $m^2/WE$ ] verwendet, welche gemeinsam mit den spezifischen Raumwärmebedarfen in Anhang IV angegeben sind.

Bei der Klassifizierung anhand des Baujahres treten in der Literatur (Lutsch et al., 2004) und der 3.Ebene laut Abbildung 4 unterschiedliche Zeitspannen auf. Diese sind darauf zurückzuführen, dass sich die Bedarfswerte an Reformzeitpunkte im deutschen Wohnbau orientieren und die Statistik Austria das Baujahr des Wohnungsbestandes ab 1960 in Zehnjahresintervalle einteilt. Einige Intervalle können den statistischen Daten direkt zugeordnet werden, wobei bei anderen durch Mittelwertbildung die spezifischen Raumwärmebedarfe und mittleren Größen einer Wohneinheit angepasst werden, was zu den Ergebnissen in Anhang IV führt. Gebäude mit 1 bzw. 2 Wohneinheiten (WE) werden dem EFH und RDH zugeordnet, Gebäude mit 3 bis 5 WE dem MFH mit 3-6 WE und die restlichen Gebäude dem MFH ab 7 WE.

Multipliziert man die Wohnungsanzahl eines gewissen Gebäudetyps und Bauperiode mit der mittleren Größe der Wohneinheiten und dem spezifischen Raumwärmebedarf kann der Raumwärmebedarf berechnet werden. Durch darauffolgende Summenbildung der errechneten Werte errechnet sich der Raumwärmebedarf eines gesamten Versorgungsgebietes im Siedlungsbereich.

Der Wärmebedarf im Siedlungsbereich setzt sich aus Raumwärmebedarf und **Warmwasserbedarf** zusammen. Der Nutzenergiebedarf zur Warmwasserbereitung wird dabei zwischen 400kWh und 1.000kWh pro Person und Jahr angegeben. Da es sich dabei um eine große Bandbreite handelt, wird im Weiteren ein Nutzenergiebedarf von 700 kWh pro Person und Jahr, wie in (Lutsch et al., 2004) angenommen. Die Literaturquelle gibt auch eine durchschnittliche Personenzahl pro WE in den alten und neuen Bundesländern Deutschlands an. Bei den alten Bundesländern handelt es sich um die westdeutschen Bundesländer vor der Wiedervereinigung Deutschlands im Jahre 1990 ("Westdeutsche Länder – Wikipedia," 2014). Es wird angenommen, dass die österreichischen Bundesländer mit den alten Bundesländern Deutschlands vergleichbar sind. Aus diesem Grund werden in weiterer Folge diese Daten verwendet. Es wird eine durchschnittliche Personenanzahl von 2,41 Personen in Ein- und Zweifamilienhäusern und von 1,94 Personen pro WE in Mehrfamilienhäusern angegeben. Anhand dieser Angaben und dem zur Verfügung stehenden Wohnungsbestandes des Versorgungsgebietes kann der Nutzenergiebedarf zur Warmwasserbereitung ermittelt werden.

Die **Stromnachfrage** im Siedlungsbereich hängt von der Anzahl im Haushalt lebenden Personen ab, welcher mit der Anzahl der Personen steigt. Dabei ist auffällig, dass kein linearer Zusammenhang besteht, was auf gemeinsam genutzte Stromverbraucher wie Kühlschrank, Geschirrspüler und Fernseher zurückzuführen ist. Der Stromverbrauch kann auch anhand der Wohnfläche der Wohneinheit abgeschätzt werden, da in größeren Wohneinheiten üblicherweise mehrere Haushaltmitglieder wohnen. In dieser Arbeit wurde die Methode zur Abschätzung des Strombedarfs von Haushalten anhand der Wohnungsgröße gewählt, da hierfür durchschnittliche Größen von Wohneinheiten bekannt sind. Der durchschnittliche Stromverbrauch einer Wohneinheit wurde anhand einer Studie (Frondele and Ritter, 2012), welche auf einer Befragung von 10.000 repräsentativen Haushalten in Deutschland basiert, ermittelt. Dabei ist besonders darauf hinzuweisen, dass bei der Ermittlung des Stromverbrauchs nur Haushalte, welche Raumwärme und Warmwasser ohne Zuhilfenahme von Elektrogeräten erzeugen, berücksichtigt wurden. Die Studie errechnete bei kleinen Wohnungen (bis 55 m<sup>2</sup>) einen arithmetischen Mittelwert des Stromverbrauchs von 1.593 kWh, bei mittleren Wohnungen (55 – 100 m<sup>2</sup>) von 2.632 kWh und bei großen Wohnungen (mehr als 100 m<sup>2</sup>) von 4.264 kWh. Mithilfe dieser Daten kann anhand der durchschnittlichen Größe jeder Wohneinheit im Versorgungsgebiet ein jährlicher Stromverbrauch zugeordnet werden.

Der Strombedarf von privaten Haushalten beinhalten in den Jahren 2004 bis 2012 durchschnittlich 7,5% für sonstige relevante Verbraucher, welchen Heizlüfter, Umwälzpumpen und Klimaanlage zugeordnet werden (Statistik Austria, 2014). Um den Energieaufwand zur elektrischen Raumkühlung zu berücksichtigen, wird angenommen, dass ein Drittel dieser Verbrauchswerte auf die Kühlung entfällt, was 2,5% des Gesamtstrombedarfs bedeutet.

### **Industriebetriebe**

Um den Energiebedarf von Industriebetrieben in einem Versorgungsgebiet anhand einer Bottom-Up-Methode zu ermitteln, kommt eine Kombination aus zwei unterschiedlichen Ermittlungsmethoden zur Anwendung. Bei der ersten Methode wird der Energiebedarf von einzelnen Industriebetrieben ermittelt und zu einem Gesamtbedarf summiert. Durch die Einzelbetrachtung kann der Energiebedarf zusätzlich geografisch zugeordnet und genauer abgeschätzt werden.

Die zweite Methode stellt eine Top-Down-Methode dar. Dabei wird von einem Gesamtenergieverbrauch ausgegangen, welcher auf die Industriebetriebe in einem Versorgungsgebiet aufgeteilt wird. Die Notwendigkeit der Anwendung dieser Methode besteht darin, dass die Analyse jedes einzelnen Industriebetriebes zur Bestimmung des Gesamtenergiebedarfs einen hohen Erhebungsaufwand mit sich zieht, welcher nicht im Umfang dieser Arbeit liegt.

Die österreichweite Aurelia Datenbank bietet eine Datenbasis, um die Industriebetriebe des gewählten Versorgungsgebietes zu identifizieren. Sie beinhaltet Namen und Adressen von Unternehmen, Tätigkeitsfeld laut ÖNACE, Kapital, Umsatz und Mitarbeiterzahl. Für diese Arbeit kann ein Auszug aus der Aurelia Datenbank, welcher alle österreichischen Unternehmen der ÖNACE Klassifikationen B bis F (wie in Kapitel 3.1.1.1 beschrieben) bis zur dritten Gliederungsebene beinhaltet, verwendet werden.

Laut der Definition eines Industriebetriebs erzeugen diese unter maßgeblichem Einsatz von Maschinen Sachgüter und setzen diese auf großen Märkten ab. Dabei erfolgt die Erzeugung von Sachgütern durch Gewinnung, Bearbeitung und Verarbeitung von Stoffen. Diese Definition trifft auch

auf Handwerksbetriebe zu, was eine Abgrenzung der beiden Betriebstypen erschwert. Ein maßgeblicher Unterschied zwischen Industrie- und Handwerksbetrieben ist, dass in Industriebetrieben vor allem Spezialmaschinen verwendet werden, deren Arbeit gegenüber der menschlichen Arbeit im Vordergrund steht (Hansmann, 2001). Durch den erheblichen Maschineneinsatz in Industriebetrieben ergibt sich im Vergleich zu Handwerksbetrieben ein höherer Energieverbrauch, was für diese Arbeit von großer Bedeutung ist. Die Definition eines Industriebetriebs kann laut ÖNACE Klassifizierung auf mehrere Klassifikationsbuchstaben bzw. Unterkategorien zutreffen. Um diese Unterkategorien - und somit die Gesamtheit von Industriebetrieben - zu identifizieren wird die bereits in Kapitel 3.1.1.1 erwähnte IEA konforme Zuteilung der Wirtschaftssektoren verwendet, welche den produzierenden Sektor gesondert betrachtet. Unter Verwendung von vorgegebenen Tabellen können die ÖNACE Klassifikationsnummern der einzelnen Unternehmen in der Aurelia Datenbank dem IEA Sektor des produzierenden Bereiches zugeordnet werden (Statistik Austria, 2011c). Der Sektor des produzierenden Bereiches beinhaltet aber weiterhin Industrie- und Handwerksbetriebe, was bei der Ermittlung des Wärmebedarfs eine wesentliche Rolle spielt.

### Wärmebedarf

Nach der Identifikation der produzierenden Betriebe können die Angaben aus der Aurelia Datenbank über die Art des Betriebes und die Zahl seiner Mitarbeiter zur Abschätzung des Wärmebedarfs verwendet werden. Dazu sind in Anhang V durchschnittliche mitarbeiterspezifische thermische Leistungen des Wärmebedarfs von Industriebetrieben nach Betriebsgrößenklassen und Branchenzugehörigkeit für Warmwasser, Raum- und Prozesswärme hinterlegt. Somit muss der wirtschaftliche Schwerpunkt eines Unternehmens, welcher in der Aurelia Datenbank anhand der ÖNACE Klassifikation angegeben ist, der Branchenzugehörigkeit laut Anhang V zugeordnet und die angegebenen Werte mit der Mitarbeiteranzahl des Unternehmens multipliziert werden, um den Wärmebedarf auf den unterschiedlichen Temperaturniveaus eines Industriebetriebes zu bestimmen. Da nicht allen wirtschaftlichen Schwerpunkten laut ÖNACE eine in der Anhang V angegebene Branche zugewiesen werden kann, wurde die Branche „Gewerbe“ in die Tabelle hinzugefügt. Dabei handelt es sich um die erwähnten Handwerksbetriebe und Branchen, in denen kein Prozesswärmebedarf besteht. Beispiele für Betriebe dieser Art sind die ÖNACE Klassifikationen C152 und C133, welche sich mit der Herstellung von Schuhen und Veredelung von Textilien und Bekleidung beschäftigen. Aus diesem Grund wird der Raum- und Warmwasserbedarf von Betrieben dieser Art mit einem Durchschnittswert pro Mitarbeiter und Jahr  $\left[ \frac{kWh}{\text{Mitarbeiter} \cdot \text{Jahr}} \right]$  laut der Berechnung von Gewerbe-/Industriebau im Sektor GHD (siehe folgendes Unterkapitel) durchgeführt. Anhang VI gibt die Zuordnung der ÖNACE Kategorien zu den Branchen laut Anhang V an.

Nach der Zuordnung und Multiplikation der Mitarbeiteranzahl mit dem mitarbeiterspezifischen Wärmebedarf stehen die Wärmebedarfsmengen der Einzelbetriebe auf den unterschiedlichen Temperaturniveaus zur Verfügung. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass alle Betriebe des produzierenden Sektors und deren Mitarbeiterzahl des ausgewählten Gebietes in der Aurelia Datenbank aufscheinen. Hinsichtlich der Betriebe kann nicht geurteilt werden. Tatsache ist jedoch, dass nicht bei allen Betrieben Mitarbeiterzahlen aufscheinen. Aus diesem Grund kann es vorkommen, dass energieintensive Industriebetriebe eines Gebietes in der Berechnung nicht berücksichtigt werden. Um dies zu vermeiden, werden zusätzliche Quellen herangezogen um alle wesentlichen Industriebetriebe eines Gebietes zu identifizieren. Dies kann erstens anhand von Industrielandkarten, welche für unterschiedliche Regionen wie zum Beispiel Bundesländer im

Internet zur Verfügung stehen, durchgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit bietet das Umweltbundesamt, auf dessen Internetseite eine Liste von Betrieben, welche eine Umwelterklärung abgegeben haben, aufscheint. Diese Quelle kann zusätzlich dazu verwendet werden, um genaue Energiebedarfe der Unternehmen aus deren Erklärungen zu erfahren, mit den berechneten Werten zu vergleichen und gegebenenfalls zu korrigieren. Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, welches eine Tabelle der CO<sub>2</sub>-Zertifikatszuteilungen für Betriebe veröffentlicht, bietet eine zusätzliche Quelle um energieintensive Industriebetriebe ausfindig zu machen. Sollten noch weitere Betriebe zu denen in der Aurelia Datenbank Aufscheinenden gefunden werden, muss für diese eine Zuordnung nach ÖNACE und die Mitarbeiterzahl angegeben werden, um im Folgenden den Wärmebedarf anhand obiger Methode zu berechnen.

Um die Genauigkeit zu erhöhen wird für Betriebe mit hohen Mitarbeiterzahlen und dahingehend hohem Energieverbrauch zusätzlich nach Energiebedarfen in bereits erwähnten Quellen, wie Umwelterklärungen bzw. EMAS-Berichten und Jahresberichte, recherchiert. Als energieintensive Betriebe werden in dieser Arbeit Betriebe mit einem Prozesswärmebedarf höher als  $28 \text{ GWh}/a$  oder einem Strombedarf über  $18 \text{ GWh}/a$  festgelegt. Diese Werte wurden beliebig gewählt und können auch angepasst werden.

Wie bereits erwähnt weisen nicht alle Unternehmen des produzierenden Sektors in der Aurelia Datenbank Mitarbeiterzahlen auf. Durch die gewählte Berechnungsmethode werden diese Betriebe nicht berücksichtigt und es entstehen Abweichungen hinsichtlich der Wärmenachfrage.

Um diese Abweichungen zu kompensieren kann die Anzahl der bei der Berechnung berücksichtigten Mitarbeiter für jedes Tätigkeitsfeld ermittelt und die Differenz zu den Arbeitsstätten dieses Tätigkeitsfeldes des Versorgungsgebietes gebildet werden. Diese nicht zugeordneten Mitarbeiter jedes Tätigkeitsbereiches können mit den mitarbeiterspezifischen Wärmebedarfen laut Anhang V multipliziert und dem Wärmebedarf hinzugefügt werden.

### Strombedarf

Zur Ermittlung der Strombedarfe von Industriebetrieben stehen keine durchschnittlichen mitarbeiterspezifischen Daten nach Betriebsgrößenklassen und Branchenzugehörigkeit zur Verfügung. Mithilfe der Energiebilanzen/Nutzenergieanalysen der österreichischen Bundesländer kann ein durchschnittlicher mitarbeiter- bzw. arbeitsstättenspezifischer Strombedarf ermittelt werden. Die Energiebilanzen sind laut Wirtschaftssectoren anhand der IEA Zuteilung aufgeschlüsselt, was eine Berechnung des Strombedarfs auch anhand dieser Zuteilung und somit branchenspezifisch ermöglicht.

Die Energiebilanzen werden für einzelne Bundesländer Österreichs veröffentlicht und müssen vorerst auf die ausgewählten Städte skaliert werden. Diese Skalierung kann anhand der bundeslandweiten Arbeitstättenzahlen, im Vergleich zu jenen in der ausgewählten Stadt, geschehen. Die Statistik Austria führte im Jahr 2011 eine Registerzählung durch, wobei Arbeitstättenzahlen bis auf Gemeindeebene ermittelt wurden. Dabei wurde bei Zuteilung der Arbeitstätten die ÖNACE verwendet, welche wiederum anhand Anhang VI auf die IEA Zuteilung umgerechnet werden können (vergleiche Kapitel 3.1.1.1). Nach Erstellung dieser Zuteilung für das gesamte Bundesland und die gewählte Stadt kann der bundeslandweite elektrische Energieverbrauch, welcher in der Energiebilanz gesondert angeführt ist, prozentuell anhand der Arbeitstättenzahlen auf die ausgewählte Stadt

skaliert werden bzw. ein durchschnittlicher arbeitsstättenpezifischer Strombedarf der Tätigkeitsbereiche nach IEA berechnet werden.

Um den städtischen Stromverbrauch der einzelnen Tätigkeitsbereiche des produzierenden Sektors auf die einzelnen Industriebetriebe aufzuteilen, müssen die Betriebe einem Tätigkeitsbereich zugeordnet und deren Mitarbeiterzahl bestimmt werden. Das Tätigkeitsfeld der Betriebe und auch die Mitarbeiterzahl ist in der Aurelia Datenbank anhand der ÖNACE angegeben und kann somit einem Bereich zugeordnet werden. Multipliziert man den vorher berechneten durchschnittlichen arbeitsstättenpezifischen Strombedarf mit der Mitarbeiterzahl, erhält man den Stromverbrauch des einzelnen Industriebetriebes. Dabei ist anzumerken, dass der sektorale Endverbrauch an elektrischer Energie auf Basis von Arbeitsstätten, der Energiebedarf aber anhand von Mitarbeiterzahlen berechnet wird. Der durchschnittliche sektorale Endenergieverbrauch auf Basis der Arbeitsstätten kann als genauer eingeschätzt werden, da der lokale Energieverbrauch durch die Arbeitstätigkeit an diesem Ort verursacht wird und ein Mitarbeiter nicht zwingend vor Ort tätig sein muss. Durch die Multiplikation mit der Mitarbeiterzahl ergeben sich betriebliche Abweichungen, welche wie folgt Berücksichtigung finden:

Nach obiger Berechnungsmethode sollte die Summe der Mitarbeiter von Industriebetrieben in einem gewissen Tätigkeitsbereich, welche in der AURELIA Datenbank aufscheinen, mit der bei der Statistik Austria angegebenen Mitarbeiterzahl (Arbeitsstättenzahl) übereinstimmen und somit auch der Gesamtstrombedarf der Industriebetriebe auf die Tätigkeitsgebiete aufgeteilt sein. Ist dies nicht der Fall, wird der restliche Strombedarf dem Gesamtbedarf in einer zusätzlichen Kategorie hinzugefügt.

### **Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)**

Beim Bereich GHD handelt es sich um alle privatwirtschaftlichen Unternehmen welche nicht in der Güterproduktion tätig sind, sowie Handwerksbetriebe. Ein Charakterisierungsmerkmal dieser Betriebe ist, dass sie keinen Prozesswärmebedarf aufweisen. In Unternehmen dieses Bereichs treten dahingehend Raumwärme-, Warmwasser- und Stromnachfrage auf (Blesl et al., 2009).

Bei der Bestimmung des **Wärmebedarfs** dieses Sektors kann wiederum zwischen Methoden unterschiedlicher Genauigkeit gewählt werden. Um eine hohe Genauigkeit zu erzielen, können die Verbrauchsdaten der einzelnen Betriebe abgefragt und zu einem Gesamtverbrauch summiert werden. Dies bedeutet einen hohen Erhebungsbedarf, welcher durch ungenauere Methoden vermieden werden kann. Dabei wird der Energiebedarf basierend auf Beschäftigungszahlen berechnet. Dazu wird der GHD-Sektor vorerst in folgende Bereiche untergliedert:

- Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants etc.
- Kaufhaus
- Gewerbe-/Industriebau
- Verwaltungsgebäude
- Verkaufs-/Ausstellungsgebäude
- Hotel, Beherbergung

Diesen Bereichen wird ein spezifischer Raumwärme- und Warmwasserbedarf [ $kWh/m^2$ ] und ein mitarbeiterspezifischer Flächenbedarf [ $m^2/Mitarbeiter$ ] in Abhängigkeit der Gebäudegröße und der Gesamteinwohnerzahl der Stadt zugeordnet (siehe Anhang VII). Um anhand dieser Angaben den

Wärmebedarf zu ermitteln, müssen zudem die Einwohnerzahl des Versorgungsgebietes, die Gebäudegrößen und die Mitarbeiter der einzelnen Bereiche bekannt sein. Die Ermittlung dieser Daten kann anhand von statistischen Quellen erfolgen, wobei die Bestimmung der Gebäudegröße und Mitarbeiterzahl mit Schwierigkeiten verbunden sein kann. Aus diesem Grund wird ein Beschäftigungsschlüssel verwendet, welcher die Gesamtheit der Beschäftigten im GHD-Sektor auf die einzelnen GHD-Bereiche aufteilt. Um diesen Schlüssel anzuwenden muss die Gesamtmitarbeiterzahl des GHD-Sektors des Versorgungsgebietes bekannt sein. Diese kann wiederum unterschiedlich genau ermittelt werden. Möglichkeiten dazu ergeben sich aus verschiedenen Datenquellen (z.B. Statistik Austria) oder Einzelerhebungen bei den Betrieben, was abermals einen hohen Erhebungsaufwand bedeuten würde.

Die Ermittlung der Mitarbeiterzahlen aus der statistischen Datenbank der Statistik Austria (Statistik Austria, 2011b) kann nicht wie für Industriebetriebe basierend auf den ÖNACE Kategorien erfolgen, da keine allgemeine Zuordnung der Kategorien zum GHD-Sektor vorhanden ist. Der GHD-Sektor bildet eine Kategorie in den Energiebilanzen Deutschlands und beinhaltet zuzüglich zu Handels- und Dienstleistungsbetrieben, die bereits erwähnten Handwerksbetriebe und im Weiteren die Bereiche "Land- und Forstwirtschaft/Gartenbau", militärische Dienstleistungen und alle industriellen Kleinbetriebe bis 19 Mitarbeiter (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2009). Durch diese Klassifizierung besteht eine Überschneidung mit dem in Österreich verwendeten Sektor des produzierenden Bereiches, da die Handwerksbetriebe in diesem beinhaltet sind und die Land- und Forstwirtschaft separat betrachtet wird. Eine Abschätzung der Mitarbeiter des GHD-Sektors, um die spezifischen Verbrauchswerte anwenden zu können, kann durch Subtraktion der Mitarbeiter im öffentlichen Dienst und den Mitarbeitern der Industriebetriebe, welchen ein Prozesswärmebedarf zugeordnet ist (alle Bereiche außer Bau und Gewerbe), von der Gesamtmitarbeiterzahl eines Versorgungsgebietes erfolgen. Der Beschäftigungsschlüssel ist auf die Definition des GHD-Sektors in Deutschland ausgelegt, wodurch die Mitarbeiterzahlen laut obiger Berechnungsmethode aufgeschlüsselt werden. Um eine doppelte Berücksichtigung der Mitarbeiter im Sektor Industrie und GHD zu vermeiden, werden anschließend die bereits im Sektor Industrie berücksichtigten Mitarbeiter aus Bau und Gewerbe vom Unterbereich Gewerbe-/Industriebau des GHD-Sektors prozentuell abgezogen.

Dem Bereich "Hotel, Beherbergung" werden anhand des Beschäftigungsschlüssels zwar Mitarbeiter zugeordnet, zur Berechnung des Wärmebedarfs sind jedoch keine mitarbeiterspezifischen Verbrauchsdaten angegeben. Die Verbrauchsdaten beziehen sich auf für Nächtigungen zur Verfügung stehende Betten. Deshalb muss zur Bestimmung des Wärmebedarfs in diesem Bereich die Bettenanzahl des Versorgungsgebietes ermittelt werden.

Um den **Strombedarf** von GHD-Betrieben zu berechnen stehen keine mitarbeiterspezifischen Verbrauchsdaten zur Verfügung. In den Energiebilanzen wird der Stromverbrauch für „öffentliche und private Dienstleistungen“ angegeben, welcher anhand des bereits berechneten Wärmebedarfs prozentuell auf die einzelnen Sektoren des GHD-Bereichs und des öffentlichen Sektors aufgeteilt werden kann. Der Wärmebedarf des öffentlichen Sektors wird im folgenden Kapitel genauer erläutert.

### **Öffentlicher Sektor**

Dem öffentlichen Sektor werden alle Verbraucher der öffentlichen Verwaltung, Schulen, Krankenhäuser und so weiter zugeordnet. Dabei wird in zwei Kategorien unterschieden, den

Verwaltungs- und Hallenbauten und den Funktionsgebäuden. Bei den Verwaltungs- und Hallenbauten wird die **Wärmenachfrage**, wie im GHD-Sektor, anhand des spezifischen Raumwärme- und Warmwasserbedarf  $[kWh/m^2]$  und einem mitarbeiterspezifischer Flächenbedarf  $[m^2/Mitarbeiter]$  in Abhängigkeit der Gebäudegröße und der Gesamteinwohnerzahl der Stadt berechnet. Funktionsgebäude sind alle Gebäude des öffentlichen Sektors, deren Wärmebedarf nicht von der bebauten Fläche abgeleitet werden kann. Dabei werden folgende Kategorien und deren Bezugswert zur Ermittlung des Wärmebedarfs verwendet:

- Schwimmbad (Wasserfläche)
- Alters-/Pflege- und sonstige Heime (Zahl der Plätze)
- Schule (Schülerzahl)
- Krankenhaus (Bettenzahl)

In Anhang VIII sind den Kategorien die entsprechenden Daten zugeordnet. Um den Wärmebedarf dieser Gebäudekategorien zu ermitteln ist es somit nicht ausreichend, die Mitarbeiter des öffentlichen Sektors zu kennen. Die erforderlichen Daten müssen zusätzlich recherchiert werden bzw. steht für die Wasserfläche von Schwimmbädern eine einwohnerspezifische Wasserfläche  $[m^2/Einwohner]$  in Anhang VIII zur Verfügung.

Die Mitarbeiterzahlen des öffentlichen Sektors können mithilfe der Arbeitsstättenzählung der Statistik Austria (Statistik Austria, 2011b) ermittelt werden. Laut ÖNACE 2003 war der Sektor „Staat“ auf die zwei Hauptgruppen L und M aufgeteilt, welche in der ÖNACE 2008 den Gruppen O und P zugeordnet sind. Diese beiden Gruppen produzieren ungefähr 90% der Bruttowertschöpfung des Sektors „Staat“, weshalb sie auch für den Großteil der Mitarbeiter im Sektor „Staat“ herangezogen werden können (Statistik Austria, 2009). Um die Mitarbeiterzahl des öffentlichen Sektors genauer zu gestalten, kann sie um 10% erhöht oder um weitere Mitarbeiter der Sektoren Krankenhäuser (Q861) und Alten- und Pflegeheime (Q87) erweitert werden.

Zur Berechnung des Strombedarfs im öffentlichen Sektor wird der Gesamtverbrauch der Kategorie „öffentliche und private Dienstleistungen“ aus den Energiebilanzen prozentuell anhand des Wärmebedarfs auf die Sektoren GHD und öffentlicher Sektor aufgeteilt.

### 3.1.2. Zeitliche Auflösung der Energienachfrage

#### 3.1.2.1. Stromnachfrage

Die zeitliche Auflösung des Strombedarfs erfolgt anhand den VDEW Standardlastprofilen für Kleinverbraucher wie in (Büchele, 2013). Zur Erstellung dieser werden Verbrauchsdaten von Kunden, welche einen Jahresenergieverbrauch kleiner 100.000 kWh oder weniger als 50 kW Anschlussleistung aufweisen, herangezogen. Kunden, welche diese Kennwerte überschreiten, verfügen über einen Lastprofilzähler. Diese Daten werden von Energieversorgern verwendet, um eine Kraftwerkseinsatzplanung zu erstellen. Stromlastprofile von Großkunden konnten im Zuge der Recherchen für diese Arbeit nicht ermittelt werden. Aus diesem Grund erfolgt die Modellierung der Stromnachfrage von Großbetrieben ebenfalls anhand der Standardlastprofile, welche ein allgemeines Gewerbeprofil und auch Profile mit Wochenendbetrieb und Schichtbetrieb enthalten. Werden Verbraucherbereichen und einzelnen Betrieben mit hohem Energiebedarf allgemeine Lastprofile zugeordnet, kommt es in der zeitlichen Aufteilung des Strombedarfs zu Ungenauigkeiten, welche in dieser Arbeit aber vernachlässigt werden.

#### 3.1.2.2. Wärmebedarf

Zur zeitlichen Auflösung des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser wird das Hellwig-Verfahren verwendet, welches auf einer modifizierten Sigmoidfunktion (Gl. 23) basiert.

$$h(\vartheta_A) = \frac{A}{1 + \left(\frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A,0}}\right)^C} + D \quad \text{Gl. 23}$$

Dabei wird ein normierter täglicher Wärmebedarf anhand der mittleren Tagesaußentemperatur  $\vartheta_A$  ermittelt. Dies ergibt einen s-förmigen Kurvenverlauf, wie in Abbildung 5 dargestellt. Diese sigmoide Approximationsmethode wurde gewählt, da sie am ehesten mit den Messwerten eines Haushaltskollektivs übereinstimmt. Die Temperatur  $\vartheta_{A,0}$  wird mit 40°C festgesetzt und dient dazu, die Unstetigkeitsstelle, welche bei 0°C entstehen würde, auf diesen Wert zu verschieben. Die Faktoren A, B, C und D in Gl. 23 sind für unterschiedliche Objektgruppen wie Einfamilienhäuser, Metall & Kfz, Einzelhandel, usw. vorgegeben (siehe Anhang IX).

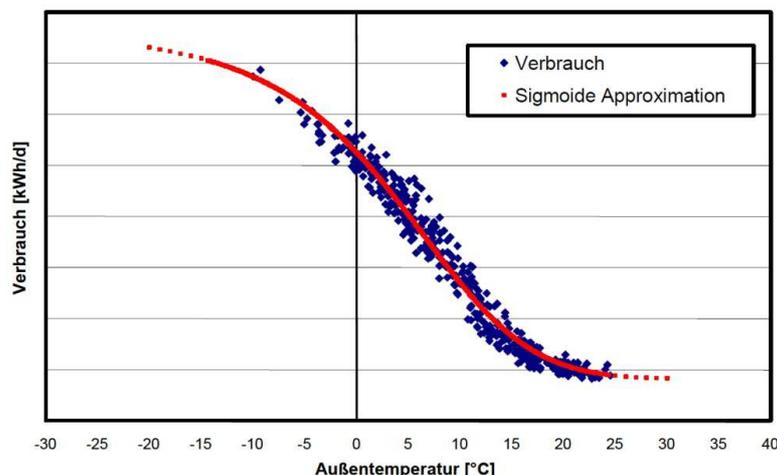
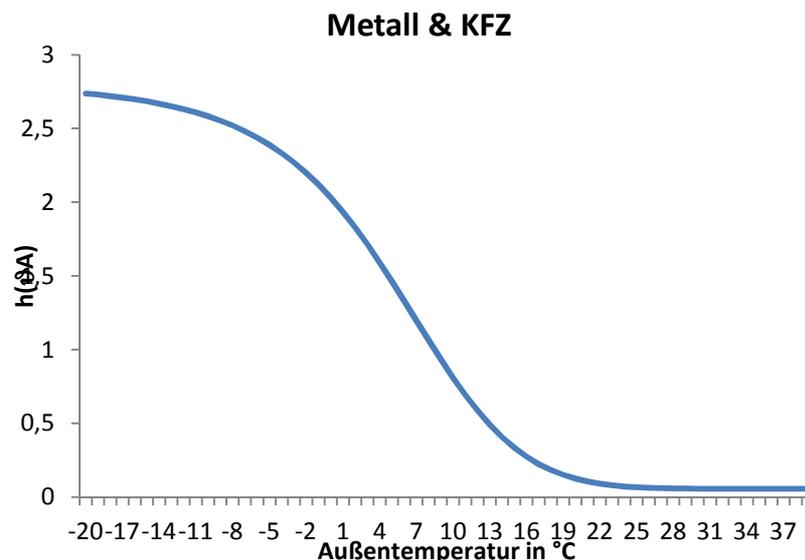


Abbildung 5 Sigmoide Approximation und Verbrauch eines Haushaltskollektivs (Hellwig, 2003)

Die Faktoren A und D stellen dabei die Ober- und Untergrenze des normierten Wärmebedarfs dar. Die Untergrenze kann dabei mit dem Wärmebedarf an heißen Tagen, wo kein Raumwärmebedarf, sondern nur Warmwasser- und Prozesswärmebedarf auftritt, gleichgesetzt werden. Liegen diese Werte eng beisammen ist dies ein Anzeichen dafür, dass der Wärmeenergiebedarf nur wenig von den Außentemperaturen abhängig ist. Dies ist zum Beispiel bei Bäckereien der Fall, da besonders in großen Bäckereien (siehe Anhang V ) der Prozesswärmebedarf überwiegt. Der Faktor B weist stets einen negativen Wert auf. Wird er abgesenkt, streckt sich der Graph in x-Richtung nach links bzw. bei Anhebung nach rechts. Anhand des Faktors C kann die Steigung des S-förmigen Verlaufs variiert werden und stellt somit den Anstieg bzw. die Abflachung des normierten Wärmebedarfs bei sinkenden und steigenden Außentemperaturen dar (Blesl et al., 2009).

Werden die in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Methoden zur Ermittlung des Wärmebedarfs verwendet, stehen Wärmebedarfswerte für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme zur Verfügung. Anhand der entwickelten Profile kann dieser Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur auf die Tage des Jahres verteilt werden. Dabei muss festgehalten werden, dass diese Aufteilung in manchen Bereichen nicht verallgemeinert und anhand eines einzigen Lastprofils repräsentativ dargestellt werden kann. Ein Beispiel hierfür wäre der Bereich Metall & Kfz. In Abbildung 6 wird der normierte Tageswärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur dargestellt. Dabei ist eine starke Abhängigkeit von der Außentemperatur ersichtlich, was wiederum einen geringen Prozesswärmebedarf unterstellt bzw. den Prozesswärmebedarf außentemperaturabhängig einstuft. Betrachtet man die in Anhang V angeführten Bedarfswerte von z.B. Fahrzeugbau und Stahlerzeugung, welche in den Bereich Metall & KFZ fallen, muss festgestellt werden, dass diese Bereiche auch über einen erheblichen Anteil an Prozesswärmebedarf verfügen können. Damit soll aufmerksam gemacht werden, dass die Wahl der Wärmelastprofile für die unterschiedlichen Temperaturniveaus und Betriebe unterschiedlich ausfallen sollte.



**Abbildung 6 Normierter Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur im Bereich Metall & KFZ**

Um vom normierten Tagesbedarf auf den tatsächlichen Tagesbedarf einer Objektgruppe zu schließen, wird jeder einzelne Tageswert durch die Summe aller Tageswerte des gewählten Zeitraums dividiert und mit dem Gesamtbedarf des Zeitraums multipliziert. Um die Tageswerte anhand ihrer Wochentage zu gewichten, werden diese im Weiteren mit dem Faktor F multipliziert.

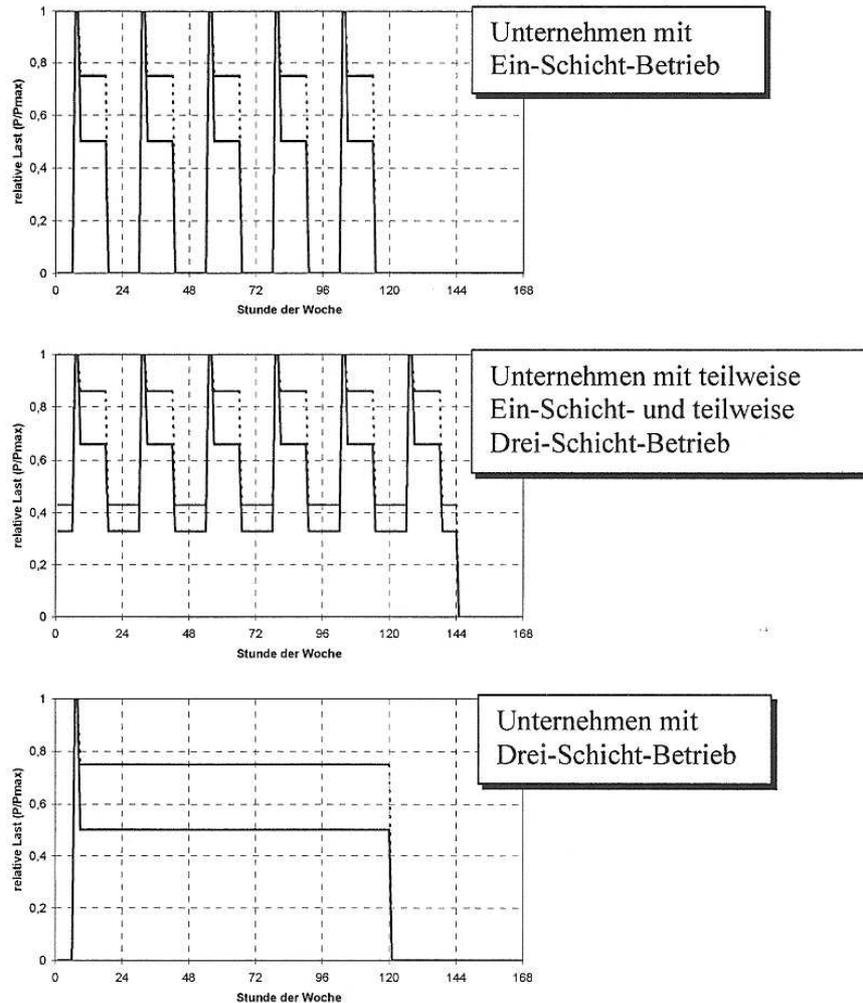
Dadurch können wochentagspezifische Schwankungen des Wärmebedarfs in den Objektgruppen berücksichtigt werden. Beispiel hierfür sind geringerer (z.B. Wäschereien) oder erhöhter (z.B. Gaststätten) Wärmebedarf an Wochenenden (siehe Gl. 24). Durch diese Multiplikationen erhält man Lastprofile in Tagesauflösung. Für die einzelnen Objektgruppen liegen Stundenanteilstwerte vor, welche wiederum von der Außentemperatur abhängig sind und mit denen Lastprofile auf Stundenbasis erstellt werden können (Hellwig, 2003).

$$E_i = E_{\text{Gesamt}} \cdot F_{\text{Wochentag}} \cdot \frac{h_i(\vartheta_A)}{\sum_{i=1}^{\text{Tage}} h_i(\vartheta_A)} \quad \text{Gl. 24}$$

Die zur Verfügung stehenden Daten ermöglichen es auch Lastprofile für den Wärmebedarf mit und ohne Warmwasserbedarf in Haushalten zu erstellen. Um die Genauigkeit zu erhöhen werden die Lastprofile ohne Warmwasserbedarf verwendet und zusätzlich ein Lastprofil für die Warmwasserentnahme in Haushalten erstellt, wodurch der Raumwärmebedarf und der Warmwasserbedarf getrennt betrachtet werden können (Brunnengräber and Loga, 1996). Bei der Erstellung des Warmwasserlastprofils werden die prozentuellen Monats- und Stundenverbrauchswerte berücksichtigt. Es ist zu beachten, dass die Wasseraufbereitung in Haushalten oftmals anhand von Nachtstromboilern durchgeführt wird und der Entnahmezeitpunkt mit dem Aufbereitungszeitpunkt nicht übereinstimmt. Diese Tatsache wird im Zuge der Modellierung nicht berücksichtigt und es wird von deckungsgleichen Zeitpunkten ausgegangen.

Wie bereits in vorangegangenen Absätzen hingewiesen, weisen Verbraucher auch Prozesswärmebedarf auf, welcher getrennt vom Raum- und Warmwasserbedarf betrachtet wird und auch abweichenden Lastprofilen unterliegt. Dies macht die Ermittlung von Lastprofilen für Prozesswärme dieser Objektgruppen unabdinglich. Da es sich bei Prozesswärme um außentemperaturunabhängigen Wärmebedarf handelt, kann die Bestimmung der Faktoren A, B, C und D entfallen. Es ist lediglich eine Abschätzung des Wochentagfaktors F und der Stundenwerte notwendig. Die Werte wurden dabei aus den Lastprofilen in Abbildung 7 für den Prozesswärmebedarf abgeleitet.

Die Darstellung enthält Wochenlastprofile des Prozesswärmebedarfs anhand unterschiedlicher Schichtmodelle. Dabei werden Drei-Schicht, Ein-Schicht-Betrieb und eine Kombination dieser beiden Modelle unterschieden. Zusätzlich muss noch berücksichtigt werden, welche Arbeitszeiten an den Wochenenden gelten. Die Lastspitzen treten am Beginn des Arbeitstages auf, da Arbeitsmittel auf Betriebstemperatur gebracht werden müssen, was im Fall eines Drei-Schicht-Betriebes, welcher am Wochenende still steht, nur am Wochenanfang notwendig ist. Diese Lastspitzen liegen zwischen 30% und 100% höher als bei Normalbetrieb. In dieser Arbeit wurde der Wert auf 50% und einer Laufzeit von einer Stunde festgelegt (Sander, 2004). Für ausgewählte Unternehmen mit hohem Prozesswärmebedarf, deren Arbeitszeiten von den Beispielen in Abbildung 7 abweichen, wurden Lastprofile in Anlehnung an diese erstellt.



**Abbildung 7 Beispiel synthetisierter Lastverläufe für den Prozesswärmebedarf (Sander, 2004)**

Zur Kategorisierung der Lastprofile wurden 4 Buchstaben verwendet, wobei der erste Buchstabe die Unterscheidung zwischen Ein-Schicht-Betrieb (N), Zwei-Schicht-Betrieb (Z) und Drei-Schicht-Betrieb (S) darstellt. Im Falle eines Ein-Schicht-Betriebes bestimmen die folgenden drei Buchstaben die Arbeitszeiten von Freitag bis Sonntag: mit dem zweiten Buchstaben kann zwischen einem kurzen (K) (bis 14:00) und einem langen (V) Freitag (bis 16:00) gewählt werden. Für Samstag und Sonntag gibt es mit den Buchstaben A (kein Betrieb), H (halbe Leistung) und V (volle Leistung) mehrere Auswahlmöglichkeiten. Wird im Drei-Schicht-Betrieb gearbeitet, bestimmt der zweite Buchstabe den Nachtbetrieb. Dabei wird zwischen Vollbetrieb (V) und Halbbetrieb (H) unterschieden. Die weiteren Buchstaben beschreiben das Betriebsverhalten an Samstagen und Sonntagen. A (kein Betrieb), H (halbe Leistung ab 16:00) und V (volle Leistung). Abbildung 8 zeigt die Lastprofil mit den Einstellungen SVHH und ZVAA eines Betriebes für zwei Wochen. Beim Zweischichtbetrieb wird wie im Fall des Ein-Schicht-Betriebes verfahren, indem die Buchstaben zwei bis vier das Betriebsverhalten am Wochenende bestimmen.

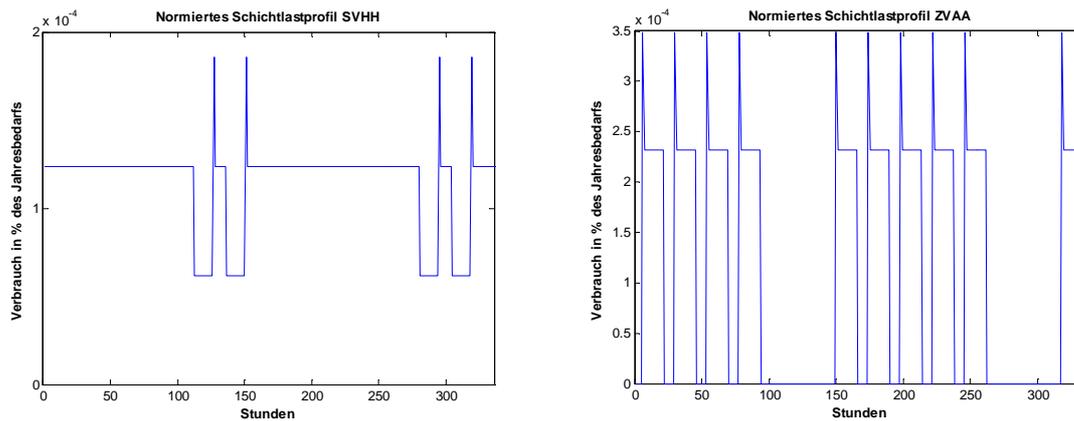


Abbildung 8 Normierte Schichtlastprofile SVHH und ZVAA

### 3.1.2.3. Kältenachfrage

Zur Modellierung der Kältenachfrage sind keine Standardlastprofile vorhanden. Deshalb wird wiederum die sigmoide Approximation verwendet und die Koeffizienten aus Gl. 23 soweit verändert, dass der s-förmige Verlauf bei höheren Temperaturen zunimmt bzw. bei tieferen Temperaturen abnimmt. Dazu wurden die Faktoren so gewählt, dass ab einer gewichteten Tagesmitteltemperatur von 10°C die Nachfrage nach Kälte zu steigen beginnt und bei 40°C sein Maximum erreicht. Wie in Abbildung 9 dargestellt steigt der Bedarf in diesem Temperaturbereich sehr steil an.

### Kälteaufbringung in Abhängigkeit von der gewichteten Tagesmitteltemperatur

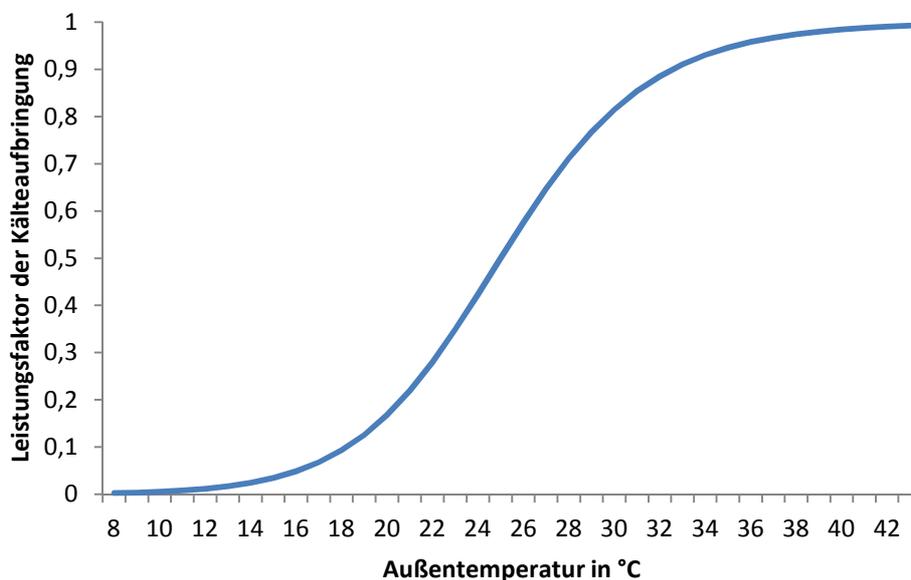


Abbildung 9 Normierter Kältebedarf in Abhängigkeit von gewichteten Tagesmitteltemperatur

Anhand der Außentemperatur wird der Kältebedarf bestimmt und ein normiertes Lastprofil erstellt. Dazu wurden Stundenwerte für Privathaushalte und Gewerbekunden unterschieden. Diese wurden prozentuell so gewählt, dass im Gewerbebereich der Kältebedarf über die Stunden von 6:00 bis 22:00 verteilt wird, wobei um die Mittagsstunden der Maximalwert auftritt. Im Privatbereich werden in den Stunden von 6:00 bis 00:00 jeweils 5% des Tagesbedarfs verbraucht, in den restlichen Stunden 3%,

wobei von 08:00 – 10:00 kein Bedarf auftritt. Diese Werte wurden frei gewählt, da im Zuge der Literaturrecherche keine Quellen zu Kälteprofilen gefunden werden konnten. Die entstehenden Lastprofile einer warmen Sommerwoche für den Kältebedarf sind in Abbildung 10 zu sehen.

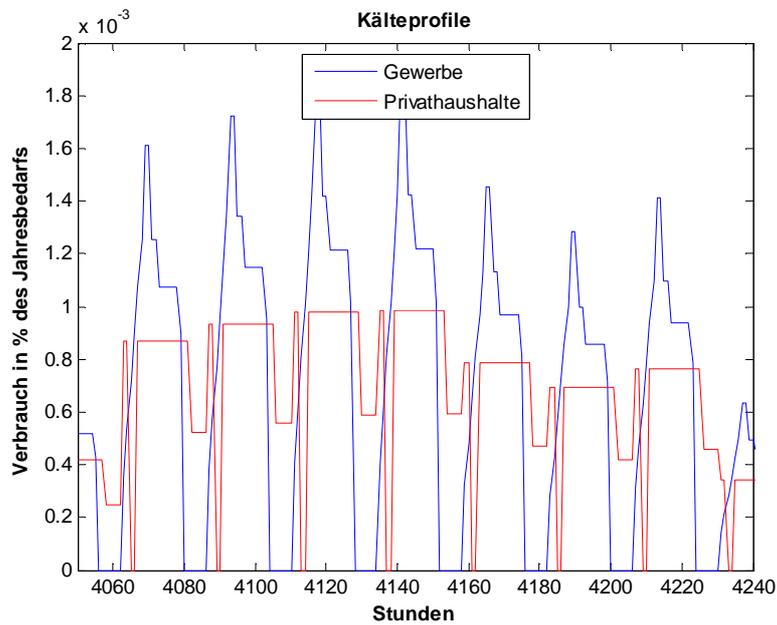


Abbildung 10 Normierte Kälteprofile für Gewerbe und Privathaushalt einer warmen Sommerwoche

### 3.1.3. Räumliche Auflösung der Energienachfrage

In Kapitel 3.1.1.2 wird die Siedlungstypmethode beschrieben, wobei der Energiebedarf eines Versorgungsgebietes anhand der baulichen Struktur einzelner Siedlungsgebiete abgeschätzt werden kann. Dabei wird das Versorgungsgebiet räumlich in Teilgebiete aufgeteilt, welche anhand ihres Erscheinungsbildes einem Typ zugeordnet und mithilfe von typspezifischen, durchschnittlichen Verbrauchswerten pro Flächeneinheit auf den Energiebedarf geschlossen werden kann. Im Zuge dieser Arbeit werden die in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Methoden zur Ermittlung des Energiebedarfs von Versorgungsgebieten verwendet, da sie über eine höhere Genauigkeit verfügen. Die Siedlungstypmethode kann aber dazu verwendet werden, den berechneten Gesamtenergiebedarf eines Versorgungsgebietes auf geografisch kleine Teilgebiete aufzuteilen.

Das Versorgungsgebiet wird anhand von Luftbildern in Teilgebiete eingeteilt, wozu Google Maps verwendet wird ("My Maps," 2015). Jedes Teilgebiet weist ein homogenes Erscheinungsbild auf und kann anhand der elf in Tabelle 6 beschriebenen Siedlungstypen charakterisiert werden.

Siedlungstyp	Bezeichnung des Siedlungstyp	Merkmale
ST 1	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	Lockere unregelmäßige Bebauung, vor allem an Stadträndern und langgezogenen Straßendörfern
ST 2	Einfamilienhäuser- und Doppelhäusersiedlungen	Vorortgemeinde, häufig mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz
ST 4	Reihenhäuser	Reihenhaussiedlung engmaschig geometrisch erschlossen
ST 5a	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	Kleine Mehrfamilienhäuser, häufig mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz, (entstand Mitte 1980)
ST 5b	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern	Überwiegend mittelgroße Wohnbebauung, relativ geringer Gebäudeabstand, Erschließungsnetz relativ grobmaschig
ST 6	Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern	Große Mehrfamilienhäuser/Hochhäuser, gekennzeichnet durch große Gebäudeabstände
ST 7a	Blockbebauung niedriger Dichte	Meist nur in Großstädten, oft Stadtradbauung, regelmäßiges Straßennetz
ST 7b	Blockbebauung hoher Dichte	Meist nur in Großstädten, oft Stadtradbauung, regelmäßiges Straßennetz mit überbauten Innenhöfen
ST 8	Citybebauung	Citybebauung, meist aus der Zeit der Jahrhundertwende, mit überbauten Innenhöfen
ST 9	Historische Altstadt	Mittelalterlicher Stadtkern, hohe Dichte, geschlossene Bebauung, verwinkelte Straßen
ST 11b	Gewerbliche Sonderbauten/Dienstleistungsbauten	Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen ohne Prozesswärmebedarf

Tabelle 6 Siedlungstypen, (Neuffer et al., 2001)

Im Weiteren wird in der Literatur die Gebäudestruktur der einzelnen Siedlungstypen angegeben, welche in Tabelle 7 aufgelistet sind.

Art	Typ01	Typ02	Typ04	Typ05a	Typ05b	Typ06	Typ07a	Typ07b	Typ08	Typ09	Typ11b
EFH_alt	70%	68%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EFH_neu	15%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MFH_alt	3%	5%	70%	0%	48%	68%	72%	74%	64%	75%	1%
MFH_neu	3%	8%	25%	95%	47%	24%	12%	8%	8%	0%	0%
Gewerbe	7%	7%	1%	1%	1%	3%	6%	4%	3%	5%	92%
Verwaltung	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	8%	10%	2%
Verkauf	1%	2%	3%	3%	3%	4%	8%	12%	17%	10%	5%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 7 Prozentuelle Bestandteile der Siedlungstypen an Gebäudetypen, in Anlehnung an (Neuffer et al., 2001)

Im Zuge dieser Arbeit wurde darauf geachtet, dass diese prozentuellen Werte, wie in (Neuffer et al., 2001) angegeben, modifiziert werden können, da die Einschätzungen der Gebäudestruktur durch subjektive Wahrnehmung bei der Einteilung des Gebietes in Teilgebiete eine Rolle spielt. Zur Überprüfung der Gesamtstruktur ist es hilfreich eine transponierte Sichtweise der Aufteilung zu

betrachten, womit eine prozentuelle Verteilung der Gebäudetypen auf die Siedlungstypen erzeugt wird. Diese Aufteilung, basierend auf Tabelle 7, ist in Tabelle 9 dargestellt und soll helfen, unrealistische Wärmedichten in bestimmten Gebieten zu vermeiden. Betrachtet man zum Beispiel die Siedlungstypen Typ01 und Typ02 ist zu erkennen, dass diese vorwiegend aus Einfamilienhäusern bestehen. In Tabelle 9 ist wiederum ersichtlich, dass die alten Einfamilienhäuser auf diese beiden Typen zu ungefähr gleichen Teilen aufgeteilt werden. Besteht durch die Einteilung des Versorgungsgebietes ein erheblicher Größenunterschied der Fläche dieser Typen, wird der Typ mit der kleineren Fläche eine weitaus höhere Wärmedichte auf Basis der alten Einfamilienhäuser aufweisen. Aus diesem Grund ist es zu empfehlen, nach der Aufteilung des Energiebedarfs auf die einzelnen Teilgebiete die Wärmedichten der Gebiete zu berechnen und mit den in Tabelle 8 angegebenen mittleren Wärmeanschlussdichte zu vergleichen. Treten gravierende Abweichungen auf sind diese zu hinterfragen und notwendigerweise anhand der Aufteilung in Tabelle 7 zu korrigieren.

	Typ01	Typ02	Typ04	Typ05a	Typ05b	Typ06	Typ07a	Typ07b	Typ08	Typ09	Typ11b
mittlere Wärmeanschlussdichte [MWh/km <sup>2</sup> ]	11,5	18,0	18,0	27,2	30,2	37,3	43,9	44,8	45,8	40,5	51,6

Tabelle 8 Mittlere Wärmeanschlussdichte der Siedlungstypen, (Blesl, 2002)

Art	EFH_alt	EFH_neu	MFH_alt	MFH_neu	Gewerbe	Verwaltung	Verkauf
Typ01	51%	63%	1%	1%	5%	3%	1%
Typ02	49%	38%	1%	3%	5%	3%	3%
Typ04	0%	0%	15%	11%	1%	3%	4%
Typ05a	0%	0%	0%	41%	1%	3%	4%
Typ05b	0%	0%	10%	20%	1%	3%	4%
Typ06	0%	0%	14%	10%	2%	3%	6%
Typ07a	0%	0%	15%	5%	5%	7%	12%
Typ07b	0%	0%	15%	3%	3%	7%	18%
Typ08	0%	0%	13%	3%	2%	27%	25%
Typ09	0%	0%	16%	0%	4%	33%	15%
Typ11b	0%	0%	0%	0%	71%	7%	7%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 9 Prozentuelle Aufteilung der Gebäudetypen auf die Siedlungstypen, basierend auf Tabelle 7

Um den Energiebedarf auf die einzelnen Teilgebiete zu verteilen, wird die prozentuelle Aufteilung anhand Gebäudetypen genutzt. Im ersten Schritt wird die Gesamtfläche eines jeden Siedlungstypen  $A_{ges}^{(ST)}$  im Versorgungsgebiet berechnet, welche anhand der Zuordnung laut Tabelle 7 auf die einzelnen Gebäudetypen aufgeteilt wird. Zusätzlich wird ein Faktor, welcher die Gebäudedichte laut Tabelle 10 widerspiegelt, in Gl. 25 aufgenommen, was zum Ergebnis einer gewichteten Fläche für Gebäudetypen  $A_{gew}^{(GebTyp)}$  führt. Diese Berechnung wird für jedes Einzelgebiet durchgeführt, um in weiterer Folge die Zusammensetzung des Energieverbrauchs eines jeden Gebietes zu ermitteln.

$$A_{gew}^{(GebTyp)} = \sum_{ST} (A_{ges}^{(ST)} \cdot Zuordnung^{(GebTyp)(ST)} \cdot \frac{GebDichte^{(ST)}}{\sum_{ST} GebDichte^{(ST)}}) \quad \text{Gl. 25}$$

	Typ01	Typ02	Typ04	Typ05a	Typ05b	Typ06	Typ07a	Typ07b	Typ08	Typ09	Typ11b
Gebäudedichte [Geb./km <sup>2</sup> ]	766	1257	1914	1524	1172	661	1541	1484	901	2293	340

Tabelle 10 Gebäudedichten der einzelnen Siedlungstypen, (Neuffer et al., 2001)

Wie in Kapitel 3.1.1.2 beschrieben, kann bei der Statistik Austria der Gebäudebestand eines Versorgungsgebietes basierend auf der Anzahl der Wohneinheiten und des Baualters abgerufen werden. Im Zuge dieser Arbeit wurden Gebäude mit einer Wohneinheit als Einfamilienhäuser und Gebäude mit mehreren Wohneinheiten als Mehrfamilienhäuser kategorisiert. Die Unterscheidung zwischen alten und neuen Gebäuden wurde mit dem Jahr 1970 festgelegt. Aufgrund dieser Kategorisierung  $Anzahl_{ges}^{(GebTyp)}$  und der gewichteten Fläche pro Gebäudtyp laut Gl. 25  $A_{gew}^{(GebTyp)}$  bzw. der gewichteten Fläche pro Gebäudtyp in den einzelnen Gebieten  $A_{gew}^{(Gebiet)(GebTyp)}$  kann jedem Gebiet eine Gebäudeanzahl, kategorisiert nach Gebäudtyp, wie in Gl. 26 zugeordnet werden. Diese Anzahl an Gebäuden wird zur Implementierung des Fernwärmeausbaus laut Kapitel 2.2 benötigt. Da sich die Gebäudeanzahl lediglich auf Wohngebäude bezieht, kann der Ausbau des Fernwärmegebietes in dieser Arbeit nicht für Gebiete des Typ11b bewertet werden.

$$Anzahl^{(Gebiet)(GebTyp)} = \frac{Anzahl_{ges}^{(GebTyp)}}{A_{gew}^{(GebTyp)}} A_{gew}^{(Gebiet)(GebTyp)} \quad \text{Gl. 26}$$

Der in Tabelle 7 und Tabelle 9 nicht aufscheinende Energiebedarf von Industriebetrieben wird zu 100% dem Siedlungstyp Typ11b zugeordnet und anhand der Fläche gleichmäßig auf die einzelnen Gebiete verteilt.

## 3.2. Graz

### 3.2.1. Energiebedarf Graz

Um den Energiebedarf der einzelnen Verbrauchertypen in Graz zu ermitteln, wurden die in Kapitel 3.1.1 erläuterten Methoden angewendet. Zur Durchführung der Skalierungsmethode, wurden die Energiewerte der Nutzenergieanalysen des Jahres 2011 (Österreich und Steiermark) anhand der im Kapitel 3.1.1.1 beschriebenen Methode auf die einzelnen Verbrauchergruppen aufgeteilt und mithilfe der Einwohner- bzw. Arbeitsstättenzahlen auf die Stadt Graz skaliert. Die dazu benötigten Basisdaten der Einwohner und Arbeitsstätten sind in Tabelle 11 dargestellt.

		Österreich	Steiermark	Graz
Einwohner		8.397.575	1.207.876	260.597
Arbeitsstätten	Eisen- und Stahlerzeugung	21.404	8.405	257
	Chemie und Petrochemie	28.436	2.006	733
	Nicht Eisen Metalle	9.549	1.425	7
	Steine und Erden, Glas	32.038	5.594	166
	Fahrzeugbau	34.778	10.918	6.066
	Maschinenbau	209.105	35.335	6.668
	Bergbau	6.283	1.416	44
	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	76.017	10.083	1.077
	Papier und Druck	30.132	5.536	882
	Holzverarbeitung	34.532	6.693	133
	Bau	308.565	42.952	8.140
	Textil und Leder	21.640	3.573	225
	Sonstiger produzierender Bereich	77.402	8.927	1.301
	Öffentl. und Priv. Dienstl.	2860145	371666	145430
	Landwirtschaft	176914	37613	823
	Verkehr	204880	25156	6619
	Arbeitsstätten Gesamt	4.131.820	577.298	178.571
	Arbeitsstätten laut Statistik Austria	4.167.164	581.706	179.833
	Differenz in %	-0,85%	-0,76%	-0,70%

**Tabelle 11 Einwohner/Arbeitsstätten in Österreich, Steiermark und Graz, Quellen: (Statistik Austria, 2011a, 2011b)**

Die Differenz zwischen den zugeordneten Arbeitsstätten und der Gesamtarbeitsstättenzahl laut Statistik Austria entsteht dadurch, dass bei der Zuordnung die Arbeitsstätten im Energiesektor und in privaten Haushalten nicht berücksichtigt werden. Die geringe Abweichung wird im Zuge dieser Arbeit in Kauf genommen.

Der auf Graz zu skalierende Gesamtenergiebedarf anhand unterschiedlicher Temperaturniveaus und Nachfragekategorien aus den Nutzenergieanalysen ist in Tabelle 12 dargestellt. Leere Zellen weisen darauf hin, dass diese Energieformen aufgrund von fehlender Inputdaten nicht berechnet werden konnten. Im Dienstleistungssektor und der Landwirtschaft ist der Energiebedarf für Klimaanlage bereits im Raumwärmebedarf enthalten. Hinsichtlich des Warmwassers wurden in diesen Sektoren keine Angaben gemacht, es wird aber angenommen, dass dieser Bedarf ebenfalls in der Kategorie Raumwärme enthalten ist. Weiters wird angenommen, dass die Kühlung in den nicht produzierenden Bereichen im Bedarf an elektrischer Energie enthalten ist, da besonders in privaten Haushalten die Kühlung anhand von elektronischen Standgeräten erfolgt. In der Kategorie Verkehr wurde nur der Bedarf an elektrischer Energie berücksichtigt, da es sich bei den anderen Energieträgern in der

Nutzenergieanalyse um Treibstoffe zur Erzeugung von kinetischer Energie handelt, welche in diesem Modell nicht berücksichtigt werden.

Name/Tätigkeitsbereich	Österreich							Steiermark						
	Raumwärme- bedarf [MWh/a]	Warmwasser- bedarf [MWh/a]	Prozess- wärme [MWh/a]	Kühlung (elektrisch) [MWh/a]	Kühlung (Fernkälte) [MWh/a]	Kühlung (sonst) [MWh/a]	Strom- bedarf [MWh/a]	Raumwärme- bedarf [MWh/a]	Warmwasser- bedarf [MWh/a]	Prozess- wärme [MWh/a]	Kühlung (elektrisch) [MWh/a]	Kühlung (Fernkälte) [MWh/a]	Kühlung (sonst) [MWh/a]	Strom- bedarf [MWh/a]
Eisen- und Stahlerzeugung	2.282.410	96.835	6.874.786	38.966	0	0	3.010.918	1.010.103	38.086	2.215.395	14.510	0	0	1.121.198
Chemie und Petrochemie	446.142	4.756	7.108.367	89.470	5.293	0	3.993.621	43.333	63	238.012	4.284	77	0	208.650
Nicht Eisen Metalle	400.706	261	1.556.658	204	0	0	384.726	85.186	44	243.367	33	0	0	73.483
Steine und Erden, Glas	675.774	16.493	9.244.527	40.705	0	763	1.142.440	103.682	1.979	1.970.302	7.544	0	0	208.280
Fahrzeugbau	840.301	3.625	160.123	38.762	6.670	0	648.385	241.680	888	35.889	9.367	2.408	0	157.424
Maschinenbau	2.760.387	43.808	1.919.856	145.493	0	49.416	2.505.617	573.057	6.327	414.513	25.787	0	13.394	483.457
Bergbau	43.983	1.645	810.909	6.252	0	0	891.860	19.961	63	468.002	832	0	0	115.917
Nahrungs- und Genußm., Tabak	570.635	91.622	4.057.490	544.347	653	0	1.420.841	74.157	9.770	489.482	74.987	222	0	190.609
Papier und Druck	1.424.664	12.679	13.190.474	35.318	0	1.118	4.478.868	596.257	561	4.468.876	6.928	0	0	1.099.204
Holzverarbeitung	526.076	2.290	5.788.026	22.662	0	0	1.672.149	48.544	15	416.748	3.418	0	0	206.528
Bau	1.263.082	11.689	430.329	20.498	0	295	520.657	190.220	1.398	69.791	2.414	0	0	63.979
Textil und Leder	138.696	2.895	450.193	18.021	0	0	405.581	38.304	472	142.935	5.015	0	0	118.167
Sonstiger produzierender Bereich	831.414	13.236	448.880	119.243	5.002	0	1.399.162	95.904	692	34.923	7.902	439	0	127.367
Öffentl. und Priv. Dienstl.	22.069.276		6.843.296				4.909.406	2.533.410		888.971				638.761
Landwirtschaft	2.446.940		387.412				537.036	444.030		73.949				104.364
Verkehr							3.150.859							399.070
Private Haushalte	52.977.899	8.565.473					11.144.560	8.464.273	1.214.166					1.551.978

Tabelle 12 Energiebedarfswerte der Sektoren in Österreich und der Steiermark, (Statistik Austria, 2012)

### 3.2.1.1. Siedlungsbereich/private Haushalte

Um den Energiebedarf im Siedlungsbereich bzw. in den privaten Haushalten zu ermitteln wurden beide Methoden, wie in Kapitel 3.1.1 erläutert, verwendet. Erstens wurden die Werte aus Tabelle 12 anhand der Einwohnerzahlen auf Graz skaliert und zweitens die Energienachfrage anhand der 152.995 in Graz zur Verfügung stehenden Wohneinheiten berechnet. Daraus ergeben sich die in Tabelle 13 dargestellten Werte. Die unterlegten Werte wurden für die weitere Aufteilung auf die Siedlungsgebiete gewählt. Hinsichtlich des Raumwärme- und des Warmwasserbedarfs wurden die Werte aus der Berechnung anhand von Wohneinheiten übernommen, welche unter den Umlagewerten liegen. Die Begründung liegt darin, dass Mehrfamilienhäuser geringere Wärmedichten pro Quadratmeter Wohnfläche aufweisen und angenommen werden kann, dass die Dichte an Mehrfamilienhäusern in Graz höher als in der gesamten Steiermark ist (Lutsch et al., 2004). Diese Tatsache wurde anhand der Inputdaten laut Anhang IV bei der Berechnung berücksichtigt, was im Zuge der Skalierungsmethode nicht der Fall ist. Für den Bedarf an elektrischer Energie wurde der Mittelwert aus den Umlagen der Skalierungsmethode gebildet, da in der Berechnung anhand von Wohneinheiten die Größe der Wohneinheit als Berechnungsgrundlage herangezogen wurde und bei der Skalierungsmethode ein Durchschnittsverbrauch pro Person ermittelt wird, welcher bei der hohen Personenanzahl als genauer angenommen werden kann.

Private Haushalte	Umlage Österreich - Graz	Umlage Steiermark - Graz	Berechnung anhand von Wohneinheiten	Mittelwert aus Umlagen
Raumwärme [MWh/a]	1.644.032	1.826.151	1.508.646	1.735.092
Warmwasser [MWh/a]	265.807	261.954	217.969	263.881
Elektrische Energie [MWh/a]	345.843	334.836	438.837	340.339

Tabelle 13 Energiebedarf im Siedlungsbereich/private Haushalte in Graz

Bei der Berechnung anhand von Wohneinheiten wurde der Energiebedarf mithilfe des Gebäudetyps und dessen Baujahr in die Kategorien von Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern und des Weiteren in neu und alt Gebäude unterteilt. Da die Umlagemethode diese Aspekte nicht berücksichtigt, wird der gewählte Gesamtenergieverbrauch anhand des Bestandes an Wohneinheiten und deren Kategorisierung aufgeteilt. Im Weiteren werden, wie in Kapitel 3.1.1.2 erwähnt, 2,5% des Stromverbrauchs für elektrische Kühlung aufgewendet, wodurch sich der Gesamtverbrauch an elektrischer Energie, welche nicht für Wärme- und Kälteerzeugung verwendet wird, um ungefähr 8.500GWh verringert und in der Übersichtstabelle (Tabelle 29) ersichtlich ist.

### 3.2.1.2. Industriebetriebe

Zur Ermittlung der Energienachfrage in Graz wurden die in Kapitel 3.1.1 erläuterten Methoden angewendet. Wie in Kapitel 3.1.1.2 beschrieben, wird der Wärmebedarf jedes einzelnen in der Aurelia Datenbank aufscheinenden und im produzierenden Bereich tätigen Unternehmens berechnet. Dazu werden die in Anhang V aufscheinenden mitarbeiterspezifischen thermischen Leistungen verwendet. Aus dieser ersten Abschätzung können bereits Betriebe mit hohem Wärmebedarf identifiziert werden. Verwendet man die Definition eines energieintensiven Industriebetriebes laut Kapitel 3.1.1.1, fallen die MAGNA Gruppe und das Stahl- und Walzwerk Marienhütte in Graz in diese Kategorisierung. Die Brauerei Puntigam muss der AURELIA Datenbank mit ihren 300 Mitarbeitern (Industriellenvereinigung Steiermark, 2014) hinzugefügt werden, da sie

darin nicht aufscheint, wodurch sich ein weiteres energieintensives Unternehmen aufgrund dessen Wärmebedarfs ergibt.

Das Unternehmen Imerys Talc Austria GmbH wurde aus der Berechnung genommen, da es sich beim Firmensitz mit 20 Mitarbeitern in Graz (in der Aurelia Datenbank werden 126 angegeben, da alle Mitarbeiter der Unternehmensgruppe berücksichtigt werden) um ein reines Bürogebäude handelt, das Unternehmen unter der ÖNACE-Nummer C237 Be- und Verarbeitung von Naturwerksteinen und Natursteinen a. n. g. geführt ist und somit in den Bereich „Steine und Erden, Glas“ fallen würde. Bei der Berechnung des Wärmebedarf wird dieser Bereich einer Zementfabrik gleichgesetzt, was einen hohen Prozesswärmebedarf bedingt und somit das Ergebnis verfälschen würde.

Im Zuge der zweiten Berechnungsmethode wurden die in Tabelle 12 dargestellten Energiebedarfe auf die Stadt Graz skaliert. Um zu beurteilen inwieweit die Betriebe des produzierenden Sektors in der Aurelia Datenbank erfasst wurden, wird in Tabelle 14 die Anzahl der Unternehmen und deren Mitarbeiter, welche in der Datenbank angegeben sind und einem Tätigkeitsbereich zugeordnet wurden, zusammengefasst. Dabei ist ersichtlich, dass der Tätigkeitsbereich der Eisen- und Stahlerzeugung fast ausschließlich aus Mitarbeitern der Marienhütte besteht. Besonders auffällig ist, dass einigen Bereichen nur sehr wenige Mitarbeiter zugeordnet werden konnten und anderen Bereichen wiederum zu viele Mitarbeiter zugeordnet wurden. Durch die zu hohe Zuordnung von Mitarbeitern in manchen Bereichen ergibt sich ein höherer Prozesswärmebedarf in diesem Bereich. Diese negative Abweichung kann nur durch unterschiedliche Zuordnung der ÖNACE in der Aurelia Datenbank und Zuordnung der ÖNACE bei der Arbeitsstättenzählung entstanden sein. Es kann jedoch nicht festgestellt werden in welcher Zuordnung sich die Fehlerquelle befindet. Die positive Abweichung entsteht durch Unternehmen, welche in der Aurelia Datenbank nicht erfasst wurden bzw. keine Mitarbeiterzahlen angegeben haben.

Name/Tätigkeitsbereich	Beschäftigte in Arbeitsstätten		Anzahl zugeordnete Unternehmen	zugeordnete Arbeitsstätten	Differenz
	Steiermark 2010	Graz 2010			
Eisen- und Stahlerzeugung	8.405	257	4	244	13
Chemie und Petrochemie	2.006	733	8	75	658
Nicht Eisen Metalle	1.425	7	0	0	7
Steine und Erden, Glas	5.594	166	16	350	-184
Fahrzeugbau	10.918	6.066	15	4050	2.016
Maschinenbau	35.335	6.668	142	6104	564
Bergbau	1.416	44	0	0	44
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	10.083	1.077	29	1295	-218
Papier und Druck	5.536	882	34	1150	-268
Holzverarbeitung	6.693	133	5	48	85
Bau	42.952	8.140	494	6992	1.148
Textil und Leder	3.573	225	18	260	-35
Sonstiger produzierender Bereich	8.927	1.301	66	1081	220

**Tabelle 14 Übersicht über die Zuordnung von Unternehmen und Arbeitsstätten in Graz laut IEA**

Um diese Abweichungen zu kompensieren wurde in Kapitel 3.1.1.2 vorgeschlagen, die nicht zugeordneten Mitarbeiter mit den mitarbeiterspezifischen Wärmebedarfen laut Anhang V zu multiplizieren und somit den fehlenden Wärmebedarf zu ermitteln. Dabei würde das Tätigkeitsgebiet des Fahrzeugbaus den nicht erfassten Wärmebedarf dominieren, da hohe mitarbeiterspezifische Wärmebedarfe bestehen und eine große Anzahl an Mitarbeitern nicht erfasst wurde. Handelt es sich

dabei aber um eine hohe Anzahl von kleinen Unternehmen ist anzunehmen, dass kein Prozesswärmebedarf besteht und diese Methode zu groben Abweichungen führt.

Eine weitere Problematik stellt die negative Differenz der zugeordneten Mitarbeiter zu den Arbeitsstätten dar. Aus diesem Grund wird die Differenz der gesamten erfassten Mitarbeiter zu den gesamten Arbeitsstätten gebildet und mit dem durchschnittlichen mitarbeiterspezifischen Bedarf an Raumwärme und Warmwasser eines Gewerbebetriebes laut Kapitel 3.1.1.2 multipliziert und unter dem Bereich „produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)“ in die Berechnung aufgenommen. Diese Berechnungsmethode wurde gewählt, da die Fehlerquelle der falschen Mitarbeiterzuordnungen nicht genau lokalisiert und korrigiert werden kann.

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisse der beiden Berechnungsmethoden verglichen:

### Raumwärmebedarf

Raumwärme	Umlage Raumwärme		berechnete Raumwärme	Differenzen	
	Österreich - Graz [M Wh/a]	Steiermark - Graz [M Wh/a]	Graz [M Wh/a]	Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Eisen- und Stahlerzeugung	27.405	30.886	3.926	6,98	7,87
Chemie und Petrochemie	11.500	15.834	1.043	11,03	15,19
Nicht Eisen Metalle	294	418	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	3.501	3.077	1.089	3,22	2,83
Fahrzeugbau	146.566	134.276	36.338	4,03	3,70
Maschinenbau	88.024	108.140	14.405	6,11	7,51
Bergbau	308	620	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	8.085	7.921	10.958	0,74	0,72
Papier und Druck	41.702	94.996	2.639	15,80	35,99
Holzverarbeitung	2.026	965	76	26,72	12,72
Bau	33.320	36.049	10.287	3,24	3,50
Textil und Leder	1.442	2.412	614	2,35	3,93
Sonstiger produzierender Bereich	13.975	13.977	2.819	4,96	4,96
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	9.707	keine Berr.	keine Berr.
<b>SUMMEN produzierender Bereich</b>	<b>378.148</b>	<b>449.572</b>	<b>93.900</b>	<b>4,03</b>	<b>4,79</b>

Tabelle 15 Vergleich des Raumwärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz

Vergleicht man die Werte der Berechnungsmethoden für Raumwärme, werden starke Differenzen ersichtlich. Dies liegt vor allem daran, dass zur Berechnung des Wärmebedarfs mehr als 43% aller Mitarbeiter des produzierenden Bereiches dem Sektor Gewerbe zugeteilt wurden, welchem wiederum nur ein Raumwärmebedarf von  $2,36 \frac{MWh}{Mitarbeiter \cdot a}$  laut Anhang V zugeordnet wird. Aus diesem Grund werden die Umlagen herangezogen. Der Bereich „Papier und Druck“ weist eine große Abweichung zwischen den beiden Umlagen auf. In diesem Bereich muss zwischen Papiererzeugung und Papierverarbeitung inkl. Druck unterschieden werden, da sich die Papiererzeugung weitaus energieintensiver gestaltet, was an den mitarbeiterspezifischen Verbrauchswerten in Anhang V ersichtlich ist.

Einerseits verfügt die Steiermark über mehrere Papierproduktionen, welche laut Aurelia Datenbank aber außerhalb von Graz angesiedelt sind. Aus diesem Grund wird in diesem Bereich der geringere Raumwärmebedarf der Umlage von Österreich auf Graz gewählt. In den anderen Bereichen, welche nur geringe Abweichungen aufweisen, wird der Mittelwert der Umlagen gebildet und im Modell verwendet.

Die gravierenden Unterschiede im Bereich „Chemie und Petrochemie“ sind auf die geringe Anzahl von zugeordneten Mitarbeitern zurückzuführen. Im Bereich „Maschinenbau“ ist ein hoher Prozentsatz der Mitarbeiter den Betrieben zugeordnet, zur Berechnung des Raumwärmebedarfs wird jedoch der mitarbeiterspezifische Bedarf eines Gewerbebetriebes verwendet, welcher der Grund für den geringen Bedarf ist und vermutlich höher angesetzt werden muss.

### Warmwasserbedarf

Warmwasser	Umlage Warmwasser		berechnetes Warmwasser Graz [M Wh/a]	Differenzen	
	Österreich - Graz [M Wh/a]	Steiermark - Graz [M Wh/a]		Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Eisen- und Stahlerzeugung	1.163	1.165	224	5,18	5,19
Chemie und Petrochemie	335	23	27	12,43	0,86
Nicht Eisen Metalle	39	0	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	2.880	59	66	43,86	0,89
Fahrzeugbau	1.138	494	5.049	0,23	0,10
Maschinenbau	7.403	1.194	1.422	5,20	0,84
Bergbau	371	2	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	12.153	1.044	402	30,21	2,59
Papier und Druck	2.329	89	180	12,96	0,50
Holzverarbeitung	444	0	5	92,47	0,06
Bau	1.627	265	695	2,34	0,38
Textil und Leder	478	30	61	7,89	0,49
Sonstiger produzierender Bereich	1.527	101	296	5,16	0,34
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	958	keine Berr.	keine Berr.
SUMMEN produzierender Bereich	31.886	4.465	9.385	3,40	0,48

Tabelle 16 Vergleich des Warmwasserbedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz

Im Bereich der Warmwasserversorgung stellen sich drastische Unterschiede sowohl zwischen den Skalierungsmethoden als auch bei der unternehmensgenauen Berechnung ein. Da kein Grund für diese Abweichungen gefunden werden kann, werden ungenaue Daten in den Nutzenergieanalysen vermutet. Vernachlässigt man das „produzierende Gewerbe (nicht erfasst)“ und bildet den Mittelwert über die drei berechneten Werte erhält man einen Gesamtwarmwasserbedarf im produzierenden Sektor von 15.245 MWh, welcher in weiterer Folge im Modell verwendet wird.

## Prozesswärmebedarf

Prozesswärme	Umlage Prozesswärme		berechnete Prozesswärme	Differenzen	
	Österreich - Graz	Steiermark - Graz	Graz	Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Eisen- und Stahlerzeugung	82.546	67.740	461.404	0,18	0,15
Chemie und Petrochemie	183.234	86.971	21.129	8,67	4,12
Nicht Eisen Metalle	1.141	1.195	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	47.899	58.468	11.773	4,07	4,97
Fahrzeugbau	27.929	19.940	44.550	0,63	0,45
Maschinenbau	61.221	78.222	0	keine Berr.	keine Berr.
Bergbau	5.679	14.542	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	57.486	52.283	45.302	1,27	1,15
Papier und Druck	386.101	711.985	22.701	17,01	31,36
Holzverarbeitung	22.293	8.281	96	232,21	86,26
Bau	11.352	13.226	0	keine Berr.	keine Berr.
Textil und Leder	4.681	9.001	0	keine Berr.	keine Berr.
Sonstiger produzierender Bereich	7.545	5.090	3.508	2,15	1,45
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	0	keine Berr.	keine Berr.
<b>SUMMEN produzierender Bereich</b>	<b>899.106</b>	<b>1.126.945</b>	<b>610.463</b>	<b>1,47</b>	<b>1,85</b>

Tabelle 17 Vergleich des Prozesswärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz

Hinsichtlich des Prozesswärmebedarfs werden die einzelnen Bereiche gesondert betrachtet. Die große Differenz in der „Eisen- und Stahlerzeugung“ zwischen der Skalierungsmethode und der Berechnung anhand der Aurelia Datenbank entsteht durch das Stahl- und Walzwerk Marienhütte, wodurch der Wert der berechneten Prozesswärme anzunehmen ist bzw. im Folgenden noch genauer betrachtet wird. Selbiges entsteht im Fahrzeugbau durch die MAGNA Gruppe. Im Bereich Chemie und Petrochemie ist aus den Nutzenergieanalysen ersichtlich, dass ein Großteil der österreichweit verwendeten Stoffe zur Erzeugung von Prozesswärme in der Steiermark nicht zur Anwendung kommen, in der Umlage Österreich-Graz aber berücksichtigt werden. Vergleicht man die in der Industrielandkarte Steiermark in der Kategorie „Chemie, Pharma, Kunststoffe“ angegebenen Betriebe mit den Betrieben in der Aurelia Datenbank, scheinen nur 3 von 5 in dieser auf, was sich bereits in Tabelle 14 anhand der zuordenbaren Mitarbeiter dieses Bereiches widerspiegelte. Aus diesen Gründen wird die Umlage Steiermark-Graz verwendet. Die Hauptenergiequelle im Bereich „Nicht Eisen Metalle“ sind zu ungefähr gleichen Teilen österreichweit und in der Steiermark elektrische Energie und Erdgas, welches in Industrieöfen zum Einsatz kommt. Das spiegelt sich auch in den vergleichbaren Werten der Umlagen wider. Darum kommt der Mittelwert dieser beiden Werte zur Anwendung. In den folgenden Bereichen, außer dem „Fahrzeugbau“ und dem Bereich „Papier und Druck“ wird der Mittelwert der Umlagen gebildet und im Modell verwendet. Wie bereits bei der Ermittlung des Raumwärmebedarfs gibt es große Unterschiede beim mitarbeiterspezifischen Energiebedarf einer Druckerei oder Papierfabrik. Da in Graz keine Papierproduktion vorhanden ist, wird der auf Unternehmensbasis berechnete Wert verwendet.

Mithilfe der Aurelia Datenbank wurde der Bedarf an Prozesswärme für Nieder-, Mittel- und Hochtemperatur berechnet, welcher in Tabelle 17 in der Spalte „berechnete Prozesswärme“ zu einem gesamten Prozesswärmebedarf zusammengefasst wurde. Für die Aufteilung auf die unterschiedlichen Temperaturniveaus wird der prozentuelle Prozesswärmebedarf eines Temperaturniveaus und Bereiches laut der berechneten Daten verwendet und auf den gewählten Gesamtbedarf angewendet. In den Bereichen in denen kein Prozesswärmebedarf laut Aurelia

Datenbank ermittelt wurde, wird der Bedarf zu gleichen Teilen auf die unterschiedlichen Temperaturniveaus aufgeteilt. Die Aufteilung ist in Tabelle 18 ersichtlich.

	Gesamte Prozesswärme (AURELIA)	NT- Prozesswärme	MT- Prozesswärme	HT- Prozesswärme
Eisen- und Stahlerzeugung	461.404	0,00%	0,00%	100,00%
Chemie und Petrochemie	21.129	8,95%	91,05%	0,00%
Nicht Eisen Metalle	0	33,00%	33,00%	33,00%
Steine und Erden, Glas	11.773	0,00%	9,16%	90,84%
Fahrzeugbau	44.550	27,27%	27,27%	45,45%
Maschinenbau	0	33,00%	33,00%	33,00%
Bergbau	0	33,00%	33,00%	33,00%
Nahrungs- und Genußm., Tabak	45.302	69,34%	30,66%	0,00%
Papier und Druck	22.701	0,00%	100,00%	0,00%
Holzverarbeitung	96	100,00%	0,00%	0,00%
Bau	0	33,00%	33,00%	33,00%
Textil und Leder	0	33,00%	33,00%	33,00%
Sonstiger produzierender Bereich	3.508	5,36%	0,00%	94,64%

Tabelle 18 Prozentuelle Aufteilung des Prozesswärmebedarfs auf unterschiedliche Temperaturniveaus laut Bereichen des produzierenden Sektors in Graz

Aus den ausgewählten Werten ergeben sich die in der Übersichtstabelle (Tabelle 29) angeführten Energiebedarfe.

### Kühlungsbedarf

Kühlung	Umlage Kühlung el.		Mittelwert Umlagen
	Österreich - Graz	Steiermark - Graz	
Eisen- und Stahlerzeugung	468	444	456
Chemie und Petrochemie	2.306	1.565	1.936
Nicht Eisen Metalle	0	0	0
Steine und Erden, Glas	211	224	217
Fahrzeugbau	6.761	5.204	5.983
Maschinenbau	4.640	4.866	4.753
Bergbau	44	26	35
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	7.712	8.010	7.861
Papier und Druck	1.034	1.104	1.069
Holzverarbeitung	87	68	78
Bau	541	457	499
Textil und Leder	187	316	252
Sonstiger produzierender Bereich	2.004	1.152	1.578
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	0
SUMMEN produzierender Bereich	25.995	23.436	24.715

Tabelle 19 Bedarf an elektrischer Kühlung in Graz anhand der Skalierungsmethode

Kühlung	Umlage Fernkälte		Mittelwert Umlagen	Umlage Kühlung sonst.		Mittelwert Umlagen
	Österreich - Graz	Steiermark - Graz		Österreich - Graz	Steiermark - Graz	
Eisen- und Stahlerzeugung	0	0	0	0	0	0
Chemie und Petrochemie	136	28	82	0	0	0
Nicht Eisen Metalle	0	0	0	0	0	0
Steine und Erden, Glas	0	0	0	4	0	2
Fahrzeugbau	1.163	1.338	1.251	0	0	0
Maschinenbau	0	0	0	1.576	2.528	2.052
Bergbau	0	0	0	0	0	0
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	9	24	16	0	0	0
Papier und Druck	0	0	0	33	0	16
Holzverarbeitung	0	0	0	0	0	0
Bau	0	0	0	8	0	4
Textil und Leder	0	0	0	0	0	0
Sonstiger produzierender Bereich	84	64	74	0	0	0
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	0	0	0	0
SUMMEN produzierender Bereich	1.393	1.454	1.423	1.620	2.528	2.074

Tabelle 20 Bedarf an Fernkälte und sonstiger Kühlung in Graz anhand der Skalierungsmethode

Obige Tabellen stellen den Kühlbedarf anhand der beiden Umlagemethoden dar. Dabei erlauben die Nutzenergieanalysen eine Aufteilung in elektrische Kühlung, Fernkälte und sonstige Kühlung. Aus den Tabellen ist bereits erkennbar, dass beide Umlagen in jedem Bereich keine großen Abweichungen aufweisen, weshalb der Mittelwert dieser im Modell verwendet wird. Auffällig ist dabei, dass ungefähr 88% des Kühlbedarfs mit elektrischer Energie gedeckt wird.

### Elektrische Energie

Elektrische Energie	Umlage Stromverbrauch		berechneter Stromverbrauch	Differenzen	
	Österreich - Graz	Steiermark - Graz	Graz	Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Eisen- und Stahlerzeugung	36.152	34.283	43.516	0,83	0,79
Chemie und Petrochemie	102.944	76.242	8.202	12,55	9,30
Nicht Eisen Metalle	282	361	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	5.919	6.181	13.134	0,45	0,47
Fahrzeugbau	113.092	87.464	75.586	1,50	1,16
Maschinenbau	79.900	91.232	125.779	0,64	0,73
Bergbau	6.246	3.602	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	20.130	20.360	36.532	0,55	0,56
Papier und Druck	131.102	175.126	234.261	0,56	0,75
Holzverarbeitung	6.440	4.104	1.535	4,19	2,67
Bau	13.735	12.125	12.911	1,06	0,94
Textil und Leder	4.217	7.441	9.496	0,44	0,78
Sonstiger produzierender Bereich	23.518	18.562	17.752	1,32	1,05
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	72.245	keine Berr.	keine Berr.
SUMMEN produzierender Bereich	543.677	537.083	650.948	0,84	0,83

Tabelle 21 Vergleich des Bedarfs an elektrischer Energie anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz

Bei der Berechnung der elektrischen Energie im produzierenden Bereich wurde nur elektrischer Energiebedarf, welcher nicht zur Erzeugung von Wärme bzw. Kälte verwendet wird, berücksichtigt. Die ermittelten Werte anhand der Umlagen sind vergleichbar und weisen nur in manchen Bereichen starke Abweichungen auf.

Bei den berechneten Werten des Stromverbrauchs wurde der Gesamtstrombedarf eines Bereiches in der Steiermark anhand der Mitarbeiter auf Graz umgelegt und ein mitarbeiterspezifischer Strombedarf ermittelt. Dieser wurde auf die zugeordneten Mitarbeiter in der Aurelia Datenbank angewendet und die Differenz dem nicht erfassten produzierenden Gewerbe zugeordnet. Aufgrund der geringen Mitarbeiterzuordnung ist als Beispiel die starke Differenz im Bereich „Chemie und Petrochemie“ zu erkennen. Die Abweichung im Gesamtbedarf ergibt sich daraus, dass bei den Umlagen der bereits erwähnte Strombedarf zur Wärme- und Kälteerzeugung nicht enthalten ist. Aus diesen Gründen wird der Mittelwert aus den Werten der Umlagen gebildet und im Modell verwendet.

Verwendet man die im Kapitel 3.1.1.1 festgelegten Werte zur Identifizierung von energieintensiven Betrieben, werden auch die Betriebe Andritz AG, Leykam Druck GmbH & Co KG, MWV Graz GmbH und Druck Styria GmbH & Co KG aufgrund ihres Bedarfs an elektrischer Energie, laut Berechnungsmethode mithilfe der Aurelia Datenbank, zu diesen gezählt.

Um die Genauigkeit des Energiebedarfs und dessen Möglichkeit zur geografischen Zuordnung zu gewährleisten wurde durch Recherchen versucht, den Energiebedarf dieser energieintensiven Unternehmen genauer abzuschätzen. Durch die ermittelten Energiebedarfswerte im MT- und HT-Temperaturbereich kann auch das Potential an möglicher Abwärmeauskopplung aus den Industriebetrieben abgeschätzt werden.

### **MAGNA Gruppe**

Die MAGNA Gruppe setzt sich in Graz aus zwei getrennten Unternehmen, der MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG mit 3.600 Mitarbeitern und dem Modulcenter MAGNA Gruppe GmbH & Co OG mit 190 Mitarbeitern, zusammen. Dadurch, dass sich beide Unternehmen am selben Standort befinden und dem IEA Sektor Fahrzeugbau zugeordnet werden können, werden sie in dieser Arbeit zusammengefasst.

In den Umwelterklärungen des Grazer MAGNA Standorts (MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG, 2012, 2010, 2007) werden Strom- Erdgas- und Wärmeverbrauchswerte angegeben. Der Strombedarf wird dabei produktions- und flächennutzungsabhängig angegeben, wobei der Wärmebedarf nur von der Flächennutzung beeinflusst wird, in den angeführten Umwelterklärungen aber nur leichten Schwankungen unterliegt. Dadurch kann angenommen werden, dass der angegebene Wärmebedarf zur Deckung von Raumwärme und Warmwasseraufbereitung verwendet wird. Erdgas wird somit rein zur Erzeugung von Prozesswärme verwendet. Ermittelt man Bedarfswerte durch Mittelwertbildung der in den Umwelterklärungen angegebenen Daten, ergeben sich die in Tabelle 22 dargestellten Verbrauchswerte. Im Weiteren sind die Vergleichswerte aus der vorausgegangen Berechnung anhand der Aurelia Datenbank angegeben.

	Raumwärme [MWhth/a]	Warmwasser [MWhth/a]	NT- Prozesswärme [MWhth/a]	MT- Prozesswärme [MWhth/a]	HT- Prozesswärme [MWhth/a]	Stromverbrauch [MWh]
MAGNA Gruppe AURELIA	34.000	4.732	11.370	11.370	18.950	70.733
MAGNA Gruppe	84.631	11.778	23.219	23.219	38.698	92.151

**Tabelle 22 Übersicht der Bedarfswerte der MAGNA Gruppe**

Betrachtet man die Energiebedarfe des Bereiches „Fahrzeugbau“ in Tabelle 15 bis Tabelle 17 fällt auf, dass im Bereich Raumwärme ein weitaus höherer und im Bereich Prozesswärme ein weitaus

niedriger Wert zwischen der Umlagemethode und der Berechnung anhand der Aurelia Datenbank bestehen, obwohl dem Bereich Fahrzeugbau nur ungefähr 66% der Mitarbeiter zugeordnet werden konnten. In Tabelle 22 erkennt man auch, dass der berechnete Prozesswärmebedarf des Bereiches Fahrzeugbau in Graz fast ausschließlich von der „MAGNA Gruppe“ generiert wird. Aus diesem Grund kann der Prozesswärmebedarf des Bereiches „Fahrzeugbau“ wiederum vernachlässigt und im Modell nur die berechneten Werte anhand der Zusatzrecherchen der „MAGNA Gruppe“ für den Prozesswärmebedarf verwendet werden.

Für die Bereiche Raumwärme, Warmwasser und Stromverbrauch wird die dazu verwendete Mitarbeiterzahl um die Mitarbeiter der „MAGNA Gruppe“ verringert und neu berechnet. In Tabelle 29 sind die verwendeten Verbrauchswerte der „MAGNA Gruppe“ und der korrigierte Bereichsverbrauch „Fahrzeugbau“ angegeben.

### **Stahl- und Walzwerk Marienhütte**

Die Recherchen hinsichtlich dieses Unternehmens haben ergeben, dass ein Jahresenergieverbrauch von 330GWh vorliegt (Griessacher et al., 2013) und somit weitaus ungenauere Daten wie im Fall der MAGNA Gruppe vorliegen. Weiters wurden die Eingangsleistungen der einzelnen Energieträger Koks, elektrische Energie und Erdgas angegeben, anhand welcher der Gesamtenergiebedarf prozentuell aufgeteilt werden kann. Es ergeben sich die in Tabelle 23 dargestellten Bedarfswerte. Dabei ist zu beachten, dass, anders wie in bisherigen Fällen, der Stromverbrauch den Anteil für die Erzeugung von Prozesswärme beinhaltet.

	Raumwärme [MWhth/a]	Warmwasser [MWhth/a]	NT- Prozesswärme [MWhth/a]	MT- Prozesswärme [MWhth/a]	HT- Prozesswärme [MWhth/a]	Stromverbrauch [MWh]
Marienhütte AURELIA	3.862	221	0	0	453.840	39.929
proz. Umlage Gesamtbedarf	2.560	146	0	0	300.827	26.467
w.o., anhand von Eingangsleistung	2.560	146	0	0	102.727	224.567

**Tabelle 23 Übersicht der Bedarfswerte von Stahl- und Walzwerk Marienhütte**

Wie in Tabelle 14 ersichtlich konnten dem Bereich „Eisen- und Stahlerzeugung“ fast alle in Graz tätigen Mitarbeiter laut Aurelia Datenbank zugeordnet werden. Dabei weist das Stahl- und Walzwerk Marienhütte 240 der 244 zugeordneten Mitarbeiter auf. Aus diesem Grund wird angenommen, dass der gesamte Energiebedarf des Bereiches „Eisen- und Stahlerzeugung“ von diesem Betrieb in Anspruch genommen wird, was auch in Übersichtstabelle (Tabelle 29) ersichtlich ist.

Das Stahl- und Walzwerk Marienhütte verfügt über eine Abwärmeauskopplungsanlage, welche eine durchschnittliche jährliche Wärmeauskopplung von 60GWh bereitstellt und in das Modell eingebunden wird.

### **Brauerei Puntigamer**

Wie bereits erwähnt wurde die Brauerei Puntigam zu den in der Aurelia Datenbank aufscheinenden Betrieben hinzugefügt, da die Brauerei in die Brau Union AG eingegliedert und am Standort Graz nicht gesondert angeführt wird. Anhand der steirischen Industrielandkarte (Industriellenvereinigung Steiermark, 2014) konnte die Mitarbeiterzahl der Brauerei mit 300 festgelegt werden und der Wärmebedarf anhand der für die Einzelbetriebe verwendeten Methode berechnet werden.

Zusätzlich ist der Verbrauch an Wärmeenergie pro Hektoliter erzeugtem Bier bekannt (Braunion Österreich, 2013), wodurch anhand der Jahreserzeugungsmenge von einer Million Hektoliter wiederum auf den Gesamtwärmebedarf geschlossen werden kann. Die Ergebnisse beider Berechnungen sind in Tabelle 24 dargestellt. Bei der Berechnung anhand der Erzeugungsmenge sinkt der Prozesswärmebedarf. Diese Werte werden im Modell verwendet, da diese Daten über höhere Genauigkeit verfügen. Der Raumwärme-, Warmwasser- und Strombedarf wurde dabei aus der Berechnung anhand der Aurelia Datenbank übernommen.

	Raumwärme [MWh/a]	Warmwasser [MWh/a]	NT- Prozesswärme [MWh/a]	MT- Prozesswärme [MWh/a]	HT- Prozesswärme [MWh/a]	Stromverbrauch [MWh]
Puntigamer AURELIA	2.754	96	23.730	5.820	0	8.463
Puntigamer Braunion	2.754	96	15.659	3.841	0	8.463

**Tabelle 24 Übersicht der Bedarfswerte der Brauerei Puntigam**

Hinsichtlich der Betriebe Andritz AG, Leykam Druck GmbH & Co KG, MWV Graz GmbH und Druck Styria GmbH & Co KG konnten keine Verbrauchsdaten durch Recherche ermittelt werden. Aus diesem Grund werden sie mit den Werten aus der Berechnung laut Aurelia Datenbank weitergeführt, aber der Stromverbrauch durch Multiplikation mit dem Verhältnis von verwendetem Gesamtbedarf zum ermittelten Gesamtbedarf aus der AURELIA Datenbank verringert. Dies hat den Grund, dass der ermittelte Gesamtbedarf laut AURELIA Datenbank die elektrische Energie zur Wärme- und Kälteerzeugung beinhaltet. Der Bedarf an elektrischer Energie zur Kälteerzeugung wird vom gewählten Gesamtbedarf anhand der Mitarbeiterzahlen auf die Betriebe skaliert. Da im Bereich „Nahrungs- und Genußmittel, Tabak“ hauptsächlich elektrische Energie zur Kälteerzeugung verwendet wird und die Brauerei Puntigam in diesen Bereich fällt, wird in diesem Fall ebenso vorgegangen. Bei der MAGNA Gruppe und der Andritz AG konnten keine Information zu deren Kälteversorgungssystem ermittelt werden. Deshalb wird der Bedarf an elektrischer Energie zur Kälteversorgung wiederum anhand der Mitarbeiter skaliert und der Bedarf an Fernkälte und sonstiger Kälteversorgung im Bereich „Fahrzeugbau“ bzw. „Maschinenbau“ belassen.

### **3.2.1.3. Öffentlicher Sektor und private Dienstleistungen, Landwirtschaft, Verkehr**

Aufgrund der geringen Abweichungen der beiden Umlagen werden in diesen Bereichen die Mittelwerte aus den Umlageergebnissen verwendet. Durch die Datenbasis der Nutzenergieanalysen beinhaltet der Raumwärmebedarf auch den Energiebedarf zur Warmwasserbereitung. Vergleicht man die Werte aus der Berechnungsmethode, stellt der Warmwasserbedarf 6,3% des Gesamtbedarfs dar. Dieser Prozentsatz wird auch zur Aufteilung des gewählten Wärmebedarfs im Bereich der öffentlichen und privaten Dienstleistungen gewählt. Die gewählten Werte werden zu gleichen Teilen auf die Unterkategorien Verkauf, Gewerbe und Verwaltung aufgeteilt, wie in der Übersichtstabelle (Tabelle 29) ersichtlich ist. Im Bereich der Landwirtschaft wird angenommen, dass 10% des gewählten Wertes für Raumwärme auf die Warmwasserbereitung entfallen.

## Raumwärme- und Warmwasserbedarf

Raumwärme	Umlage Raumwärme		berechnete Raumwärme Graz [M Wh/a]	Differenzen	
	Österreich - Graz [M Wh/a]	Steiermark - Graz [M Wh/a]		Faktor Umlage zu berechneter Wert	
	Öffentl. und Priv. Dienstl.	1.122.158	991.303	419.743	167%
Landwirtschaft	11.383	9.716	0	keine Berr.	keine Berr.
Verkehr	0	0	0	0%	0%

Tabelle 25 Vergleich des Raumwärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft)

Warmwasser	berechnetes Warmwasser
	Graz [M Wh/a]
Öffentl. und Priv. Dienstl.	28.450
Landwirtschaft	0
Verkehr	0

Tabelle 26 Berechneter Warmwasserbedarfs in Graz (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft)

## Prozesswärmebedarf

Prozesswärme	Umlage Prozesswärme	
	Österreich - Graz	Steiermark - Graz
Öffentl. und Priv. Dienstl.	347.962	347.847
Landwirtschaft	1.802	1.618
Verkehr	0	0

Tabelle 27 Umlagen des Prozesswärmebedarfs auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen - Landwirtschaft)

## Elektrische Energie

Elektrische Energie	Umlage Stromverbrauch	
	Österreich - Graz	Steiermark - Graz
Öffentl. und Priv. Dienstl.	249.629	249.942
Landwirtschaft	2.498	2.284
Verkehr	101.794	105.003

Tabelle 28 Umlagen des Bedarfs an elektrischer Energie auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen - Landwirtschaft)

	KAT	RW	WW	NT	MT	HT	K_EL	K_FW	K_SONST	STROM
Energie Haushalte Graz	Einfamilienhaushalt alt	247.716	17.194	0	0	0	567	0	0	22.105
	Einfamilienhaushalt neu	157.456	17.233	0	0	0	568	0	0	22.155
	Mehrfamilienhaushalt alt	715.063	100.723	0	0	0	4.125	0	0	160.867
	Mehrfamilienhaushalt neu	388.412	82.820	0	0	0	3.249	0	0	126.703
	<b>SUMME</b>	<b>1.508.646</b>	<b>217.969</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8.508</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>331.831</b>
Öffentliche und private Dienstleistungen	Verkauf	329.884	22.360	115.968	0	0	2.082	0	0	81.180
	Gewerbe	329.884	22.360	115.968	0	0	2.082	0	0	81.180
	Verwaltung	329.884	22.360	115.968	0	0	2.082	0	0	81.180
	<b>SUMME</b>	<b>989.652</b>	<b>67.079</b>	<b>347.904</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.245</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>243.541</b>
Landwirtschaft, Verkehr	Landwirtschaft	9.494	1.055	1.710	0	0	0	0	0	2.391
	Verkehr	0	0	0	0	0	0	0	0	103.398
	<b>SUMME</b>	<b>9.494</b>	<b>1.055</b>	<b>1.710</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>105.789</b>
	<b>SUMMEN</b>	<b>2.507.793</b>	<b>286.103</b>	<b>349.615</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14.753</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>681.161</b>
Energiebedarf Industrie	Eisen- und Stahlerzeugung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chemie und Petrochemie	13.667	129	7.784	79.187	0	1.936	82	0	89.593
	Nicht Eisen Metalle	356	13	386	386	386	0	0	0	321
	Steine und Erden, Glas	3.289	1.001	0	4.870	48.314	217	0	2	6.050
	Fahrzeugbau	87.734	1.391	0	0	0	2.245	1.251	0	100.278
	Maschinenbau	94.566	2.992	23.008	23.008	23.008	3.691	0	2.052	64.679
	Bergbau	464	124	3.337	3.337	3.337	35	0	0	4.924
	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	5.249	4.437	22.400	12.985	0	5.671	16	0	11.782
	Papier und Druck	39.941	740	0	8.073	0	143	0	16	51.393
	Holzverarbeitung	1.495	150	15.287	0	0	78	0	0	5.272
	Bau	34.685	862	4.055	4.055	4.055	499	0	4	12.930
	Textil und Leder	1.927	189	2.257	2.257	2.257	252	0	0	5.829
	Sonstiger produzierender Bereich	13.976	641	339	0	5.979	1.578	74	0	21.040
MAGNA Gruppe	Fahrzeugbau	84.631	11.778	23.219	23.219	38.698	3.738	0	0	92.151
Andritz AG	Maschinenbau	3.516	347	0	0	0	1.062	0	0	20.887
Marienhütte	Eisen- und Stahlerzeugung	2.560	146	0	0	102.727	456	0	0	224.567
Leykam Druck GmbH & Co KG	Papier und Druck	757	37	0	11.558	0	406	0	0	44.603
MWV Graz GmbH	Papier und Druck	802	79	0	0	0	412	0	0	45.268
Druck Styria GmbH & Co KG	Papier und Druck	201	10	0	3.071	0	108	0	0	11.850
Puntigamer Brauerei	Nahrungs- und Genußm., Tabak	2.754	96	15.659	3.841	0	2.190	0	0	8.463
	<b>SUMME</b>	<b>392.571</b>	<b>25.164</b>	<b>117.730</b>	<b>179.845</b>	<b>228.761</b>	<b>24.715</b>	<b>1.423</b>	<b>2.074</b>	<b>821.880</b>
	<b>SUMME mit Industrie</b>	<b>2.900.364</b>	<b>311.267</b>	<b>467.345</b>	<b>179.845</b>	<b>228.761</b>	<b>39.469</b>	<b>1.423</b>	<b>2.074</b>	<b>1.503.041</b>

KAT...Kategorie

RW...Raumwärmebedarf [MWh/a]

WW...Warmwasserbedarf [MWh/a]

NT...NT-Prozesswärme [MWh/a]

MT...MT-Prozesswärme [MWh/a]

HT...HT-Prozesswärme [MWh/a]

K\_EL...Kühlung elektrisch [MWh/a]

K\_FW...Kühlung Fernkälte [MWh/a]

K\_SONST...Kühlung sonstige [MWh/a]

STROM...Stromverbrauch [MWh/a]

### 3.2.2. Zeitliche Aufteilung Graz

Um eine Jahresprofil jeder Nachfragekategorie zu generieren wird jeder Kategorie und Temperaturniveau ein Lastprofil laut Kapitel 0 zugewiesen. Diese Zuteilungen sind in Tabelle 30 dargestellt.

		KAT	L RW	L WW	L NT	L MT	L HT	L K	L STROM
Haushalte Graz	Einfamilienhaushalt alt	EFH_alt	EFH_alt_RHZ	Profil_WW				Kaelte	H0
	Einfamilienhaushalt neu	EFH_neu	EFH_neu_RHZ	Profil_WW				Kaelte	H0
	Mehrfamilienhaushalt alt	MFH_alt	MFH_alt_RHZ	Profil_WW				Kaelte	H0
	Mehrfamilienhaushalt neu	MFH_neu	MFH_neu_RHZ	Profil_WW				Kaelte	H0
Öffentliche und private Dienstleistungen	Verkauf		Einzelhandel	Profil_WW	Einzelhandel			Kaelte_Gewerbe	G1
	Gewerbe		Grhandel	Profil_WW	Grhandel			Kaelte_Gewerbe	G1
	Verwaltung		Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen			Kaelte_Gewerbe	G1
Landwirtschaft, Verkehr	Landwirtschaft		Gartenbau	Profil_WW	Gartenbau			Kaelte_Gewerbe	L0
	Verkehr		Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen			Kaelte_Gewerbe	G3
Energiebedarf Industrie	Eisen- und Stahlherzeugung	Industrie	Metall_Kfz	Profil_WW	Metall_Kfz	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Chemie und Petrochemie	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Nicht Eisen Metalle	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Steine und Erden, Glas	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Fahrzeugbau	Industrie	Metall_Kfz	Profil_WW	Metall_Kfz	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Maschinenbau	Industrie	Metall_Kfz	Profil_WW	Metall_Kfz	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Bergbau	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Papier und Druck	Industrie	Papier_Druck	Profil_WW	Papier_Druck	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Holzverarbeitung	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Bau	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Textil und Leder	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	Sonstiger produzierender Bereich	Industrie	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	NLAA	NLAA	Kaelte_Gewerbe	G0
	MAGNA Gruppe	Fahrzeugbau	G15	Metall_Kfz	Profil_WW	Metall_Kfz	SVAA	SVAA	Kaelte_Gewerbe
Andritz AG	Maschinenbau	G86	Metall_Kfz	Profil_WW	Metall_Kfz	SVAA	SVAA	Kaelte_Gewerbe	G3
Marienhütte	Eisen- und Stahlherzeugung	G33	Metall_Kfz	Profil_WW	Metall_Kfz	SVHH	SVHH	Kaelte_Gewerbe	G3
Leykam Druck GmbH & Co KG	Papier und Druck	G40	Papier_Druck	Profil_WW	Papier_Druck	SVAA	SVAA	Kaelte_Gewerbe	G3
MWV Graz GmbH	Papier und Druck	G14	Papier_Druck	Profil_WW	Papier_Druck	SVAA	SVAA	Kaelte_Gewerbe	G3
Druck Styria GmbH & Co KG	Papier und Druck	G16	Papier_Druck	Profil_WW	Papier_Druck	SVAA	SVAA	Kaelte_Gewerbe	G3
Puntigamer Brauerei	Nahrungs- und Genußm., Tabak	G14	Dienstleistungen	Profil_WW	Dienstleistungen	SVVV	SVVV	Kaelte_Gewerbe	G3

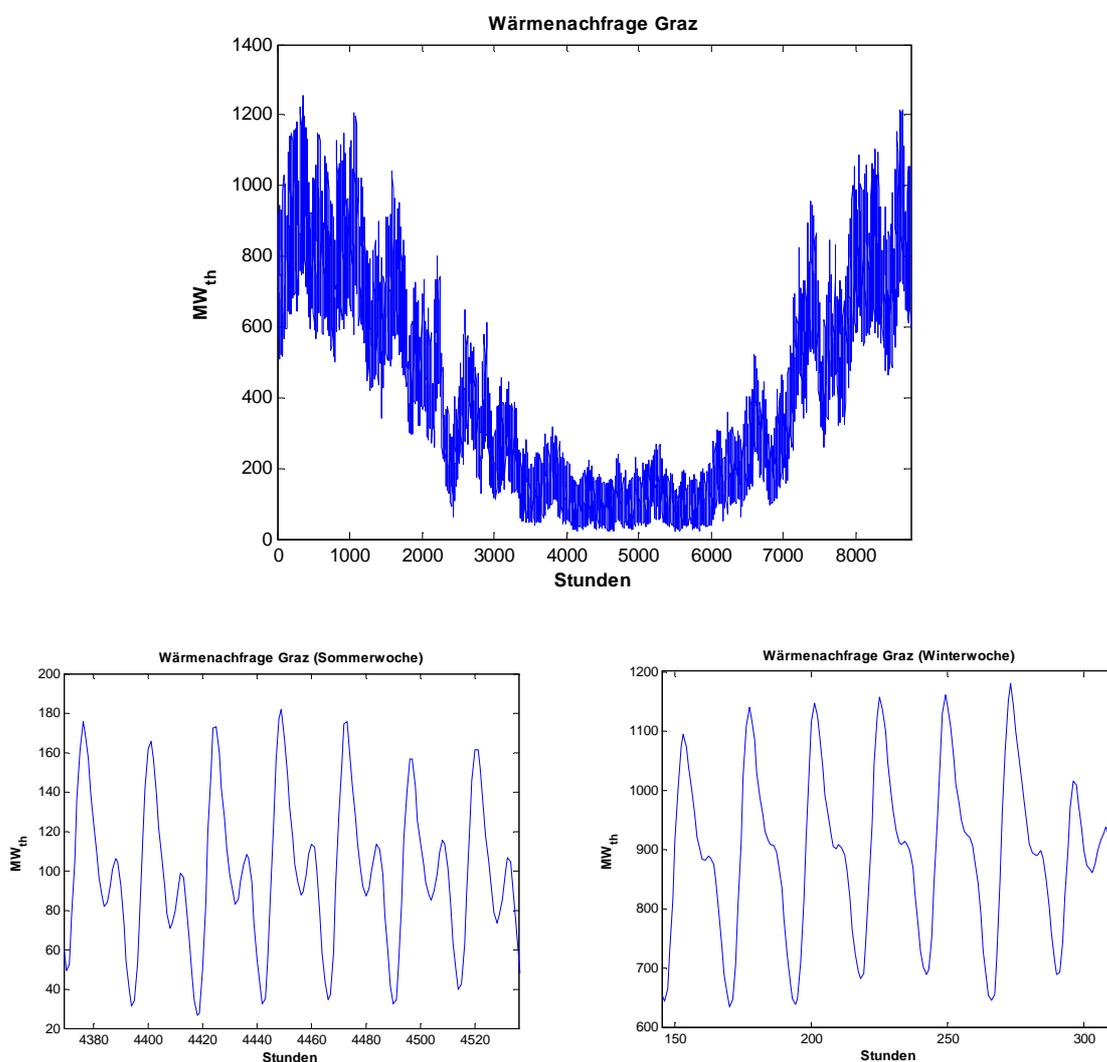
L\_RW...Lastprofil Raumwärme  
L\_WW...Lastprofil Warmwasser  
L\_NT...Lastprofil NT-Prozesswärme  
L\_MT...Lastprofil MT-Prozesswärme  
L\_HT...Lastprofil HT-Prozesswärme  
L\_K...Lastprofil Kühlung  
L\_STROM...Lastprofil Strom

Tabelle 30 Zuteilung der Lastprofile in Graz

Bei der Zuteilung der Lastprofile wurde versucht die bestmöglich der Realität entsprechenden Lastprofile auszuwählen. In manchen Kategorien scheint eine Kombination aus verschiedenen Profilen sinnvoll, worauf aufgrund von fehlenden Verteilungsdaten in dieser Arbeit verzichtet wurde.

Das Lastprofil der Dienstleistungen kann als allgemeines Gewerbeprofil mit Arbeitszeiten von 40 Wochenstunden angesehen werden und wurde aus diesem Grund häufig verwendet. Im Raumwärmebereich und NT-Prozesswärmebereich wurde für die Kategorien stets das gleiche Lastprofil verwendet. Die Lastprofilzuteilungen der höheren Temperaturniveaus sind in dieser Arbeit für die Abwärmemauskopplung aus Industriebetrieben von Bedeutung, da die Wärmeauskopplung anhand dieser Profile modelliert wird. Dabei wurde anhand von Internetrecherchen versucht Informationen über die Arbeitszeiten der ausgewählten Unternehmen mit hohem Energieverbrauch zu finden, was zum größten Teil ohne Erfolg blieb. Die zugeordneten Lastprofile im MT- und HT-Temperaturbereich basierend dahingehend auf Vermutungen, wie die Arbeitszeiten in den entsprechenden Unternehmen aussehen könnten.

Durch die Zuordnungen und die Aufteilung ergeben sich für die zu deckende Wärmenachfrage (bestehend aus Raumwärme, Warmwasser und NT-Prozesswärme) die Profile in Abbildung 11.



**Abbildung 11 Wärmeprofile der Stadt Graz (Gesamtprofil, Sommerwoche, Winterwoche)**

An den Wärmelastprofilen ist eine starke Nachfragerhöhung in den Wintermonaten zu erkennen. Wird das Profil der Sommerwoche vom Wärmeenergiebedarf für Warmwasserbereitung dominiert, ist im Winter der Wärmebedarf für Raumheizung der dominante Faktor, welcher aufgrund der geringeren Bedarfsmengen außerhalb der privaten Haushalte am Sonntag einen Einbruch erleidet.

Selbiges ist beim Strombedarf der Fall, welcher aufgrund der unterschiedlichen Lastprofile für Strombedarf und Wärmebedarf bereits am Samstag geringer ausfällt. Die Lastspitzen im Strombedarf in den Sommermonaten ergeben sich durch den Einsatz von Klimaanlage.

Bei der Erstellung des Kältebelastungsprofils laut Kapitel 3.1.2.3 wird der untere Bereich der Kurve in Abbildung 9 zur Aufteilung des Jahresbedarfs auf Tage verwendet, da die maximale gewichtete Tagesmitteltemperatur in Graz  $22,44^{\circ}\text{C}$ , bei einer maximalen Außentemperatur von  $30,1^{\circ}\text{C}$  beträgt. Im Vergleich beträgt die durchschnittliche, gewichtete Tagesmitteltemperatur des ganzen Jahres  $8,3^{\circ}\text{C}$ . An 156 Tagen im Jahr besteht Kältenachfrage in Graz, wobei eine durchschnittliche, gewichtete Tagesmitteltemperatur von  $15,84^{\circ}\text{C}$  herrscht. Die maximale Kältenachfrage, welche an einem Tag abgefragt wird, beträgt 2,44% der Gesamtnachfrage. Es ist zu beachten, dass das Stromprofil den Strombedarf zur Wärmeerzeugung nicht beinhaltet, welcher ähnlich wie im Wärmelastprofil eine Erhöhung der Nachfrage in den Wintermonaten bewirken wird und somit die Stromspitzen im Sommer als angemessen gesehen werden können.

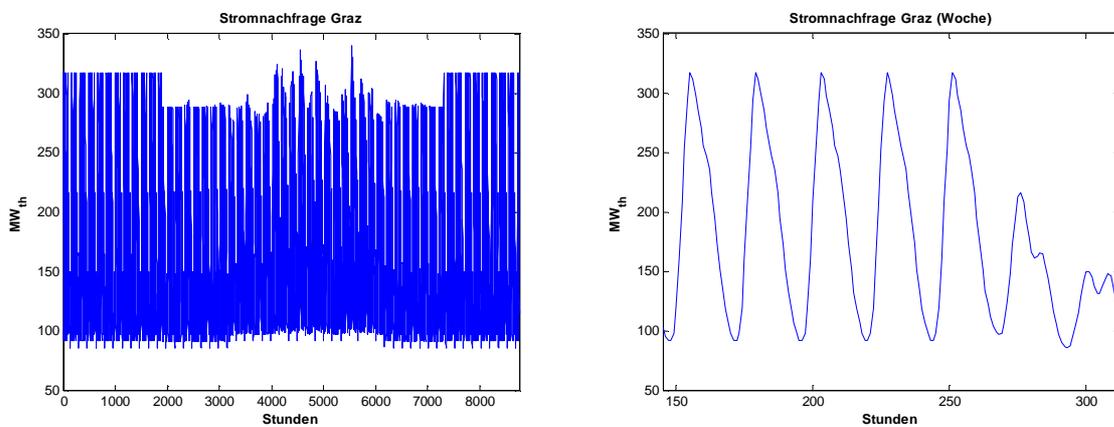
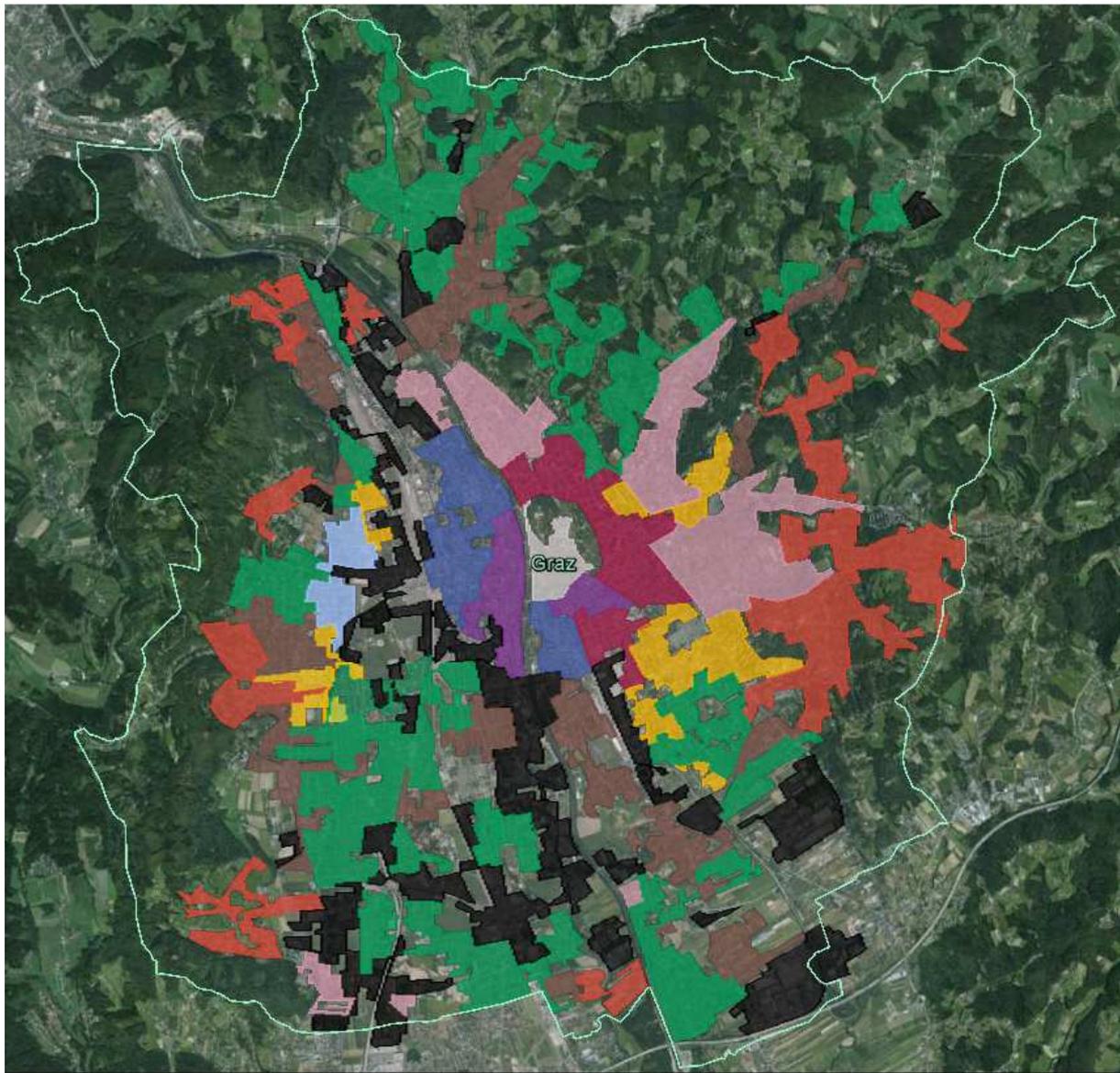


Abbildung 12 Stromprofile der Stadt Graz (Gesamtprofil, Wochenprofil)

### 3.2.3. Räumliche Aufteilung Graz



Typ01	Typ02	Typ04	Typ05a	Typ05b	
Typ06	Typ07a	Typ07b	Typ08	Typ09	Typ11b

Abbildung 13 Einteilung in Siedlungsgebiete Graz

Die Stadt Graz wurde, wie in Abbildung 13 und in Tabelle 31 ersichtlich, in 100 Teilgebiete unterteilt, welche eine Gesamtfläche von 53,02 km<sup>2</sup> aufweisen. Zur Kategorisierung der Siedlungsgebiete wurden die in der Legende von Abbildung 13 angeführten Farben und Siedlungstypen laut Tabelle 6 verwendet. Der Energiebedarf der in Kapitel 3.2.1.2 betrachteten Industriebetriebe wurde anhand ihres Standortes in der Stadt den einzelnen Gebieten zugeordnet. Für die einzelnen Siedlungstypen ergeben sich anhand der in Kapitel 2.2 beschriebenen Methode die in Tabelle 31 angegebenen Raumwärmedichten. Vergleicht man die berechneten Raumwärmedichten mit den in Tabelle 8 angegebenen Werten, fallen Unterschiede in der Höhe der Werte auf. Da sich die Werte aber in nahezu selben Verhältnissen befinden, können die berechneten Werte als realistisch angesehen werden.

Graz	Anzahl Gebiete	Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Wärmedichte [GWh/km <sup>2</sup> a]
Typ01	11	6,97	19,7
Typ02	26	14,32	28,2
Typ04	1	0,06	33,3
Typ05a	7	5,01	40,5
Typ05b	17	6,65	52,5
Typ06	6	2,52	69,2
Typ07a	4	2,97	90,6
Typ07b	2	1,92	98,6
Typ08	2	1,22	131,9
Typ09	1	0,53	118,3
Typ11b	23	10,85	78,7
Gesamt	100	53,02	

**Tabelle 31 Wärmedichten der Siedlungstypen in Graz**

Zusätzlich zu dieser Aufteilung in Siedlungstypen wird der Versorgungsgrad an Fernwärme eines Gebietes anhand des vorhandenen Fernwärmenetzes in Graz geschätzt. Dabei wurde das Netz über die erfolgte Einteilung, wie in Abbildung 14 dargestellt, gelegt. Dadurch kann der Energiebedarf auf das Fernwärmegebiet und auf das Gebiet, welches nicht mit Fernwärme versorgt ist, aufgeteilt werden. Bei einem hohen Deckungsgrad im Stadtzentrum von 80% wurden Gebieten Deckungsgrade bis zu einem geringen Grad von 1% zugewiesen. Durch die Aufteilung entsteht ein Wärmebedarf von 907 GWh/a im Fernwärmegebiet von Graz, welcher im Jahr 2009 bei 1.030 GWh/a lag, aber die Wärmeentnahmen entlang der Transportleitung von Mellach nach Graz beinhaltet. Im Stadtgebiet Graz wurden 891 GWh/a an Fernwärme nachgefragt, welche mit der Modellberechnung vergleichbar sind (Pavlovec-Meixner, 2013).

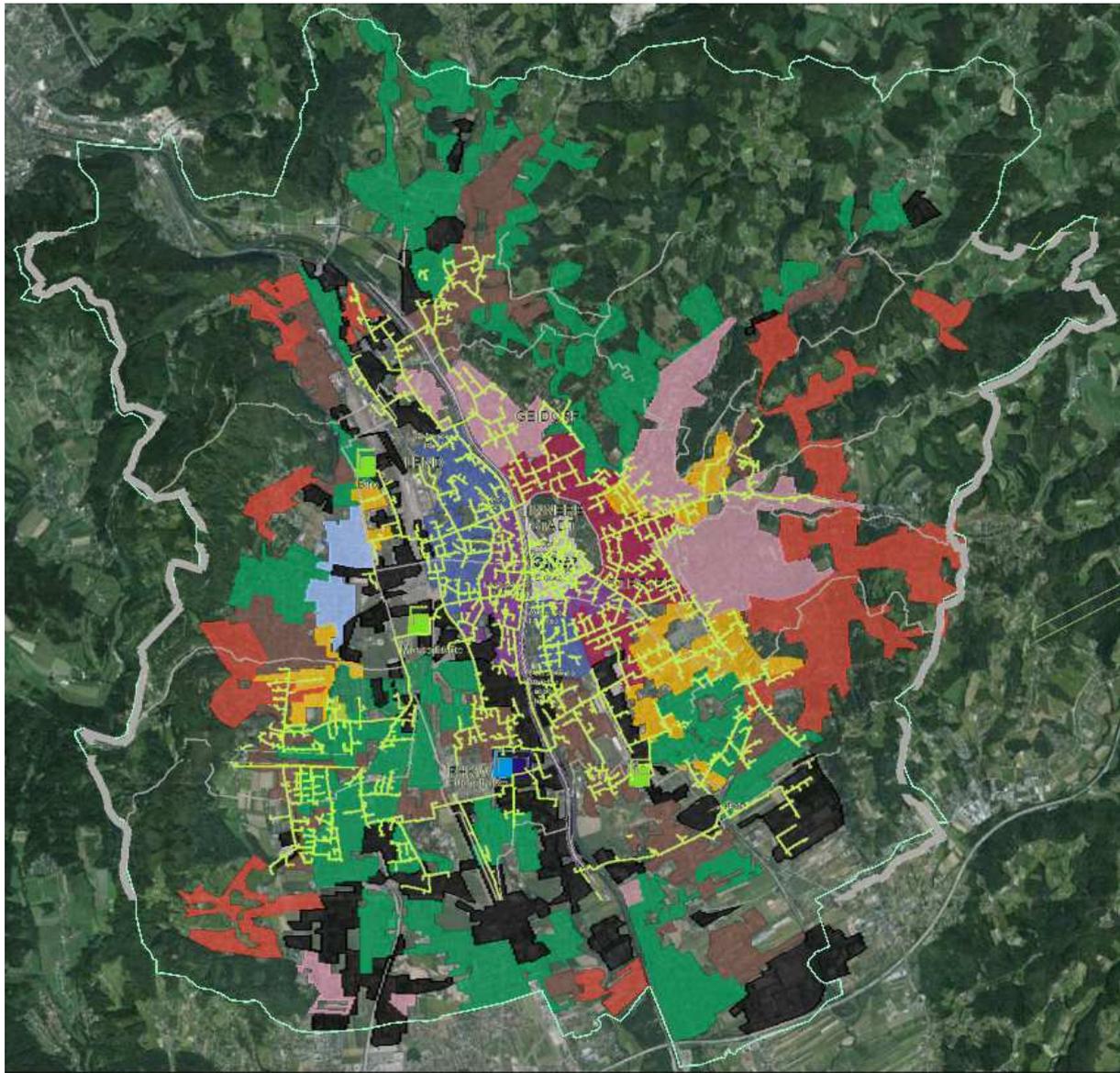


Abbildung 14 Fernwärmenetz in Graz

### 3.2.4. Technologien

Die Modellierung der Technologien erfolgt wie in (Büchele, 2013) beschrieben. Die Stadt Graz verfügt über 4 Kraftwerke, welche das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung nutzen, und 2 Fernheizwerke, welche rein zur Wärmeerzeugung und Einspeisung in das Fernwärmenetz dienen (Böhmer, 2009; Schlemmer, 2011; Verbund, 2015). Da für keines der in Graz angesiedelten KWK-Kraftwerke eine maximale elektrische Leistung bei maximaler Fernwärmeauskopplung angegeben ist, wird die Stromverlustkennzahl bei einem durchschnittlichen Wert von 0,15 festgesetzt (Groscurth, 2010).

#### Kraft-Wärme-Kopplung

Beim größten Kraftwerk dieser Bauart handelt es sich um ein Gaskombikraftwerk, bestehend aus zwei Maschinensätzen mit jeweils einer Gasturbine und einem nachgeschalteten Dampfkessel mit Dampfturbine, welches in Mellach betrieben wird.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale elektrische Nettoleistung	$P_{max}$	832	MW <sub>el</sub>
Max. el. Nettoleistung bei max. Wärmeauskopplung	$P_{FWmax}$	772	MW <sub>el</sub>
Minimale elektrische Nettoleistung	$P_{min}$	266	MW <sub>el</sub>
Maximale thermische Leistung	$Q_{max}$	400	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Leistung	$Q_{min}$	0	MW <sub>th</sub>
Maximaler elektrischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{el}$	52	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	1,5	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	53.200	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{el min}$	45,8	%
Brennstoff	Erdgas		

Tabelle 32 Daten des GuD-Kraftwerks Mellach

In der Nähe des Gaskombikraftwerks Mellach ist das Fernheizkraftwerk Mellach angesiedelt. Darin wird eine Entnahme-Kondensations-Dampfturbine mit Steinkohle betrieben und weist folgende Parameter auf:

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale elektrische Nettoleistung	$P_{max}$	225	MW <sub>el</sub>
Max. el. Nettoleistung bei max. Wärmeauskopplung	$P_{FWmax}$	190,5	MW <sub>el</sub>
Minimale elektrische Nettoleistung	$P_{min}$	90	MW <sub>el</sub>
Maximale thermische Leistung	$Q_{max}$	230	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Leistung	$Q_{min}$	0	MW <sub>th</sub>
Maximaler elektrischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{el}$	41,4	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	9.188	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{el min}$	38,5	%
Brennstoff	Steinkohle		

Tabelle 33 Daten des FHKW Mellach (ED)

Beim dritten Kraftwerk handelt es sich um die Kraftwerksanlage Neudorf-Werndorf, welche wiederum eine Entnahme-Kondensations-Dampfturbine aufweist, aber mit „Heizöl schwer“ betrieben wird. Das Kraftwerk wurde Ende 2014 stillgelegt, wird im Modell aber dennoch berücksichtigt, um eine mögliche Nutzung nicht auszuschließen.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale elektrische Nettoleistung	$P_{max}$	164	MW <sub>el</sub>
Max. el. Nettoleistung bei max. Wärmeauskopplung	$P_{FWmax}$	134	MW <sub>el</sub>
Minimale elektrische Nettoleistung	$P_{min}$	65,6	MW <sub>el</sub>
Maximale thermische Leistung	$Q_{max}$	200	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Leistung	$Q_{min}$	0	MW <sub>th</sub>
Maximaler elektrischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{el}$	43,6	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	12.282	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{el min}$	40,5	%
Brennstoff	Heizöl schwer		

Tabelle 34 Daten des FHKW Neudorf-Werndorf (ED)

Im KWK-Kraftwerk in Thondorf wird eine Gasturbine mit Wärmerückgewinnung betrieben, welche folgende Parameter aufweist:

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale elektrische Nettoleistung	$P_{max}$	25	MW <sub>el</sub>
Max. el. Nettoleistung bei max. Wärmeauskopplung	$P_{FWmax}$	19,75	MW <sub>el</sub>
Minimale elektrische Nettoleistung	$P_{min}$	5	MW <sub>el</sub>
Maximale thermische Leistung	$Q_{max}$	35	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Leistung	$Q_{min}$	3,5	MW <sub>th</sub>
Maximaler elektrischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{el}$	35,7	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,5	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	1.243	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{el min}$	28,6	%
Brennstoff	Erdgas		

Tabelle 35 Daten der KWK-Anlage Thondorf (GT)

Abbildung 15 zeigt die Produktionsregionen der Kraftwerke in Graz, wobei besonders die Größenklassen der Anlagen ersichtlich sind.

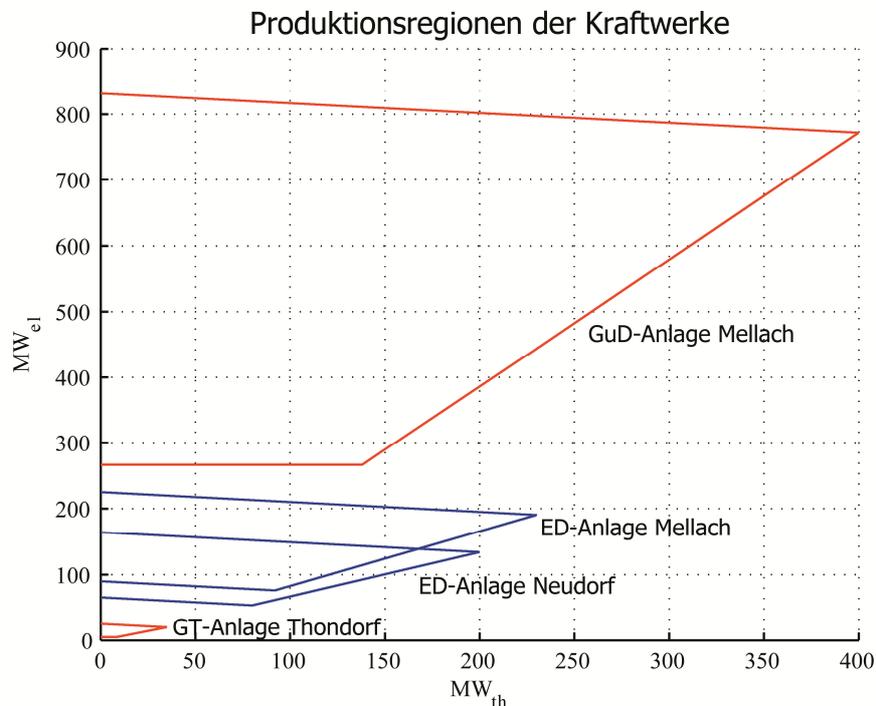


Abbildung 15 Produktionsregionen der KWK-Anlagen in Graz

### Fernheizwerke

Die an das Grazer Fernwärmenetz angeschlossenen Fernheizwerke werden beide mit Erdgas betrieben und befinden sich direkt in Graz und Thondorf. Sie weisen folgende Kennwerte auf:

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale thermische Nettoleistung	$Q_{max}$	280	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Nettoleistung	$Q_{min}$	28	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{th}$	81,2	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	3.985	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{th min}$	77,1	%
Brennstoff	Erdgas		

Tabelle 36 Daten des FHW Graz

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale thermische Nettoleistung	$Q_{max}$	60	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Nettoleistung	$Q_{min}$	6	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{th}$	75	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	924	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{th\ min}$	71,3	%
Brennstoff	Erdgas		

Tabelle 37 Daten des FHW Thondorf

### Müllverbrennungsanlagen

Im Zuge der Recherchen für diese Arbeit konnten keine modellrelevanten Müllverbrennungsanlagen in Graz identifiziert werden.

### Solarthermie

In Graz sind drei Solarthermieanlagen, welche in das Fernwärmenetz einspeisen, installiert. Die drei Anlagen zur Fernwärmebereitstellung befinden sich am Stadion in Liebenau, auf dem Betriebsgelände des Unternehmens Andritz und dem Betriebsgelände des Unternehmens AEGV.

Anlage	Leistung [MW]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Ertrag [MWh/a]
Solarthermie Andritz	2,00	3.885	1.600
Solarthermie AEGV	2,50	4.960	2.100
Solarthermie Liebenau	0,75	1.407	590

Tabelle 38 Übersicht der Solarthermieanlagen zur Einspeisung ins Fernwärmenetz Graz, (Schlemmer, 2011)

Aus obigen Daten kann ein durchschnittlicher Ertrag in MWh pro Jahr und m<sup>2</sup> errechnet werden, welcher zur Beurteilung eines Ausbaus von solarthermischen Anlagen sowohl im Privatgebrauch als auch zur Fernwärmeerzeugung verwendet wird. Anlagen im Privatgebrauch dienen zur Deckung der thermischen Nachfrage im Gebiet ohne Fernwärmeversorgungsnetz. Es wird angenommen, dass von den 14 Mio. m<sup>2</sup> Dachfläche in Graz 27% für solarthermische Anlagen und 25% für Photovoltaikanlagen genutzt werden können (Kapfenberger-Pock, 2013). Um das Modell zu vereinfachen wird festgelegt, dass 26% der Dachflächen sowohl für Photovoltaik als auch für Solarthermie genutzt werden können. Dies ergibt eine Dachfläche von 3,64 Mio. m<sup>2</sup>, was bei voller Ausnutzung und der Verwendung des berechneten durchschnittlichen Ertrags von 0,419 GWh pro Jahr und m<sup>2</sup> ein jährliches Potential von ungefähr 1.500 GWh ergibt. Es wird angenommen, dass bereits eine Dachfläche von 17.000 m<sup>2</sup> für solarthermische Anlagen in Anspruch genommen wird. Dieser Wert wurde anhand des Faktors von installierter Solarthermie zu potentieller Dachfläche in Wien berechnet und wird zur Wärmebedarfsdeckung im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet verwendet (Büchle, 2013).

### Photovoltaik

Zur Ermittlung der vorinstallierten Photovoltaik-Kollektorfläche in Graz wurde das Verhältnis von Photovoltaikfläche zu der für Solarthermie genutzten Fläche in Wien laut Gl. 27 benutzt (Büchle, 2013).

$$A_{PV}^{Graz} = A_{ST}^{Graz} \cdot \frac{A_{PV}^{Wien}}{A_{ST}^{Wien}} \quad \text{Gl. 27}$$

Dies ergibt eine Fläche von 8.840 m<sup>2</sup>, auf der bereits Photovoltaikanlagen in Graz installiert sind.

### **Wärmepumpen**

Zur Errechnung der installierten Leistung von Wärmepumpen in Graz wurde die Anzahl der geförderten Anlagen in der Steiermark aus dem Jahr 2010 verwendet. Ein Teil von 5,3% der geförderten Anlagen in Österreich entfallen auf die Steiermark. Wird dieser Prozentsatz auf die 180.000 in Österreich installierten Wärmepumpen angewendet, ergibt sich eine Wärmepumpenanzahl von 9.563 in der Steiermark. Unter Verwendung einer durchschnittlichen installierten Leistung von 10 kW<sub>Peak</sub> pro Wärmepumpe, errechnet sich eine Gesamtleistung von rund 96 MW<sub>Peak</sub> in der Steiermark (Büchele, 2013). Durch Skalierung dieses Werts anhand der Einwohner in Graz und der Steiermark erhält man eine installierte Leistung von 20,6 MW<sub>Peak</sub> (thermisch) in Graz.

### **Windkraftanlagen**

In und um die Stadt Graz sind bei der IG Windkraft keine Windkraftanlagen angeführt. Es ist anzunehmen, dass eine Errichtung von Windkraftanlagen aufgrund der Landschaftsstruktur nicht sinnvoll wäre, wodurch diese Technologie aus dem Modell genommen und kein Ausbau zugelassen wird (IG Windkraft, 2015).

### **Gastherme**

Die Gasthermen sollen als Referenztechnologie zum Fernwärmenetz geführt werden und den möglichen Bedarf im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet decken. Dazu wird die maximal abgefragten Wärmeleistung des nicht FW-Gebietes vor dem Ausbau im Zeitraum des Modelljahres abgefragt, was eine Leistung von 946 MW ergibt.

### **Boiler**

Im Modell wird von keiner vorinstallierten Leistung des Boilers ausgegangen. Bei der Technologie des Boilers handelt es sich um eine großtechnische Anlage, welche ausgebaut werden kann und zur Deckung des Energiebedarfs im Fernwärmenetz dient. Der Boiler wandelt bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 97% elektrische Energie in Wärmeenergie um.

## Speicher

Durch den Speicher kann die Erzeugung von Energie und deren Verwendung zeitlich entkoppelt werden. In Graz ist ein Speicher mit einer installierten Speicherkapazität von 100 MWh vorhanden (Schlemmer, 2011). Da keine weiteren Informationen zum installierten Speicher ermittelt werden konnten, werden vergleichbare Werte wie für Wien (Büchle, 2013) angenommen. Die Ausbaupotentiale der Speicherkapazität und Lade- bzw. Entladeleistung wird dabei in einer Höhe angesetzt, welche keiner Beschränkung gleichkommen.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Installierte Speicherkapazität	$cap_{HS}$	100	MWh <sub>th</sub>
Installierte maximale Lade- bzw. Entladeleistung	$Q_{HS}$	10	MW <sub>th</sub>
Lade- bzw. Entladeverlust	$Loss_{charge}$	1	%
Stündlicher Speicherverlust	$Loss_h$	2	%
Stündlicher Verlust des Fernwärmenetzes	$Loss_{net}$	10	%
Ausbaupotential der Speicherkapazität	$cap_{HS}^{max}$	850	MWh <sub>th</sub>
Ausbaupotential der Lade- bzw. Entladeleistung	$Q_{HS}^{max}$	100	MW <sub>th</sub>

Tabelle 39 Daten des Wärmespeichers in Graz

## Abwärmeauskopplung

Wie in Kapitel 3.2.1.2 bereits erwähnt, verfügt das Stahl- und Walzwerk Marienhütte über eine durchschnittliche jährliche Wärmeauskopplung von 60 GWh. Diese wird anhand des Lastprofils SVHH modelliert (siehe Abbildung 8) und zur Deckung der Nachfrage im Fernwärmegebiet verwendet.

Bei der in Kapitel 2.2 angesprochenen Papierfabrik Sappi handelt es sich um ein Unternehmen im Norden von Graz, welches über ein Abwärmepotential von 200 GWh verfügt und an das Fernwärmesystem Graz angeschlossen werden kann. Die Möglichkeit dieses Potential auszuschöpfen wird in das Modell implementiert, wobei der Ausbau auch nur teilweise anhand der ebenfalls in Kapitel 2.2 angeführten Kostenfunktion erfolgen kann. Als Auskopplungsprofil wird dabei SVVV verwendet, wodurch eine konstante Auskopplung über das ganze Jahr angenommen wird. Bei einem maximalen Ausbau beträgt die Auskoppelleistung 22,83 MW.

Wendet man die prozentuellen Abwärmepotentiale auf Branchenbasis (Tabelle 2) auf die zusätzlich identifizierten Betriebe mit hohem Energiebedarf im MT- und HT-Temperaturbereich (MAGNA Gruppe, Puntigamer Brauerei) an, ergibt sich für beide ein jährliches Abwärmepotential unter 1 GWh. Dadurch wird die Installation von Abwärmeeinrichtungen laut Kapitel 2.2 ausgeschlossen.

### 3.3. Salzburg

#### 3.3.1. Energiebedarf Salzburg

Zur Ermittlung des Energiebedarfs in Salzburg werden wieder die Methoden wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben verwendet. Um anhand der Skalierungsmethode die Energiewerte der Nutzenergieanalysen 2011 (Österreich und Salzburg) auf die Stadt Salzburg zu skalieren werden die benötigten Basisdaten zu den Arbeitsstätten in Tabelle 40 dargestellt.

		Österreich	Salzburg	Salzburg Stadt
Einwohner		8.397.575	534.270	145.211
Arbeitsstätten	Eisen- und Stahlerzeugung	21.404	7	6
	Chemie und Petrochemie	28.436	1.023	138
	Nicht Eisen Metalle	9.549	309	7
	Steine und Erden, Glas	32.038	1.744	159
	Fahrzeugbau	34.778	1.820	73
	Maschinenbau	209.105	11.281	2.215
	Bergbau	6.385	542	25
	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	76.017	5.553	1.589
	Papier und Druck	30.132	3.222	278
	Holzverarbeitung	34.532	3.289	185
	Bau	308.565	23.138	4.991
	Textil und Leder	21.640	1.304	672
	Sonstiger produzierender Bereich	77.402	7.352	1.543
	Öffentl. und Priv. Dienstl.	2860145	197541	89331
	Landwirtschaft	176914	10655	345
	Verkehr	204880	15690	5429
	Arbeitsstätten Gesamt	4.131.922	284.470	106.986
	Arbeitsstätten laut Statistik Austria	4.167.164	287.238	108.101
	Differenz in %	-0,85%	-0,96%	-1,03%

**Tabelle 40 Einwohner/Arbeitsstätten in Österreich, Salzburg und Salzburg Stadt, Quellen: (Statistik Austria, 2011a, 2011b)**

Die Berechnung des auf die Stadt Salzburg zu skalierenden Gesamtenergiebedarfs (Tabelle 41) basiert auf den gleichen Annahmen wie im Fall von Graz in Kapitel 3.2.1, wodurch auf eine wiederholte Ausführung verzichtet wird. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Modellstädten ist, dass für die Stadt Salzburg ein Energiebericht aus dem Jahr 2013 vorhanden ist. Dieser beinhaltet die Energieverbrauchswerte der einzelnen Sektoren, welche als Vergleichswerte zu den berechneten Daten herangezogen werden können.

Tabelle 41 Energiebedarfswerte der Sektoren in Österreich und Salzburg, (Statistik Austria, 2012)

Name/Tätigkeitsbereich	Österreich							Salzburg						
	Raumwärme- bedarf [MWh/a]	Warmwasser- bedarf [MWh/a]	Prozess- wärme [MWh/a]	Kühlung (elektrisch) [MWh/a]	Kühlung (Fernkälte) [MWh/a]	Kühlung (sonst) [MWh/a]	Strom- bedarf [MWh/a]	Raumwärme- bedarf [MWh/a]	Warmwasser- bedarf [MWh/a]	Prozess- wärme [MWh/a]	Kühlung (elektrisch) [MWh/a]	Kühlung (Fernkälte) [MWh/a]	Kühlung (sonst) [MWh/a]	Strom- bedarf [MWh/a]
Eisen- und Stahlerzeugung	2.282.410	96.835	6.874.786	38.966	0	0	3.010.918	5	1	122	0	0	0	7
Chemie und Petrochemie	446.142	4.756	7.108.367	89.470	5.293	0	3.993.621	3.816	2.288	22.743	7.778	0	0	7.608
Nicht Eisen Metalle	400.706	261	1.556.658	204	0	0	384.726	1.796	33	58.376	33	0	0	950
Steine und Erden, Glas	675.774	16.493	9.244.527	40.705	0	763	1.142.440	28.112	6.919	614.258	985	0	763	45.843
Fahrzeugbau	840.301	3.625	160.123	38.762	6.670	0	648.385	8.463	344	20.512	2.219	0	0	34.233
Maschinenbau	2.760.387	43.808	1.919.856	145.493	0	49.416	2.505.617	107.533	18.455	85.721	19.861	0	0	150.290
Bergbau	43.983	1.645	810.909	6.252	0	0	891.860	925	1.389	5.119	291	0	0	60.837
Nahrungs- und Genußm., Tabak	570.635	91.622	4.057.490	544.347	653	0	1.420.841	24.986	7.642	141.082	18.359	0	0	83.836
Papier und Druck	1.424.664	12.679	13.190.474	35.318	0	1.118	4.478.868	8.414	11.680	930.511	8.712	0	1.118	257.576
Holzverarbeitung	526.076	2.290	5.788.026	22.662	0	0	1.672.149	61.276	2.193	1.555.150	566	0	0	337.143
Bau	1.263.082	11.689	430.329	20.498	0	295	520.657	95.283	1.990	12.793	2.137	0	295	34.006
Textil und Leder	138.696	2.895	450.193	18.021	0	0	405.581	7.754	904	11.656	1.187	0	0	8.909
Sonstiger produzierender Bereich	831.414	13.236	448.880	119.243	5.002	0	1.399.162	41.006	7.753	72.043	38.471	0	0	97.294
Öffentl. und Priv. Dienstl.	22.069.276		6.843.296				4.909.406	1.539.893		511.758				378.164
Landwirtschaft	2.446.940		387.412				537.036	152.638		22.256				33.123
Verkehr							3.150.859							265.597
Private Haushalte	52.977.899	8.565.473					11.144.560	3.204.285	535.325					734.052

### 3.3.1.1. Siedlungsbereich/private Haushalte

Der Energiebedarf im Siedlungsbereich wird wieder anhand der zwei Methoden, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, berechnet. Erstens werden die Werte aus Tabelle 41 durch Skalierung auf die Einwohnerzahl von Salzburg umgelegt und zweitens wird der Energiebedarf anhand der 86.568 Wohneinheiten in Salzburg berechnet. Tabelle 42 beinhaltet die Werte dieser Methoden. Die hinterlegten Werte wurden für die Modellberechnung verwendet. Im Fall von Graz wurden für die Raumwärme und das Warmwasser die berechneten Werte anhand der Wohneinheiten verwendet, da diese unter den beiden Umlagewerten lagen. Begründet wurde die Wahl anhand der geringeren Raumwärmedichte in Mehrfamilienhäusern, welche im Stadtgebiet aber eine höhere Dichte aufweisen. Im Fall von Salzburg liegt der anhand von Wohneinheiten berechnete Wert für Raumwärme zwischen den Umlagewerten, wodurch das vorausgegangene Argument widerlegt wird. Gewählt werden im Fall von Salzburg trotzdem die berechneten Werte, da die Summe aus Raumwärme und Warmwasser (1.000 GWh) am nächsten den im Energiebericht der Stadt Salzburg aus dem Jahr 2013 angegebenen 971 GWh liegt. Der verwendete Wert für den Verbrauch an elektrischer Energie im Bereich der privaten Haushalte wird auch anhand der im Energiebericht angeführten 234 GWh gewählt, wodurch die Wahl auf den durch die Wohneinheitenanzahl berechneten Wert fällt (Huemer et al., 2013).

Private Haushalte	Umlage Österreich - Salzburg Stadt	Umlage Salzburg - Salzburg Stadt	Berechnung anhand von Wohneinheiten	Mittelwert aus Umlagen
Raumwärme [MWh/a]	916.095	870.903	877.647	893.499
Warmwasser [MWh/a]	148.114	145.498	121.978	146.806
Elektrische Energie [MWh/a]	192.712	199.511	244.420	196.111

Tabelle 42 Energiebedarf im Siedlungsbereich/private Haushalte in Salzburg

### 3.3.1.2. Industriebetriebe

Der Energiebedarf von Industriebetrieben in Salzburg wird mithilfe der in Kapitel 3.1.1 erläuterten Methoden berechnet. Ermittelt man den Energiebedarf jedes einzelnen Unternehmens in der Aurelia Datenbank, können anhand der Definition eines energieintensiven Unternehmens laut Kapitel 3.1.1.2 zwei Unternehmen in Salzburg identifiziert werden. Die Klüber Lubrication Austria GmbH, welcher durch ihre ÖNACE Nummer C192 der Tätigkeitsbereich einer Raffinerie zugeordnet wird. Das Unternehmen weist demnach einen Prozesswärmebedarf im MT-Bereich von 68 GWh auf. Des Weiteren wird die Kesselbau Dax GmbH, welcher die ÖNACE Nummer C241 zugeordnet wird, als Stahlwerk geführt und weist einen HT-Prozesswärmebedarf von 47 GWh auf. Recherchen auf den Webseiten der oben genannten Unternehmen haben ergeben, dass es sich im Fall der Kesselbau Dax GmbH um einen metallverarbeitenden Betrieb handelt und das dazu verwendete Metall nicht selbst produziert wird. Das Unternehmen kann aufgrund der Erzeugnisse dem Tätigkeitsbereich „C252 Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen“ laut ÖNACE zugeordnet werden, wodurch kein Prozesswärmebedarf mehr besteht. Bei der Klüber Lubrication Austria GmbH handelt es sich um einen Hersteller von Spezienschmierstoffen, welcher im Süden von Salzburg angesiedelt ist. Im Zuge der Recherchen konnte nicht in Erfahrung gebracht werden, inwieweit Prozesswärmebedarf im Unternehmen besteht. Durch Betrachtung der Luftaufnahmen in Google Maps konnte eine Wärmeerzeugungsanlage in der Größenordnung zur Produktion von 68 GWh pro Jahr ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund wird das Unternehmen aus der Liste der energieintensiven Unternehmen

genommen und dem sonstigen produzierenden Bereich und zur Ermittlung des Wärmebedarfs dem Bereich Gewerbe zugeordnet.

In Tabelle 43 wird die Anzahl der Unternehmen und deren Mitarbeiter, welche in der Aurelia Datenbank aufscheinen und anhand ihres Tätigkeitsbereichs zugeordnet werden können, dargestellt. Dabei sind wieder grobe Abweichungen zu den in der Statistik Austria erfassten Daten zu erkennen.

Name/Tätigkeitsbereich	Beschäftigte in Arbeitsstätten		Anzahl zugeordnete Unternehmen	zugeordnete Arbeitsstätten	Differenz
	Salzburg 2010	Salzburg Stadt 2010			
Eisen- und Stahlerzeugung	7	6	0	0	6
Chemie und Petrochemie	1.023	138	11	57	81
Nicht Eisen Metalle	309	7	0	0	7
Steine und Erden, Glas	1.744	159	9	30	129
Fahrzeugbau	1.820	73	6	84	-11
Maschinenbau	11.281	2.215	75	2809	-594
Bergbau	542	25	0	0	25
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	5.553	1.589	43	1588	1
Papier und Druck	3.222	278	22	245	33
Holzverarbeitung	3.289	185	5	167	18
Bau	23.138	4.991	275	2073	2.918
Textil und Leder	1.304	672	37	968	-296
Sonstiger produzierender Bereich	7.352	1.543	51	1101	442

**Tabelle 43 Übersicht über die Zuordnung von Unternehmen und Arbeitsstätten in Salzburg laut IEA**

Aufgrund der bereits in Kapitel 3.2.1.2 angeführten Schwierigkeiten diese Abweichungen zu kompensieren, wird wiederum die dort vorgestellte Methode verwendet und die nicht erfassten Mitarbeiter dem Bereich „produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)“ zugeordnet.

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisse der beiden Berechnungsmethoden verglichen:

### Raumwärmebedarf

Raumwärme	Umlage Raumwärme		berechnete Raumwärme	Differenzen	
	Österreich - Salzburg Stadt	Salzburg - Salzburg Stadt	Salzburg Stadt [M Wh/a]	Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Eisen- und Stahlerzeugung	640	5	0	keine Berr.	keine Berr.
Chemie und Petrochemie	2.165	515	792	2,73	0,65
Nicht Eisen Metalle	294	41	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	3.354	2.563	92	36,30	27,74
Fahrzeugbau	1.764	339	755	2,34	0,45
Maschinenbau	29.240	21.114	6.629	4,41	3,18
Bergbau	172	43	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	11.928	7.150	10.421	1,14	0,69
Papier und Druck	13.144	726	554	23,73	1,31
Holzverarbeitung	2.818	3.447	206	13,67	16,72
Bau	20.430	20.553	3.183	6,42	6,46
Textil und Leder	4.307	3.996	2.284	1,89	1,75
Sonstiger produzierender Bereich	16.574	8.606	2.464	6,73	3,49
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	6.436	keine Berr.	keine Berr.
<b>SUMMEN produzierender Bereich</b>	<b>106.830</b>	<b>69.096</b>	<b>33.818</b>	<b>3,16</b>	<b>2,04</b>

**Tabelle 44 Vergleich des Raumwärmebedarfs von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg**

Die unterschiedlichen Berechnungsmethoden für Raumwärme weisen in den meisten Tätigkeitsbereichen große Unterschiede auf. Grundsätzlich können die Werte, welche auf Basis der einzelnen Unternehmen berechnet wurden vernachlässigt werden, da diese aufgrund der stark abweichenden zugeordneten Arbeitsstättenzahlen zu den tatsächlichen Arbeitsstätten in Tabelle 43 nicht aussagekräftig sind. Auch anhand der Skalierungsmethode entstehen erhebliche Differenzen, wobei die Umlage von Salzburg auf die Stadt Salzburg in den meisten Fällen geringere Werte aufweist, als die Umlage von Österreich auf die Stadt Salzburg. Die Umlage auf Basis von Österreich enthält alle energieintensiven Betriebe des Landes, wodurch die Umlage eine homogene Verteilung auf die Arbeitsstättenzahlen in den Bundesländern bzw. den Städten voraussetzt. Anhand der Nutzenergieanalyse des Landes Salzburg kann gezeigt werden, dass dies für das Land Salzburg nicht der Fall ist, da es eine weniger energieintensive Wirtschaft besitzt. Aus diesem Grund werden im Modell die Umlagewerte von Salzburg auf die Stadt Salzburg verwendet.

### Warmwasserbedarf

Warmwasser	Umlage Warmwasser		berechnetes Warmwasser	Differenzen	
	Österreich - Salzburg Stadt	Salzburg - Salzburg Stadt	Salzburg Stadt [M Wh/a]	Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Eisen- und Stahlerzeugung	27	0	0	keine Berr.	keine Berr.
Chemie und Petrochemie	171	309	21	8,34	15,04
Nicht Eisen Metalle	8	1	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	898	631	7	122,30	85,93
Fahrzeugbau	190	14	102	1,85	0,13
Maschinenbau	2.363	3.624	654	3,61	5,54
Bergbau	140	64	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	6.693	2.187	456	14,69	4,80
Papier und Druck	1.356	1.008	30	44,61	33,16
Holzverarbeitung	218	123	14	15,97	9,03
Bau	876	429	206	4,26	2,09
Textil und Leder	174	466	226	0,77	2,07
Sonstiger produzierender Bereich	1.257	1.627	241	5,22	6,76
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	635	keine Berr.	keine Berr.
<b>SUMMEN produzierender Bereich</b>	<b>14.372</b>	<b>10.482</b>	<b>2.592</b>	<b>5,54</b>	<b>4,04</b>

**Tabelle 45 Vergleich des Warmwasserbedarfs von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg**

Im Bereich des Warmwasserbedarfs wird die Berechnungsmethode auf Unternehmensbasis aufgrund der in den meisten Fällen stark abweichenden Arbeitsstättenzuordnungen wiederum ausgeschlossen. Im Vergleich zum Raumwärmebedarf kommt es beim Warmwasserbedarf des Öfteren vor, dass die Umlage von Salzburg auf die Stadt Salzburg höher liegt als die Umlagen auf der Basis von Österreich. Die Gesamtsummen der Umlagen weisen eine prozentuell vergleichbare Abweichung mit dem Raumwärmebedarf auf. Um Konsistenz zu gewährleisten werden wiederum die Werte der Umlage Salzburg – Salzburg Stadt gewählt.

## Prozesswärmebedarf

Prozesswärme	Umlage Prozesswärme		berechnete Prozesswärme	Differenzen	
	Österreich - Salzburg Stadt	Salzburg - Salzburg Stadt	Salzburg Stadt	Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Eisen- und Stahlerzeugung	1.927	104	0	keine Berr.	keine Berr.
Chemie und Petrochemie	34.497	3.068	28.395	1,21	0,11
Nicht Eisen Metalle	1.141	1.322	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	45.879	56.002	447	102,64	125,28
Fahrzeugbau	336	823	924	0,36	0,89
Maschinenbau	20.337	16.831	0	keine Berr.	keine Berr.
Bergbau	3.175	236	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	84.815	40.371	68.425	1,24	0,59
Papier und Druck	121.696	80.286	5.658	21,51	14,19
Holzverarbeitung	31.008	87.474	562	55,18	155,65
Bau	6.961	2.759	0	keine Berr.	keine Berr.
Textil und Leder	13.980	6.007	0	keine Berr.	keine Berr.
Sonstiger produzierender Bereich	8.948	15.120	1.484	6,03	10,19
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	0	keine Berr.	keine Berr.
<b>SUMMEN produzierender Bereich</b>	<b>374.701</b>	<b>310.404</b>	<b>105.894</b>	<b>3,54</b>	<b>2,93</b>

**Tabelle 46 Vergleich des Prozesswärmebedarfs von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg**

Vergleicht man die Summe aus gewähltem Raumwärmebedarf und Warmwasserbedarf von Industriebetrieben in Salzburg (79,6 GWh) mit dem im Energiebericht 2013 der Stadt Salzburg angegebenen Wert inkl. Prozesswärme (78 GWh), muss festgestellt werden, dass dieser anhand der gewählten Berechnungsmethode bereits überschritten ist. Wählt man dennoch die Umlage von Salzburg auf die Stadt Salzburg und den laut Aurelia Datenbank ermittelten prozentuellen Prozesswärmebedarf eines Temperaturniveaus wie in Kapitel 3.2.1.2 berechnet und in Tabelle 47 dargestellt zur Aufteilung des gewählten Prozesswärmebedarfs, ergibt sich für den Niedertemperaturbereich ein Prozesswärmebedarf von 138 GWh. Da der Wert über der Summe aus Raumwärme- und Warmwasserbedarf in Industriebetrieben liegt, aber keine energieintensiven Unternehmen in Salzburg identifiziert werden konnten, wird die Höhe dieses Wertes in Frage gestellt. Zieht man Vergleiche mit der Stadt Graz fällt auf, dass die Höhe des NT-Prozesswärmebedarfs in Graz nur 23,4% des Bedarfs an Raumwärme und Warmwasser beträgt. Verwendet man diesen Prozentsatz auch in Salzburg ergibt sich ein NT-Prozesswärmebedarf von 18,62 GWh. Um ein realistisches Modell zu gewährleisten, wird der NT-Prozesswärmebedarf im Fall von Salzburg auf null gesetzt, da bereits der Raumwärmebedarf und Prozesswärmebedarf die Nachfrage, welche durch das Fernwärmenetz gedeckt werden kann, übersteigt.

	Gesamte Prozesswärme (AURELIA)	NT- Prozesswärme	MT- Prozesswärme	HT- Prozesswärme
Eisen- und Stahlerzeugung	0	33,00%	33,00%	33,00%
Chemie und Petrochemie	28.395	3,82%	96,18%	0,00%
Nicht Eisen Metalle	0	33,00%	33,00%	33,00%
Steine und Erden, Glas	447	0,00%	9,40%	90,60%
Fahrzeugbau	924	27,27%	27,27%	45,45%
Maschinenbau	0	33,00%	33,00%	33,00%
Bergbau	0	33,00%	33,00%	33,00%
Nahrungs- und Genußm., Tabak	68.425	84,05%	15,95%	0,00%
Papier und Druck	5.658	0,00%	100,00%	0,00%
Holzverarbeitung	562	100,00%	0,00%	0,00%
Bau	0	33,00%	33,00%	33,00%
Textil und Leder	0	33,00%	33,00%	33,00%
Sonstiger produzierender Bereich	1.484	46,07%	0,00%	53,93%

Tabelle 47 Prozentuelle Aufteilung des Prozesswärmebedarfs auf unterschiedliche Temperaturniveaus laut Bereichen des produzierenden Sektors in Salzburg

### Kühlungsbedarf

Kühlung	Umlage Kühlung el.		Mittelwert Umlagen
	Österreich - Salzburg	Salzburg - Salzburg	
Eisen- und Stahlerzeugung	11	0	6
Chemie und Petrochemie	434	1.049	742
Nicht Eisen Metalle	0	1	0
Steine und Erden, Glas	202	90	146
Fahrzeugbau	81	89	85
Maschinenbau	1.541	3.900	2.720
Bergbau	24	13	19
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	11.379	5.253	8.316
Papier und Druck	326	752	539
Holzverarbeitung	121	32	77
Bau	332	461	396
Textil und Leder	560	612	586
Sonstiger produzierender Bereich	2.377	8.074	5.226
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	0
SUMMEN produzierender Bereich	17.388	20.325	18.857

Tabelle 48 Bedarf an elektrischer Kühlung von Industriebetrieben in Salzburg anhand der Skalierungsmethode

Kühlung	Umlage Fernkälte		Mittelwert Umlagen	Umlage Kühlung sonst.		Mittelwert Umlagen
	Österreich - Salzburg	Salzburg - Salzburg		Österreich - Salzburg	Salzburg - Salzburg	
Eisen- und Stahlerzeugung	0	0	0	0	0	0
Chemie und Petrochemie	26	0	13	0	0	0
Nicht Eisen Metalle	0	0	0	0	0	0
Steine und Erden, Glas	0	0	0	4	70	37
Fahrzeugbau	14	0	7	0	0	0
Maschinenbau	0	0	0	523	0	262
Bergbau	0	0	0	0	0	0
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	14	0	7	0	0	0
Papier und Druck	0	0	0	10	96	53
Holzverarbeitung	0	0	0	0	0	0
Bau	0	0	0	5	64	34
Textil und Leder	0	0	0	0	0	0
Sonstiger produzierender Bereich	100	0	50	0	0	0
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	0	0	0	0
<b>SUMMEN produzierender Bereich</b>	<b>153</b>	<b>0</b>	<b>77</b>	<b>542</b>	<b>230</b>	<b>386</b>

Tabelle 49 Fernkälte und sonstige Kühlung von Industriebetrieben in Salzburg anhand der Skalierungsmethode

Tabelle 48 und Tabelle 49 zeigen den Kühlbedarf in der Stadt Salzburg anhand der Umlagemethode. Da die Gesamtsummen der Umlagen keine großen Abweichungen aufweisen werden wiederum die Mittelwerte der Umlagen verwendet. In der Nutzenergieanalyse das Landes Salzburg ist kein Fernkältebedarf angeführt, wodurch dieser für die Stadt Salzburg auch auf null gesetzt wird.

## Elektrische Energie

Elektrische Energie	Umlage Stromverbrauch		berechneter Stromverbrauch	Differenzen	
	Österreich - Salzburg Stadt	Salzburg - Salzburg Stadt		Salzburg Stadt	Faktor Umlage zu berechneter Wert
Eisen- und Stahlerzeugung	844	6	0	keine Berr.	keine Berr.
Chemie und Petrochemie	19.381	1.026	959	20,21	1,07
Nicht Eisen Metalle	282	22	0	keine Berr.	keine Berr.
Steine und Erden, Glas	5.670	4.179	1.842	3,08	2,27
Fahrzeugbau	1.361	1.373	1.833	0,74	0,75
Maschinenbau	26.541	29.509	52.094	0,51	0,57
Bergbau	3.492	2.806	0	keine Berr.	keine Berr.
Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	29.700	23.990	31.618	0,94	0,76
Papier und Druck	41.322	22.224	21.391	1,93	1,04
Holzverarbeitung	8.958	18.964	18.295	0,49	1,04
Bau	8.422	7.335	3.573	2,36	2,05
Textil und Leder	12.595	4.591	7.864	1,60	0,58
Sonstiger produzierender Bereich	27.892	20.420	20.766	1,34	0,98
produzierendes Gewerbe (nicht erfasst)	0	0	16.917	keine Berr.	keine Berr.
<b>SUMMEN produzierender Bereich</b>	<b>186.460</b>	<b>136.445</b>	<b>177.153</b>	<b>1,05</b>	<b>0,77</b>

Tabelle 50 Vergleich des Bedarfs an elektrischer Energie von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg

Die bei der Umlagemethode verwendeten Verbrauchswerte an elektrischer Energie aus den Nutzenergieanalysen enthalten keine Bedarfswerte zur Erzeugung von Wärme und Kälte, wodurch diese für die Modellberechnung herangezogen werden. Im Großteil der Bereiche treten

vergleichbare Werte auf, wobei zum Beispiel in der Holzverarbeitung und dem Bereich Papier und Druck erhebliche Unterschiede bestehen. Die Energiebilanz der Stadt Salzburg gibt einen Gesamtverbrauch an elektrischer Energie 850 GWh/a an. Um diesen Wert anhand der Berechnungen nahezu erreichen zu können wird die Methode mit dem höchsten Gesamtstromverbrauch gewählt. Dies ist die Methode der Umlage von Österreich auf die Stadt Salzburg.

### 3.3.1.3. Öffentliche Sektor und private Dienstleistungen, Landwirtschaft, Verkehr

Wie im Fall von Graz werden in diesen Bereichen aufgrund der geringen Abweichungen die Mittelwerte der Umlagen als Modellinputdaten gewählt. Die Aufteilung auf die Unterkategorien erfolgt ebenfalls identisch.

#### Raumwärme- und Warmwasserbedarf

Raumwärme	Umlage Raumwärme		berechnete Raumwärme	Differenzen	
	Österreich - Salzburg Stadt	Salzburg - Salzburg Stadt	Salzburg Stadt [M Wh/a]	Faktor Umlage zu berechneter Wert	
Öffentl. und Priv. Dienstl.	689.290	696.363	295.479	133%	136%
Landwirtschaft	4.772	4.942	0	keine Berr.	keine Berr.

Tabelle 51 Vergleich des Raumwärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft)

Warmwasser	berechnetes Warmwasser
	Salzburg Stadt [M Wh/a]
Öffentl. und Priv. Dienstl.	19.486
Landwirtschaft	0

Tabelle 52 Berechneter Warmwasserbedarfs in Salzburg (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft)

#### Prozesswärmebedarf

Prozesswärme	Umlage Prozesswärme	
	Österreich - Salzburg Stadt	Salzburg - Salzburg Stadt
Öffentl. und Priv. Dienstl.	213.737	231.424
Landwirtschaft	755	721

Tabelle 53 Umlagen des Prozesswärmebedarfs auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen - Landwirtschaft)

## Elektrische Energie

Elektrische Energie	Umlage Stromverbrauch	
	Österreich - Salzburg Stadt	Salzburg - Salzburg Stadt
Öffentl. und Priv. Dienstl.	153.336	171.012
Landwirtschaft	1.047	1.073
Verkehr	83.493	91.901

**Tabelle 54 Umlagen des Bedarfs an elektrischer Energie auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen - Landwirtschaft)**

Die Stadt **Hallein** ist über eine 19 km lange Fernwärmeleitung an das Fernwärmenetz der Stadt Salzburg angeschlossen. Hinsichtlich des Fernwärmeausbaus wird diese Region nicht berücksichtigt, die zusätzlichen Energieproduzenten und Verbraucher werden in einem Modelldurchlauf (Kapitel 4.3.2.3) aber aufgenommen. Die zusätzlichen Energieproduzenten werden in Kapitel 3.2.4 beschrieben, wobei die zusätzlichen Verbraucher wie folgt berücksichtigt werden. Auf der Webseite der Statistik Austria stehen keine Zahlen zu den Arbeitsstätten, Wohneinheiten und Gebäuden in Hallein zur Verfügung. Aus diesem Grund können die in Kapitel 3.1.1 Methoden nicht zur Anwendung kommen. Es ist bekannt, dass 699 MWh an Fernwärme über das Fernwärmenetz in Salzburg und Hallein verteilt, wobei 555 GWh in Salzburg nachgefragt werden (Huemer et al., 2013; Salzburg AG, 2013). Berücksichtigt man die Netzverluste, welche mit 10% angesetzt wurden, ergibt sich ein Fernwärmebedarf von 629 GWh im Verbundnetz. Erhöht man den Wärmebedarf aller Verbraucherkategorien um den Faktor der bezogenen Leistung von 555 GWh in Salzburg zu den 629 GWh im Verbundnetz, kann der Wärmebedarf der einzelnen Kategorien abgeschätzt werden. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass die Verbraucher in Hallein die gleiche Struktur wie in Salzburg aufweisen.

Hinsichtlich der Stromnachfrage stehen keine weiteren Daten zur Verfügung, welche aus diesem Grund um das Verhältnis von zusätzlichen Einwohnern in jeder Verbraucherkategorie erhöht wird. Dadurch steigt der Gesamtstromverbrauch von 710 GWh auf 806 GWh.

		KAT	RW	WW	NT	MT	HT	K_EL	K_FW	K_SONST	STROM
Energie Haushalte Salzburg	Einfamilienhaushalt alt	EFH_alt	126.265	8.502	0	0	0	285	0	0	13.874
	Einfamilienhaushalt neu	EFH_neu	67.618	6.945	0	0	0	233	0	0	11.334
	Mehrfamilienhaushalt alt	MFH_alt	433.543	56.880	0	0	0	2.372	0	0	115.303
	Mehrfamilienhaushalt neu	MFH_neu	250.222	49.650	0	0	0	2.012	0	0	97.798
	SUMME		877.647	121.978	0	0	0	4.903			238.309
Öffentliche und private Dienstleistungen	Verkauf		216.655	14.288	74.194	0	0	1.351	0	0	52.706
	Gewerbe		216.655	14.288	74.194	0	0	1.351	0	0	52.706
	Verwaltung		216.655	14.288	74.194	0	0	1.351	0	0	52.706
	SUMME		649.964	42.863	222.581	0	0	4.054	0	0	158.119
Landwirtschaft, Verkehr	Landwirtschaft		4.371	486	738	0	0	0	0	0	1.060
	Verkehr		0	0	0	0	0	0	0	0	87.697
	SUMME		4.371	486	738	0	0	0	0	0	88.757
	SUMMEN		1.531.983	165.326	223.319	0	0	8.957	0	0	485.185
Energiebedarf Industrie	Eisen- und Stahlerzeugung	Industrie	5	0	0	34	34	6	0	0	844
	Chemie und Petrochemie	Industrie	515	309	0	2.951	0	742	0	0	19.381
	Nicht Eisen Metalle	Industrie	41	1	0	436	436	0	0	0	282
	Steine und Erden, Glas	Industrie	2.563	631	0	5.262	50.740	146	0	37	5.670
	Fahrzeugbau	Industrie	339	14	0	224	374	85	0	0	1.361
	Maschinenbau	Industrie	21.114	3.624	0	5.554	5.554	2.720	0	262	26.541
	Bergbau	Industrie	43	64	0	78	78	19	0	0	3.492
	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Industrie	7.150	2.187	0	6.437	0	8.316	0	0	29.700
	Papier und Druck	Industrie	726	1.008	0	80.286	0	539	0	53	41.322
	Holzverarbeitung	Industrie	3.447	123	0	0	0	77	0	0	8.958
	Bau	Industrie	20.553	429	0	911	911	396	0	34	8.422
	Textil und Leder	Industrie	3.996	466	0	1.982	1.982	586	0	0	12.595
	Sonstiger produzierender Bereich	Industrie	8.606	1.627	0	0	8.154	5.226	0	0	27.892
		SUMME		69.096	10.482	0	104.156	68.263	18.857	0	386
	SUMME mit Industrie		1.601.079	175.808	223.319	104.156	68.263	27.814	0	386	671.646

KAT...Kategorie

RW...Raumwärmebedarf [MWh<sub>th</sub>/a]WW...Warmwasserbedarf [MWh<sub>th</sub>/a]NT...Niedertemperatur-Prozesswärmebedarf [MWh<sub>th</sub>/a]MT...Mitteltemperatur-Prozesswärmebedarf [MWh<sub>th</sub>/a]HT...Hochtemperatur-Prozesswärmebedarf [MWh<sub>th</sub>/a]

K\_EL...Kühlung elektrisch [MWh/a]

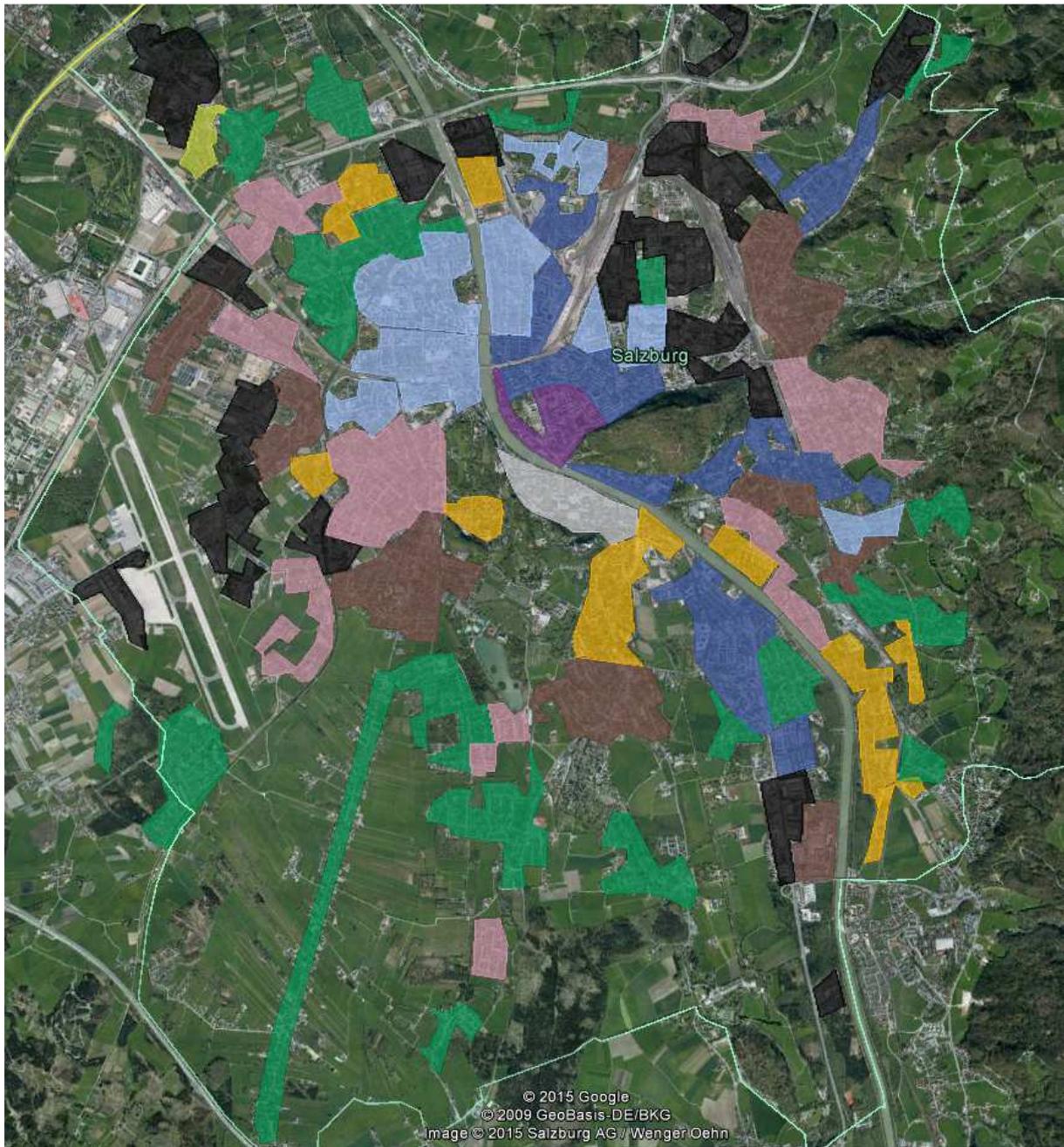
K\_FW...Kühlung Fernkälte [MWh<sub>th</sub>/a]K\_SONST...Kühlung sonstige [MWh<sub>th</sub>/a]

STROM...Strombedarf [MWh/a]

### 3.3.2. Zeitliche Aufteilung Salzburg

Zur zeitlichen Aufteilung des Wärme- und Strombedarfs werden den Verbrauchssektoren die gleichen Lastprofile wie in Tabelle 30 für Graz dargestellt zugeordnet (Kapitel 3.2.2). Trotz leicht unterschiedlichen Außentemperaturen zwischen Salzburg und Graz sind auf den Nachfrageprofilen wie in Abbildung 11 und Abbildung 12 keine Unterschiede zwischen den beiden Städten erkennbar, warum auf die erneute Darstellung in diesem Kapitel verzichtet wird.

### 3.3.3. Räumliche Aufteilung Salzburg



Typ01	Typ02	Typ04	Typ05a	Typ05b	
Typ06	Typ07a	Typ07b	Typ08	Typ09	Typ11b

Abbildung 16 Einteilung in Siedlungsgebiete Salzburg

Wie in Abbildung 16 dargestellt wird Salzburg in 81 Siedlungsgebiete unterteilt. Dabei wird eine Gesamtfläche von 23,24 km<sup>2</sup> abgedeckt. Die Gebiete wurden wiederum anhand der in der Legende von Abbildung 16 dargestellten Farben eingefärbt, um den Typ des Gebietes erkennbar zu machen. Da keine energieintensiven Industriebetriebe identifiziert und einzelnen Gebieten zugeordnet wurden, weisen alle Gebiete eines Typs die in Tabelle 56 angegebenen Raumwärmedichten auf.

Salzburg	Anzahl Gebiete	Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Wärmedichte [GWh/km <sup>2</sup> a]
Typ01	1	0,10	30,1
Typ02	17	5,89	41,8
Typ04	1	0,13	32,5
Typ05a	9	2,91	48,3
Typ05b	8	2,79	54,2
Typ06	9	1,65	68,0
Typ07a	10	2,42	90,7
Typ07b	8	2,50	98,7
Typ08	1	0,33	144,2
Typ09	1	0,39	129,0
Typ11b	16	4,13	96,5
Gesamt	81	23,24	

**Tabelle 56 Wärmedichten der Siedlungstypen in Salzburg**

Wie im Falle von Graz wird der Versorgungsgrad der einzelnen Gebiete geschätzt und bewertet, ob im Zuge einer Investition in das Fernwärmenetz nur der Hausanschluss oder zusätzlich ein Unterverteilnetz verlegt werden muss. Das bestehende Fernwärmenetz in Salzburg ist in Abbildung 17 dargestellt. Im Stadtzentrum wurden Deckungsgrade bis zu 90% und in den äußeren, an das Fernwärmenetz angrenzende Stadtteilen, Deckungsgrade von 0% festgelegt, wobei in manchen Gebieten eine Ausbaumöglichkeit mit Unterverteilnetz festgelegt wurde. Im Jahr 2013 wurden in Salzburg 555 GWh Wärme aus dem Fernwärmenetz bezogen (Huemer et al., 2013). Durch die definierten Deckungsgrade werden vor dem Durchlauf des Modells und der Möglichkeit das Fernwärmenetz auszubauen 583 GWh abgefragt.

Um in weiterer Folge den Energiebedarf inkl. der Stadt Hallein zu berücksichtigen, werden die Gebäudeanzahl und die Flächen der Siedlungsgebiete um den Faktor des Bedarfsanstiegs an Wärme erhöht.

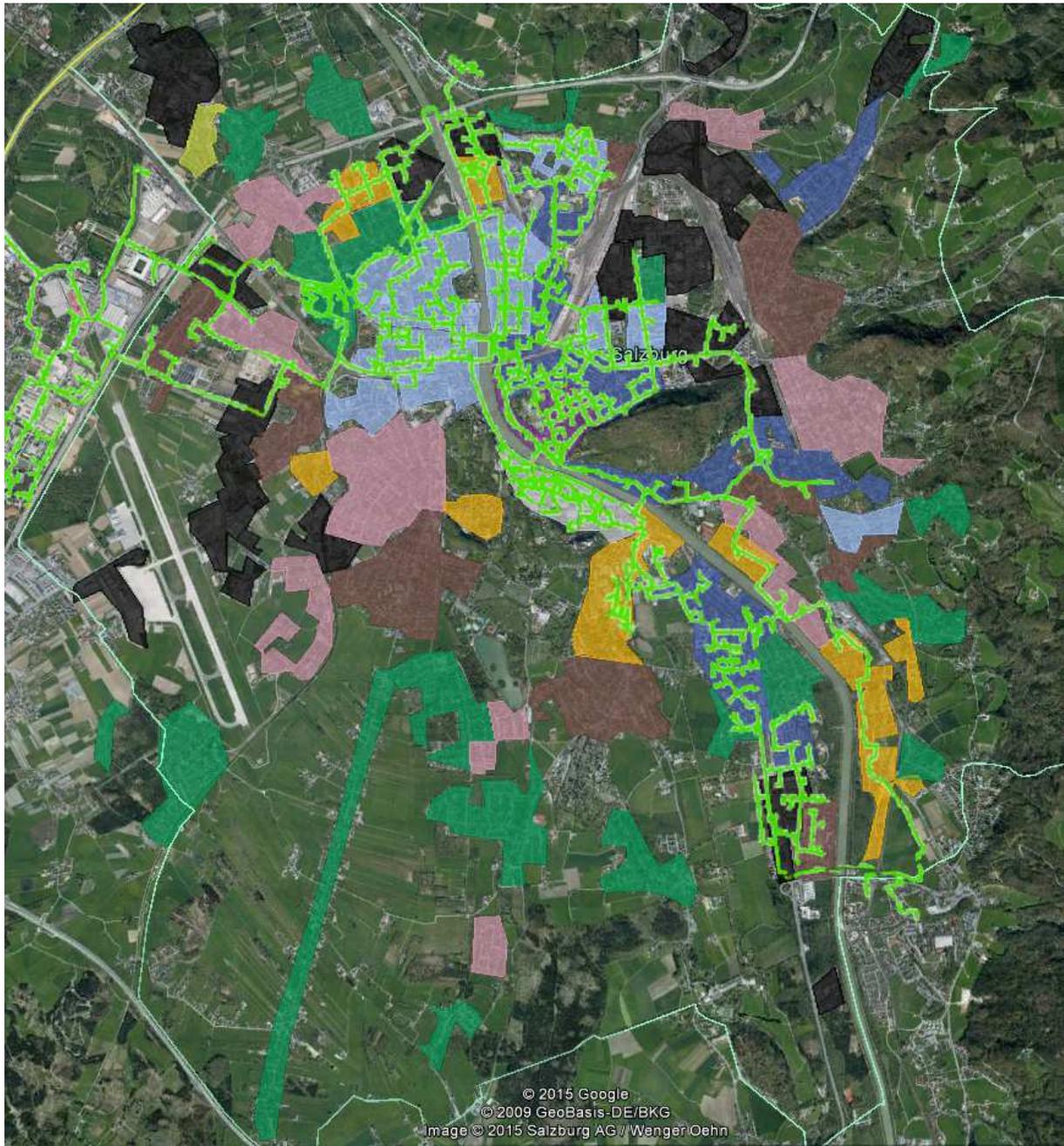


Abbildung 17 Fernwärmenetz in Salzburg

### 3.3.4. Technologien

Die Modellierung der Technologien erfolgt wiederum wie in (Büchele, 2013) beschrieben. In Salzburg sind 3 Anlagen die das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung nutzen und 3 Fernheizwerke im Einsatz.

#### Kraft-Wärme-Kopplung

Wie im Fall von Graz wird die Stromverlustzahl von KWK-Anlagen bei 0,15 festgesetzt.

Die leistungsstärkste KWK-Anlage in Salzburg ist das Heizkraftwerk Salzburg Mitte, welches über eine GuD-Anlage mit folgenden Daten verfügt (Böhmer, 2009; "Heizkraftwerk Salzburg Mitte," 2015; Salzburg AG, 2013):

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale elektrische Nettoleistung	$P_{max}$	83,66	MW <sub>el</sub>
Max. el. Nettoleistung bei max. Wärmeauskopplung	$P_{FWmax}$	64,61	MW <sub>el</sub>
Minimale elektrische Nettoleistung	$P_{min}$	26,77	MW <sub>el</sub>
Maximale thermische Leistung	$Q_{max}$	127	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Leistung	$Q_{min}$	0	MW <sub>th</sub>
Maximaler elektrischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{el}$	51,3	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	1,5	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	5.506	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{elmin}$	28,9	%
Brennstoff	Erdgas		

Tabelle 57 Daten des Heizkraftwerks Mitte (GuD)

Das Heizkraftwerk Nord wird, wie das Heizkraftwerk Mitte, zur Versorgung mit Fernwärme und gleichzeitig zur Stromproduktion genutzt. Dieses Kraftwerk verfügt über drei in diesem Modell eingebundene Einheiten. Einen Grundlastkessel, in welchem eine Dampfturbine zum Einsatz kommt, einen Spitzenlastkessel zur Wärmeerzeugung und einem Speicher. Alle drei Einheiten werden getrennt voneinander modelliert. Aus Tabelle 58 können die Daten zum Grundlastkessel entnommen werden, welcher als Gegendruck-Dampfturbine ausgeführt ist und auch dementsprechend modelliert wird. Als Brennstoff kann sowohl Erdgas als auch Schweröl verwendet werden (Böhmer, 2009; "Heizkraftwerk Salzburg Nord," 2014; Salzburg AG, 2013). Aufgrund des hohen Kostenunterschiedes wird bei der Modellierung Erdgas als Brennstoff eingesetzt. Die minimale thermische Leistung  $Q_{min}$  wird mit 55% der maximalen Leistung  $Q_{max}$  anhand der Richtwerte wie in (Büchele, 2013) angeführt angesetzt. Durch den linearen Zusammenhang zwischen erzeugter Wärme und elektrischer Energie ergibt sich dadurch eine minimale elektrische Leistung  $P_{min}$  von 7,43 MW.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale elektrische Nettoleistung	$P_{max}$	13,5	MW <sub>el</sub>
Minimale elektrische Nettoleistung	$P_{min}$	7,43	MW <sub>el</sub>
Maximale thermische Leistung	$Q_{max}$	49,5	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Leistung	$Q_{min}$	27,23	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{ges}$	87,4	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	1.838	EUR
Brennstoff	Erdgas		

Tabelle 58 Daten des Heizkraftwerks Nord (GD)

Die dritte Anlage steht in Siezenheim im Westen von Salzburg und speist wiederum in das Fernwärmenetz von Salzburg ein. Beim Heizkraftwerk Siezenheim handelt es sich um eine Biomasseanlage, welche auf dem Prinzip des Rankine Prozess basiert und deshalb als Gegendruck-Dampfturbine modelliert wird (Eberhartinger-Tafill, 2010; Salzburg AG, 2013).

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale elektrische Nettoleistung	$P_{max}$	1,5	MW <sub>el</sub>
Minimale elektrische Nettoleistung	$P_{min}$	0,83	MW <sub>el</sub>
Maximale thermische Leistung	$Q_{max}$	7,8	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Leistung	$Q_{min}$	4,29	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{ges}$	93	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	200	EUR
Brennstoff	Biomasse		

Tabelle 59 Daten des Heizkraftwerks Siezenheim (GD)

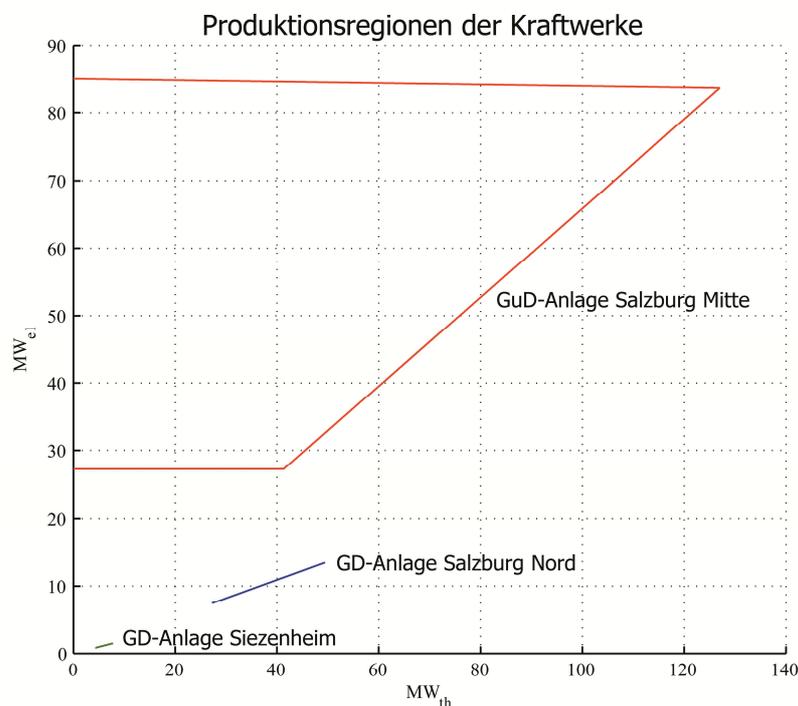


Abbildung 18 Produktionsregionen der KWK-Anlagen in Salzburg

### Fernheizwerke

Für Fernheizwerke wird ein Teillastverlust von 5%, eine Anlaufzeit von 6 Minuten und eine minimale thermische Leistung  $Q_{min}$  mit 10% der maximalen thermischen Leistung  $Q_{max}$  angesetzt (Büchle, 2013).

Das Kraftwerk Salzburg Mitte verfügt wie das Kraftwerk Salzburg Nord über einen Spitzenlastkessel, welcher mit „Heizöl schwer“ betrieben werden kann. Er weist einen etwas höheren Wirkungsgrad als der Spitzenlastkessel im Kraftwerk Salzburg Nord auf.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale thermische Nettoleistung	$Q_{max}$	77,4	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Nettoleistung	$Q_{min}$	7,74	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{th}$	86	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	1.104	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{th\ min}$	81,7	%
Brennstoff	Heizöl schwer		

**Tabelle 60 Daten des Spitzenlastkessels Mitte (FHW)**

Im Zuge der Literaturrecherche konnten die in Tabelle 61 festgehaltenen Werte für den Spitzenlastkessel des Kraftwerks Salzburg Nord ermittelt werden. Aufgrund unterschiedlicher Angaben konnte nicht festgestellt werden, ob Heizöl leicht oder Heizöl schwer als Brennstoff verwendet wird (Böhmer, 2009; "Heizkraftwerk Salzburg Nord," 2014; Salzburg AG, 2013). Da von der Statistik Austria auch keine Jahresdurchschnittspreise zu „Heizöl leicht“ angegeben werden, wird zur Modellierung der Brennstoff „Heizöl schwer“ verwendet.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale thermische Nettoleistung	$Q_{max}$	33	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Nettoleistung	$Q_{min}$	3,3	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{th}$	84,1	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	481	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{th\ min}$	79,9	%
Brennstoff	Heizöl schwer		

**Tabelle 61 Daten des Spitzenlastkessels Nord (FHW)**

Zwei weitere Fernheizwerke, das Heizwerk Elsbethen und Heizwerk Schwarzenbergkaserne versorgen Salzburg mit Fernwärme. Deren Daten werden in den folgenden Tabellen festgehalten (Salzburg AG, 2013).

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale thermische Nettoleistung	$Q_{max}$	17,3	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Nettoleistung	$Q_{min}$	1,73	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{th}$	95,1	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	210	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{th\ min}$	90,3	%
Brennstoff	Erdgas		

**Tabelle 62 Daten des Heizwerk Elsbethen**

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale thermische Nettoleistung	$Q_{max}$	17	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Nettoleistung	$Q_{min}$	1,7	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{th}$	89,5	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	219	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{th\ min}$	85	%
Brennstoff	Erdgas		

**Tabelle 63 Daten des Heizwerk Schwarzenbergkaserne**

## **Müllverbrennungsanlagen**

Im Zuge der Recherchen für diese Arbeit konnten keine modellrelevanten Müllverbrennungsanlagen in Salzburg identifiziert werden.

## **Solarthermie**

In Salzburg sind keine Solarthermieanlagen, welche in das Fernwärmenetz einspeisen, bekannt. Es werden jedoch 37% der 5,72 km<sup>2</sup> Dachflächen in Salzburg als „Sehr gut“ für Solaranlagen geeignet eingestuft, was 2,12 km<sup>2</sup> ergibt (Huemer et al., 2015). Der durchschnittliche Ertrag von 0,419 GWh pro Jahr und m<sup>2</sup> wird aus der Stadt Graz übernommen. Die bereits benutzte Dachfläche wird für das Jahr 2013 mit 31.980 m<sup>2</sup> angegeben, welche aufgrund des stetigen Wachstums auf 33.500 m<sup>2</sup> erhöht wird (Huemer et al., 2013).

## **Photovoltaik**

Im Energiebericht der Stadt Salzburg aus dem Jahr 2013 wird angegeben, dass Photovoltaikanlagen in der Höhe von 2.250 kWp in der Stadt installiert sind (Huemer et al., 2013). Von dieser installierten Leistung entfallen 300,5 kWp auf Anlagen der Salzburg AG, zu denen auch die Erzeugungswerte (MWh/a) und Kollektorflächen (m<sup>2</sup>) bekannt sind. Um die für das Modell erforderlichen Inputdaten der installierten Kollektorfläche (m<sup>2</sup>) zu berechnen, kann aus den Kollektorflächen (m<sup>2</sup>) und installierten Leistung (kWp) ein durchschnittlicher Flächenbedarf pro kWp berechnet werden (Salzburg AG, 2012a). Wird dieser Wert von 8,22 m<sup>2</sup>/kWp, welcher mit den Werten in der Literatur vergleichbar ist (7 – 10 m<sup>2</sup>/kWp) (Land Oberösterreich, 2011) verwendet, kann eine vorinstallierte Fläche von ungefähr 18.500 m<sup>2</sup> ermittelt werden. Verwendet man die Berechnungsmethode wie im Beispiel von Graz, wird die Fläche der vorinstallierten Photovoltaikanlagen mit 52% der Fläche der installierten solarthermischen Anlagen ermittelt, welche 17.420 m<sup>2</sup> einnehmen würden. Im Modell wird der höhere Wert mit 18.500 m<sup>2</sup> verwendet.

## **Wärmepumpen**

Wie im Fall von Graz werden zur Berechnung der installierten Leistung von Wärmepumpen in Salzburg die geförderten Anlagen aus dem Jahr 2010 verwendet. Die in Salzburg geförderten Anlagen belaufen sich im Jahr 2010 auf weniger als 0,3% der Gesamtförderungen in Österreich. Wendet man diesen Prozentsatz wiederum auf die Anzahl der installierten Wärmepumpen in Österreich an, ergeben sich 470 installierte Pumpen im Land Salzburg. Bei einer durchschnittlichen Leistung von 10 kW<sub>Peak</sub> pro Wärmepumpe sind demnach Wärmepumpen mit 4,7 MW<sub>Peak</sub> Leistung im Land Salzburg installiert. Alleine für die Stadt Salzburg wird im Energiebericht des Jahres 2013 eine Wärmemenge von 15.000 MWh, welche durch Wärmepumpen erzeugt wurde, angegeben. Aufgrund der errechneten Leistung und den damit verbundenen Volllaststunden kann die errechnete installierte Leistung als unrealistisch angesehen werden. Um die installierte Leistung genauer zu berechnen, wird der Maximalwert der Multiplikation der erzeugten 15.000 MWh mit dem Wärmeprofil bestehend aus Raumwärme, Warmwasser und Niedertemperatur in Salzburg ermittelt, welcher sich auf 5,47 MW beläuft.

## Windkraftanlagen

Auch in Salzburg und dessen Umgebung werden von der IG Windkraft keine Windkraftanlagen geführt, wodurch diese Technologie wiederum aus dem Modell genommen wird und keine Ausbaumöglichkeiten gegeben sind (IG Windkraft, 2015).

## Gastherme

Der Ausbaugrad von Gasthermen wird in einer Höhe angesetzt, sodass sie aufgrund ihrer Leistung den gesamten Wärmebedarf im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet decken können. Sie gelten dadurch als Referenztechnologie und sind mit einer Leistung von 518 MW ausgebaut.

## Boiler

Es wird von keiner vorinstallierten Leistung des Boilers ausgegangen. Bei der Technologie des Boilers wird die Möglichkeit zum Ausbau einer großtechnischen Anlage gegeben, welche zur Deckung des Energiebedarfs im Fernwärmenetz dient. Für die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie wird ein Wirkungsgrad von 97% angewendet.

## Speicher

Im Heizkraftwerk Nord in Salzburg wurde im Jahr 2011 ein 30 Millionen Liter fassender Heißwasserspeicher in Betrieb genommen. Die darin speicherbare Wärmemenge beträgt 1.100 MWh bei einer Be- und Entladeleistung von 60MW ("Heizkraftwerk Salzburg Nord," 2014; Salzburg AG, 2013). Die Speicherverlustdaten werden aufgrund mangelnder Informationen von (Büchle, 2013) übernommen. Durch die erst kürzliche Inbetriebnahme des Speichers werden im Modell keine Ausbaumöglichkeiten eingeräumt.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Installierte Speicherkapazität	$cap_{HS}$	1.100	MWh <sub>th</sub>
Installierte maximale Lade- bzw. Entladeleistung	$Q_{HS}$	60	MW <sub>th</sub>
Lade- bzw. Entladeverlust	$Loss_{charge}$	1	%
Stündlicher Speicherverlust	$Loss_h$	2	%
Stündlicher Verlust des Fernwärmenetzes	$Loss_{net}$	10	%
Ausbaupotential der Speicherkapazität	$cap_{HS}^{max}$	1.100	MWh <sub>th</sub>
Ausbaupotential der Lade- bzw. Entladeleistung	$Q_{HS}^{max}$	60	MW <sub>th</sub>

Tabelle 64 Daten des Wärmespeichers in Salzburg

## Abwärmeauskopplung

Am Standort der Spanplattenfabrik Kaindl ist eine Abwärmeauskopplungsanlage installiert. Die jährlich eingespeiste Wärmemenge in das Fernwärmenetz beträgt 2,28 GWh, welche außerhalb der Heizperiode eingespeist wird (Böhmer, 2009; Salzburg AG, 2013). Zur zeitlichen Modellierung der Abwärmeauskopplung wurde das Profil ZVAA (siehe Abbildung 8), welches einen Betrieb von Montag bis Freitag vorsieht, verwendet. Die Auskopplung erfolgt nur im 2. und 3. Quartal des Jahres und die maximal ausgekoppelte Wärmeleistung ergibt anhand der Modellierung 1,56 MW.

Da keine weiteren energieintensiven Industriebetriebe in Salzburg identifiziert werden konnten, ist kein Ausbau von Abwärmeauskopplungsanlagen möglich.

## Laufkraftwerke

Zusätzlich zu oben angeführten Anlagen werden in Salzburg zwei Laufkraftwerke betrieben. Die Sohlstufe Lehen und das Laufkraftwerk Eichetmühle. In Wasserkraftwerken wird die potentielle Energie des Wassers über eine Fallhöhe genutzt um in einer Turbine elektrische Energie zu erzeugen. Aus diesem Grund ist die zu erzeugende Energie abhängig von der zur Verfügung stehenden Wassermenge. Laufkraftwerke werden üblicherweise zur Grundlastdeckung genutzt, da durch den ständigen Zulauf von Wasser ein Dauerbetrieb möglich ist. Die Kennwerte der beiden Kraftwerke sind in Tabelle 65 dargestellt (Salzburg AG, 2012b). Die aus der bekannten Jahreserzeugungsmenge und Engpassleistung ermittelten Volllaststunden deuten auf einen Dauerbetrieb hin. Durch die geringe Leistung der Kraftwerke und tragen sie nur einen geringen Beitrag zur Strombedarfsdeckung bei. Aus diesem Grund wird, um das Modell zu vereinfachen, angenommen, dass beide Laufkraftwerke in Salzburg in Dauerbetrieb laufen. Dies vereinfacht die Modellierung erheblich und bringt keine wesentliche Erhöhung des Rechenaufwandes mit sich. Für die Kraftwerke ergeben sich dadurch Dauerleistungen von 9,25 MW und 0,11 MW.

Kraftwerk/Parameter	Wert	Einheit
<b>Sohlstufe Lehen</b>		
Jahreserzeugnis Strom	81.000	MWh <sub>el</sub>
Engpassleistung	13,7	MW
Volllaststunden	5.912	h
Dauerleistung	9,25	MW
<b>Laufkraftwerk Eichetmühle</b>		
Jahreserzeugnis Strom	950	MWh <sub>el</sub>
Engpassleistung	0,14	MW
Volllaststunden	6.786	h
Dauerleistung	0,11	MW

Tabelle 65 Daten der Laufkraftwerke in Salzburg

## Zusätzliche Erzeugungseinheiten in Hallein

### Fernheizwerk

Im Fernheizwerk Hallein sind drei mit Erdgas befeuerte Heißwasserkessel installiert, welche eine gesamte Brennstoffwärmeleistung von 11,95 MW und eine Fernwärmeauskopplung von 10,55 MW aufweisen. Der kleinste Kessel verfügt über eine Auskoppelleistung von 1,75 MW. Daraus ergeben sich folgende Modellierungsparameter für das Heizkraftwerk:

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
Maximale thermische Nettoleistung	$Q_{max}$	10,55	MW <sub>th</sub>
Minimale thermische Nettoleistung	$Q_{min}$	1,75	MW <sub>th</sub>
Maximaler Gesamtwirkungsgrad bei Nennleistung	$\eta_{th}$	88,3	%
Anfahrzeit	$t_{startup}$	0,1	h
Berechnete Anfahrkosten	$c_{startup}$	138	EUR
Berechneter Wirkungsgrad bei Minimalleistung	$\eta_{th\ min}$	83,9	%
Brennstoff	Erdgas		

Tabelle 66 Daten des Heizkraftwerks Hallein

## Photovoltaik

Am Standort des Unternehmens Schweighofer befindet sich eine 9.669 m<sup>2</sup> große Photovoltaikanlage mit einer Engpassleistung von 1.483 kWp (Schweighofer Fiber GmbH, 2014).

## Abwärme

Auf dem Gelände des Unternehmens Schweighofer befindet sich des Weiteren ein Biogas-Blockheizkraftwerk. Dabei wird anhand eines Ottomotors aus dem in einem Biogasreaktor gewonnenem Gas, Strom erzeugt. Der Rauchgasstrom des Heizwerks und der Abgasstrom der Laugenverbrennung werden in das Fernwärmenetz eingespeist. Dabei wird eine jährliche Wärmemenge von 124 GWh und eine Strommenge von 58 GWh erzeugt (Salzburg AG, 2015; Schweighofer Fiber GmbH, 2014).

Zu weiteren Technologien konnten im Zuge der Recherche keine Daten gefunden werden, wodurch auf deren Integration in das Modell verzichtet wird.

## Laufkraftwerke

In Hallein werden zwei Laufkraftwerke betreiben, welche wie in Salzburg in Dauerbetrieb modelliert werden. Die benötigten Daten und berechneten Ergebnisse sind in folgender Tabelle dargestellt (Salzburg AG, 2012b):

Kraftwerk/Parameter	Wert	Einheit
<b>Sohlstufe Hallein</b>		
Jahreserzeugnis Strom	61.000	MWh <sub>el</sub>
Engpassleistung	11,7	MW
Volllaststunden	5.214	h
Dauerleistung	6,96	MW
<b>Laufkraftwerk Gamp</b>		
Jahreserzeugnis Strom	53.380	MWh <sub>el</sub>
Engpassleistung	8,58	MW
Volllaststunden	6.221	h
Dauerleistung	6,09	MW

Tabelle 67 Daten der Laufkraftwerke in Hallein

## 4. Anwendung des Modells

### 4.1. Kostenannahmen und Preise

#### 4.1.1. Brennstoffpreise

Als Brennstoffkosten werden die Rohstoffkosten des Brennstoffes zur Erzeugung von Energie in den modellierten Anlagen angegeben. Zur Ermittlung dieser werden auf Mengeneinheiten bezogene Durchschnittspreise des Jahres 2013 verwendet und als konstant über die Optimierungsperiode angenommen. Daraus kann anhand des Brennwertes der Energieinhalt des Brennstoffes ermittelt werden.

Die Statistik Austria unterscheidet zwischen Haushaltspreis, Industriepreis und einem Einkaufspreis des Rohstoffes für Kraftwerke. Der Bruttopreis setzt sich aus Nettopreis, Energiesteuern und -abgaben und Mehrwertsteuer zusammen. Um vergleichbare Preise für das Gesamtmodell zu gewährleisten, wird die Summe aus den Nettopreisen und den anfallenden Energiesteuern und -abgaben als Preisbasis verwendet.

Gas wird zur Energieerzeugung in Kraftwerken und Thermen verwendet. Für die Technologie „Therme“ wird der Haushaltspreis von Gas, welcher ohne Mehrwertsteuer bei EUR 58 pro MWh liegt, im Modell angewendet. Es wird nur ein Industriepreis von EUR 37 pro MWh (inkl. EUR 7 pro MWh an Energiesteuern und -abgaben) und kein Kraftwerkspreis angegeben (Statistik Austria, 2013). Da der Kraftwerkspreis üblicherweise unter dem Industriepreis liegt, wird des Weiteren der Industriepreis ohne Energiesteuern und -abgaben verwendet, welcher sich auf EUR 30 pro MWh beläuft.

Der Steinkohlepreis für Kraftwerke lag im Jahr 2013 bei EUR 101,18 pro t (Statistik Austria, 2013), welcher anhand des Heizwertes von 30.000 MJ pro t („RP-Energie-Lexikon - Heizwert, Energiedichte,” 2015) und dem Faktor 3.600 MJ pro MWh auf EUR 12,14 pro MWh umgerechnet wird.

Bei „Heizöl schwer“ wird wie im Fall von Steinkohle verfahren, welches einen durchschnittlichen Preis von EUR 481,05 pro t und einen Heizwert von 39.500 MJ pro t aufweist. Dies ergibt einen Preis von EUR 57,73 pro MWh.

Bei der Statistik Austria wird kein durchschnittlicher Biomassepreis angegeben. Der Preis wurde von (Büchele, 2013) übernommen und mit € 20 pro MWh festgelegt.

#### 4.1.2. CO<sub>2</sub> Preise und Emissionsfaktoren

Bei der Modellierung von Erzeugungstechnologien mit CO<sub>2</sub>-Ausstoß werden zusätzlich die durch die Erzeugung entstehenden Zertifikatskosten berücksichtigt. Die Kosten werden wie in (Büchele, 2013) auf den Zertifikatspreis des EEX-Marktes im August 2013 gesetzt, welche bei EUR 5 pro emittierter Tonne CO<sub>2</sub> liegen.

Die Emissionsfaktoren der Brennstoffe werden für Gas auf 0,2 t CO<sub>2</sub> pro MWh, Steinkohle 0,34 t CO<sub>2</sub> pro MWh und Heizöl schwer 0,28 t CO<sub>2</sub> pro MWh festgelegt („e&t - Emission factors,” 2015, „Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe,” 2015). Um den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Stromimport und -export festlegen zu können, werden die durchschnittlichen Emissionen der Stromproduktion in Europa herangezogen. Je nach Zusammensetzung der Erzeugungstechnologien ändert sich dieser Faktor mit der Zeit, wird im

Modell aber als konstant betrachtet und mit 0,363 t CO<sub>2</sub> pro MWh auf den Jahresdurchschnitt 2013 gesetzt (E-Control, 2013). Für Biomasse wird kein Emissionsfaktor verwendet, da sie im Entstehungsprozess gleichviel CO<sub>2</sub> bindet wie sie im Verbrennungsprozess freisetzt.

### 4.1.3. Investitionskosten

Investitionen in neue Technologien sind mit Kosten verbunden, welche bei der Installation der Technologien anfallen. Um Investitionen im Modell zu berücksichtigen, werden Annuitäten der Investitionskosten für die Dauer einer Modellperiode (1 Jahr) berechnet. Dazu werden ein konstanter Zinssatz von 5% und eine einheitliche Lebensdauer von 25 Jahren angenommen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass in den Modellregionen dieser Arbeit kein Windkraftpotential besteht, wodurch diese Technologie aus dem Modell genommen wird. Die Investitionskosten pro zusätzlich installierter Einheit werden von (Büchele, 2013) übernommen und sind in Tabelle 68 dargestellt.

Parameter	Wert	Einheit
Spezifische Investitionskosten PV-Module	1.500.000	€/MW <sub>peak</sub>
Spezifische Investitionskosten ST-Module	600.000	€/1.000 m <sup>2</sup>
Spezifische Investitionskosten Wärmepumpe	1.000.000	€/MW
Spezifische Investitionskosten Boiler	100.000	€/MW
Spezifische Investitionskosten Therme	800.000	€/MW
Spezifische IK Kapazität des Wärmespeicher	24.000	€/MWh
Spezifische IK Ladeleistung des Wärmespeicher	200.000	€/MW

**Tabelle 68 Geschätzte Investitionskosten der erweiterbaren Technologien, (Büchele, 2013)**

Für die Investitionskosten in Fernwärmeleitungen wird, wie in Kapitel 2.2 erwähnt, eine Lebensdauer von 60 Jahren veranschlagt. Die Investitionskosten für die Fernwärmeleitungen sind abhängig vom Siedlungstyp und werden zusätzlich in Unterverteilung und Hausanschluss aufgeteilt. Die Kosten dazu sind in Tabelle 1 dargestellt.

## 4.2. Modelleinstellungen

Die Modellerstellung erfolgte in MATLAB®, wobei die YALMIP-Toolbox verwendet wurde, um eine einfache Modellerstellung anhand der MATLAB® Syntax zu erlauben. Zur Lösung des MILP-Problems wird der externe Solver GUROBI verwendet.

Das bestehende Problem kann in folgender Form angeschrieben werden:

Optimierungsfunktion:  $c^T x$

Bedingungen:  $A x = b$  (lineare Bedingungen)

$l \leq x \leq u$  (begrenzende Bedingungen)

manche oder alle  $x_j$  müssen Integer-Werte annehmen (ganzzahlige Bedingungen)

Der Lösungsalgorithmus des GUROBI Solvers arbeitet anhand der Branch-and-Bound-Methode. Dabei werden die ganzzahligen Bedingungen aus dem bestehenden Modell genommen und eine linearisierte Lösung errechnet. Diese Lösung stellt die untere Schranke des Problems dar, da bei Hinzufügen von ganzzahligen Bedingungen kein geringerer Zielwert gefunden werden kann. In weiterer Folge wird durch schrittweises Hinzufügen von Branching-Bedingungen ein sogenannter Suchbaum generiert. Zu jedem Eintrag des Suchbaums ergibt sich wiederum eine linearisierte Lösung, deren geringster Wert eine neue untere Schranke darstellt. Ein Beispiel einer Branching-

Bedingung wäre die Variable  $x$ , welche einen ganzzahligen Wert annehmen muss und in der linearisierten Lösung auf den Wert 5,7 gesetzt wurde, anhand der beiden Bedingungen  $x \leq 5$  und  $x \geq 6$  einzuschränken, wodurch zwei weitere Subprobleme erzeugt werden. Tritt bei der Berechnung der linearisierten Subprobleme eine Lösung auf, welche alle Bedingungen des MILP- Problems erfüllt, stellt die Lösung mit dem geringsten Zielwert die obere Schranke dar. Der prozentuelle Abstand dieser beiden Schranken wird als MipGap bezeichnet, dessen Prozentwert als Abbruchbedingung im Modell fixiert werden kann (Gurobi Optimization, 2015). Wird das MipGap hoch angesetzt bedeutet dies, dass bei Abbruch eine Lösung des MILP-Problems gefunden wurde, es aber noch weitere Lösungen geben kann, welche einen geringeren Zielwert ergeben. Im Zuge dieser Arbeit wird das MipGap je Szenario unterschiedlich gewählt, um nicht zu hohe Rechenzeiten zu erhalten. Ein MipGap unter 1% wird aber als wünschenswert definiert. Die Lösungen können somit nicht als globales Optimum angesehen werden.

### 4.3. Ergebnisse

Die Modelldurchläufe wurden auf einem Windows 8 Rechner mit einem Intel Core i5-4200U 1,6Ghz und 8 GB RAM durchgeführt.

#### 4.3.1. Graz

##### 4.3.1.1. Durchlauf mit und ohne Ausbau des Fernwärmenetzes

Dieser Durchlauf wird anhand der Grundeinstellungen des Modells durchgeführt. Investitionen in die Erzeugungstechnologien Boiler, Abwärmeauskopplung, Solarthermie, Wärmepumpe und Photovoltaik sind möglich. KWK-Anlagen und Fernheizwerke können nicht ausgebaut werden. Das Fernwärmenetz kann erweitert werden und Stromhandel wird zugelassen. Um Vergleichswerte zu erzeugen wurde ein weiterer Durchlauf, indem kein Fernwärmeausbau zugelassen wird, erstellt.

Der Optimierungsalgorithmus kann das Problem mit Fernwärmeausbau in einer Zeit von 7.121 Sekunden (ca. 2h) lösen. Dabei wird ein „optimality-gap“ von 0,79% erreicht. Die Gesamtkosten belaufen sich auf € 136,51 Mio. und der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß beträgt 1.737 Tausend t. Für den Durchlauf ohne Fernwärmeausbau wurde eine Rechenzeit von 358 Sekunden benötigt, wobei ein Gap von 0,78% blieb. Dabei ergaben sich Gesamtkosten von € 143,09 Mio und ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 1.700 Tausend t.

In den folgenden Betrachtungen wird, wenn nicht anders erwähnt, vom Durchlauf mit Fernwärmeausbau gesprochen.

#### Investitionen

In Tabelle 69 werden die Gebiete angeführt, in denen nach dem Durchlauf ein Ausbau des Fernwärmenetzes vorgeschlagen wird. Bei den angegebenen Gebieten des Fernwärmeausbaus kann nach dem Vergleich mit den in Graz vorhandenen Gebieten ein Zusammenhang anhand deren Kategorisierung nach Siedlungstypen und deren Ausbaugrad des Fernwärmenetzes festgestellt werden. Die Binärvariable  $FW_{Typ}$  in Gl. 6 entscheidet darüber, ob das Unterverteilnetz in einem Gebiet bereits vorhanden ist und dadurch nur Investitionskosten bezüglich des Hausanschlusses anfallen. Ist ein Unterverteilnetz vorhanden, wird in allen Gebieten die Fernwärmeversorgung ausgebaut. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund der geringen Anzahl an Gebieten und dem

dicht ausgebauten Netz in Zentrumsnähe keine Gebiete des Typ08 und Typ09 ohne vorhandenes Unterverteilnetz definiert wurden.

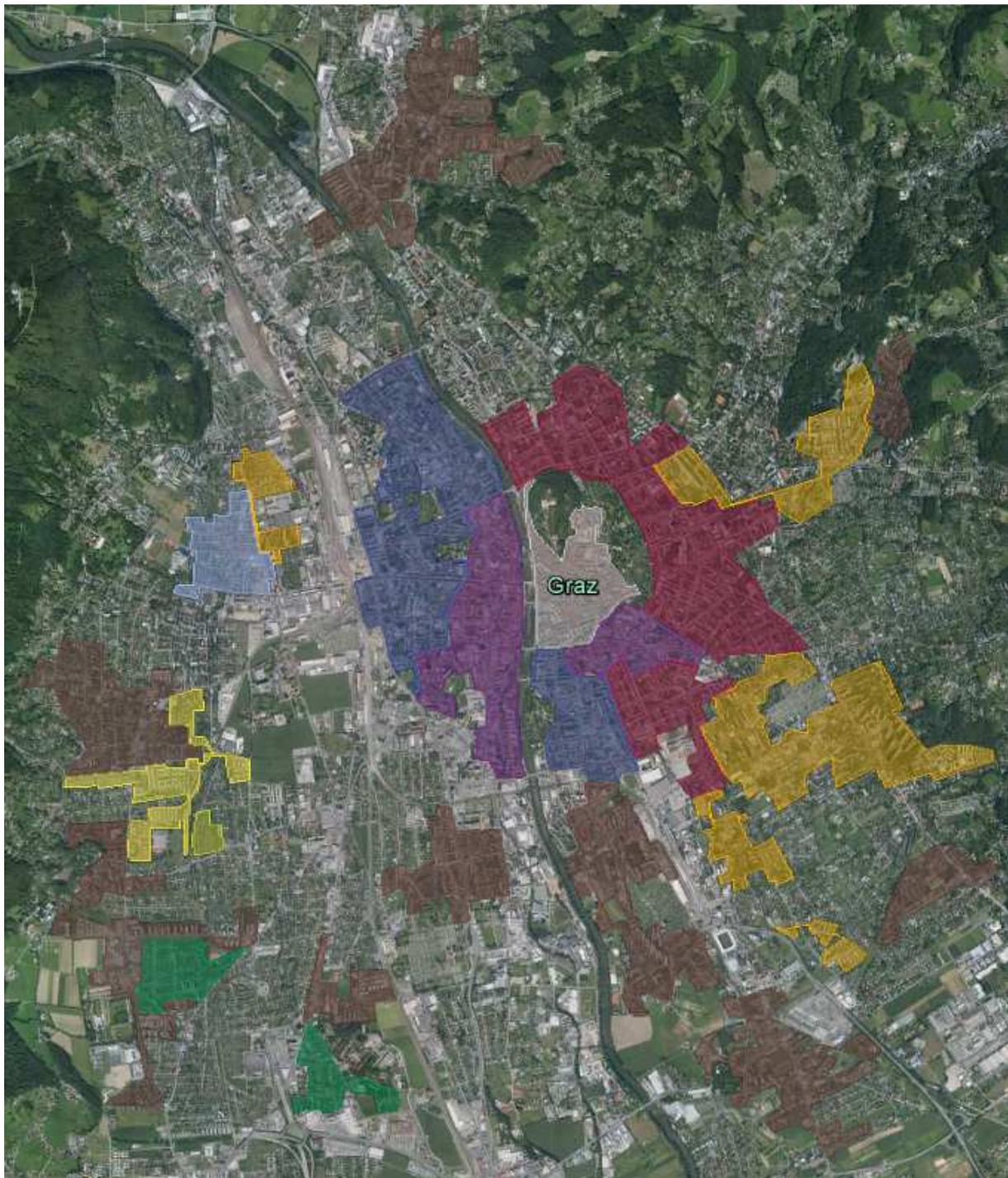
Gebiet	Gebietstyp	Unterverteilung vorhanden [J/N]	Zusätzlicher Ausbau [%]	Deckungsgrad nach dem Ausbau [%]
22	Typ05b	J	75	100
23	Typ02	J	40	100
25	Typ05b	J	95	100
26	Typ02	J	80	100
30	Typ05b	J	55	100
31	Typ05b	J	40	100
34	Typ06	N	95	100
36	Typ05b	N	99	100
41	Typ04	J	40	100
45	Typ07a	N	100	100
46	Typ06	N	85	100
57	Typ08	J	30	100
58	Typ07b	J	50	100
59	Typ08	J	40	100
60	Typ07a	J	45	100
61	Typ07a	J	45	100
62	Typ05b	J	65	100
64	Typ02	N	90	100
66	Typ06	N	70	100
67	Typ06	J	60	100
69	Typ06	N	95	100
71	Typ05b	N	90	100
76	Typ06	J	75	100
77	Typ05b	N	90	100
88	Typ05b	N	80	100
99	Typ07b	J	20	100
100	Typ09	J	15	100

**Tabelle 69 Ausbaugebiete in Graz**

Alle vorgeschlagenen Gebiete werden auf eine maximale Deckung von 100% ausgebaut. Dies ist in der Realität als unrealistisch zu bewerten. In Gebieten des Typ05b und Typ06 wird immer ein Fernwärmeausbau auf 100% vorgeschlagen, auch wenn kein Unterverteilnetz vorhanden ist. Aus den Investitionsvorschlägen des Modells in das Fernwärmenetz ist ersichtlich, dass besonders in Zentrumsnähe, wo bereits ein Unterverteilnetz vorhanden ist, investiert wird. Einen weiteren Faktor stellen die Wärmedichten der Gebiete, welche sich umgekehrt proportional zu den Anschlusskosten laut Tabelle 1 verhalten, dar. Betrachtet man die Kosten für den Anschluss eines Gebäudes inkl. Unterverteilung, ist auffällig, dass die Gesamtkosten pro Gebäude in Gebieten des Typ02 und Typ04 günstiger als im Typ06 wären. Durch die Gewichtung der Gebiete anhand ihrer Gebäudedichte laut Tabelle 10 und der prozentuellen Aufteilung der Gebäudetypen laut Tabelle 9 kommt es dazu, dass anhand der höheren Wärmedichten ein Ausbau in Gebieten dieses Typs kostengünstiger zu bewerten ist. Dies ist auch der Grund warum Gebiete des Typs05b, welche nicht zentral liegen, ausgebaut werden. Durch den Ausbau steigt der Wärmeenergiebedarf im Fernwärmenetz von 907 GWh/a auf 1.649 GWh/a. Vor dem vorgeschlagenen Ausbau waren 31.830 Gebäude in Graz nicht mit Fernwärme versorgt. Durch den Ausbau würden 3.822 neue Anschlüsse hinzugefügt, deren Investitionskosten eine Annuität von € 1,43 Mio. bedeuten.

Um die Nachfrage im Fernwärmegebiet zu decken, wird eine gänzliche Investition in die Abwärmeauskopplung der Papierfabrik Sappi vorgeschlagen. Dabei beläuft sich die Annuität der Investitionskosten auf € 2,13 Mio, um eine jährliche Energiemenge von 200 GWh zur Verfügung zu stellen. Dies ergibt Kosten von € 10,46 pro MWh. Als Vergleichswert können die Grenzkosten der KWK-Anlagen und der Fernheizwerke herangezogen werden, welche sich, bis auf die Ausnahme des Kraftwerks Mellach (ED) (€ 13,42 pro MWh), im Bereich von € 30 pro MWh bewegen. Die beiden

weiteren Möglichkeiten zur Abwärmeauskopplung aus der Brauerei Puntigamer und dem Unternehmen Magna werden aufgrund ihres geringen Potentials unter einer 1 GWh pro Jahr nicht berücksichtigt.



**Abbildung 19 Ausbaugelände in Graz**

Eine Investition in die Erhöhung der Speicherkapazität des Speichers auf 282,13 MWh mit einer Investitionsannuität von € 0,31 Mio. und eine Aufstockung der Ladeleistung auf 56,59 MW mit einer Annuität von € 0,66 Mio. wird berechnet. Zusätzlich werden Investitionen in den Boiler mit einer Annuität € 1,86 Mio. getätigt, um eine Bauleistung von 261,6 MW zu erreichen.

Zur Nachfragedeckung im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet wird eine Erhöhung der Leistung von Wärmepumpen von 20,6 MW auf 419 MW mit einer Investitionsannuität von € 28,27 Mio. berechnet. In die Technologien Photovoltaik, Solarthermie und Therme werden keine Investitionen vorgeschlagen.

Technologie	Graz mit FW-Ausbau		Graz ohne FW-Ausbau	
	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	1,43	3.822 Anschlüsse	0,00	-
Abwärmeauskopplung	2,13	200 GWh	1,52	126 GWh
Speicherkapazität	0,31	182,13 MWh	0,00	-
Speicherladeleistung	0,66	46,59 MW	0,03	2,21 MW
Boiler	1,86	261,58 MW	0,15	20,85 MW
Wärmepumpen	28,27	398,4 MW	38,81	547 MW
<b>GESAMT</b>	<b>34,66</b>		<b>40,51</b>	

Tabelle 70 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne FW-Ausbau in Graz

Durch die hohen Investitionen in strombetriebene Wärmeerzeuger, mit einer zusätzlichen Leistung von 660 MW, steigt die Stromnachfrage in der Heizperiode drastisch an. Die Jahresnachfrage steigt dadurch von 1.564 GWh auf 2.465 GWh. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 20 dargestellt. Die maximal abgefragte Leistung beträgt in diesem Szenario 780 MW, was bei reiner Wirkleistung einen Stromfluss von ungefähr 2 kA ergeben würde. Eine genaue Analyse, ob die Leitungskapazitäten der Stadt Graz diesen Stromfluss erlauben, sprengt den Rahmen dieser Arbeit. Als Vergleichswert kann aber die maximale Scheinleistung von 900 MVA einer 380 kV-Leitung herangezogen werden ("Freileitung," 2015). Da die natürliche Leistung der 380 kV-Leitung bei 600 MW liegt kann behauptet werden, dass der Wert einer abgerufenen Leistung von 780 MW für Graz zu hoch liegt und in Folge Modellen über die Einführung eine Beschränkung nachgedacht werden muss. Auch der rasante Ausbau der Technologien kann als unrealistisch bewertet werden, was einen weiteren Grund für Beschränkungen aufwirft.

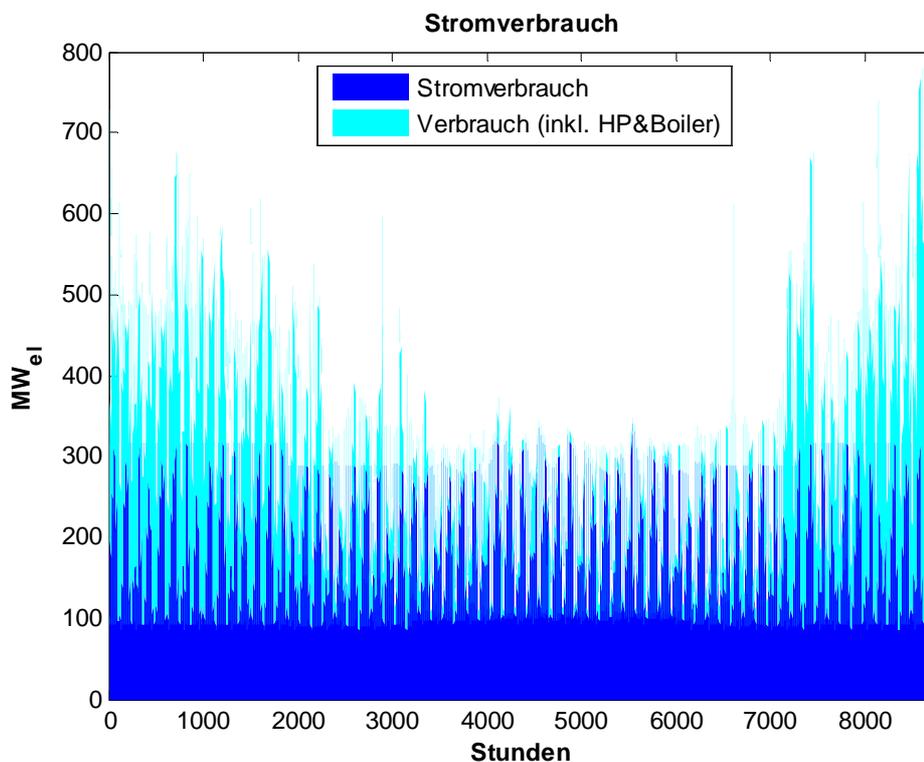


Abbildung 20 Stromnachfrage mit und ohne der Nachfrage von Boiler und Wärmepumpen in Graz (inkl. FW-Ausbau)

## Fernwärmegebiet

Wie bereits erwähnt, erhöht der Ausbau des Fernwärmenetzes die Nachfrage in diesem. Im Fernwärmegebiet stehen KWK-Anlagen, Fernheizwerke, Boiler, Abwärme und Solarthermie zur Nachfragedeckung zur Verfügung. Des Weiteren kann der Speicher mit diesen Technologien geladen und bei vorhandener Ladung auch wieder entladen werden. Die Nachfragedeckung durch Abwärme und Solarthermie weisen aufgrund der Arbeitszeiten in den Abwärmebetrieben und der Sonneneinstrahlung vordefinierte Einspeiseprofile auf und können als gegeben angenommen werden. Wie in Abbildung 2 bereits ersichtlich, speisen alle drei Technologien in das Fernwärmenetz ein, wobei der Boiler mit Strom und FHW und KWK-Anlagen mit Brennstoffen wie Erdgas betrieben werden. Da es sich bei den FHW und KWK-Anlagen um bereits installierte Technologien handelt, hängt deren Produktionsmenge vom Produktionspreis je produzierter Energieeinheit im Vergleich zu alternativen Energien, deren Verfügbarkeit und der zeitlichen Nachfrage ab. Wäre kein Fernwärmeausbau möglich, würden sich die minimalen Kosten aus Investitionssumme in den Boiler und der jeweiligen Erzeugungsmenge multipliziert mit dem Erzeugungspreis im Boiler und den KWK-Anlagen ergeben. Wird das Fernwärmenetz ausgebaut, steigt die Nachfrage nach Wärmeenergie in diesem, welche durch Kraftwerksanlagen oder dem Boiler gedeckt werden kann. Die Deckungsgrade der einzelnen Technologien pendeln sich dort ein, wo die Gesamtsumme aus Erzeugungskosten und Investitionskosten (inkl. Fernwärmeausbau) ein Minimum ergibt.

Abbildung 21 zeigt anhand welcher Technologien die thermische Nachfrage im Fernwärmegebiet Graz gedeckt wird. Die Grundlast wird durch den konstanten Abwärmestrom aus der Papierfabrik Sappi und der Marienhütte, welcher für 14% des gesamten Fernwärmebedarfs aufkommt, gedeckt. Die KWK-Kraftwerke decken 74,5% der Nachfrage, deren Einsatzzeiten in Abbildung 22 dargestellt sind. Dabei ist bereits zu erkennen, dass das Steinkohle-Kraftwerk in Mellach zur Grundlastdeckung verwendet wird, wobei die anderen Kraftwerke zu Spitzenlastzeiten zum Einsatz kommen. Die Boilertechnologie wird auch zur Deckung der Spitzenlast verwendet, welche für 12,2% des gesamten Fernwärmebedarfs aufkommt. Die Solarthermieanlagen sind lediglich für 0,2% des Bedarfs verantwortlich. Die Summe der prozentuellen Deckungen ergibt einen Wert über 100%. Dieser entsteht, da die bereitgestellte Energie der Technologien zum Jahresverbrauch in Relation gesetzt wurde, diese Energien aber teilweise im zur Verfügung stehenden Speicher zwischengespeichert werden und einem Verlust ausgesetzt sind. Das überschüssige Prozent spiegelt diesen Verlust durch die Zwischenspeicherung wider.

Anteile der Anlagengruppen zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet

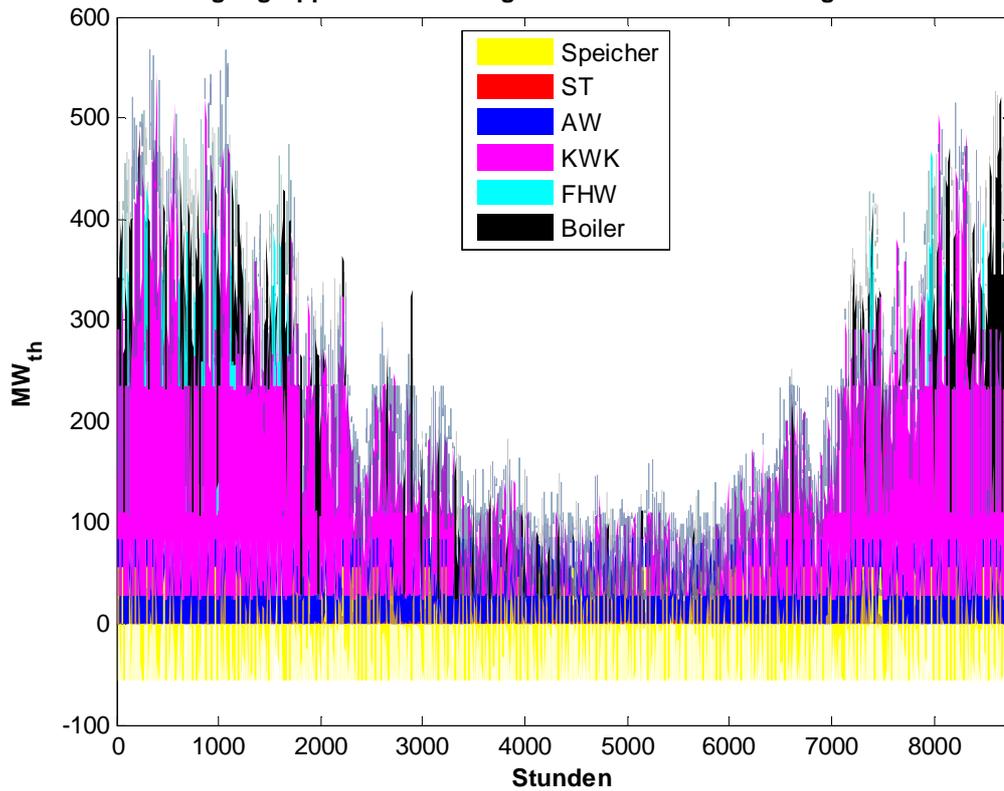


Abbildung 21 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet in Graz (inkl. FW-Ausbau)

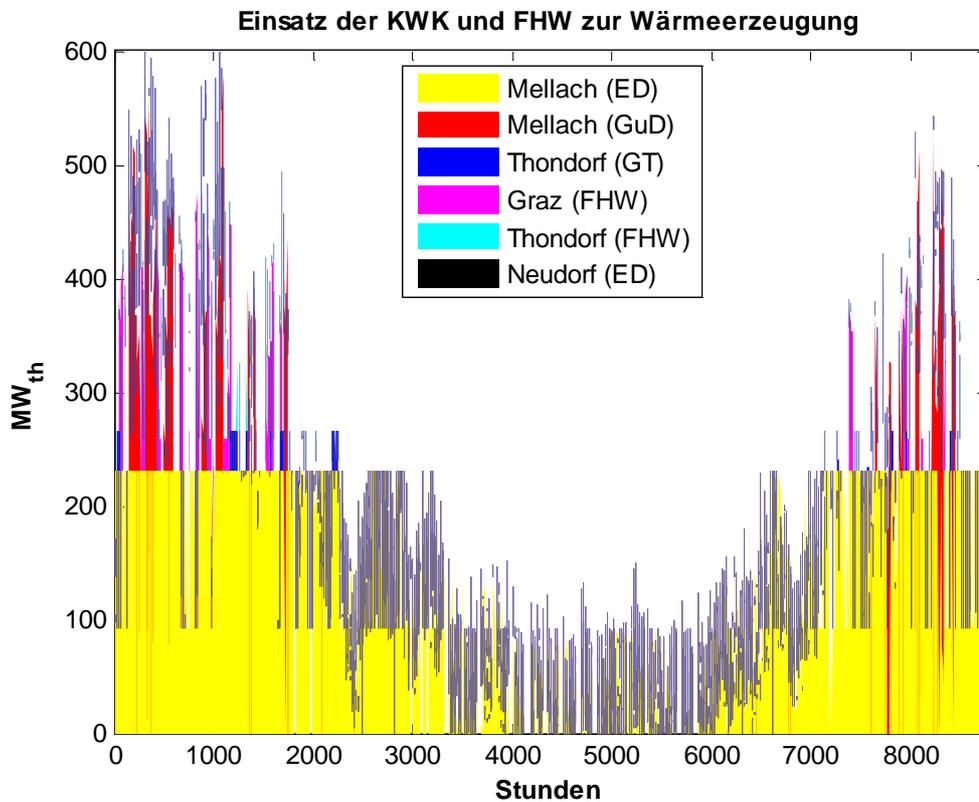


Abbildung 22 Kraftwerkseinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Graz (inkl. FW-Ausbau)

Von den 74,5%, welche durch KWK-Kraftwerke und FHW gedeckt werden, entfällt der Großteil auf das Fernheizkraftwerk Mellach (ED), welches mit Steinkohle betrieben wird und 62% der Gesamtnachfrage deckt (siehe Tabelle 71). Die anderen Kraftwerke decken bis zu 8% der Nachfrage, wobei das Kraftwerk Neudorf gar nicht in Betrieb genommen wird. Das Kraftwerk wurde Ende 2014 stillgelegt, aus Testzwecken aber trotzdem im Modell implementiert. Tabelle 71 zeigt die Übersicht über die Volllaststunden und die produzierte Wärmemenge in den Kraftwerken.

Kraftwerk	Modellierung	Graz mit FW-Ausbau		Graz ohne FW-Ausbau	
		Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]
Mellach	GuD	655	145	424	22
Mellach	ED	6.940	1.137	6.874	787
Neudorf	ED	0	0	0	0
Graz	FHW	248	69	18	5
Thondorf	GT	371	13	23	1
Thondorf	FHW	16	1	0	0
<b>GESAMT</b>			<b>1.365</b>		<b>815</b>

Tabelle 71 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne FW-Ausbau in Graz

Der Ausbau des Fernwärmenetzes hat bewirkt, dass zusätzliche Wärmemengen in diesem zur Verfügung gestellt werden müssen. Dies ist aber durch das Kraftwerk Mellach (ED) aufgrund dessen Betriebes mit Kohle kostengünstig möglich. Die geringere Nachfrage im Fernwärmegebiet ohne Netzausbau bewirkt auch, dass der Boiler weitaus geringer ausgebaut wird und nur einen kleinen Teil zur Nachfragedeckung beisteuert.

Art	Graz mit FW-Ausbau	Graz ohne FW-Ausbau
	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	1.365	815
Abwärme	260	186
Boiler	224	9
Solarthermie	4	4
Speicherverluste	-17	-5
Lade- und Entladeverluste	-3	-1
Überproduktion	-1	0
<b>Gesamt</b>	<b>1.832</b>	<b>1.008</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-183</b>	<b>-101</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>1.649</b>	<b>907</b>

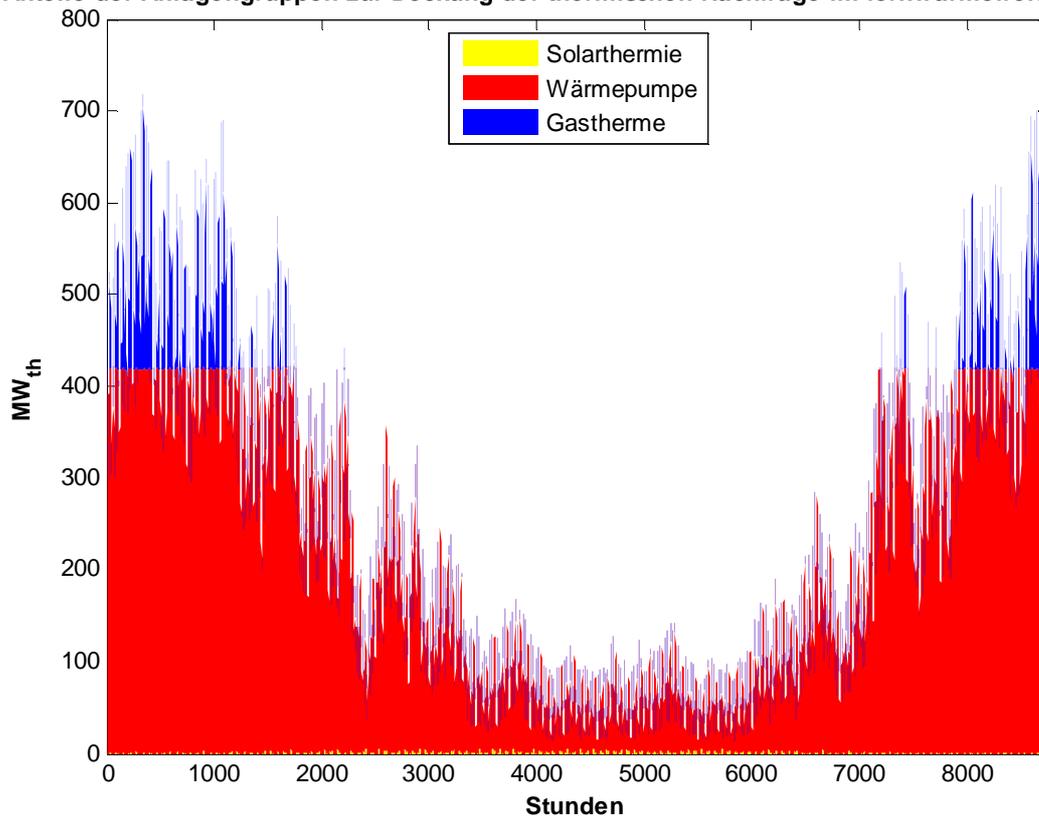
Tabelle 72 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne FW-Ausbau in Graz

Im Durchlauf mit Ausbau des Fernwärmenetzes ist die hohe Ausbauleistung des Boilers kritisch zu betrachten, da die durchschnittliche Leistung eines Boilers bei 13 realisierten Anlagen in Deutschland bei 30 MW liegt, welche zusätzlich in unterschiedlichen Städten errichtet wurden ("Power-to-Heat," 2015). Bei der in diesem Durchlauf installierten Leistung von 262 MW müssten somit 9 Anlagen errichtet werden. Aus diesem Grund muss über eine Leistungsbeschränkung oder Anlagenbeschränkung im Modell nachgedacht werden.

### Restliches Gebiet

Im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet wird stark in die Technologie der Wärmepumpe investiert, welche aus diesem Grund für 94% der Nachfragedeckung verantwortlich ist. Unabhängig vom Stromhandelspreis befindet sich die Wärmepumpe immer in Betrieb. Nur 0,3% der Nachfrage werden anhand der vorhandenen Solarthermieanlagen gedeckt. Zu Spitzenlastzeiten kommen die bereits vorinstallierten Thermen zum Einsatz.

**Anteile der Anlagengruppen zur Deckung der thermischen Nachfrage im fernwärmefreien Gebiet**



**Abbildung 23 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Graz (inkl. FW-Ausbau)**

Im Durchlauf wird die Leistung der Wärmepumpen auf mehr als die 20-fache Leistung der vorinstallierten Pumpen ausgebaut, was als unrealistisch anzusehen ist. Des Weiteren wird im Modell angenommen, dass allen Energieabnehmern auch die Technologie einer Therme zur Verfügung steht, welche in Spitzenlastzeiten zum Einsatz kommt. Dies ist wiederum als unrealistisch anzusehen, wodurch die Notwendigkeit zur Einführung von Beschränkungen gegeben ist.

### Stromnachfrage

Zur Deckung der Stromnachfrage werden die vorhandenen KWK-Anlagen und besonders die Möglichkeit des Stromhandels verwendet. Da keine Investitionen in PV-Anlagen getätigt werden, erzeugen die bestehenden Anlagen nur 1,4 GWh Strom und tragen somit nur sehr gering zur Bedarfsdeckung bei. Die KWK-Anlagen steuern 78% und der Stromhandel 22% bei, um die Nachfrage wie in Abbildung 24 dargestellt, zu decken. In der Abbildung ist besonders auffällig, dass in den Wintermonaten Erzeugungsspitzen in Kombination mit hohen Stromexporten auftreten. Die Erzeugungsspitzen in den Wintermonaten entstehen dadurch, dass zu diesen Zeitpunkten hohe Strommarktpreise vorherrschen und somit durch den Export die Gesamtkosten gesenkt werden können.

Im Fall ohne Ausbau des Fernwärmenetzes weist die Stromnachfrage keinen wesentlichen Unterschied auf. Dies ist dem sehr hohen Leistungsausbau der Wärmepumpe geschuldet.

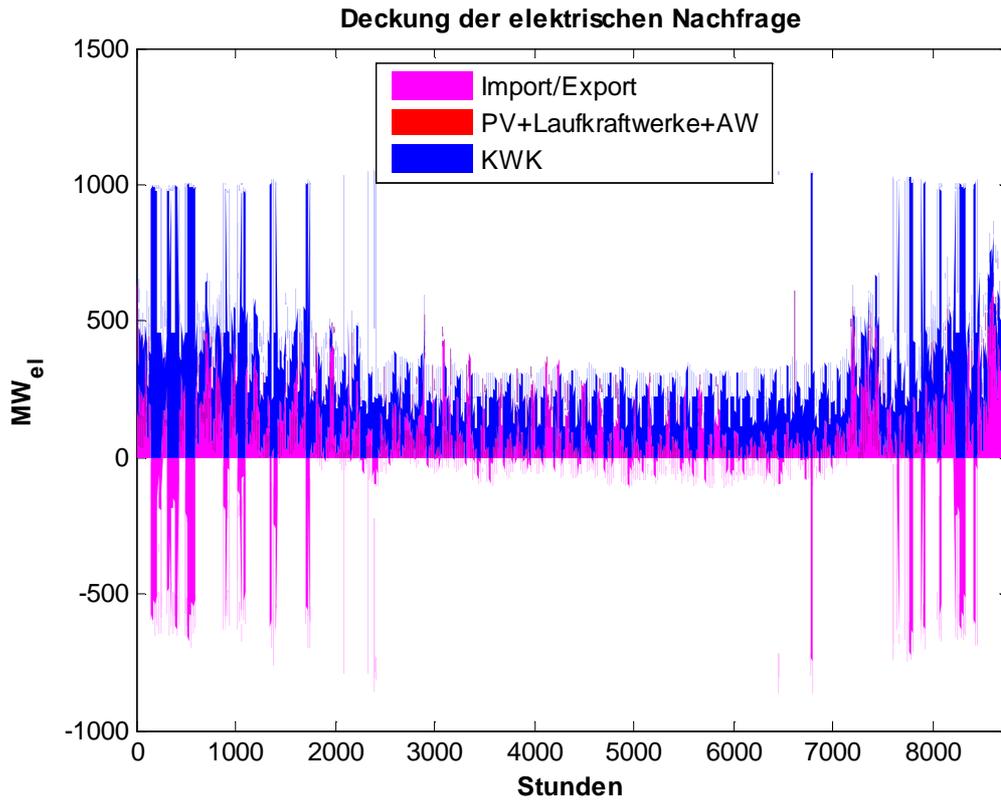


Abbildung 24 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Graz (inkl. FW-Ausbau)

Art	Graz mit FW-Ausbau	Graz ohne FW-Ausbau
	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
KWK	1.921	1.778
PV	1	1
Stromimport	543	711
<b>Gesamt</b>	<b>2.465</b>	<b>2.490</b>

Tabelle 73 Energiebilanz (Strom) mit und ohne FW-Ausbau in Graz

### Kostenübersicht

Kostenart	Graz mit FW-Ausbau	Graz ohne FW-Ausbau
	Kosten [Mio. €]	Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	1,88	2,21
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	88,88	73,39
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	7,88	10,48
Investitionskosten	34,66	40,51
davon:		
Fernwärmenetz	1,43	0,00
Abwärmeauskopplung	2,13	1,52
Speicherkapazität	0,31	0,00
Speicherladeleistung	0,66	0,03
Boiler	1,86	0,15
Wärmepumpen	28,27	38,81
Stromhandel	3,21	16,50
<b>GESAMT</b>	<b>136,51</b>	<b>143,09</b>
	[Tausend t]	[Tausend t]
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß</b>	<b>1.737</b>	<b>1.700</b>

Tabelle 74 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne FW-Ausbau in Graz

Die Vergleichsdaten in Tabelle 70, Tabelle 72, Tabelle 73 und Tabelle 74 zeigen die Auswirkungen des Fernwärmeausbaus in Graz. Wird kein Ausbau des Fernwärmenetzes zugelassen, besteht im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet eine höhere thermische Nachfrage. Diese Nachfrage führt dazu, dass die Erzeugungstechnologie „Wärmepumpe“ zur Bedarfsdeckung weiter ausgebaut wird und insgesamt die Investitionskosten erhöht. Im Gegenzug fällt der Ausbau der Technologie Boiler zur Deckung der Nachfrage im Fernwärmegebiet geringer aus. Aufgrund dieses Sachverhaltes bleibt die Stromnachfrage in beiden Szenarios nahezu konstant. Durch die geringere Wärmenachfrage im Fernwärmegebiet weisen die KWK-Anlagen weniger Einsatzzeiten und Stromproduktionsmengen auf, wodurch der Stromhandel steigt. Der gehandelte Strom ist mit einem konstanten Emissionsfaktor belegt und wird zur Wärmeerzeugung mithilfe der Wärmepumpen verwendet. Da der konstante Emissionsfaktor in Kombination mit der Wärmepumpe unter den Emissionen des eingesetzten Kraftwerkparks liegt, sinkt der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß, wenn das Fernwärmenetz nicht ausgebaut wird. Dies ist besonders durch den hohen Emissionsfaktor von Steinkohle, welche im Kraftwerk Mellach (ED) eingesetzt wird, bedingt. Um diesen Zusammenhang realistischer zu gestalten, müsste der Emissionsfaktor für Stromhandel variabel gestaltet werden, da er zu jedem Zeitpunkt von den eingesetzten Kraftwerken im Gesamtsystem der Stromhandelszone abhängt.

in t	Graz mit FW-Ausbau	Graz ohne FW-Ausbau
CO <sub>2</sub> -Ausstoß KWK und FHW	1.513.300	1.406.200
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Therme	26.700	35.500
CO <sub>2</sub> -Ausstoß EEX-Handel	197.300	258.300
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gesamt</b>	<b>1.737.300</b>	<b>1.700.000</b>

**Tabelle 75** Anteile am CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit und ohne FW-Ausbau in Graz

Auffällig erscheinen auch die unterschiedlichen Investitionen in den Speicher. Der Speicher wird oftmals zur Deckung von Tagesspitzen in der Wärmenachfrage verwendet, wobei er in Zeiten der Überproduktion geladen wird. Wird das Fernwärmenetz ausgebaut, erhöhen sich durch die höhere Gesamtnachfrage im Fernwärmegebiet auch die Tagesspitzen, was einen weiteren Ausbau des Speichers erfordert.

#### **4.3.1.2. Durchlauf mit Stromhandelspreisen aus dem Jahr 2011**

Im Durchlauf laut Kapitel 4.3.1.1 war besonders die hohe Deckung der Stromnachfrage durch Stromhandel auffällig, welche auf die teilweise niedrigen Preise auf dem Spotmarkt zurückzuführen ist. In diesem Durchlauf sollen die Auswirkungen der Änderungen der Strommarktpreise auf die Versorgungsstruktur untersucht werden. Deshalb wird ein Modelldurchlauf mit den Strommarktpreisen aus 2011 durchgeführt. Im Modell werden die stündlichen Strommarktpreise des Jahres 2011 verwendet (“Historische Daten : EXAA Energy Exchange Austria,” 2014). Vor dem Modelldurchlauf kann anhand des gemittelten Jahrespreises, welcher im Jahr 2011 € 44,81 und im Jahr 2013 € 37,43 beträgt, ein merklicher Preisunterschied festgestellt werden. Etwaige andere Einstellungen werden aus dem Durchlauf in Kapitel 4.3.1.1 mit Ausbau des Fernwärmenetzes übernommen.

Der Durchlauf mit den Strommarktpreisen aus dem Jahr 2011 benötigt eine Rechendauer von 3.477 Sekunden (ca. 1 h) und kommt bei einem „optimality-gap“ von 0,78% zum Abschluss. Die Gesamtkosten belaufen sich dabei auf € 139,13 Mio., bei einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 1.835 Tausend t.

## Investitionen

In Tabelle 76 ist ersichtlich, dass sich die Änderung der Strommarktpreise nur gering auf die Investitionen auswirkt. Bei Investitionen in das Fernwärmenetz wird vorgeschlagen, die Gebiete des Durchlaufs mit Strompreisen aus dem Jahr 2013, wie in Tabelle 69 angeführt, auszubauen. Es kommt aber zu der Änderung, dass auch die Gebiete des Typ05a ohne Unterverteilnetz ausgebaut werden. Das Fernwärmenetz wird um 7.345 Anschlüsse erweitert, wodurch auch die Nachfrage in diesem weiter steigt. Durch die zusätzliche Verschiebung der Wärmenachfrage in das Fernwärmegebiet ergibt sich eine Verringerung der Investitionssumme in Wärmepumpen. Auch die Investitionen in den Boiler verringern sich, da die Wärmenachfrage im Fernwärmegebiet aufgrund der höheren Strompreise verstärkt mit den KWK-Anlagen und FHW gedeckt wird (Tabelle 77). Die Technologien Photovoltaik, Solarthermie und Therme werden weiterhin nicht ausgebaut.

Technologie	Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2013		Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2011	
	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	1,43	3.822 Anschlüsse	2,78	7.345 Anschlüsse
Abwärmeauskopplung	2,13	200 GWh	2,13	200 GWh
Speicherkapazität	0,31	182,13 MWh	0,19	108,48 MWh
Speicherladeleistung	0,66	46,59 MW	0,49	34,18 MW
Boiler	1,86	261,58 MW	1,59	224,31 MW
Wärmepumpen	28,27	398,4 MW	25,07	353,33 MW
<b>GESAMT</b>	<b>34,66</b>		<b>32,25</b>	

Tabelle 76 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz

## Nachfragedeckung

Gebiet	Technologie	Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2013	Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2011
		Anteil der Nachfrage [%]	Anteil der Nachfrage [%]
Fernwärmegebiet	Abwärme	14,19	12,53
	Boiler	12,24	4,88
	KWK + FHW	74,42	83,03
	davon:		
	<i>Mellach (ED)</i>	62,02	61,56
	<i>Mellach (GuD)</i>	7,90	13,84
	<i>Restliche KWK + FHW</i>	4,50	7,63
	Solarthermie	0,23	0,21
Speicherverluste	-1,08	-0,65	
	<b>GESAMT</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Restliches Gebiet	Wärmepumpen	93,75	93,35
	Solarthermie	0,31	0,30
	Therme	5,94	6,35
	<b>GESAMT</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Strom	KWK	77,89	113,72
	davon:		
	<i>Mellach (ED)</i>	56,46	73,26
	<i>Mellach (GuD)</i>	21,23	39,89
	<i>Restliche KWK</i>	0,20	0,57
	Photovoltaik	0,06	0,06
	Stromhandel	22,05	-13,78
	<b>GESAMT</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Tabelle 77 Anteile zur Nachfragedeckung mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz

Bei der Deckung der Stromnachfrage in Tabelle 77 ist klar ersichtlich, dass sich diese bei im Mittel höheren Strommarktpreisen in Richtung der KWK Anlagen verschiebt, welche von 77,89% auf 113,72% steigt. Die Deckung über 100% bedeutet, dass in Summe Strom exportiert wird. Diese Verschiebung geschieht auch in den Fernwärmegebieten, wo die Wärmeerzeugung durch KWK-Anlagen und FHW von 74,42% auf 83,03% steigt. Diese Steigerung geht zu Lasten des mit Strom

betriebenen Boilers. Im Vergleich zum Durchlauf mit Strompreisen aus 2013 sinkt die gesamte Stromnachfrage von 2.465 GWh auf 2.261 GWh, bedingt durch die geringeren Investitionen in Boiler und Wärmepumpen. Der Stromhandel ändert sich von einem Gesamtimport von 543 GWh im Durchlauf mit Strompreisen aus dem Jahr 2013, auf einen Export von 312 GWh. Die Technologie „Therme“ profitiert dadurch in der prozentuellen Nachfragedeckung. Würde das Fernwärmegebiet weiter ausgebaut werden, verschiebt sich die Wärmenachfrage in das Fernwärmegebiet, wo anhand von KWK-Anlagen und FHW die Wärmenachfrage gedeckt werden könnte. Dies geschieht aber nicht, da in diesem Fall Kraftwerke mit höheren Gestehungskosten öfter zur Anwendung kommen müssten und die Gesamtkosten wiederum erhöhen würden.

#### Kostenübersicht

	Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2013	Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2011
Kostenart	Kosten [Mio. €]	Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	1,88	1,64
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	88,88	125,86
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	7,88	7,65
Investitionskosten	34,66	32,25
davon:		
Fernwärmenetz	1,43	2,78
Abwärmeauskopplung	2,13	2,13
Speicherkapazität	0,31	0,19
Speicherladeleistung	0,66	0,49
Boiler	1,86	1,59
Wärmepumpen	28,27	25,07
Stromhandel	3,21	-28,27
<b>GESAMT</b>	<b>136,51</b>	<b>139,13</b>
	[Tausend t]	[Tausend t]
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß</b>	<b>1.737</b>	<b>1.835</b>

**Tabelle 78 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz**

Anhand der Kostenübersicht in Tabelle 78 ist zu erkennen, dass sich durch die im Mittel höheren Strommarktpreise die Gesamtkosten erhöhen. Wie bereits erwähnt geschieht dies dadurch, dass die Technologien der KWK-Anlagen und FHW größere Mengen erzeugen, welche im Stromhandel nur teilweise eingespart werden können. Als Beispiel weist der Boiler im Jahr 2011 eine Einsatzzeit von 1.081 h bei (in diesen Zeiten) durchschnittlichen EEX-Preis von € 32,43 pro MWh im Vergleich zu einer Einsatzzeit von 2.321 h bei einem durchschnittlichen EEX-Preis von € 26,16 pro MWh im Jahr 2013 auf. Würde der Boiler nur mit Strom aus dem Handel versorgt werden, entstehen im Jahr 2011 Kosten von € 2,72 Mio. und im Jahr 2013 von € 4,79 Mio. Dies zeigt wiederum, dass bei durchschnittlich geringeren Stromhandelspreisen die Technologien der KWK-Anlagen und der FHW vom Boiler verdrängt werden.

Vergleicht man die CO<sub>2</sub>-Emissionen, steigen diese aufgrund des vermehrten Einsatzes des Kohlekraftwerks Mellach im Durchlauf mit Strompreisen aus 2011 an. Das Kraftwerk weist dabei 5.554 Volllaststunden im Vergleich zu 4.942 h bei Strompreisen aus dem Jahr 2013 auf. Der höhere Gesamtausstoß kann wie in (Kapitel 4.3.1.1) durch die Emissionsfaktoren begründet werden. Da der konstante Emissionsfaktor des Stromhandels unter den Emissionen des eingesetzten Kraftwerkparcs liegt, steigt der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit dem vermehrten Einsatz von KWK-Anlagen und FHW.

in t	Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2013	Durchlauf mit Strommarktpreisen aus 2011
CO <sub>2</sub> -Ausstoß KWK und FHW	1.513.300	1.922.300
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Rest	26.700	25.900
CO <sub>2</sub> -Ausstoß EEX-Handel	197.300	-113.100
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gesamt</b>	<b>1.737.300</b>	<b>1.835.100</b>

Tabelle 79 Anteile am CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz

#### 4.3.1.3. Durchlauf mit Ausbaubeschränkung

Wie in Kapitel 4.3.1.1 und 4.3.1.2 zu erkennen war, wird aufgrund der günstigen Stromhandelspreise verstärkt in strombetriebene Wärmeerzeuger (Boiler und Wärmepumpe) investiert. Aufgrund der vorhandenen Leitungskapazität, dem rasanten Anstieg der installierten Leistung und dem unrealistischen gleichzeitigen Betrieb von Wärmepumpe und Gastherme an allen Standorten im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet erweist sich eine Einführung von Beschränkungen als sinnvoll.

Bezüglich des Boilers wird angenommen, dass an vier Kraftwerksstandorten in Graz ein Boiler mit einer Installationsleistung von 30 MW errichtet werden kann. Dies ergibt eine maximale Ausbauleistung von 120 MW. Der Ausbau der Wärmepumpen wird dahingehend beschränkt, dass zu jedem Zeitpunkt maximal 20% der nicht im Fernwärmegebiet nachgefragten Wärmemenge  $q_{nFW}[t]$  durch die Wärmepumpe gedeckt werden kann. Die maximale Ausbauleistung der Wärmepumpe wird dadurch auf 20% des Maximalwertes der Wärmenachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet, vor dem Ausbau des Fernwärmenetzes, gesetzt. Wird das Netz ausgebaut, sinkt die Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet, wodurch auch die maximal einsetzbare Leistung der Wärmepumpe sinkt.

$$0 \leq q_{HP}[t] \leq q_{nFW}[t] \cdot DG_{HP} \quad \text{Gl. 28}$$

$$0 \leq DG_{HP} \leq 0,2 \quad \text{Gl. 29}$$

In einem Probedurchlauf wurde ersichtlich, dass sich durch die Beschränkung der Ausbauleistungen von Boiler und Wärmepumpe die Fernwärmeanschlüsse nahezu vervierfachen würden. Dies bewirkt eine starke Verschiebung der Nachfrage vom nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in das Fernwärmegebiet. Da dieser drastische Ausbau ebenfalls als unrealistisch anzusehen ist, wird eine weitere Beschränkung eingeführt. Die Beschränkung erlaubt maximal eine Verdoppelung der bestehenden Fernwärmeanschlüsse.

Der Durchlauf benötigt eine Zeit von 12.845 Sekunden (ca. 3,5 h) und kann bei einem „optimality-gap“ von 0,22% abgeschlossen werden. Die Gesamtkosten liegen bei € 187,87 Mio. und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei 1.884 Tausend t. An den Ergebnissen ist bereits eine starke Erhöhung der Kosten und der Emissionen im Vergleich zum Durchlauf mit Ausbau des Fernwärmenetzes und Strompreisen aus dem Jahr 2013 zu erkennen (Kapitel 4.3.1.1).

#### Investitionen

Durch die Beschränkungen verringern sich die Investitionssummen in die Technologien des Boilers und der Wärmepumpe. Der Boiler wird bis zu seiner maximalen Ausbauleistung installiert. Die Wärmepumpe könnte bis zu einer Leistung von 189,3 MW ausgebaut werden. Durch die Investitionen in das Fernwärmenetz verschiebt sich ein Teil der Nachfrage in das Fernwärmegebiet,

wodurch die maximale Ausbauleistung der Wärmepumpe auf 139,60 MW sinkt. Die Kleiner-Gleich-Bedingung in Gl. 28 erlaubt auch einen geringeren Ausbau, wodurch die Leistung um 60,59 MW erweitert wird. Durch die Bedingung wird der gleichzeitige Betrieb einer Therme und Wärmepumpe an einem Standort nicht ausgeschlossen. Dies ist der Fall, wenn der Deckungsgrad der Wärmepumpe unter 20% liegt. Der höchste Deckungsgrad in diesem Durchlauf liegt bei 20% und der geringste bei 11,6%. Dies bedeutet, dass die Differenz von 8,4% des Wärmebedarfs durch die Therme, welche sich an gleichen Standorten wie die Wärmepumpen befinden, gedeckt werden muss.

Das Fernwärmenetz wird soweit ausgebaut, dass sich die Anschlüsse verdoppeln (auf 9.644 Anschlüsse). Zusätzlich werden Gebiete des Typ05a ausgebaut, welche über kein Unterverteilnetz verfügen, bis die maximale Anzahl an Anschlüssen erreicht ist. Aus diesem Grund wird eines der Gebiet nur bis zu einem Deckungsgrad von 51% ausgebaut.

Technologie	Graz mit FW-Ausbau		Graz mit Ausbaubeschränkung	
	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	1,43	3.822 Anschlüsse	1,89	4.822 Anschlüsse
Abwärmeauskopplung	2,13	200 GWh	2,13	200 GWh
Speicherkapazität	0,31	182,13 MWh	0,09	50,86 MWh
Speicherladeleistung	0,66	46,59 MW	0,30	21,14 MW
Boiler	1,86	261,58 MW	0,85	120 MW
Wärmepumpen	28,27	398,4 MW	4,30	60,59 MW
<b>GESAMT</b>	<b>34,66</b>		<b>9,56</b>	

Tabelle 80 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz

#### Fernwärmegebiet

Die Nachfrage im Fernwärmegebiet erhöht sich durch den Ausbau von 1.649 GWh auf 1.721 GWh. Zur Deckung steigen wiederum die Volllaststunden und erzeugten Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW laut Tabelle 81 an. Das Kraftwerk Neudorf wird aufgrund seines Brennstoffes „Heizöl schwer“ und den damit verbundenen Kosten weiterhin nicht aktiviert.

Kraftwerk	Modellierung	Graz mit FW-Ausbau		Graz mit Ausbaubeschränkung	
		Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]
Mellach	GuD	655	145	698	211
Mellach	ED	6.940	1.137	7.173	1.139
Neudorf	ED	0	0	0	0
Graz	FHW	248	69	478	134
Thondorf	GT	371	13	467	16
Thondorf	FHW	16	1	95	6
<b>GESAMT</b>			<b>1.365</b>		<b>1.506</b>

Tabelle 81 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz

Trotz der mehr als halbierten Ausbauleistung des Boilers liefert er nur 30% weniger an Wärmeenergie als im unbeschränkten Durchlauf. Dies liegt daran, dass er im beschränkten Durchlauf 1.277 Volllaststunden im Vergleich zu 858 h im unbeschränkten Modelldurchlauf aufweist.

	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Ausbaubeschränkung
Art	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	1.365	1.506
Abwärme	260	260
Boiler	224	153
Solarthermie	4	4
Speicherverluste	-17	-9
Lade- und Entladeverluste	-3	-2
Überproduktion	-1	0
<b>Gesamt</b>	<b>1.832</b>	<b>1.912</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-183</b>	<b>-191</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>1.649</b>	<b>1.721</b>

Tabelle 82 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz

### Restliches Gebiet

Durch die Beschränkung können maximal 20% der Nachfrage im restlichen Gebiet mit der Wärmepumpe gedeckt werden. Dadurch entsteht die Notwendigkeit mindestens 80% mit der Technologie der Therme oder Solarthermie zu decken. Der Ausbau der Solarthermie ist mit hohen Kosten verbunden und kann vorwiegend in den Sommermonaten eingesetzt werden, wodurch das Modell keinen Ausbau vorschlägt. Da die Kosten zur Wärmeerzeugung anhand von KWK-Anlagen und FHW, bei gleichzeitigem Ausbau des Fernwärmenetzes bis zu einem gewissen Grad, unter den Erzeugungskosten der Therme liegen, verschiebt sich die Nachfrage bis zur Ausbaubeschränkung des Netzes in das Fernwärmegebiet.

Anteile der Anlagengruppen zur Deckung der thermischen Nachfrage im fernwärmefreien Gebiet

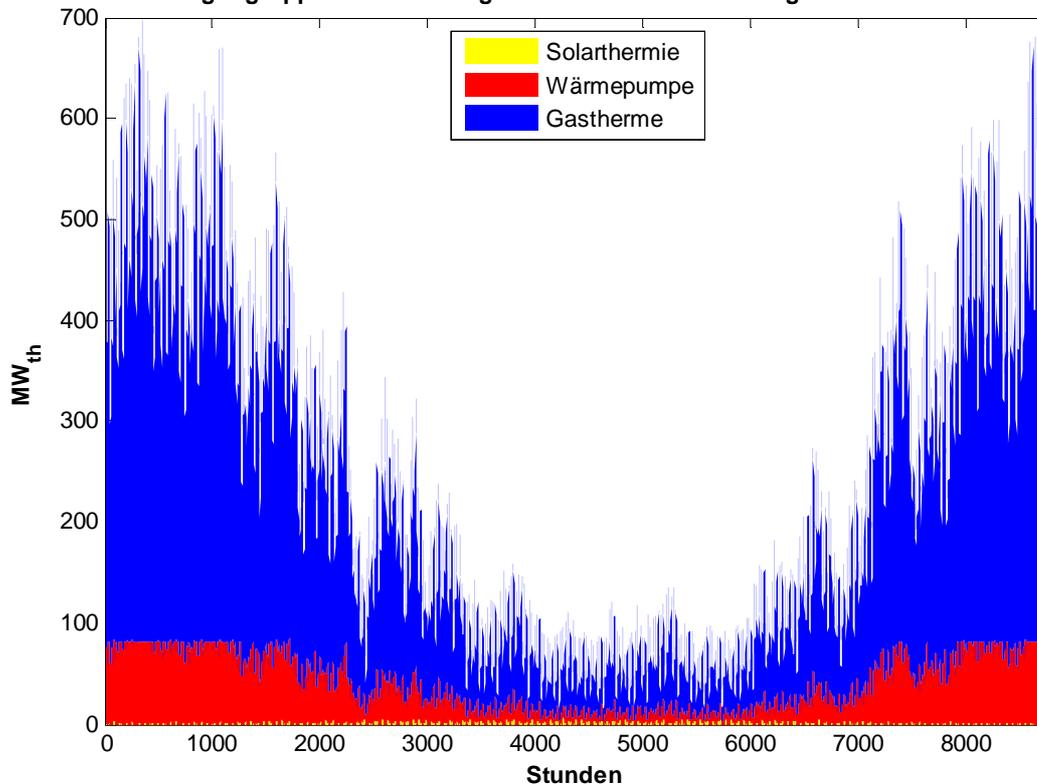


Abbildung 25 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Graz (mit Ausbaubeschränkung)

## Stromnachfrage

Art	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Ausbaubeschränkung
	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
KWK	1.921	2.001
PV	1	1
Stromimport	543	-147
Überproduktion	0	-4
<b>Gesamt</b>	<b>2.465</b>	<b>1.851</b>

Tabelle 83 Energiebilanz (Strom) mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz

Durch die Beschränkung der strombetriebenen Wärmeerzeuger verringern sich die Spitzen der Stromnachfrage in den Wintermonaten. Der Strombedarf steigt durch den geringeren Einsatz der Technologien lediglich von 1.564 GWh auf 1.851 GWh und liegt damit weit unter der Nachfrage des unbeschränkten Durchlaufs. Die maximale Stromnachfrage liegt im Vergleich zu 780 MW bei 478 MW (siehe Abbildung 26). Die gesunkene Stromnachfrage wird vermehrt durch die KWK-Anlagen gedeckt, welche mehr als benötigt erzeugen, um bei hohen Strompreisen zu exportieren (Abbildung 27). Es wird ab einem Preis von € 17,9 pro MWh Strom exportiert, wobei diese Schwelle im Durchlauf mit Strompreisen aus 2013 bei € 18,33 pro MWh liegt. Der durchschnittliche Exportpreis beträgt € 44,66 pro MWh bzw. € 48,33 pro MWh.

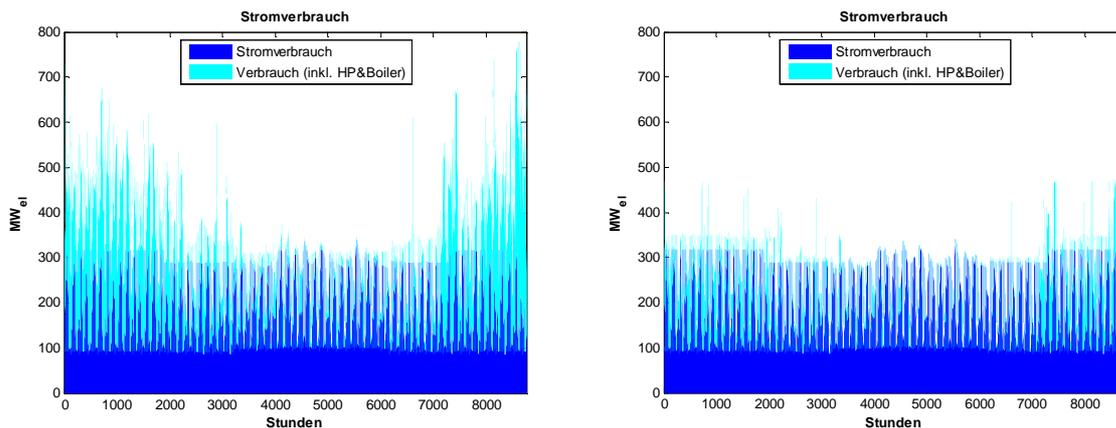


Abbildung 26 Stromnachfrage mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz

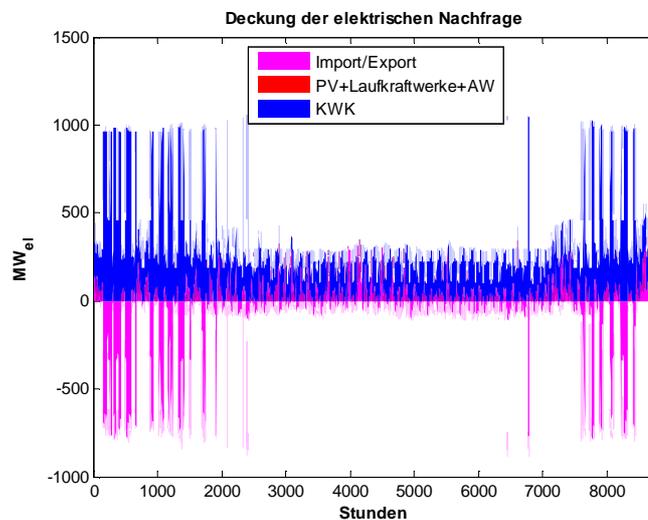


Abbildung 27 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Graz (mit Ausbaubeschränkung)

## Kostenübersicht

	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Ausbaubeschränkung
Kostenart	Kosten [Mio. €]	Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	1,88	1,93
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	88,88	95,72
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	7,88	102,73
Investitionskosten	34,66	9,56
davon:		
Fernwärmenetz	1,43	1,89
Abwärmeauskopplung	2,13	2,13
Speicherkapazität	0,31	0,09
Speicherladeleistung	0,66	0,30
Boiler	1,86	0,85
Wärmepumpen	28,27	4,30
Stromhandel	3,21	-22,05
<b>GESAMT</b>	<b>136,51</b>	<b>187,87</b>
	[Tausend t]	[Tausend t]
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß</b>	<b>1.737</b>	<b>1.884</b>

Tabelle 84 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz

Die Erhöhung der Gesamtkosten entsteht durch die gestiegene Produktion in den Kraftwerken und vorwiegend durch den Einsatz von Thermen. Diese Mehrkosten können durch den Stromexport und die geringeren Investitionskosten in Boiler und Wärmepumpe nicht kompensiert werden, wodurch eine Kostenerhöhung von 32% verursacht wird. Die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen durch den vermehrten Einsatz von KWK-Anlagen, FHW und wiederum vorwiegend durch den Einsatz von Gasthermen.

in t	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Ausbaubeschränkung
CO <sub>2</sub> -Ausstoß KWK und FHW	1.513.300	1.588.700
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Therme	26.700	348.000
CO <sub>2</sub> -Ausstoß EEX-Handel	197.300	-53.300
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gesamt</b>	<b>1.737.300</b>	<b>1.883.600</b>

Tabelle 85 Anteile am CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz

### 4.3.1.4. Durchlauf mit der Berücksichtigung von Stromspitzen

Der starke Ausbau der strombetriebenen Wärmeerzeuger Boiler und Wärmepumpe erzeugt durch den höheren Strombedarf in den Wintermonaten nicht nur Kapazitätsengpässe im Stromnetz, sondern erfordert durch die Lastspitzen auch den Ausbau von Technologien zur Stromerzeugung, um diese Spitzenlast zu decken. Der Ausbau von zusätzlichen Stromerzeugungstechnologien ist wiederum mit Kosten verbunden, welche den Wert der Zielfunktion erhöhen, bisher aber nicht berücksichtigt wurden. Werden diese Kosten berücksichtigt, ergeben sich möglicherweise geringere Investitionen in die Technologien des Boilers und der Wärmepumpen, um Stromspitzen zu vermeiden.

Zur Berücksichtigung der Kosten für die Spitzenlastdeckung werden die Kosten  $c^{pmax}$  in die bisherige Zielfunktion (Gl. 4) laut Gl. 30 aufgenommen. Die Kosten ergeben sich aus der Multiplikation (Gl. 31) des Maximalwerts der Stromnachfrage  $p_{max}$ , der Annuität  $A_{GT}$  und dem Gleichzeitigkeitsfaktor  $\theta$ . Der Maximalwert der Stromnachfrage wird durch die Bedingung in Gl. 32 in das Modell aufgenommen. Die linke Seite der Ungleichung stellt dabei die zeitliche Stromnachfrage im Modell dar. Der Wert der Annuität wird mit 40 € pro kW Leistung festgelegt. Dieser Wert stellt ungefähr die Annuität der Investitionskosten einer Gasturbine zur Deckung der Spitzenlast dar. Der

Gleichzeitigkeitsfaktor wird mit 0,5 angenommen. Mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor soll die Erhöhung der Spitzenlast in einem Gesamtsystem abhängig von Graz dargestellt werden. Es wird angenommen, dass die Spitzenlast im Gesamtsystem und die Spitze in Graz nicht zur gleichen Zeit auftreten. Durch den Faktor 0,5 wird angenommen, dass zum Zeitpunkt der Spitzenlast im Gesamtsystem die Energienachfrage in Graz bei 50% der in Graz auftretenden Spitze liegt.

$$\min \sum (c^{startup} + c^{produktion} + c^{investiton} + c^{handel} + c^{pmax}) \quad \text{Gl. 30}$$

$$c^{pmax} = p_{max} \cdot A_{GT} \cdot \theta \quad \text{Gl. 31}$$

$$d_{el}[t] + \frac{q_{HP}[t]}{COP_{HP}} + \frac{q_{boiler}[t]}{\eta_{boiler}} + d_{K_{el}}[t] \leq p_{max} \quad \text{Gl. 32}$$

### Investitionen

Technologie	Graz mit FW-Ausbau		Graz mit Berücksichtigung von Stromspitzen	
	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	1,43	3.822 Anschlüsse	1,63	4.336 Anschlüsse
Abwärmeauskopplung	2,13	200 GWh	2,13	200 GWh
Speicherkapazität	0,31	182,13 MWh	0,33	194,88 MWh
Speicherladeleistung	0,66	46,59 MW	0,66	46,49 MW
Boiler	1,86	261,58 MW	1,23	173,87 MWh
Wärmepumpen	28,27	398,4 MW	27,00	380,37 MW
<b>GESAMT</b>	<b>34,66</b>		<b>32,98</b>	

**Tabelle 86 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz**

In Tabelle 93 ist zu erkennen, dass sich die Investitionen durch die Einführung der Spitzenlastkosten in den meisten Bereichen nur gering verändern. Der größten Veränderung unterliegt die Leistung des Boilers, da die Stromnachfrage des Boilers durch seinen Wirkungsgrad von 97% nahezu der eingesetzten Leistung entspricht. Eine höhere Ausbauleistung würde dahingehend auch höhere Stromspitzen verursachen. Die Wärmepumpe wird nahezu mit der gleichen Leistung ausgebaut. Die Wärmepumpe weist aufgrund der Außentemperaturen in Graz eine minimale Leistungszahl von 2,04 auf. Dies bedeutet, dass der im Zeitpunkt nachgefragte Strom maximal den halben Wert der produziert Wärmeleistung durch die Wärmepumpe erreichen kann. Aus diesem Grund tritt keine drastische Verringerung der Ausbauleistung der Wärmepumpe ein.

## Fernwärmegebiet

Das Fernwärmenetz wird zu einem kleinen Teil mehr ausgebaut, als im Durchlauf ohne Berücksichtigung der Stromspitzen, obwohl die Leistung des Boilers verringert wurde. Der Mehrbedarf wird von den KWK-Anlagen und FHW gedeckt, wobei das FHW Graz den größten Zuwachs an produzierter Wärmemenge aufweist.

Kraftwerk	Modellierung	Graz mit FW-Ausbau		Graz mit Berücksichtigung von Stromspitzen	
		Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]
Mellach	GuD	655	145	727	166
Mellach	ED	6.940	1.137	7.073	1.172
Neudorf	ED	0	0	0	0
Graz	FHW	248	69	398	112
Thondorf	GT	371	13	355	12
Thondorf	FHW	16	1	5	0
<b>GESAMT</b>			<b>1.365</b>		<b>1.462</b>

Tabelle 87 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz

Art	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Berücksichtigung von Stromspitzen
	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	1.365	1.462
Abwärme	260	260
Boiler	224	162
Solarthermie	4	4
Speicherverluste	-17	-17
Lade- und Entladeverluste	-3	-3
Überproduktion	-1	0
<b>Gesamt</b>	<b>1.832</b>	<b>1.868</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-183</b>	<b>-187</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>1.649</b>	<b>1.681</b>

Tabelle 88 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz

## Restliches Gebiet

Im restlichen Gebiet treten aufgrund der nahezu gleichgebliebenen Ausbauleistung der Wärmepumpe keine großen Änderungen auf. Die Nachfragedeckung geschieht wie in Abbildung 23, wobei sich die Deckung durch die Therme marginal von 6% auf 7% ändert.

## Stromnachfrage

Durch den vermehrten Einsatz von KWK-Anlagen zur Wärmeerzeugung wird gleichzeitig auch mehr Strom erzeugt. Dadurch sinken die Stromimporte.

Art	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Berücksichtigung von Stromspitzen
	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
KWK	1.921	2.003
PV	1	1
Stromimport	543	378
Überproduktion	-2	-3
<b>Gesamt</b>	<b>2.463</b>	<b>2.379</b>

Tabelle 89 Energiebilanz (Strom) mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz

Die Gesamtnachfrage sinkt durch die geringere Nachfrage von Boiler und Wärmepumpe um 3,4%. Den Großteil dazu trägt die geringere Nachfrage des Boilers bei, welche um 28% fällt. In Abbildung 28 sind die Auswirkungen der Berücksichtigung von Stromspitzen ersichtlich. Die maximale Stromnachfrage sinkt von 780 MW auf 464 MW.

	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Berücksichtigung von Stromspitzen
Art	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
Berechneter Stromverbrauch	1.564	1.564
Wärmepumpe	669	648
Boiler	231	167
<b>Gesamt</b>	<b>2.463</b>	<b>2.379</b>

Tabelle 90 Energiebilanz (Strom) mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz

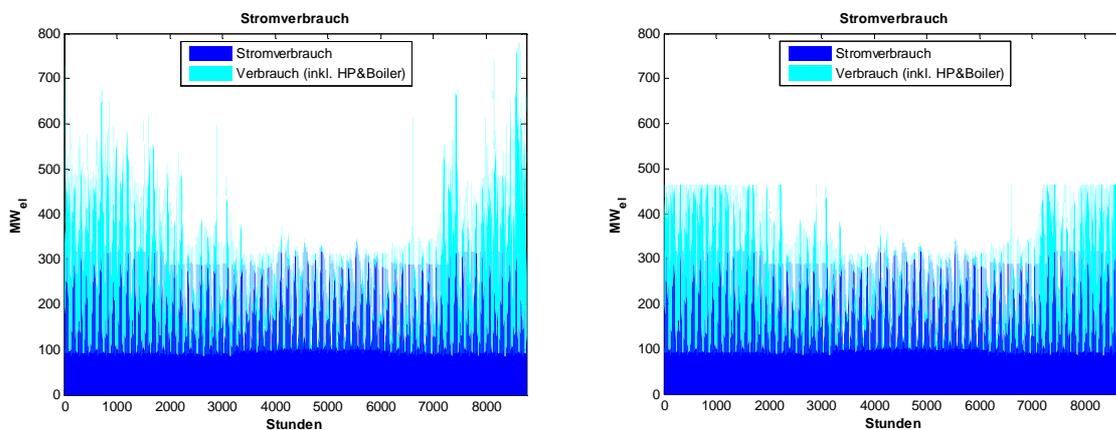


Abbildung 28 Stromnachfrage mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz

### Kostenübersicht

	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Berücksichtigung von Stromspitzen
Kostenart	Kosten [Mio. €]	Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	1,88	2,10
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	88,88	95,13
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	7,88	9,43
Investitionskosten	34,66	32,98
davon:		
Fernwärmenetz	1,43	1,63
Abwärmeauskopplung	2,13	2,13
Speicherkapazität	0,31	0,33
Speicherladeleistung	0,66	0,66
Boiler	1,86	1,23
Wärmepumpen	28,27	27,00
Stromhandel	3,21	-2,81
<b>GESAMT</b>	<b>136,51</b>	<b>136,83</b>
Kosten für Spitzenlast	0,00	9,28
<b>GESAMT mit Spitzenlastkosten</b>	<b>136,51</b>	<b>146,11</b>
	[Tausend t]	[Tausend t]
CO <sub>2</sub> -Ausstoß	1.737	1.740

Tabelle 91 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz

Die in Tabelle 84 dargestellte Kostenaufteilung weist keine großen Veränderungen auf. Durch den höheren Einsatz von KWK-Anlagen und FHW erhöhen sich die Produktionskosten in diesem Bereich,

welche durch Stromexporte und Verringerungen in den Investitionen eingespart werden können. Ohne Berücksichtigung der durch die Stromspitzen generierten Kosten bleiben die Gesamtkosten nahezu identisch.

in t	Graz mit FW-Ausbau	Graz mit Berücksichtigung von Stromspitzen
CO <sub>2</sub> -Ausstoß KWK und FHW	1.513.300	1.571.100
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Therme	26.700	32.000
CO <sub>2</sub> -Ausstoß EEX-Handel	197.300	137.300
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gesamt</b>	<b>1.737.300</b>	<b>1.740.400</b>

**Tabelle 92** Anteile am CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz

Trotz höherer Einsatzzeiten der KWK-Anlagen und FHW ergibt sich in Summe keine bedeutende Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Der höhere Ausstoß durch die Kraftwerksanlagen und Therme wird durch den geringeren Stromverbrauch und Einsparungen im Stromhandel kompensiert.

Vergleicht man die Durchläufe aus Kapitel 4.3.1.3 mit Ausbaubeschränkungen und den Durchlauf mit Berücksichtigung von Stromspitzen, wird die Höhe der Stromspitzen in diesem Durchlauf zwar verringert, die Ausbauleistungen der Wärmepumpe und des Boilers liegt aber weiterhin sehr hoch. Aus diesem Grund wird im folgenden Durchlauf die Methode mit Beschränkung des Ausbaus gewählt.

#### **4.3.1.5. CO<sub>2</sub>-Reduktionsdurchlauf**

In diesem Szenario werden die Auswirkungen einer CO<sub>2</sub>-Reduktion auf den Technologieeinsatz zur Energieerzeugung und die damit verbundenen Änderungen in der Kostenstruktur analysiert. Dazu wird die Summe des berechneten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aus dem Durchlauf mit Ausbaubeschränkung aus Kapitel 4.3.1.3 (1.884 Tausend t) um 20% reduziert (1.507 t).

Aufgrund der langen Rechenzeit der Optimierungsmodelle wurde der vorgeschlagene Speicherausbau auf 150,86 MWh und Ausbau der Ladeleistung auf 31,14 MW aus dem Vergleichsdurchlauf als fixe Größen in diesen Durchlauf übernommen. Im Folgenden sind die Investitionskosten, welche durch die fixe Einbindung des Speichers wegfallen, weiterhin zu berücksichtigen, um vergleichbare Daten zu erhalten.

Der Optimierungsalgorithmus konnte nach einer Zeit von 81.555 Sekunden (ca 22,5 h) lediglich ein „optimality-gap“ von 5,23% erreichen. Die Gesamtkosten belaufen sich dabei auf € 215,14 Mio. Die Kosten liegen dadurch um € 27,27 Mio. und 14,52% höher als im Durchlauf mit Ausbaubeschränkung.

## Investitionen

Technologie	Graz mit Ausbaubeschränkung		Graz mit CO <sub>2</sub> -Reduktion	
	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	
Fernwärmenetz	1,89	4.822 Anschlüsse	1,89	4.822 Anschlüsse
Abwärmeauskopplung	2,13	200 GWh	2,13	200 GWh
Speicherkapazität	0,09	50,86 MWh	-	-
Speicherladeleistung	0,30	21,14 MW	-	-
Boiler	0,85	120 MW	0,84	118,3 MW
Wärmepumpen	4,30	60,59 MW	4,58	64,5 MW
PV	0,00	-	0,00	-
<b>GESAMT (ohne Speicher)</b>	<b>9,56</b>		<b>9,44</b>	
Speicher	0,00		0,39	
<b>GESAMT</b>	<b>9,56</b>		<b>9,83</b>	

Tabelle 93 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne CO<sub>2</sub>-Reduktion in Graz

Die Übersicht aus Investitionskosten aus den Vergleichsdurchläufen zeigt keine maßgeblichen Veränderungen. In die Technologien der Solarthermie, Photovoltaik und Therme wird weiterhin nicht investiert. Bei Solarthermie und Photovoltaik handelt es sich um Technologien ohne CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Durch den Ausbau dieser Technologien könnten CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden, welche aber hohe Investitionskosten aufweisen und darum nicht ausgebaut werden.

## Fernwärmegebiet

Der Ausbau des Fernwärmenetzes findet im gleichen Ausmaß wie im Vergleichsdurchlauf statt, wodurch eine Wärmenachfrage von 1.721 GWh im Fernwärmenetz besteht. In Tabelle 94 ist zu erkennen, dass sich die Nachfragedeckung vom Boiler zu den KWK-Anlagen und FHW verschiebt. Das Steinkohlekraftwerk Mellach reduziert seine Volllaststunden auf 55%, wobei die GuD-Anlage Mellach ihre Volllaststunden mehr als verdreifacht (siehe Tabelle 95 und Abbildung 29), da es durch den Brennstoff Erdgas einen geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß aufweist. In den Sommermonaten reichen die Abwärmeauskopplung und die Produktion aus dem Steinkohlekraftwerk Mellach aus, um die Nachfrage zu decken.

Art	Graz mit Ausbaubeschränkung	Graz mit CO <sub>2</sub> -Reduktion
	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	1.506	1.572
Abwärme	260	260
Boiler	153	84
Solarthermie	4	4
Speicherverluste	-9	-7
Lade- und Entladeverluste	-2	-1
Überproduktion	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>1.912</b>	<b>1.912</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-191</b>	<b>-191</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>1.721</b>	<b>1.721</b>

Tabelle 94 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne CO<sub>2</sub>-Reduktion in Graz

Kraftwerk	Modellierung	Graz mit Ausbaubeschränkung		Graz mit CO <sub>2</sub> -Reduktion	
		Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]
Mellach	GuD	698	211	2.161	692
Mellach	ED	7.173	1.139	3.319	632
Neudorf	ED	0	0	0	0
Graz	FHW	478	134	857	240
Thondorf	GT	467	16	208	7
Thondorf	FHW	95	6	19	1
<b>Gesamt</b>			<b>1.506</b>		<b>1.572</b>

Tabelle 95 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne CO<sub>2</sub>-Reduktion in Graz

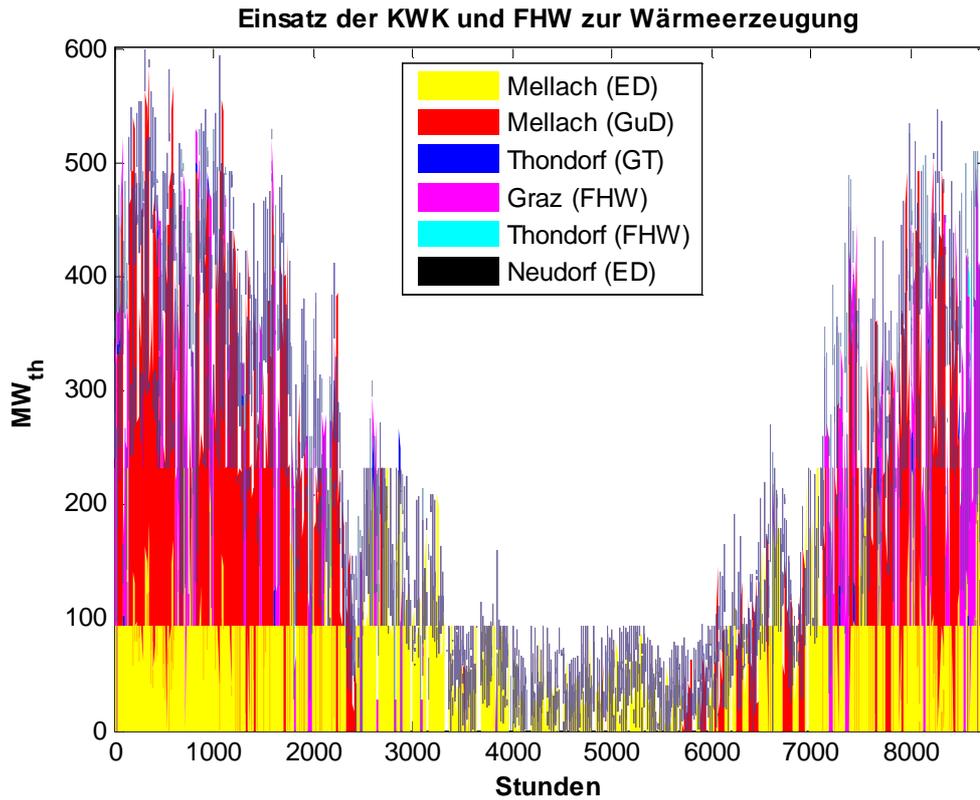


Abbildung 29 Kraftwerkseinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Graz (inkl. CO<sub>2</sub>-Reduktion)

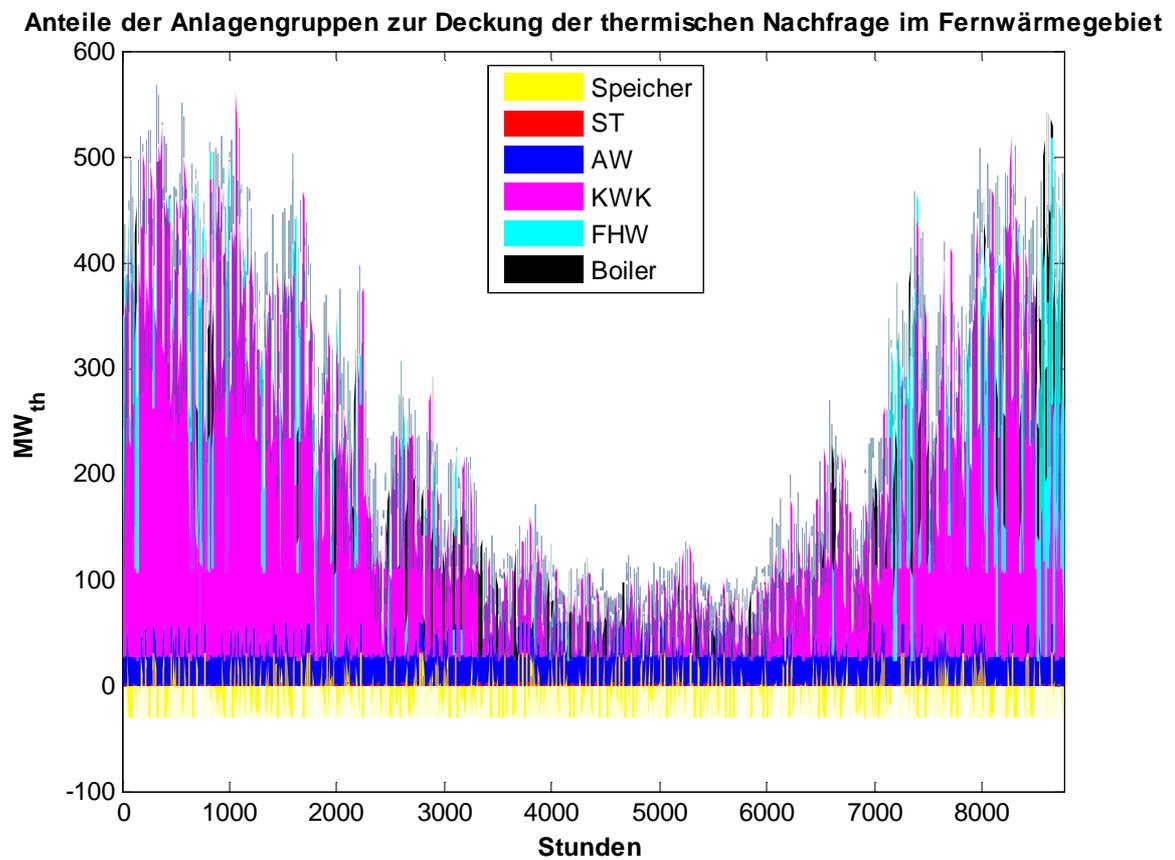


Abbildung 30 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet in Graz (inkl. CO<sub>2</sub>-Reduktion)

## Restliches Gebiet

Durch den gleichen Fernwärmeausbau wie im Vergleichsdurchlauf ändert sich die Wärmenachfrage im restlichen Gebiet nicht. Die Nachfragedeckung verschiebt sich lediglich um 0,2% von der Therme zur Wärmepumpe, welche in diesem Durchlauf 19,07% deckt. Die Therme ist für 80,56% und die Solarthermie für 0,37% der Nachfragedeckung verantwortlich.

## Stromnachfrage

Die Stromnachfrage verringert sich durch den geringeren Einsatz des Boilers um ungefähr 4%. Die KWK-Anlagen erzeugen besonders in den Wintermonaten mehr Strom, welcher am Strommarkt bei hohen Preisen verkauft wird. Im Sommer wird Strom vorwiegend importiert (siehe Abbildung 31)

Art	Graz mit Ausbaubeschränkung	Graz mit CO <sub>2</sub> -Reduktion
	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
KWK	2.001	2.351
PV	1	1
Stromimport	-147	-570
Überproduktion	-4	0
<b>Gesamt</b>	<b>1.851</b>	<b>1.782</b>

Tabelle 96 Energiebilanz (Strom) mit und ohne CO<sub>2</sub>-Reduktion in Graz

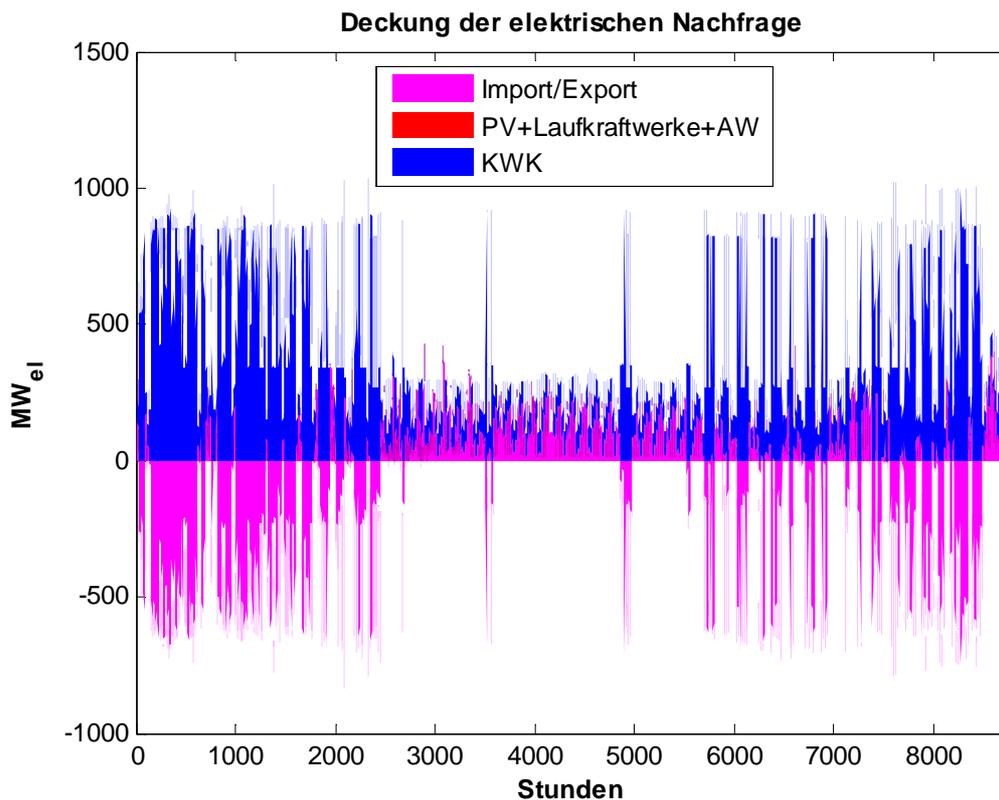


Abbildung 31 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Graz (inkl. CO<sub>2</sub>-Reduktion)

## Kostenübersicht

	Graz mit Ausbaubeschränkung	Graz mit CO <sub>2</sub> -Reduktion
Kostenart	Kosten [Mio. €]	Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	1,93	3,03
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	95,72	145,57
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	102,73	102,38
Investitionskosten	9,56	9,44
davon:		
Fernwärmenetz	1,89	1,89
Abwärmeauskopplung	2,13	2,13
Speicherkapazität	0,09	-
Speicherladeleistung	0,30	-
Boiler	0,85	0,84
Wärmepumpen	4,30	4,58
PV	0,00	0,00
Stromhandel	-22,05	-45,28
<b>GESAMT (ohne Speicher)</b>	<b>187,87</b>	<b>215,14</b>
Speicher	0,00	0,39
<b>GESAMT</b>	<b>187,87</b>	<b>215,53</b>
	[Tausend t]	[Tausend t]
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß</b>	<b>1.884</b>	<b>1.507</b>

Tabelle 97 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne CO<sub>2</sub>-Reduktion in Graz

Die Kostenübersicht in Tabelle 97 zeigt stark gestiegene Kosten in der Produktion der KWK-Anlagen und FHW. Mit einer Produktionssteigerung von 11,9% (Wärme und Strom) geht eine Steigerung der Produktionskosten von 52% einher. Dieser Kostensprung wird durch den vermehrten Einsatz von Kraftwerken mit Brennstoff Erdgas anstatt Steinkohle und dadurch geringerem CO<sub>2</sub>-Ausstoß, verursacht. Die Gesamtkosten steigen um 15%. Tabelle 98 zeigt eine Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 14% im Bereich der KWK-Anlagen und FHW, welcher eine Minderung des Gesamtausstoßes um 11,8% bedeutet. Die restlichen 8,2% werden hauptsächlich durch Stromexporte eingespart. Die Kosten pro Tonne eingespartem CO<sub>2</sub> belaufen sich auf € 72,38 pro t CO<sub>2</sub>.

in t	Graz mit Ausbaubeschränkung	Graz mit CO <sub>2</sub> - Reduktion
CO <sub>2</sub> -Ausstoß KWK und FHW	1.588.700	1.366.800
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Therme	348.000	347.100
CO <sub>2</sub> -Ausstoß EEX-Handel	-53.300	-207.000
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gesamt</b>	<b>1.883.600</b>	<b>1.506.900</b>

Tabelle 98 Anteile am CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit und ohne CO<sub>2</sub>-Reduktion in Graz

## 4.3.2. Salzburg

### 4.3.2.1. Durchlauf mit Strompreisen aus 2013 und Fernwärmeausbau

In diesem Durchlauf wird aufgrund der besseren Datengrundlage die Stadt Salzburg alleine, ohne Hallein, betrachtet. Dabei kann das Fernwärmenetz, die Technologien Solarthermie, Photovoltaik, Boiler, Wärmepumpe und Therme ausgebaut werden. Des Weiteren ist Stromhandel erlaubt. Um die Rechenzeit der Durchläufe zu verkürzen wird kein Speicherausbau zugelassen.

Der Optimierungsalgorithmus kann das Problem in einer Zeit von 10.635 Sekunden (ca. 3 h) lösen. Dabei wird ein „optimality-gap“ von 0,93% erreicht. Die Gesamtkosten belaufen sich auf € 79,33 Mio. und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß beträgt 462 t.

#### Investitionen

Im Zuge dieses Durchlaufs wird keine Investition in die Technologien Photovoltaik, Solarthermie und Therme vorgeschlagen. Die bestehenden 3.964 Fernwärmeanschlüsse werden um 586 Anschlüsse erweitert. In Tabelle 99 ist ersichtlich, dass in die strombetriebenen Wärmeerzeugungstechnologien Boiler und Wärmepumpen investiert wird. Beide Investitionen erhöhen den Strombedarf, welcher zusätzlich erzeugt oder importiert werden muss.

Die Investition in den Boiler, welcher zur Nachfragedeckung im Fernwärmegebiet eingesetzt wird, ergibt eine jährliche Annuität von € 0,84 Mio. und eine Leistungsinstallation von 118,66 MW. Die Leistung der Wärmepumpen wird von 5,47 MW auf 241,57 MW erhöht, wozu eine Annuität in der Höhe von € 16,75 Mio. notwendig ist. Bereits an den Leistungserhöhungen ist wie in Kapitel 4.3.1.1 zu erkennen, dass zur Nachfragedeckung vermehrt strombetriebene Wärmeerzeuger verwendet werden.

Technologie	Kosten [Mio. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	0,27	586 Anschlüsse
Boiler	0,84	118,66 MW
Wärmepumpen	16,75	236,10 MW
<b>GESAMT</b>	<b>17,86</b>	

**Tabelle 99 Investitionskosten und Ausbau der Technologien in Salzburg**

#### Fernwärmegebiet

Die thermische Nachfrage im Gebiet mit Fernwärmenetz wird von den Technologien, wie in Abbildung 32 dargestellt, gedeckt. Der Abwärmestrom aus dem Holzverarbeitungsbetrieb Kaindl deckt lediglich 0,3% des gesamten Wärmebedarfs und ist nur minimal in den Sommermonaten zu erkennen. Der Boiler erzeugt 13,6% und die KWK-Anlagen gemeinsam mit den FHW 89,7% der Gesamtwärmenachfrage im Fernwärmegebiet. Bei den überschüssigen 3,6% handelt es sich um im Speicher entstehende Verluste.

Anteile der Anlagengruppen zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet

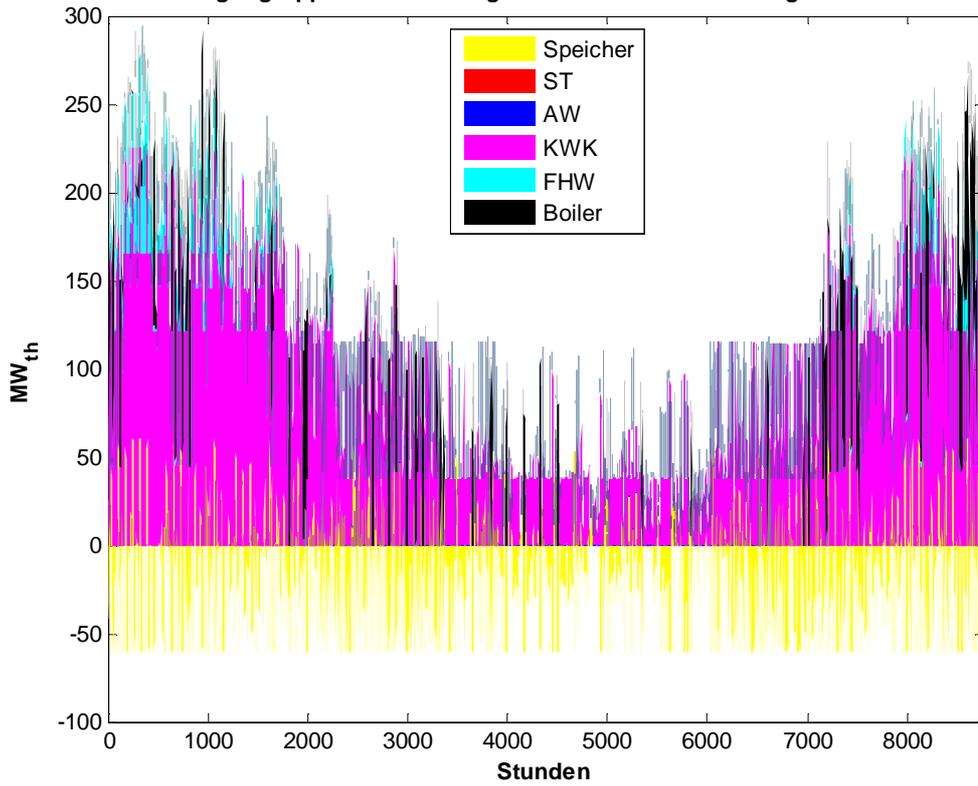


Abbildung 32 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet Salzburg

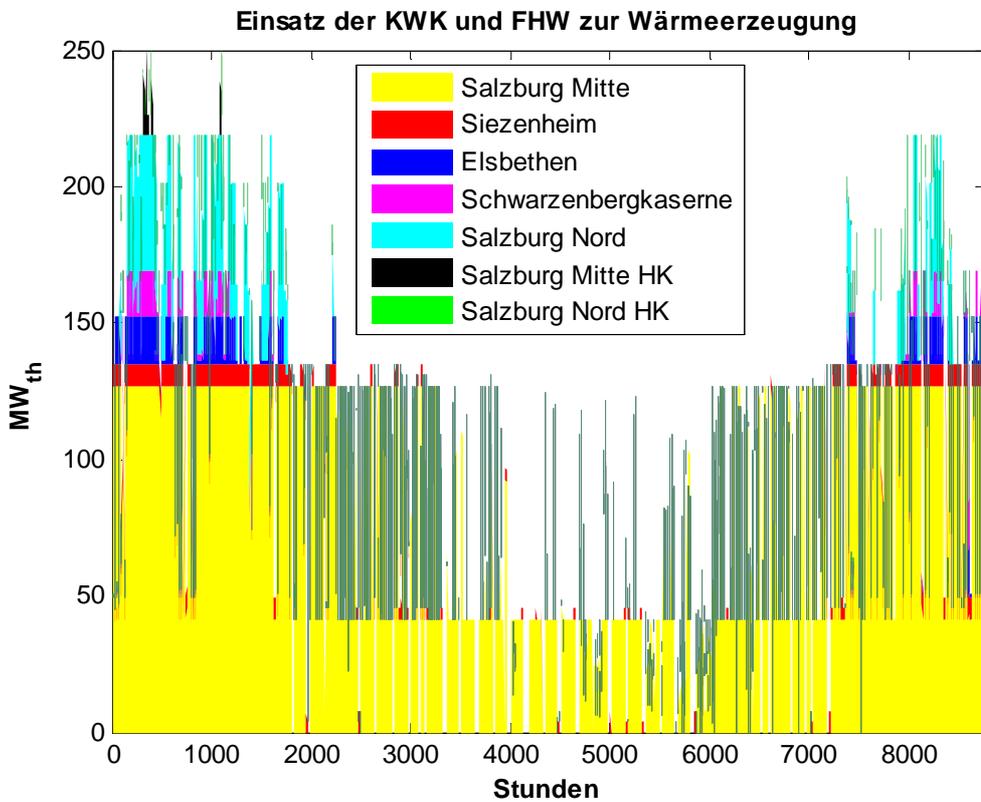


Abbildung 33 Kraftwerkseinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Salzburg

Die KWK-Anlagen und Fernheizwerke erzeugen einen Großteil der benötigten Fernwärme, wobei in Abbildung 33 und Tabelle 101 ersichtlich ist, dass die KWK-Anlagen der Kraftwerke Salzburg Mitte und Siesenheim sehr hohe Einsatzzeiten aufweisen. Die GuD-Anlage des Kraftwerks Salzburg Mitte weist 5.316 Volllaststunden auf und erzeugt mit 676 GWh fast 84% der durch Kraftwerke gedeckte Wärmenachfrage im Fernwärmenetz. Tabelle 101 zeigt eine Übersicht der Volllaststunden und der produzierten Wärmemengen der Kraftwerke in Salzburg. Die Einsatzzeiten sind auf verschiedene Faktoren der Modellierung zurückzuführen. In erster Linie sind der eingesetzte Brennstoff und die damit verbundenen Grenzkosten von Bedeutung. Aus diesem Grund wird der Spitzenlastkessel des Kraftwerks Salzburg Nord HK nicht eingesetzt. Im Fall der Fernheizwerke Elsbethen und Schwarzenbergkaserne sind die verschiedenen Wirkungsgrade für die stark unterschiedlichen Einsatzzeiten ausschlaggebend.

	Salzburg mit FW-Ausbau
Art	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	808
Abwärme	2
Boiler	124
Speicherverluste	-30
Lade- und Entladeverluste	-2
<b>Gesamt</b>	<b>902</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-90</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>812</b>

**Tabelle 100 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) in Salzburg**

Kraftwerk	Modellierung	Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]
Salzburg Mitte	GuD	5.457	676
Salzburg Mitte HK	FHW	28	2
Salzburg Nord	GD	1.295	64
Salzburg Nord HK	FHW	0	0
Schwarzenbergkaserne	FHW	785	13
Elsbethen	FHW	1.451	25
Siesenheim	GD	3.777	29
<b>GESAMT</b>			<b>808</b>

**Tabelle 101 Volllaststunden und erzeugten Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW in Salzburg**

Der Speicher, wie in Abbildung 32 zu erkennen, wird laufend entladen und geladen. Die Kapazität des Speichers beträgt 1.100 MWh, welcher nur an 15 Stunden im Jahr vollständig geladen ist. Durchschnittlich ist er auf 137 MWh geladen und an 1.569 Stunden im Jahr leer. Es sind nur minimale Unterschiede zwischen den Perioden April-September und Oktober bis März zu erkennen, da 52% der Zeiten, in denen der Speicher ungeladen ist im Winter und die restlichen 48% im Sommer auftreten. Um die genauen Einsatzzeiten der Technologien und deren Abhängigkeiten zu erkennen, wird in Abbildung 34 und Abbildung 35 ein Sommer- und Winterwoche der Fernwärmeversorgung in Salzburg dargestellt. In Abbildung 37 ist zu erkennen, dass die Stromnachfrage im Winter deutlich höher liegt als im Sommer. Diese Erhöhung entsteht durch die strombetriebenen Wärmeerzeuger Boiler und Wärmepumpe.

In Abbildung 34 und Abbildung 35 ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Strompreisen und dem Einsatz des Boilers zu erkennen, welcher bei niedrigen Strompreisen zur Nachfragedeckung und zum Laden des Speichers eingesetzt wird. Der durchschnittliche Strompreis, bei dem der Boiler eingesetzt wird, beträgt im Sommer € 41,63 und im Winter € 40,83. Der Bedarf bei hohen Strompreisen wird durch die KWK-Anlagen und FHW, aber auch durch die Entladung des Speichers gedeckt. Bei niedrigen Strompreisen und geringer Nachfrage deckt der Boiler den kompletten Wärmebedarf und

lädt gleichzeitig den Speicher. In dieser Zeit können die Kraftwerksanlagen abgeschaltet werden. Bei geringer Speicherladung bzw. höheren Strompreisen werden sie wieder aktiviert.

Im Winter wird der Speicher wiederum bei niedrigen Strompreisen geladen, aber auch in Betriebszeiten der KWK-Anlagen und FHW, wenn der Verbrauch abnimmt. Entladen wird der Speicher in Zeiten von hoher Nachfrage.

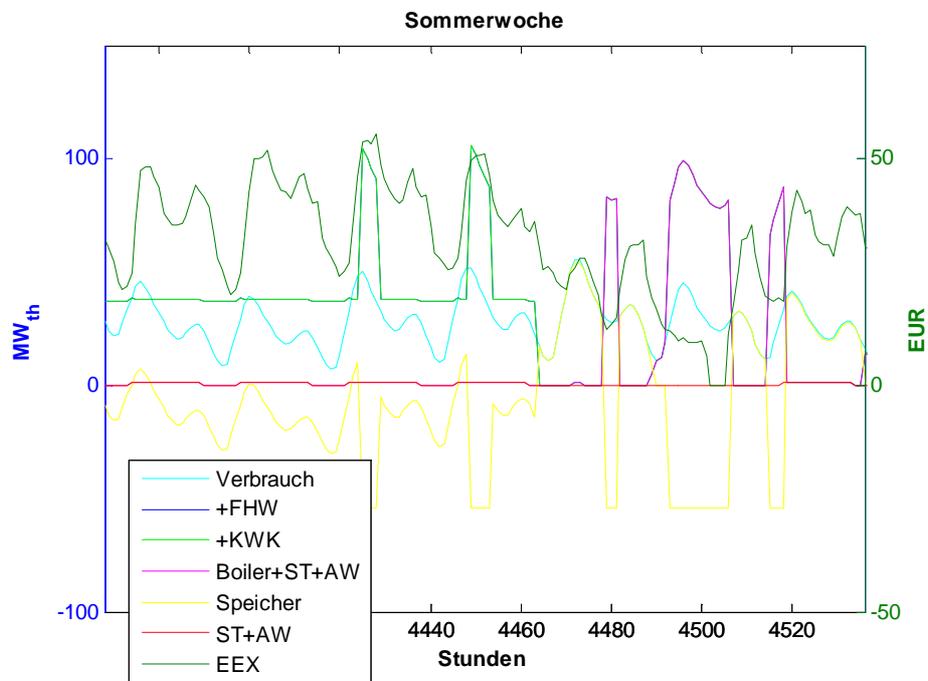


Abbildung 34 Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet einer Sommerwoche in Salzburg inkl. Strommarktpreise

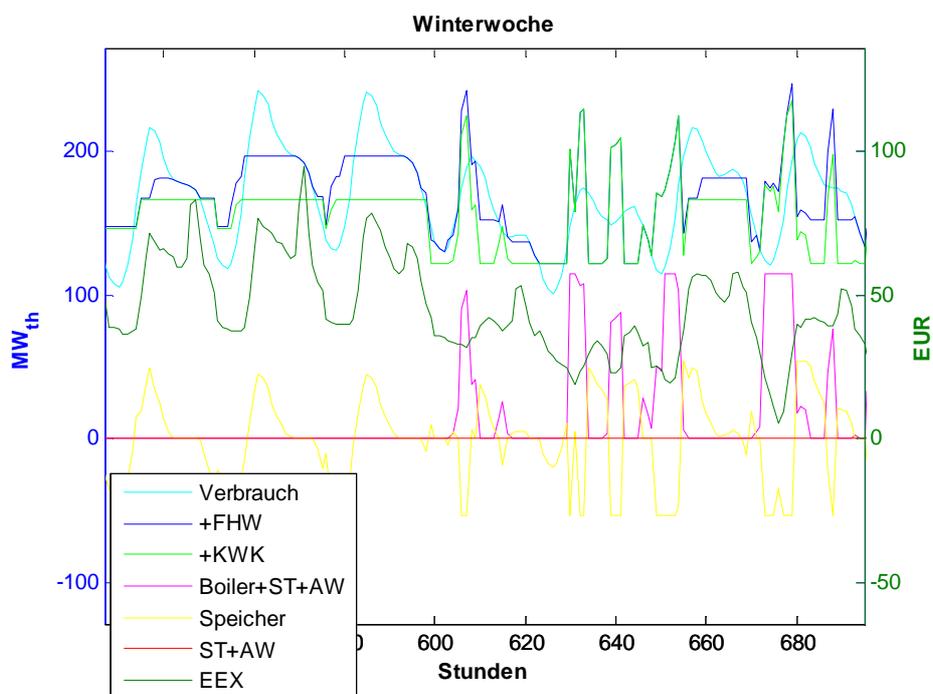
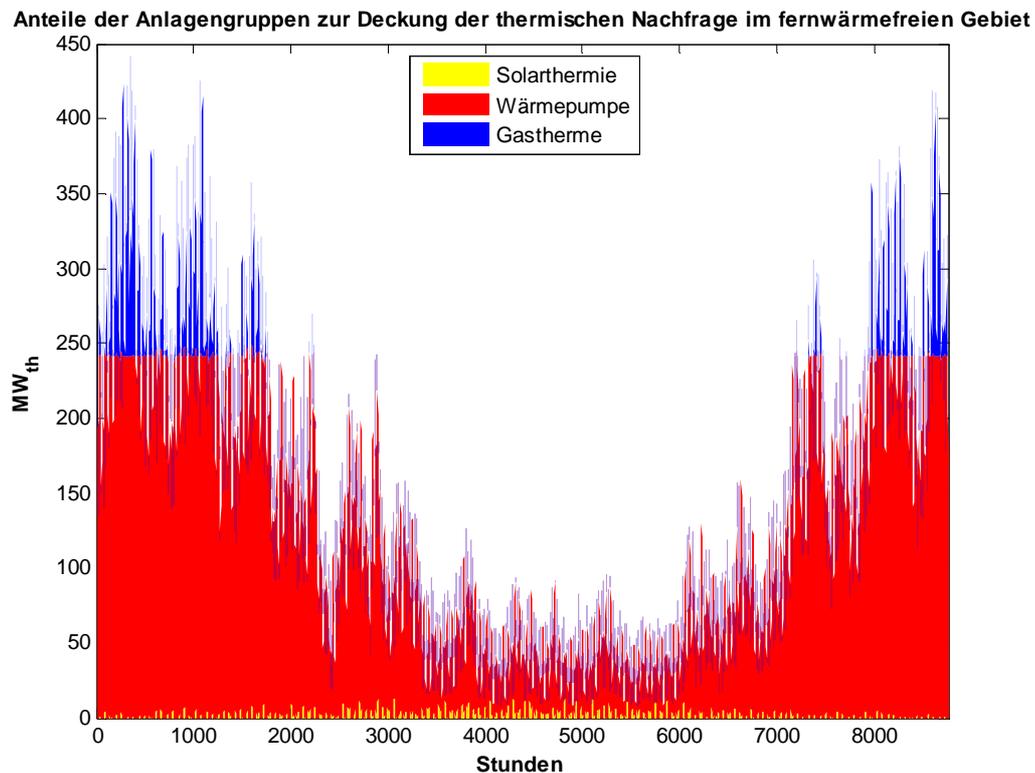


Abbildung 35 Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet einer Winterwoche in Salzburg inkl. Strommarktpreise

## Restliches Gebiet

Die Darstellung der Deckung der Wärmenachfrage im restlichen Gebiet von Salzburg (Abbildung 36) ergibt ein ähnliches Bild wie im Fall von Graz. Durch die hohen Investitionen in Wärmepumpen decken diese 92,7% der nachgefragten 1.188 GWh. Die Spitzenlasten von 6,2% der Gesamtnachfrage werden von den bereits vorinstallierten Thermen übernommen. Die restlichen 1,1% werden durch Solarthermieanlagen gedeckt.



**Abbildung 36** Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Salzburg

## Stromnachfrage

Durch den Ausbau des Boilers und der Wärmepumpen erhöht sich die Stromnachfrage von 710 GWh auf 1.218 GWh um 72%. Für 75% dieser Erhöhung sind die Wärmepumpen verantwortlich. Die Nachfrage in Salzburg wird zu 53,72% durch Stromimport, 0,21% durch PV-Anlagen, 39,42% durch KWK-Anlagen und zu 6,65% durch Laufkraftwerke gedeckt. Das Kraftwerk Salzburg Mitte ist für 37,5% der Strombedarfsdeckung verantwortlich, das Kraftwerk Nord für 1,4% und Siezenheim für 0,5%.

KWK-Anlagen und gleichzeitig strombetriebene Wärmeerzeuger werden genutzt, um die Wärmenachfrage zu bedienen. In der Periode von April bis Oktober ist es aufgrund der geringen Wärmenachfrage zu manchen Zeitpunkten rentabler auf den Strommarkt zurückzugreifen und die KWK-Anlagen nicht einzuschalten, wodurch Anfahrkosten entstehen würden. Die Einsatzzeiten der KWK-Anlagen sind immer vom Stromhandelspreis abhängig und werden vorwiegend bei hohen Preisen betrieben. Sind ausreichende Erzeugungskapazitäten und kostengünstigere Technologien vorhanden, wäre ein Stromexport in den Sommermonaten, wie im Fall von Graz, möglich. In Salzburg besteht aber definitiv eine Abhängigkeit von Stromimporten, da nicht ausreichende Stromerzeugungsanlagen zur Verfügung stehen

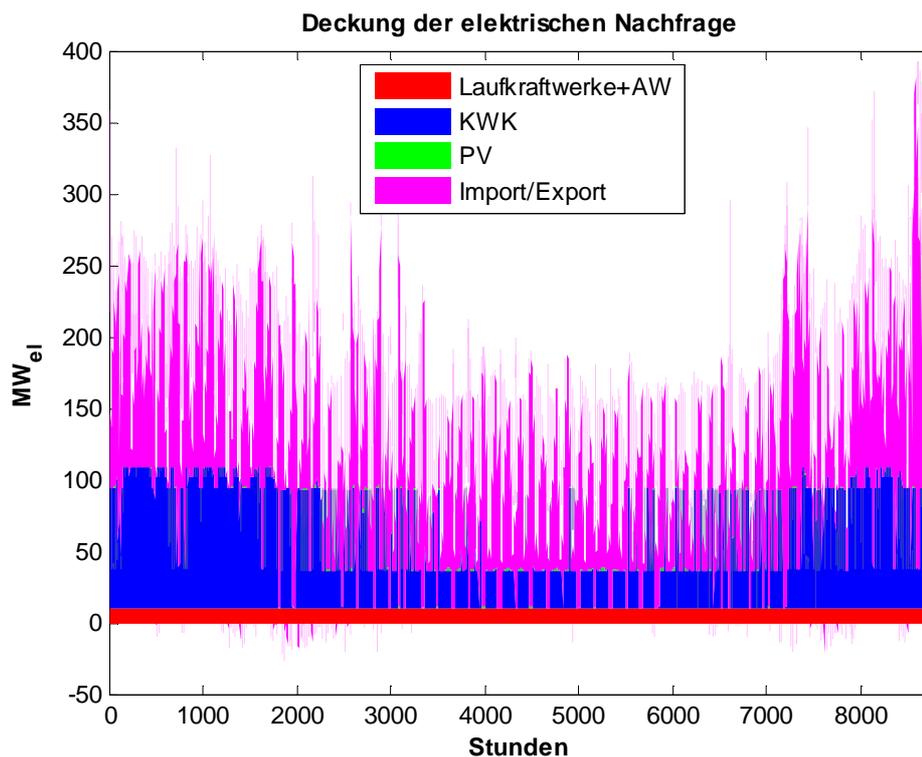


Abbildung 37 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Salzburg

Art	Salzburg mit FW-Ausbau Strommenge [GWh]
KWK	480
PV	3
Laufkraftwerke	82
Stromimport	653
<b>Gesamt</b>	<b>1.218</b>

Tabelle 102 Energiebilanz (Strom) in Salzburg

### Kostenübersicht

Kostenart	Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	0,29
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	33,61
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	4,89
Investitionskosten	17,86
davon:	
Fernwärmenetz	0,27
Boiler	0,84
Wärmepumpen	16,75
Stromhandel	22,68
<b>GESAMT</b>	<b>79,33</b>

Tabelle 103 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit Strompreisen aus 2013 und Fernwärmeausbau in Salzburg

Die Kostenübersicht zeigt, dass 29% der Kosten durch den Stromhandel verursacht werden. Da auf strombetriebene Wärmeerzeugungsanlagen gesetzt wird, steigt die Stromnachfrage, welche zu 54% durch Stromimporte gedeckt wird. Der hohe Ausbau der strombetriebenen Wärmeerzeuger kann als unrealistisch eingeschätzt werden, wodurch im folgenden Durchlauf Beschränkungen eingeführt werden.

#### 4.3.2.2. Durchläufe mit beschränktem Ausbau und Berücksichtigung von Stromspitzen

In Salzburg tritt derselbe Effekt wie in Graz auf und es wird vermehrt auf strombetriebene Wärmeerzeuger zur Deckung der Wärmenachfrage gesetzt. Dadurch werden diese Technologien in unrealistischem Maß ausgebaut. Aus diesem Grund werden die Beschränkungen aus den Kapiteln 4.3.1.3 und 4.3.1.4 übernommen und die Auswirkungen auf die Stadt Salzburg im Folgenden analysiert.

Es wird angenommen, dass in Salzburg an vier Kraftwerksstandorten die Möglichkeit zum Bau eines Boilers besteht. Dies ergibt bei einer Ausbauleistung von 30 MW je Boiler eine maximale Ausbauleistung von 120 MW. Da der Boiler im Durchlauf mit Fernwärmeausbau auf eine Leistung von 118,66 MW ausgebaut wurde, stellt dieser Wert vorerst keine Beschränkung dar. Durch die mögliche Verschiebung der Nachfrage in das Fernwärmegebiet kann diese Beschränkung aber wirksam werden. Die Wärmepumpe kann wiederum maximal 20% der nachgefragten Wärme im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet decken. Zusätzlich wird der Ausbau des Fernwärmenetzes auf die Verdoppelung der Anschlusszahl beschränkt.

Im Durchlauf mit Berücksichtigung von Stromspitzen werden für die auftretenden Stromspitzen Kosten in die Zielfunktion aufgenommen, welche laut Kapitel 4.3.1.4 modelliert werden.

Die beiden Durchläufe benötigen eine ähnliche Zeit von ungefähr 1.000 Sekunden (ca. 16 min) und können bei einem „optimality-gap“ unter 1% abgeschlossen werden. Die Gesamtkosten und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß liegen im Durchlauf mit Ausbaubeschränkung bei € 103,43 Mio. und 557 Tausend t. Im Fall mit Berücksichtigung der Stromspitzen treten Kosten von € 79,68 Mio. und ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 457 Tausend t auf.

#### Investitionen

Wie im Fall von Graz verringern sich die Investitionen in die Wärmepumpe durch die Beschränkungen drastisch. Dadurch erhöht sich der Ausbau des Fernwärmenetzes und die Nachfrage in diesem steigt. Abbildung 38 zeigt die Ausbaugebiete der beiden Durchläufe. Im Fall des Durchlaufs mit Ausbaubeschränkung wird ein Großteil der Gebiete ausgebaut, wobei sich der Ausbau im Durchlauf mit Berücksichtigung der Stromspitzen auf die Gebiete mit bereits vorhandenem Unterverteilnetz konzentriert (vergleiche Abbildung 17). Bezüglich der Investitionskosten weist der Durchlauf mit Berücksichtigung der Stromspitzen nur geringe Veränderungen auf. Die größten Änderungen treten in der Ausbauleistung des Boilers auf, da sich die erzeugte Wärmemenge des Boilers durch den hohen Wirkungsgrad von 97% fast zur Gänze im Stromprofil widerspiegelt und dadurch bei hoher Leistung Stromspitzen erzeugt.

Technologie	Salzburg mit FW-Ausbau		Salzburg mit Ausbaubeschränkung		Salzburg mit Berücksichtigung von Stromspitzen	
	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	0,27	586 Anschlüsse	1,65	3.964 Anschlüsse	0,29	619 Anschlüsse
Boiler	0,84	118,66 MW	0,85	120 MW	0,67	94,33 MW
Wärmepumpen	16,75	236,10 MW	2,04	28,81 MW	16,12	227,25 MW
<b>GESAMT</b>	<b>17,86</b>		<b>4,54</b>		<b>17,08</b>	

Tabelle 104 Investitionskosten und Ausbau der Technologien unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg



mit Ausbaubeschränkung

mit Berücksichtigung von Stromspitzen

**Abbildung 38 Ausbaugesbiet in Salzburg**

### Fernwärmegebiet

Durch die Ausbaubeschränkungen erhöht sich die Nachfrage im Fernwärmegebiet um 35%, welche durch den Boiler und die Kraftwerksanlagen gedeckt wird. Der Boiler weist, im Vergleich zum Durchlauf mit FW-Ausbau, nur eine geringe Erhöhung der Ausbauleistung auf seine Maximalleistung von 120 MW auf. Die Volllaststunden erhöhen sich jedoch von 1.032 h auf 2.025 h.

Die Berücksichtigung der Stromspitzen bewirkt eine geringe Verschiebung der Nachfrage in das Fernwärmegebiet. Die Nachfrage wurde bisher zu 89,6% von den KWK-Anlagen und FHW übernommen, welche sich auf 92,4% erhöht. Dadurch verringert sich die Deckung durch den Boiler.

Kraftwerk	Modellierung	Salzburg mit FW-Ausbau		Salzburg mit Ausbaubeschränkung		Salzburg mit Berücksichtigung von Stromspitzen	
		Volllastst. [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllastst. [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllastst. [h]	Wärmemenge [GWh]
Salzburg Mitte	GuD	5.457	676	6.253	789	5.574	690
Salzburg Mitte HK	FHW	28	2	514	40	39	3
Salzburg Nord	GD	1.295	64	2.505	124	1.495	74
Salzburg Nord HK	FHW	0	0	227	7	0	0
Schwarzenbergkaserne	FHW	785	13	2.282	39	957	16
Elsbethen	FHW	1.451	25	2.863	50	1.618	28
Siezenheim	GD	3.777	29	5.026	39	3.980	31
<b>Gesamt</b>			<b>808</b>		<b>1.088</b>		<b>842</b>

**Tabelle 105 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg**

	Salzburg mit FW-Ausbau	Salzburg mit Ausbaubeschränkung	Salzburg mit Berücksichtigung von Stromspitzen
Art	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	808	1.088	842
Abwärme	2	2	2
Boiler	124	243	99
Speicherverluste	-30	-25	-30
Lade- und Entladeverluste	-2	-2	-2
Überproduktion	0	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>902</b>	<b>1.306</b>	<b>911</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-90</b>	<b>-131</b>	<b>-91</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>812</b>	<b>1.175</b>	<b>820</b>

Tabelle 106 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg

### Restliches Gebiet

Der Vergleich der Energiebilanzen des nicht mit Fernwärme versorgten Gebietes in Tabelle 107 macht wiederum die Verschiebung der Wärmenachfrage im Durchlauf mit Ausbaubeschränkung sichtbar. Durch die Beschränkung der Ausbauleistungen verringert sich die erzeugte Wärmemenge durch die Wärmepumpe drastisch. Diese deckt nur mehr 19% der Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet (Abbildung 39). Im Durchlauf mit Fernwärmeausbau deckte sie 93% des Bedarfs. Die Bedarfsdeckung wird in diesem Fall zu 80% von der Therme übernommen. Berücksichtigt man die Stromspitzen ergeben sich nur marginale Änderungen gegenüber dem Durchlauf mit Fernwärmeausbau. Es entsteht lediglich eine leichte Verschiebung der Deckung von der strombetriebenen Wärmepumpe zu den KWK-Anlagen und FHW.

	Salzburg mit FW-Ausbau	Salzburg mit Ausbaubeschränkung	Salzburg mit Berücksichtigung von Stromspitzen
Art	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
Theme	75	657	88
Wärmepumpe	1.101	154	1.079
Solarthermie	14	14	14
Überproduktion	-2	0	-2
<b>Nachfrage</b>	<b>1.188</b>	<b>825</b>	<b>1.179</b>

Tabelle 107 Energiebilanz (Wärme - im fernwärmefreien Gebiet) unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg

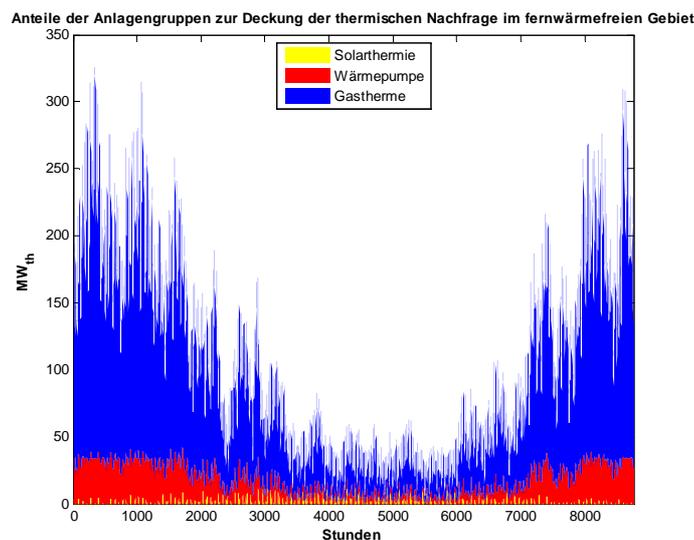


Abbildung 39 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet mit Ausbaubeschränkung in Salzburg

## Stromnachfrage

	Salzburg mit FW-Ausbau	Salzburg mit Ausbaubeschränkung	Salzburg mit Berücksichtigung von Stromspitzen
Art	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
KWK	480	564	493
PV	3	3	3
Laufkraftwerke	82	82	82
Stromimport	653	367	609
Überproduktion	0	-2	-2
<b>Gesamt</b>	<b>1.218</b>	<b>1.014</b>	<b>1.185</b>

Tabelle 108 Energiebilanz (Strom) unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg

Die maximale Stromnachfrage von 392 MW im Durchlauf mit FW-Ausbau sinkt durch die Ausbaubeschränkung auf 296 MW und durch die Berücksichtigung der Stromspitzen auf 239 MW (Abbildung 41). Dies sind Verringerungen um 24% und 39%. Die Jahresstromnachfrage im Durchlauf mit Berücksichtigung von Stromspitzen sinkt nur wenig, verteilt sich jedoch über den Zeitraum. Es entsteht lediglich eine leichte Verschiebung der Deckung von Stromimporten zu den KWK-Anlagen. Bei der in Abbildung 40 auftretenden Stromspitzen, welche über 239 MW liegen, handelt es sich um überproduzierten Strom, welcher in Zeiten von negativen Strompreisen auftritt. Aufgrund der Größer-Gleich-Bedingungen zur Nachfragedeckung im Modell wird dieser nicht exportiert und addiert sich somit zu den Stromimporten.

Durch die Ausbaubeschränkung entstehen größere Unterschiede. Die Stromnachfrage sinkt um 17% und die Deckung durch die KWK-Anlagen steigt von 39% auf 56%. Da die KWK-Anlagen vermehrt zur Wärmeerzeugung verwendet werden, können die Einsatzzeiten auch zur Stromproduktion genutzt werden. Durch diese Verschiebung verringert sich der Stromimport auf 367 GWh, wobei zu manchen Zeitpunkten auch Strom exportiert wird (Abbildung 40). Abbildung 41 zeigt die Stromnachfragen der unterschiedlichen Durchläufe, wobei die Verringerungen der Stromspitzen deutlich zu erkennen ist.

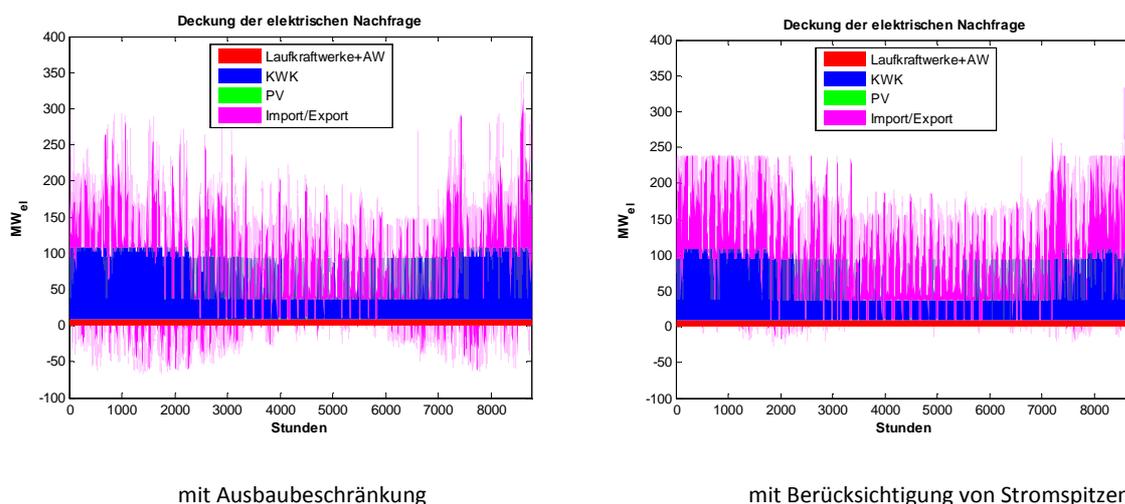
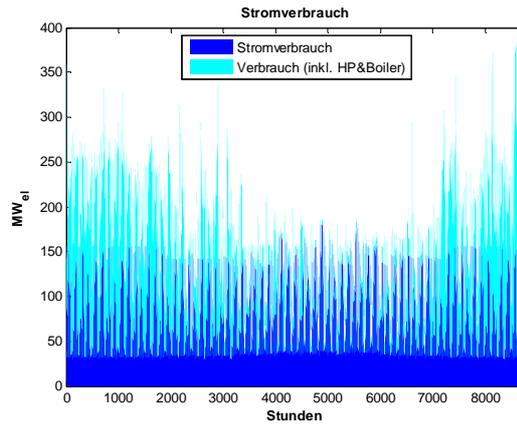
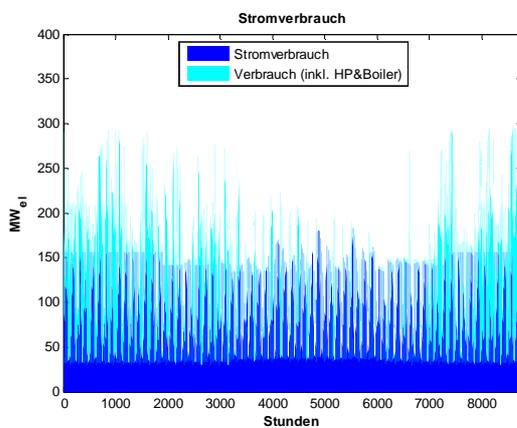


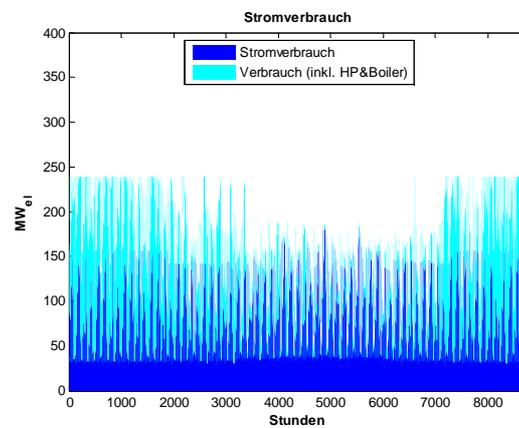
Abbildung 40 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg



mit FW-Ausbau



mit Ausbaubeschränkung



mit Berücksichtigung von Stromspitzen

Abbildung 41 Stromnachfrage unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg

### Kostenübersicht

	Salzburg mit FW-Ausbau	Salzburg mit Ausbaubeschränkung	Salzburg mit Berücksichtigung von Stromspitzen
Kostenart	Kosten [Mio. €]	Kosten [Mio. €]	Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	0,29	0,27	0,27
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	33,61	44,63	34,94
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	4,89	43,08	5,76
Investitionskosten	17,86	4,54	17,08
davon:			
Fernwärmenetz	0,27	1,65	0,29
Boiler	0,84	0,85	0,67
Wärmepumpen	16,75	2,04	16,12
Stromhandel	22,68	10,92	21,63
<b>GESAMT</b>	<b>79,33</b>	<b>103,43</b>	<b>79,68</b>
Kosten für Spitzenlast	0,00	0,00	4,78
<b>GESAMT mit Spitzenlastkosten</b>	<b>79,33</b>	<b>103,43</b>	<b>84,46</b>
	[Tausend t]	[Tausend t]	[Tausend t]
CO <sub>2</sub> -Ausstoß	462	557	457

Tabelle 109 Kostenaufteilung unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg

Im Durchlauf mit Ausbaubeschränkung erhöhen sich die Gesamtkosten um 30% und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 21%. Beides wird durch die Erhöhung der Produktion durch die Kraftwerksanlagen und die

Therme verursacht. Die Erhöhungen können durch den Stromexport und die geringeren Investitionskosten in Boiler und Wärmepumpe nicht kompensiert werden. Berücksichtigt man die Kosten für die Stromspitzen nicht, ändern sich die Gesamtkosten des Durchlaufs mit Berücksichtigung von Stromspitzen nur gering. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird durch eine Verschiebung von Stromhandel zu den KWK-Anlagen und FHW minimal verringert. Dies liegt daran, dass der Stromhandel mit fixen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Mengeneinheit belegt wurde, die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kraftwerkparks durch die unterschiedlich eingesetzten Kraftwerke aber variieren und in diesem Durchlauf durchschnittlich unter den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromhandels liegen.

in t	Salzburg mit FW-Ausbau	Salzburg mit Ausbaubeschränkung	Salzburg mit Berücksichtigung von Stromspitzen
CO <sub>2</sub> -Ausstoß KWK und FHW	208.400	277.700	216.700
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Therme	16.600	146.000	19.500
CO <sub>2</sub> -Ausstoß EEX-Handel	237.400	133.300	221.100
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gesamt</b>	<b>462.400</b>	<b>557.000</b>	<b>457.300</b>

Tabelle 110 Anteile am CO<sub>2</sub>-Ausstoß unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg

#### 4.3.2.3. Durchlauf mit entkoppelten und gekoppelten Fernwärmenetzen von Salzburg und Hallein

Wie bereits erwähnt bilden Hallein und Salzburg über eine Wärmeschiene ein verbundenes Fernwärmenetz. Des Weiteren wird diese im Jahr 2006 errichtete Kopplung des bereits bestehenden Fernwärmenetzes an das Netz in Hallein und dessen Energieerzeugungsanlagen untersucht. Dazu wird ein zusätzlicher Durchlauf mit den in Hallein zur Verfügungen stehenden Energieerzeugern und dem berechneten Energiebedarf durchgeführt. Die Wärmeerzeuger beschränken sich dabei auf das Heizkraftwerk Hallein und die Wärmeauskopplung aus dem Holzverarbeitungsbetrieb Schweighofer. Am Standort des Unternehmens werden auch eine PV-Anlage und ein Biomasseblockheizkraftwerk zur Stromerzeugung betrieben. Das Heizkraftwerk wurde so modelliert, dass es immer parallel zur Abwärmeauskopplung in Betrieb ist. Zusätzlich werden zwei Laufkraftwerke, welche sich in Hallein befinden, eingebunden. Die Summe der Durchläufe für Salzburg und Hallein kann des Weiteren mit einem gekoppelten Durchlauf der beiden Städte verglichen werden.

Für die Durchläufe werden die Ausbaubeschränkungen aus Kapitel 4.3.2.2 übernommen. Da Hallein nur einen Kraftwerksstandort aufweist, kann die Leistung des Boilers nur auf 30 MW ausgebaut werden. Die Wärmepumpe kann wiederum maximal 20% der nachgefragten Wärme im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet decken. Zusätzlich wird der Ausbau des Fernwärmenetzes auf die Verdoppelung der Anschlusszahl beschränkt. Zur Aufteilung des Stadtgebietes von Hallein werden die gleiche Verbraucherstruktur, Gebietsaufteilung und Deckungsgrade wie in Salzburg angenommen. Um die Durchläufe vergleichbar zu machen, wird im gekoppelten Durchlauf die nachgefragte Wärmemenge im Fernwärmenetz auf die Summe der Einzeldurchläufe fixiert.

Der Solver löst das Problem des alleinigen Durchlaufs von Hallein in weniger als 1 min, bei einem „optimality-gap“ von 0,1%. Die Lösung im gekoppelten Fernwärmesystem benötigt 934 Sekunden (15,5 min) bei einem „optimality-gap“ von 0,57%. Die Gesamtkosten in diesem Durchlauf ergeben € 110,21 Mio. und der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß beträgt 577 t.

#### Investitionen

In Tabelle 111 ist ersichtlich, dass die Summe der Investitionskosten aus den getrennten Durchläufen von Salzburg und Hallein im Vergleich zu einem gekoppelten Betrieb nur geringfügig abweichen,

wodurch kein Effekt durch die Kopplung der beiden Netze zu erkennen ist. In den durchgeführten Durchläufen werden keine Investitionen in Photovoltaik, Solarthermie und Thermen getätigt. Das Fernwärmenetz wird in allen Fällen auf den durch die Beschränkungen eingeführten Maximalwert ausgebaut. Der Unterschied zwischen der Summe der Anschlüsse in den Einzeldurchläufen und im gekoppelten Durchlauf entstehen durch Rundungen der Anschlusszahlen und aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsmethoden des Strom- und Wärmebedarfs für Hallein.

Technologie	Salzburg	Hallein	Summe Salzburg + Hallein		Salzburg + Hallein gekoppelt	
	Kosten [Tausend. €]	Kosten [Tausend. €]	Kosten [Tausend. €]	Ausbau	Kosten [Tausend. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	1.647	204	1.851	4.487 Anschlüsse	1.814	4.345 Anschlüsse
Boiler	852	213	1.065	150 MW	1.064	150 MW
Wärmepumpen	2.044	353	2.397	33,78 MW	2.395	33,74 MW
<b>GESAMT</b>	<b>4.543</b>	<b>770</b>	<b>5.313</b>		<b>5.273</b>	

Tabelle 111 Investitionskosten der Städte Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen

### Fernwärmegebiet

Wird die Stadt Hallein alleine betrachtet, entsteht die in Abbildung 42 und Abbildung 43 erkennbare Überproduktion an Fernwärme, welche ohne Abzug der Netzverluste 28 GWh beträgt. Koppelt man die beiden Versorgungsgebiete Salzburg und Hallein im Fernwärmenetz, kann diese überschüssige Wärmeenergie genutzt werden. Bei den Spitzen am rechten Rand in Abbildung 43 handelt es sich um eine Überproduktion, welche bei negativen Strompreisen auftritt. Zu diesen Zeitpunkten wird im Modell Strom importiert, um die Gesamtkosten zu mindern. Dieser Strom wird im Boiler eingesetzt, wodurch ein Überschuss an Wärme auftritt. Durch das Einführen einer Gleichbedingung in der Nachfragedeckung (Gl. 4) könnten diese Spitzen vermieden werden. Dies würde die Rechenzeit jedoch erheblich erhöhen. Die Spitzen der Abwärmeauskopplung in Abbildung 42 treten jeweils für eine Stunde am Wochenbeginn in gleicher Höhe auf. In diesen Zeiten werden Arbeitsmittel auf Betriebstemperatur gebracht. Aufgrund dieser kurzen Zeitdauer wurden diese Spitzen beim Export der Grafik aus MATLAB® nicht immer dargestellt, in den Berechnungen aber berücksichtigt.

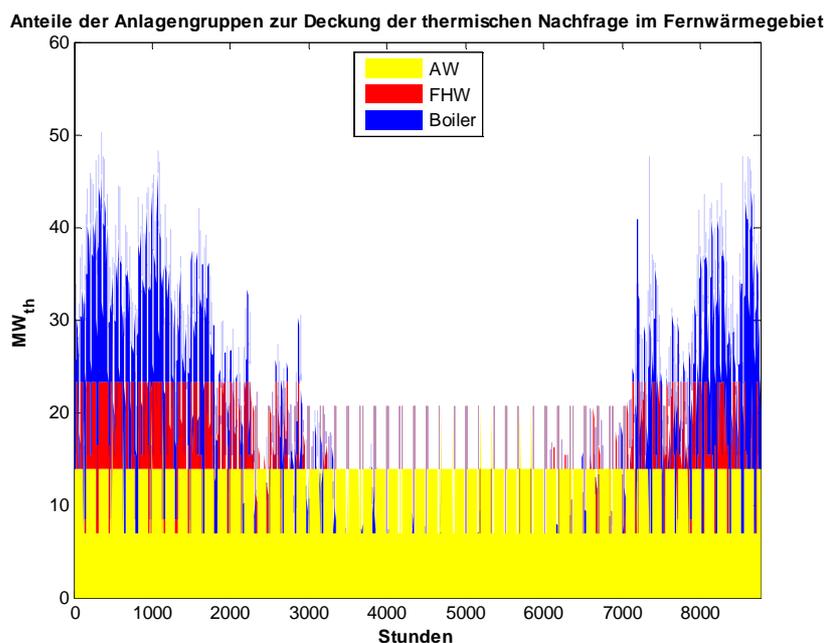


Abbildung 42 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet Hallein ohne Kopplung an Salzburg (inkl. Ausbaubeschränkung)

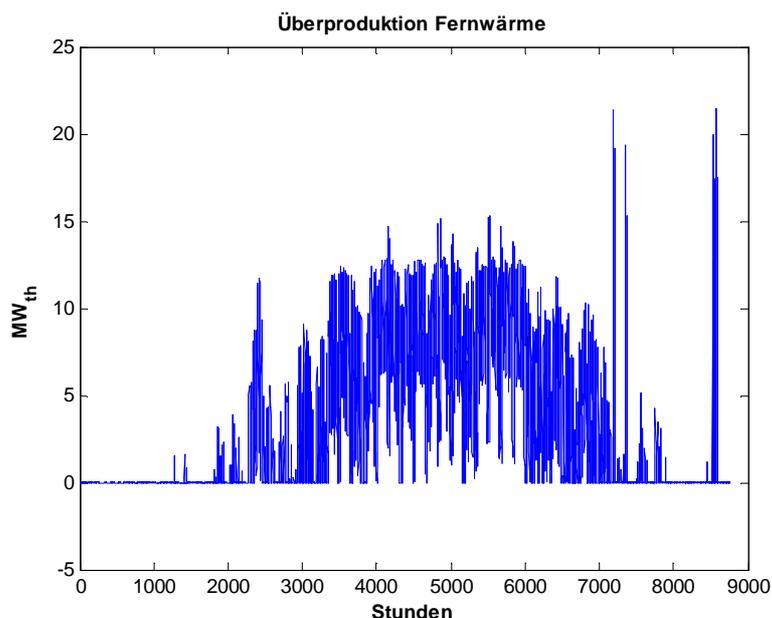


Abbildung 43 Überproduktion an Fernwärme in Hallein ohne Kopplung an Salzburg (inkl. Ausbaubeschränkung)

Tabelle 112 zeigt die Energiebilanzen der Städte Salzburg und Hallein mit entkoppeltem und gekoppeltem Fernwärmenetz. In Tabelle 113 fallen die teilweise geringeren zu produzierenden Energiemengen der einzelnen Erzeugungstechnologien auf, welche durch die Kopplung und die Nutzung der überschüssig produzierten Wärme erreicht werden können.

	Salzburg	Hallein	Summe Salzburg + Hallein	Salzburg + Hallein gekoppelt
Art	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	1.088	26	1.114	1.085
Abwärme	2	124	126	126
Boiler	243	41	284	289
Speicherverluste	-25	0	-25	-29
Lade- und Entladeverluste	-2	0	-2	-2
Überproduktion	0	-28	-28	0
<b>Gesamt</b>	<b>1.306</b>	<b>163</b>	<b>1.469</b>	<b>1.469</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-131</b>	<b>-16</b>	<b>-147</b>	<b>-147</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>1.175</b>	<b>147</b>	<b>1.322</b>	<b>1.322</b>

Tabelle 112 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) der Städte Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen

Kraftwerk	Modellierung	Salzburg + Hallein getrennt		Salzburg + Hallein gekoppelt	
		Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]
Salzburg Mitte	GuD	6.253	789	6.087	761
Salzburg Mitte HK	FHW	514	40	546	42
Salzburg Nord	GD	2.505	124	2.434	120
Salzburg Nord HK	FHW	227	7	289	10
Schwarzenbergkaserne	FHW	2.282	39	2.361	40
Elsbethen	FHW	2.864	50	2.910	50
Siezenheim	GD	5.026	39	4.948	39
Hallein	FHW	2.470	26	2.150	23
<b>Gesamt</b>			<b>1.114</b>		<b>1.085</b>

Tabelle 113 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW in Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen

In Abbildung 44 ist die Nachfragedeckung im gekoppeltem Fernwärmenetz anhand der zur Verfügung stehenden Technologien ersichtlich.

Anteile der Anlagengruppen zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet

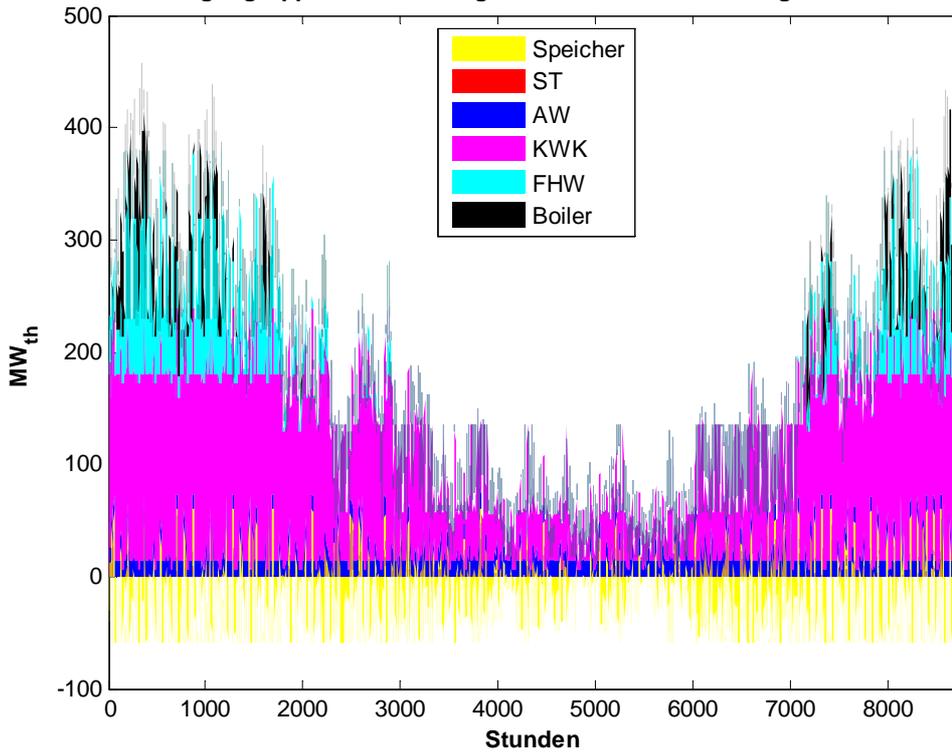


Abbildung 44 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im gekoppelten Fernwärmegebiet Salzburg und Hallein mit Ausbaubeschränkung

Anteile der Anlagengruppen zur Deckung der thermischen Nachfrage im fernwärmefreien Gebiet

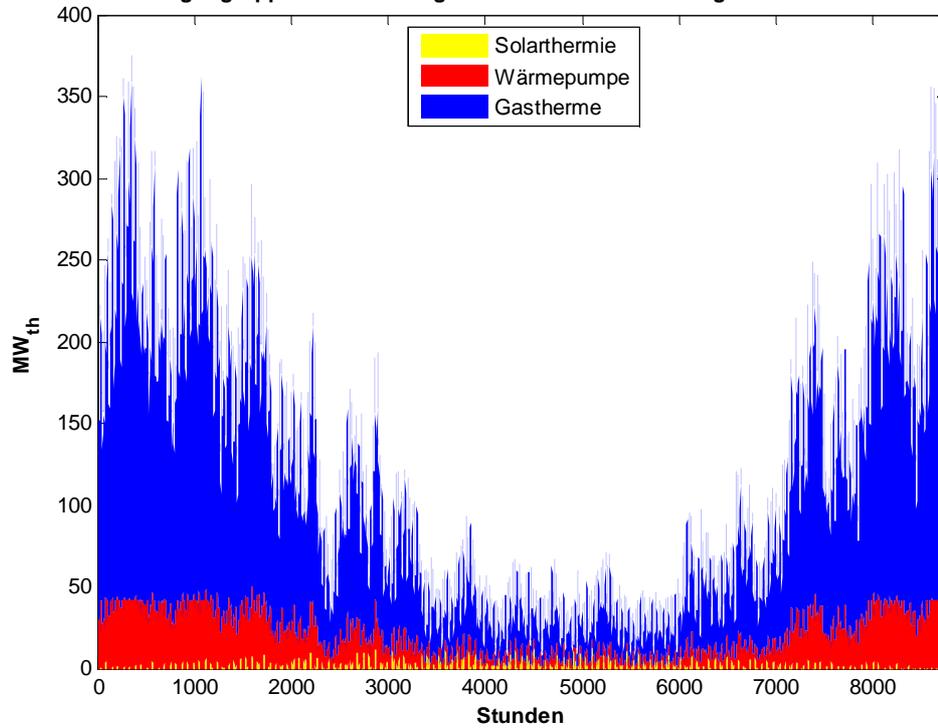


Abbildung 45 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Salzburg und Hallein mit Ausbaubeschränkung

## Restliches Gebiet

Durch die Kopplung entstehen im restlichen Gebiet keine ausschlaggebenden Veränderungen, da der Ausbau der Wärmepumpe nur geringe Unterschiede aufweist. Abbildung 45 zeigt die Deckung der thermischen Nachfrage im Durchlauf mit Ausbaubeschränkungen und gekoppeltem Netz.

## Stromnachfrage

Durch die Kopplung der beiden Städte sind nur geringe Unterschiede in den Durchläufen feststellbar. Die Nachfrage wird vorwiegend durch die KWK-Anlagen und die Laufkraftwerke gedeckt. Spitzenlasten werden durch Stromimporte erfüllt, wobei bei hohen Strompreisen auch exportiert wird.

	Salzburg	Hallein	Summe Salzburg + Hallein	Salzburg + Hallein gekoppelt
Art	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
KWK	564	0	564	550
PV	3	1	4	4
Laufkraftwerke	82	114	196	196
Abwärme (Biogasanlage)	0	58	58	58
Stromimport	367	-27	340	360
Überproduktion	-2	0	-2	-3
<b>Gesamt</b>	<b>1.014</b>	<b>146</b>	<b>1.160</b>	<b>1.165</b>

Tabelle 114 Energiebilanz (Strom) der Städte Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen

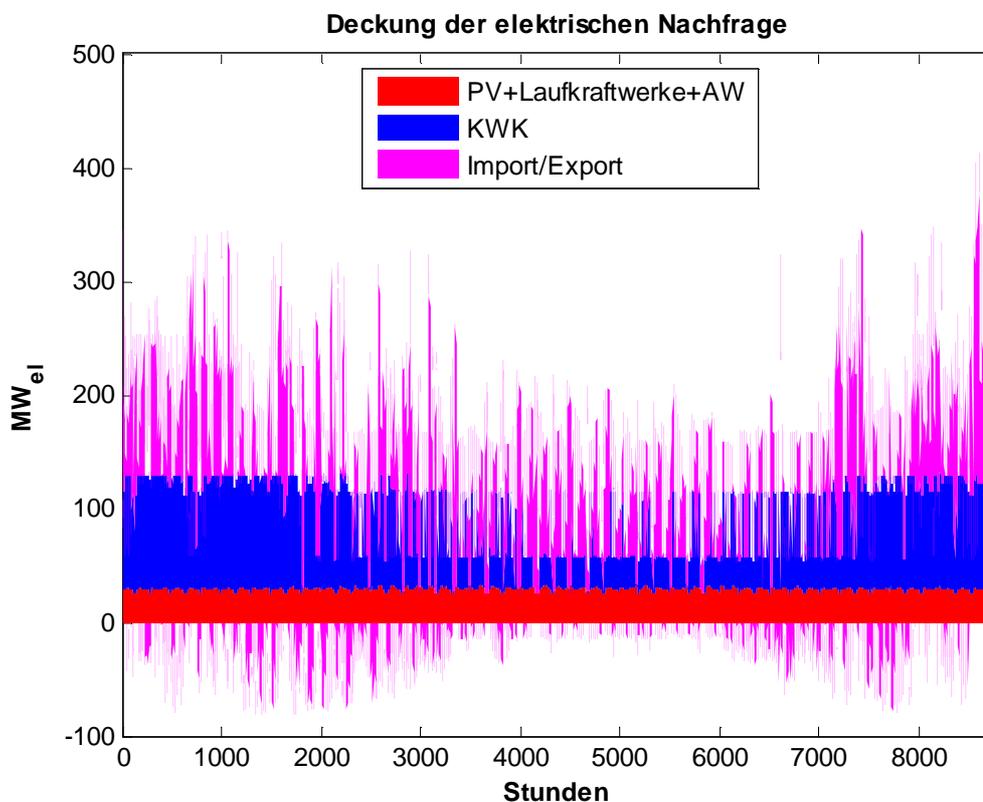


Abbildung 46 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Salzburg und Hallein mit Ausbaubeschränkung

## Kostenübersicht

	Salzburg	Hallein	Summe Salzburg + Hallein	Salzburg + Hallein gekoppelt
Kostenart	Kosten [Tausend. €]	Kosten [Tausend. €]	Kosten [Tausend. €]	Kosten [Tausend. €]
Anfahrkosten	267	19	286	305
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	44.629	918	45.547	44.734
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	43.075	6.377	49.452	49.448
Investitionskosten	4.543	770	5.313	5.273
davon:				
Fernwärmenetz	1.647	204	1.851	1.814
Boiler	852	213	1.065	1.064
Wärmepumpen	2.044	353	2.397	2.395
Stromhandel	10.915	-729	10.186	10.447
<b>GESAMT</b>	<b>103.429</b>	<b>7.355</b>	<b>110.784</b>	<b>110.207</b>
	[Tausend t]	[Tausend t]	[Tausend t]	[Tausend t]
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß</b>	<b>557</b>	<b>18</b>	<b>575</b>	<b>577</b>

**Tabelle 115 Kostenaufteilung und CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen**

Vergleicht man die Kosten des gekoppelten und entkoppelten Betriebes der Fernwärmenetze, können lediglich geringe Kosteneinsparungen festgestellt werden. Diese Einsparungen werden durch die Nutzung der überschüssigen Fernwärme aus der Abwärmeauskopplung in Hallein eingespart. Durch die Annahme gleicher Verbraucherstruktur, Gebietsaufteilung und Deckungsgrade in Hallein sowie in Salzburg, ist dieser Vergleich als nicht aussagekräftig zu interpretieren. Um detaillierte Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der Kopplung der Fernwärmenetze treffen zu können, muss die Stadt Hallein genauer analysiert und in das Modell eingebunden werden.

### **4.3.2.4. CO<sub>2</sub>-Reduktionsdurchlauf**

In diesem Szenario wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der beiden gekoppelten Städte (577 Tausend t) um 20% reduziert. Daraus ergibt sich ein Zielwert von 461 Tausend t für das Verbundnetz. Die Beschränkungen hinsichtlich Boiler, Wärmepumpe und Fernwärmenetz bleiben aufrecht.

Der Optimierungsalgorithmus benötigte 14.172 Sekunden (4 h) , wobei ein „optimality-gap“ von 0,78% verblieb. Die Gesamtkosten beliefen sich dabei auf € 126,54 Mio. und liegen dadurch um € 16,33 Mio. und 14,8% höher als im Durchlauf mit gekoppeltem Fernwärmenetz.

### Investitionen

Anhand der Investitionsübersicht in Tabelle 116 ist bereits ersichtlich, dass ein hoher Betrag in den Ausbau von Photovoltaikanlagen investiert wird, um Strom ohne CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu produzieren. Die Ausbaufäche von 1,28 km<sup>2</sup> würde 60% der im Zuge dieser Arbeit als geeignet eingestuften Dachflächen in Anspruch nehmen. Die Reduktion des Investitionsvolumens in den Boiler deutet darauf hin, dass im Fernwärmegebiet die Nachfrage vermehrt mit den bestehenden KWK-Technologien gedeckt wird, wobei bei der Versorgung im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet mehr auf die strombetriebene Technologie der Wärmepumpen gesetzt wird. In Summe erhöhen sich die Investitionskosten um € 20,40 Mio. und liegen dadurch über der Erhöhung der Gesamtkosten.

Technologie	Salzburg + Hallein gekoppelt		Salzburg + Hallein gekoppelt mit CO <sub>2</sub> -Reduktion	
	Kosten [Mio. €]	Ausbau	Kosten [Mio. €]	Ausbau
Fernwärmenetz	1,8	4.487 Anschlüsse	2,0	5.054 Anschlüsse
Boiler	1,1	150 MW	0,6	86,44 MW
Wärmepumpen	2,4	33,78 MW	2,6	36,61 MW
PV	0	-	20,5	1.281.515 m <sup>2</sup>
<b>GESAMT</b>	<b>5,3</b>		<b>25,7</b>	

Tabelle 116 Investitionskosten der Durchläufe Salzburg mit Hallein mit und ohne CO<sub>2</sub>-Restriktion

### Fernwärmegebiet

In Tabelle 117 sind die Auswirkungen der Investitionsänderungen gegenüber dem Durchlauf mit Ausbaubeschränkung auf die Erzeugung der Wärmenachfrage im Fernwärmegebiet ersichtlich. Die Wärmeerzeugung durch KWK-Anlagen und FHW steigt um mehr als 18,6%, wobei die Produktion des Boilers auf 27% seines Wertes aus dem Durchlauf mit Ausbaubeschränkung sinkt. Das kumulierte Speichervolumen des Jahres sinkt von 1.439 GWh auf 1024 GWh, wodurch sich auch die Speicherverluste verringern.

Kostenart	Salzburg + Hallein gekoppelt	Salzburg + Hallein gekoppelt mit CO <sub>2</sub> -Reduktion
	Wärmemenge [GWh]	Wärmemenge [GWh]
KWK + FHW	1.085	1.287
Abwärme	126	126
Boiler	289	78
Speicherverluste	-29	-20
Lade- und Entladeverluste	-2	-2
<b>Gesamt</b>	<b>1.469</b>	<b>1.469</b>
<b>10% Netzverluste</b>	<b>-147</b>	<b>-147</b>
<b>FW-Nachfrage</b>	<b>1.322</b>	<b>1.322</b>

Tabelle 117 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) der Städte Salzburg und Hallein mit CO<sub>2</sub>-Reduktion

Kraftwerk	Modellierung	Salzburg + Hallein gekoppelt		Salzburg + Hallein gekoppelt mit CO <sub>2</sub> -Reduktion	
		Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]	Volllaststunden [h]	Wärmemenge [GWh]
Salzburg Mitte	GuD	6.087	761	6.503	808
Salzburg Mitte HK	FHW	546	42	978	75
Salzburg Nord	GD	2.434	120	3.717	184
Salzburg Nord HK	FHW	289	10	475	16
Schwarzenbergkaserne	FHW	2.361	40	3.017	51
Elsbethen	FHW	2.910	50	3.404	59
Siezenheim	GD	4.948	39	8.219	64
Hallein	FHW	2.150	23	2.824	30
<b>Gesamt</b>			<b>1.085</b>		<b>1.287</b>

Tabelle 118 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW in Salzburg und Hallein mit CO<sub>2</sub>-Reduktion

Tabelle 118 zeigt vergleichsweise die Erhöhung der Wärmeproduktionsmengen und Volllaststunden des Kraftwerksparks. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den bisherigen Szenarien hohe Stromimporte nötig waren, um die Wärmeerzeugung mit dem Boiler sicherzustellen. Der Emissionsfaktor des importierten Stromes wurde konstant mit 0,363 t pro MWh angenommen, wobei der Emissionsfaktor von Erdgas bei 0,2 t pro MWh Brennstoff liegt. Berücksichtigt man die Wirkungsgrade der Kraftwerke bzw. des Boilers, ergeben sich die tatsächlich entstehenden Emissionen pro erzeugter Energieeinheit, welche bei der Produktion mit KWK-Anlagen und FHW, besonders in Betriebspunkten hoher Erzeugung, unter den Werten des Boilers/Stromimporten liegen. Aus diesem Grund wird in diesem Szenario sogar der Heizkessel des Kraftwerks Salzburg Nord

eingesetzt. In Abbildung 47 ist erkennbar, dass der Boiler vermehrt in den Wintermonaten zum Einsatz kommt. Die Detailansicht einer Winterwoche in Abbildung 49 zeigt, dass der Boiler sowohl zur Deckung der direkten Nachfrage als auch zum Laden des Speichers verwendet wird.

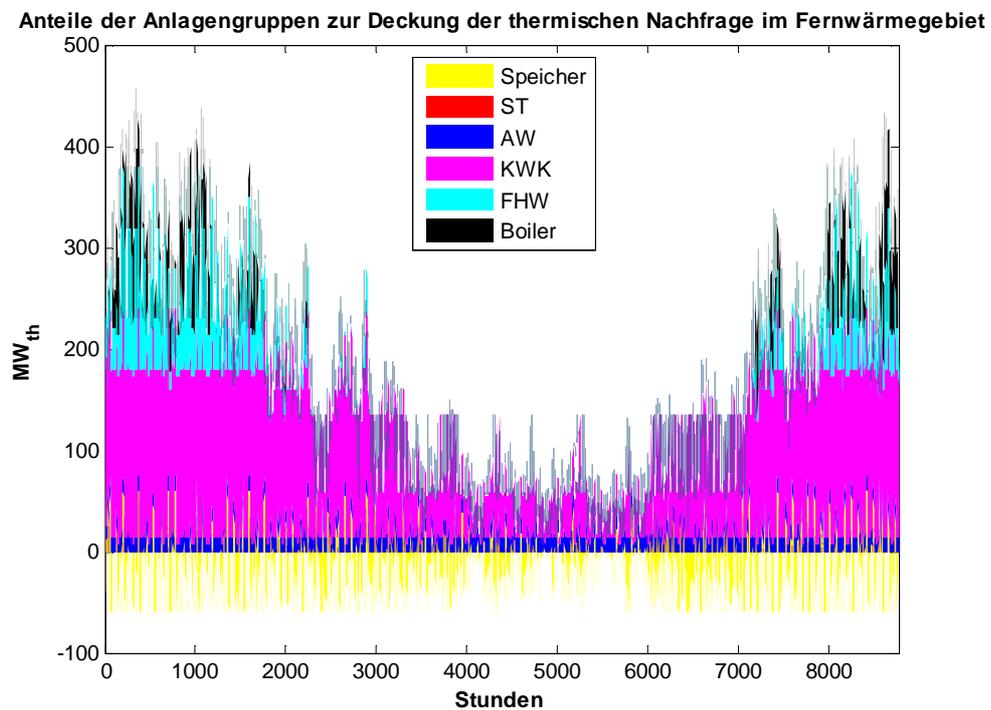


Abbildung 47 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet Salzburg und Hallein mit CO<sub>2</sub>-Reduktion

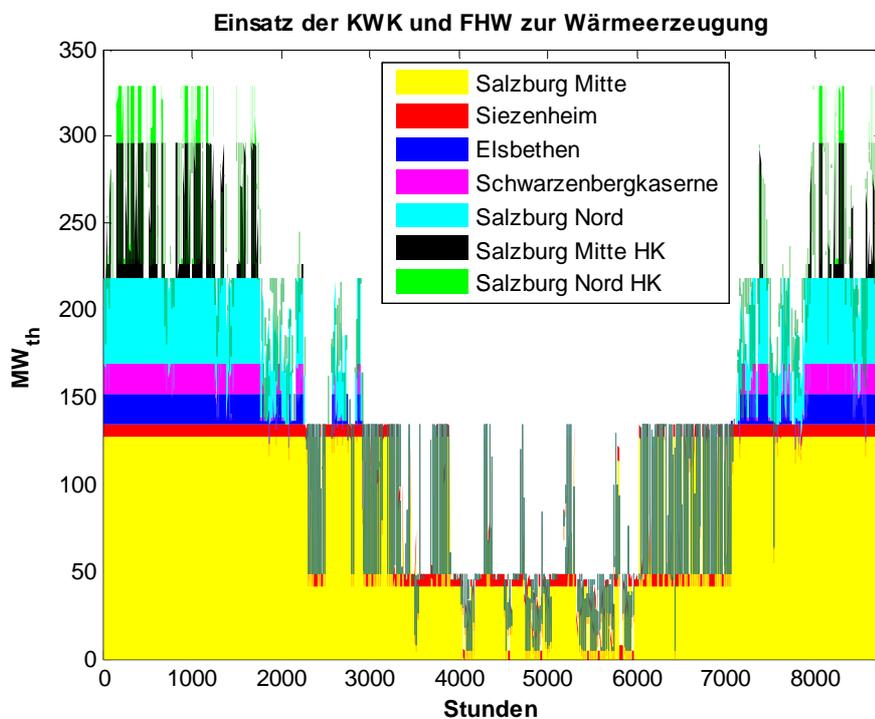


Abbildung 48 Kraftwerkseinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Salzburg und Hallein mit CO<sub>2</sub>-Restriktion

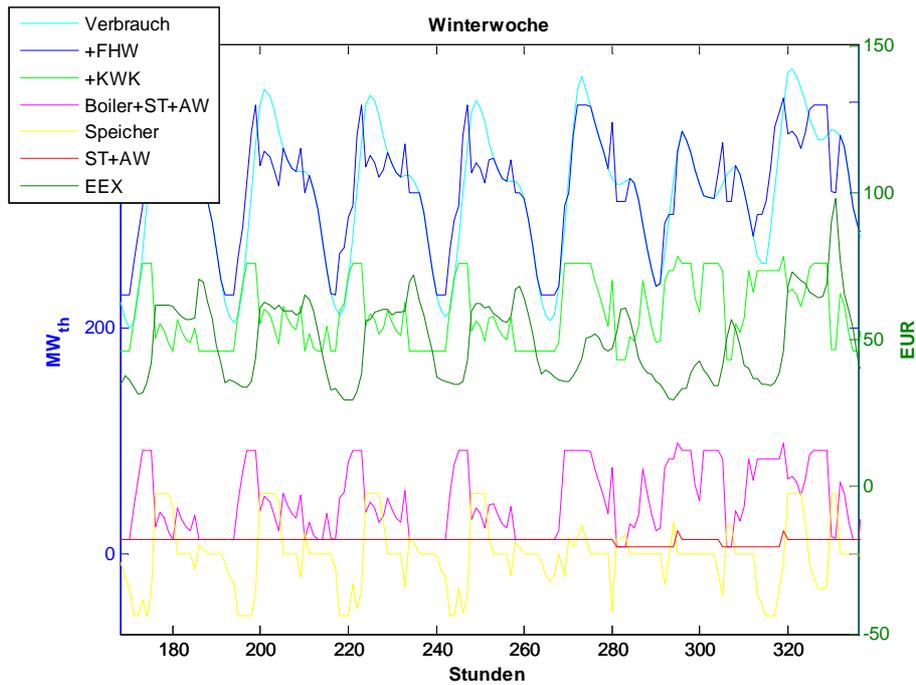


Abbildung 49 Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet einer Winterwoche in Salzburg und Hallein mit CO<sub>2</sub>-Reduktion inkl. Strommarktpreise

#### Restliches Gebiet

Im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet ergibt sich lediglich eine geringe Verschiebung der Nachfragedeckung von der Therme zur Wärmepumpe, da deren Leistung im Vergleich zum Durchlauf mit Ausbaubeschränkung erhöht wird.

#### Stromnachfrage

Die Reduktion der Leistung des Boilers führt dazu, dass die jährliche Stromnachfrage von 1.165 GWh auf 949 GWh sinkt. Die Deckung dieser Nachfrage wird anhand der in Tabelle 119 dargestellten Technologien gewährleistet, wobei der hohe Wert an erzeugter Strommenge durch PV-Anlagen auffällt. Diese Strommenge wird vor allem in den Sommermonaten zur Verfügung gestellt. In Abbildung 50 ist deutlich zu erkennen, dass in den Wintermonaten vermehrt auf Stromproduktion durch KWK-Anlagen gesetzt wird. Im 2. und 3. Quartal sind die PV-Anlagen für 32% und im 1. und 4. Quartal für 9% der Nachfragedeckung verantwortlich.

	Salzburg + Hallein gekoppelt	Salzburg + Hallein gekoppelt mit CO <sub>2</sub> -Reduktion
Art	Strommenge [GWh]	Strommenge [GWh]
KWK	550	607
PV	4	184
Laufkraftwerke	196	196
Abwärme (Biogasanlage)	58	58
Stromimport	360	-96
Überproduktion	-3	0
<b>Gesamt</b>	<b>1.165</b>	<b>949</b>

Tabelle 119 Energiebilanz (Strom) der Städte Salzburg und Hallein mit CO<sub>2</sub>-Reduktion

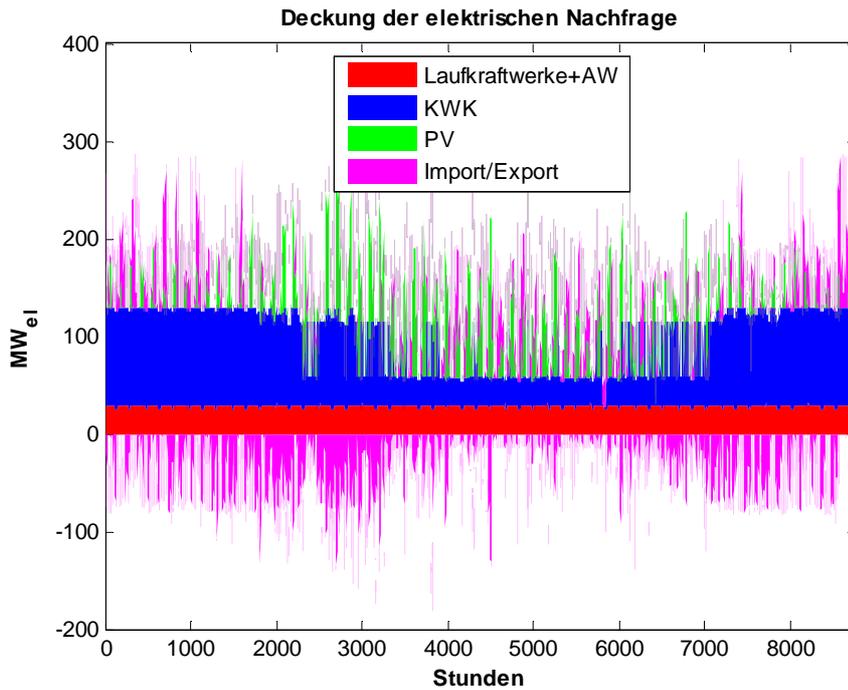


Abbildung 50 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Salzburg und Hallein mit CO<sub>2</sub>-Reduktion

Abbildung 51 zeigt die Differenz des Strombedarfs aus dem Durchlauf mit Ausbaubeschränkung und dem Durchlauf mit CO<sub>2</sub>-Reduktion in Salzburg und Hallein. Die Verringerung des Strombedarfs im Winter ist deutlich zu erkennen, wobei der Strombedarf zu manchen Zeitpunkten im Durchlauf mit CO<sub>2</sub>-Reduktion höher liegt. Die Gründe dafür sind in der Vergleichsdarstellung Abbildung 52 zu erkennen und begründen sich durch die teilweise längere Einschaltdauer des Boilers, um den Speicher zu laden. Wie bereits erwähnt, verringert sich das kumulierte Speichervolumen des Jahres von 1.439 GWh auf 1024 GWh.

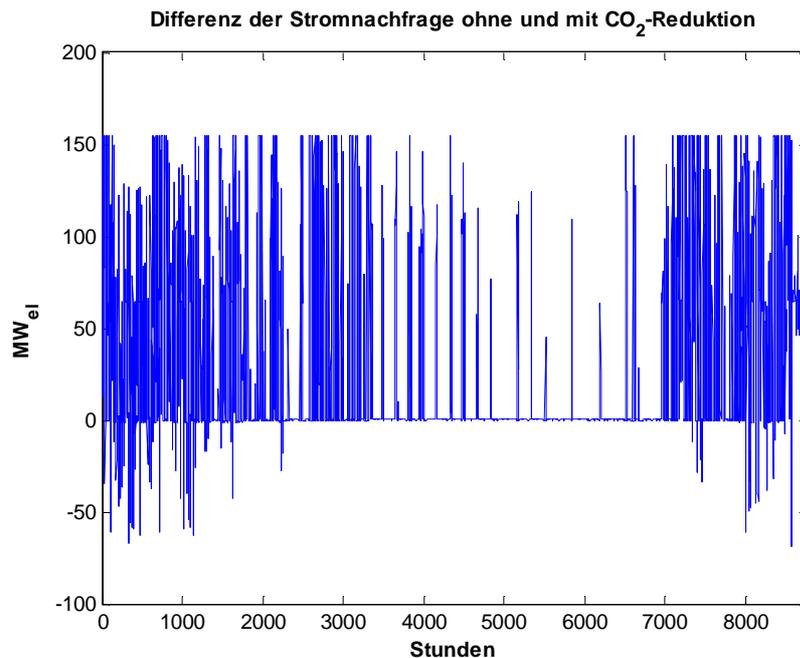
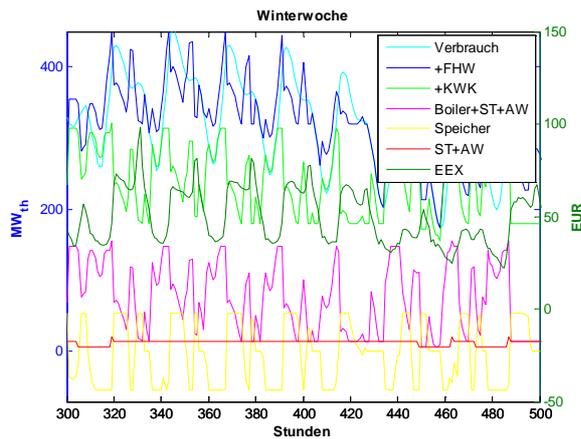
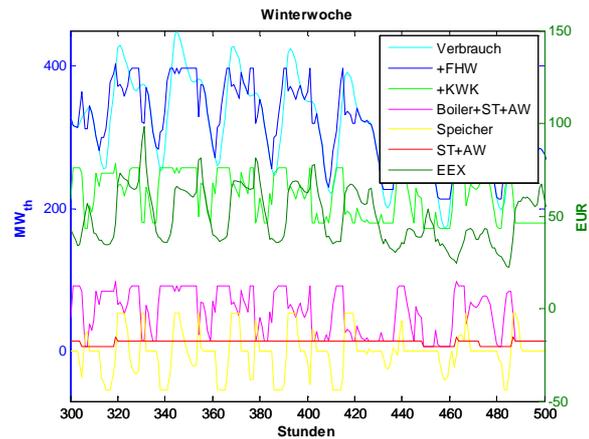


Abbildung 51 Differenz des Strombedarfs aus dem Durchlauf mit Ausbaubeschränkung und dem Durchlauf mit CO<sub>2</sub>-Reduktion in Salzburg und Hallein



Durchlauf mit Ausbaubeschränkung



Durchlauf mit CO<sub>2</sub>-Reduktion

Abbildung 52 Vergleich einer Winterwoche im Durchlauf mit Ausbaubeschränkung mit dem CO<sub>2</sub>-Reduktionsdurchlauf

### Kostenübersicht

Kostenart	Salzburg + Hallein gekoppelt Kosten [Mio. €]	Salzburg + Hallein gekoppelt mit CO <sub>2</sub> -Reduktion Kosten [Mio. €]
Anfahrkosten	0,3	0,1
Produktionskosten (KWK & FHW inkl. CO <sub>2</sub> )	44,7	53,5
Produktionskosten (Therme inkl. CO <sub>2</sub> )	49,5	49,3
Investitionskosten	5,3	25,7
davon:		
Fernwärmenetz	1,8	2,0
Boiler	1,1	0,6
Wärmepumpen	2,4	2,6
PV		20,5
Stromhandel	10,4	-1,9
<b>GESAMT</b>	<b>110,2</b>	<b>126,5</b>
	<b>[Tausend t]</b>	<b>[Tausend t]</b>
CO <sub>2</sub> -Ausstoß	577	461

Tabelle 120 Kostenaufteilung und CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Salzburg und Hallein inkl. CO<sub>2</sub>-Restriktion

Der Kostenvergleich in Tabelle 120 zeigt geringere Anfahrkosten der KWK-Anlagen, welche durch mehr Produktionsstunden bzw. längere Laufzeiten und damit weniger Anfahrvorgänge entstehen. Die höhere Anzahl an Produktionsstunden ist an den deutlich höheren Produktionskosten erkennbar. Drastische Einsparungen können im Stromhandel verzeichnet werden. Diese Einsparungen werden aber mehr als zur Gänze durch die damit verbundenen Investitionskosten in PV-Anlagen aufgehoben. Die Installation der PV-Anlagen stellt aber einen der Hauptgründe für die CO<sub>2</sub>-Einsparungen dar.

in t	Salzburg + Hallein gekoppelt	Salzburg + Hallein gekoppelt mit CO <sub>2</sub> -Reduktion
CO <sub>2</sub> -Ausstoß KWK und FHW	278.300	329.400
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Therme	167.600	166.900
CO <sub>2</sub> -Ausstoß EEX-Handel	130.600	-35.000
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoß Gesamt</b>	<b>576.500</b>	<b>461.300</b>

Tabelle 121 Anteile am CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Versorgungsgebiete und Handel im Vergleich

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß verschiebt sich im Fall von Salzburg und Hallein in den Bereich des Fernwärmegebietes, in dem zur Nachfragedeckung vermehrt KWK-Anlagen zum Einsatz kommen. Dies geht aber mit hohen Einsparungen beim Stromhandel einher, wodurch in Summe 20% des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes eingespart werden können. Die Kosten pro Tonne eingespartem CO<sub>2</sub> belaufen sich auf € 141,60 pro t CO<sub>2</sub>.

## 5. Diskussion und Schlussfolgerung

### Ergebnisse

Die Modelldurchläufe von Graz und Salzburg haben gezeigt, dass der vorhandene Kraftwerkspark und Wärmequellen durch Abwärmeauskopplung einen starken Einfluss auf das Modellverhalten haben. Vorhandenes Abwärmepotential, welches nahezu konstant über das Jahr verteilt wurde, kann zur Grundlastdeckung im Fernwärmegebiet verwendet werden. In Salzburg wurde überschüssiges Abwärmepotential durch eine Kopplung des Fernwärmenetzes an Hallein genutzt, um Kosten durch anderswertige Wärmeerzeugung zu sparen. In den meisten Modelldurchläufen wurde in den Ausbau des Fernwärmenetzes investiert, wodurch die Nachfragekurve im Fernwärmegebiet angehoben wird. Dies geschieht solange der bestehende Kraftwerkspark kostengünstiger als andere Technologien in das Fernwärmenetz einspeisen kann. In Graz ist dies vorwiegend durch das mit Steinkohle betriebene Kraftwerk Mellach (ED) der Fall, da der Brennstoff im Vergleich zu Gas günstiger ist. Die Auswahl der Ausbaugebiete hängt von den Anschlusskosten pro Gebäude, der Wärmenachfrage und der Anzahl der Gebäude in den einzelnen Gebieten ab. Daraus ergeben sich Ausbaukosten für jede zusätzlich nachgefragte Wärmeenegeeinheit, welche anhand der Gebietsstruktur unterschiedlich ausfallen.

Auswirkungen auf die Einsatzzeiten von KWK-Anlagen und FHW können durch die Preisänderungen am Strommarkt festgemacht werden. Kann günstiger Strom importiert werden, wird verstärkt auf strombetriebene Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen und Boiler gesetzt. Dies führt soweit, dass vorhandene Stromnetzkapazitäten als überschritten eingestuft werden können. Aufgrund der unrealistischen errechneten Ausbauleistungen und der damit verbundenen Erhöhung der Stromnachfrage, wurden Beschränkungen in das Modell eingeführt. Erstens wurden die Ausbauleistungen auf einen realistischen Wert beschränkt und zweitens wurden für Spitzen in der Stromnachfrage Kosten in die Zielfunktion aufgenommen. Die Ausbaubeschränkungen führten zu zusätzlichen Investitionen in das Fernwärmenetz und die Berücksichtigung der Stromspitzen lediglich zu einer Reduktion dieser.

Investitionen in solarthermische Anlagen werden in keinem der Modelldurchläufe berechnet. Dies ist auf die hohen Investitionskosten und die vorwiegende Verfügbarkeit in den Sommermonaten zurückzuführen. Sind günstige Grundlasterzeuger vorhanden, mit denen die Nachfrage in den Sommermonaten gedeckt werden kann, entfällt die Notwendigkeit zum Ausbau dieser Technologie. Ähnlich verhält sich der Ausbau von Photovoltaikanlagen, welche nur im Fall einer CO<sub>2</sub>-Reduktion in Salzburg ausgebaut werden. In Graz verschiebt sich im Durchlauf der CO<sub>2</sub>-Reduktion die Energieerzeugung durch das Steinkohlekraftwerk Mellach (ED) in Richtung von CO<sub>2</sub>-ärmeren Kraftwerken, welche mit Gas betrieben werden. Vergleicht man den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß zur Energieerzeugung (Wärme und Strom) werden (im Durchlauf mit Ausbaubeschränkungen von strombetriebenen Technologien) in Salzburg 168 t pro GWh und in Graz 342 t GWh ausgestoßen. Dies erklärt auch die unterschiedlich notwendigen Strategien zur CO<sub>2</sub>-Reduktion. In beiden Städten müssen die Gesamtkosten um 15% erhöht werden, um die Einsparungen zu erreichen. Die Kosten pro reduzierter Tonne CO<sub>2</sub> belaufen sich in Salzburg auf € 141,60 pro t CO<sub>2</sub>, wobei diese in Graz deutlich niedriger bei € 72,38 pro t CO<sub>2</sub> liegen.

## Modell

Die Grundlage für das Modell stellt die Berechnung der Wärme- und Stromnachfrage der Versorgungsgebiete dar. Dabei wurde anhand unterschiedlicher Methoden versucht realistische Werte zu ermitteln. Die dabei oftmals auftretenden Unterschiede zeugen von der Schwierigkeit genaue Daten zu generieren. Hierbei bestünde die Möglichkeit durch detaillierte und dadurch zeitaufwändigere Analyse der Modellstädte und der sich darin befindenden Verbraucher auf genauere Werte zu schließen. Durch genauere Datengrundlagen kann der Ausbau des Fernwärmenetzes möglicherweise detaillierter und realistischer gestaltet werden. Dabei sollte auch auf die erzielbaren Deckungsgrade in einzelnen Gebieten, welche in dieser Arbeit mit 100% angenommen wurden, eingegangen werden. Zusätzlich ermöglichen es detailliertere Inputdaten den Fernwärmeausbau in Industrie- und Gewerbegebieten zu beurteilen.

Die Modellierung der Kraftwerksanlagen wurde zum größten Teil aus einer bestehenden Arbeit übernommen, welche anhand von wenig zur Verfügung stehenden Betriebspunkten erstellt wird (Büchele, 2013). Um die damit verbundenen Ungenauigkeiten beheben zu können, müssten genaue Fahrweisen der Kraftwerksanlagen bekannt sein. Genaue Fahrweisen würden zusätzliche Restriktionen verlangen und die teilweise bereits hohe Rechenzeit des Modells weiter erhöhen. Zusätzlich zu der ungenauen Modellierung der Erzeugungstechnologien werden die Kosten für den Ausbau dieser anhand von Schätzungen festgelegt, welche die Modellgenauigkeit zusätzlich beeinflussen. Eine zusätzliche Erweiterungsmöglichkeit stellt die Modellierung des Ausbaus von KWK-Anlagen und FHW dar.

Die im Modell verwendeten Daten und Stromhandelspreise basieren vorwiegend auf Daten aus der Vergangenheit. Somit wird eine Bewertung von vergangenen bzw. bestehenden Strukturen ermöglicht. Durch Einführung von geeigneten Parametern, welche Aussagen über die Entwicklung der Strommarktpreise, Sanierung von Gebäuden, Wärmebedarf von Neubauten usw. zulassen, kann -basierend auf diesem Modell- ein Zukunftsmodell erstellt werden. In diesem Zusammenhang müssen auch die Auswirkungen der Modellergebnisse berücksichtigt werden. In den Durchläufen ohne Beschränkungen wurden aufgrund von geringen Strompreisen hohe Investitionen in strombetriebene Wärmeerzeuger getätigt, wodurch die Stromnachfrage drastisch erhöht wurde. Diese Erhöhung würde durch den Zusammenhang von Angebot und Nachfrage voraussichtlich eine Preisänderung im Strommarkt bewirken, welche sich im Gegenzug negativ auf die Investitionen in diese Technologien auswirken würde. Ein weiterer Kritikpunkt entsteht durch die konstant angenommenen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromhandel. Da die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromhandels in der Realität vom eingesetzten Kraftwerkspark und dadurch auch von der Stromnachfrage abhängen, müssten diese variabel gestaltet werden. Dies hätte den Vorteil, dass die CO<sub>2</sub>-Kosten durch den Stromhandel in der Zielfunktion realistischer berücksichtigt werden und den Erzeugermix zusätzlich beeinflussen würden.

## Literaturverzeichnis

- Blesl, M., 2002. Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs.
- Blesl, M., Kempe, S., Ohl, M., Fahl, U., König, A., Jansen, T., Eltrop, L., 2009. Wärmetlas Baden-Württemberg-Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen.
- Blesl, M., Kessler, A., 2013. Energieeffizienz in der Industrie. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Böhmer, S., Gössl, Michael, 2009. Optimierung und Ausbaumöglichkeiten von Fernwärmesystemen. Umweltbundesamt, Wien.
- Braunion Österreich, 2013. CO2 NEUTRALE - Energiebereitstellung.
- Brunnengraber, B., Loga, T., 1996. Jahresdauerlinien für Niedrigenergiesiedlungen.
- Bücheler, R., 2013. Implementierung eines Investitions- und Optimierungsmodells zur kostenminimalen Jahresdeckung des Strom- und Wärmebedarfs innerhalb eines regionalen Energieparks.
- Eberhartinger-Tafill, S., 2010. Leitfaden für das Klima- und Energiekonzept im Rahmen von UVP-Verfahren.
- E-Control, 2013. Gesamtaufbringung nach ENTSO - E.
- e&t - Emission factors [WWW Document], 2015. URL <http://www.eundt.at/en/information-centre/useful-helpful/emission-factors> (accessed 1.19.15).
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2009. Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006.
- Freileitung, 2015. . Wikipedia.
- Frondele, M., Ritter, N., 2012. Datenauswertung zum Energieverbrauch der privaten Haushalte differenziert nach Gebäudemerkmale: Sonderauswertung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). RWI Projektberichte.
- Griessacher, T., Fohringer, H., Aigner, A., Schlemmer, P., 2013. Wärmeauskopplung am Standort Marienhütte Graz - Eine Erfolgsgeschichte. Presented at the ASMET Forum 2013.
- Groscurth, H., 2010. Diskussionspapier Kraft-Wärme-Kopplung.
- Gurobi Optimization, 2015. Mixed integer programming basics [WWW Document]. URL <http://www.gurobi.com/resources/getting-started/mip-basics> (accessed 3.9.15).
- Hansmann, K.-W., 2001. Industrielles Management, 7., völlig überarb. und erw. Aufl. ed. Oldenbourg, München ; Wien.
- Heizkraftwerk Salzburg Mitte, 2015. . Wikipedia.
- Heizkraftwerk Salzburg Nord, 2014. . Wikipedia.
- Hellwig, M., 2003. Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile. TU München.
- Historische Daten : EXAA Energy Exchange Austria [WWW Document], 2014. URL <http://www.exaa.at/de/marktdaten/historische-daten> (accessed 2.27.15).
- Holzcluster Steiermark, 2012. Ab 2016 Wärme von Sappi Gratkorn für Graz [WWW Document]. URL <http://www.holzcluster-steiermark.at/index.php/424-ab-2016-waerme-von-sappi-gratkorn-fuer-graz> (accessed 12.22.14).
- Huemer, F., Reithofer, J., Lüftenegger, P., Strobl-Schilcher, G., 2013. Energiebericht 2013 - Smart City Salzburg.
- Huemer, F., Reithofer, J., Lüftenegger, P., Strobl-Schilcher, G., 2015. Stadt Salzburg - Masterplan 2025 - Smart City Salzburg.
- IG Windkraft, 2015. Karte der installierten Windkraftanlagen in Österreich [WWW Document]. URL [https://www.igwindkraft.at/index.php?xmlval\\_ID\\_KEY%5B0%5D=1055](https://www.igwindkraft.at/index.php?xmlval_ID_KEY%5B0%5D=1055) (accessed 2.9.15).
- Industriellenvereinigung Steiermark, 2014. Industrielandkarte Steiermark [WWW Document]. URL <http://landkarte.dieindustrie.at/> (accessed 9.23.14).
- Kapfenberger-Pock, A., 2013. Grazer Solarkataster.
- Land Oberösterreich, 2011. Informationsbroschüre Photovoltaik.

- Lutsch, W., Neuffer, H., Witterhold, F.-G., Pfaffenberger, W., Eikmeier, B., Schulz, W., Heckler, R., Kleemann, M., Krüger, B., Neidhart, H., Sester, P., 2004. Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien. Band 1: Wirtschaftliche Rahmendaten, Räumlich verteilter Energiebedarf, Digitale Wärmekarte. Universitätsbibliothek der Universität Stuttgart, Holzgartenstr. 16, 70174 Stuttgart.
- MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG, 2012. Umwelterklärung 2012 - MAGNA.
- MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG, 2010. Umwelterklärung 2010 - MAGNA.
- MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG, 2007. Umwelterklärung 2007 - MAGNA.
- My Maps [WWW Document], 2015. URL <https://www.google.com/maps/d/> (accessed 1.24.15).
- Neuffer, H., Witterhold, F.-G., Pfaffenberger, W., Gregorzewski, A., Schulz, W., Blesl, M., Fahl, U., Voß, A., Jochem, E., Mannsbart, W., Radgen, P., Schmid, C., Dribbisch, M., Sager, J., Sander, T., Zschernig, J., Carter, J.M., Mauch, W., David, R., Dötsch, C., Fahlenkamp, H., Hölder, D., 2001. Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien. Band 2: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes + Technologieentwicklung und -bewertung. Universitätsbibliothek der Universität Stuttgart, Holzgartenstr. 16, 70174 Stuttgart.
- Niedermaier, M., 2012. Abwärmepotenzialerhebung 2012 - Erhebung außerbetrieblicher Potenziale in österreichischen Industriebetrieben.
- Pavlovec-Meixner, A., 2013. Dringlicher Antrag zur erwärmeversorgung in Graz (Die Günen) [WWW Document]. URL [http://www.graz.at/cms/dokumente/10224011\\_5419820/c09462be/05\\_%20Gr%C3%BCne%20GRin%20Pavlovec-Meixner%20Fernw%C3%A4rmeversorgung.pdf](http://www.graz.at/cms/dokumente/10224011_5419820/c09462be/05_%20Gr%C3%BCne%20GRin%20Pavlovec-Meixner%20Fernw%C3%A4rmeversorgung.pdf) (accessed 2.23.15).
- Power-to-Heat, 2015. . Wikipedia.
- RP-Energie-Lexikon - Heizwert, Energiedichte [WWW Document], 2015. URL <https://www.energielexikon.info/heizwert.html> (accessed 1.19.15).
- Salzburg AG, 2015. Biogas-Blockheizkraftwerk Hallein - Anlagen - Herkunft [WWW Document]. Salzburg. AG Für Energ. Verk. Telekommunikation. URL <http://www.salzburg-ag.at/herkunft/anlagen/biogas-blockheizkraftwerk-hallein-2608/> (accessed 3.12.15).
- Salzburg AG, 2013. Kraft-Wärme-Kopplung.
- Salzburg AG, 2012a. Sonnenkraft.
- Salzburg AG, 2012b. Wasserkraft - Kraftwerksgruppe Flachgau/Tennengau.
- Sander, K., 2004. Potentiale und Perspektiven stationärer Brennstoffzellen. Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Schlemmer, P., 2011. Wärmearaufbringung und Wärmeverteilung in Graz.
- Schneider, J., 2013. REP0420.pdf.
- Schweighofer Fiber GmbH, 2014. Umwelterklärung 2014.
- Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe [WWW Document], 2015. URL <http://volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index.php> (accessed 1.19.15).
- Statistik Austria, 2014. Modellierung des Stromverbrauchs in den privaten Haushalten Österreichs nach unterschiedlichen Verwendungszwecken.
- Statistik Austria, 2013. Jahresdurchschnittspreise und -steuern für die wichtigsten Energieträger 2013.
- Statistik Austria, 2012. STATISTIK AUSTRIA - Nutzenergieanalyse [WWW Document]. URL [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/) (accessed 10.31.14).
- Statistik Austria, 2011a. Statistische Datenbank - Bevölkerung zu Quartalsbeginn ab 2002 [WWW Document]. URL <http://statcube.at/statistik.at/ext/superweb/loadDatabase.do?db=debevestand> (accessed 11.3.14).
- Statistik Austria, 2011b. Statistische Datenbank - Registerzählung 2011 - AZ: Beschäftigte in der Arbeitsstätte [WWW Document]. URL

- [http://statcube.at/statistik.at/ext/superweb/loadDatabase.do?db=deregz\\_rzaz\\_astbesch](http://statcube.at/statistik.at/ext/superweb/loadDatabase.do?db=deregz_rzaz_astbesch)  
(accessed 10.31.14).
- Statistik Austria, 2011c. Standard-Dokumentation (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zu den Energiebilanzen für Österreich und Bundesländer.
- Statistik Austria, 2011d. Statistische Datenbank - Registerzählung 2011 -GWZ: Gebäude [WWW Document]. URL  
[http://statcube.at/superwebguest/autoLoad.do?db=derzgwz\\_rzgwz2011\\_gebaeude](http://statcube.at/superwebguest/autoLoad.do?db=derzgwz_rzgwz2011_gebaeude)  
(accessed 10.29.14).
- Statistik Austria, 2009. Methodeninventar zu den volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen in Österreich.
- Verbund, 2015. VERBUND Kraftwerke - Wärmekraftwerk [WWW Document]. URL  
<http://www.verbund.com/pp/de/waermekraftwerk> (accessed 2.3.15).
- Westdeutsche Länder – Wikipedia [WWW Document], 2014. URL  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Westdeutsche\\_L%C3%A4nder](http://de.wikipedia.org/wiki/Westdeutsche_L%C3%A4nder) (accessed 6.15.14).
- Wolff, D., Jangow, K., 2011. Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung. Wolfenbüttel/Braunschweig.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersicht über die Erzeugungstechnologien im bestehenden Modell, (Büchele, 2013) ...	3
Abbildung 2 Übersicht über die Erzeugungstechnologien und Nachfragen in erweiterter Modell, in Anlehnung an (Büchele, 2013) .....	6
Abbildung 3 Investitionskosten über der Abwärmemenge von Abwärmeauskopplungsanlagen .....	11
Abbildung 4 Gliederung des Gebäudebestand zur Ermittlung des Energiebedarfs .....	18
Abbildung 5 Sigmoidale Approximation und Verbrauch eines Haushaltskollektivs (Hellwig, 2003) .....	25
Abbildung 6 Normierter Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur im Bereich Metall & KFZ .....	26
Abbildung 7 Beispiel synthetisierter Lastverläufe für den Prozesswärmebedarf (Sander, 2004) .....	28
Abbildung 8 Normierte Schichtlastprofile SVHH und ZVAA .....	29
Abbildung 9 Normierter Kältebedarf in Abhängigkeit von gewichteten Tagesmitteltemperatur .....	29
Abbildung 10 Normierte Kälteprofile für Gewerbe und Privathaushalt einer warmen Sommerwoche .....	30
Abbildung 11 Wärmeprofile der Stadt Graz (Gesamtprofil, Sommerwoche, Winterwoche) .....	49
Abbildung 12 Stromprofile der Stadt Graz (Gesamtprofil, Wochenprofil) .....	50
Abbildung 13 Einteilung in Siedlungsgebiete Graz .....	51
Abbildung 14 Fernwärmenetz in Graz .....	53
Abbildung 15 Produktionsregionen der KWK-Anlagen in Graz .....	55
Abbildung 16 Einteilung in Siedlungsgebiete Salzburg .....	70
Abbildung 17 Fernwärmenetz in Salzburg .....	72
Abbildung 18 Produktionsregionen der KWK-Anlagen in Salzburg .....	74
Abbildung 19 Ausbaugebiete in Graz .....	84
Abbildung 20 Stromnachfrage mit und ohne der Nachfrage von Boiler und Wärmepumpen in Graz (inkl. FW-Ausbau) .....	85
Abbildung 21 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet in Graz (inkl. FW-Ausbau) .....	87
Abbildung 22 Kraftwerkeinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Graz (inkl. FW-Ausbau) .....	87
Abbildung 23 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Graz (inkl. FW-Ausbau) .....	89
Abbildung 24 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Graz (inkl. FW-Ausbau) .....	90
Abbildung 25 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Graz (mit Ausbaubeschränkung) .....	96
Abbildung 26 Stromnachfrage mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz .....	97
Abbildung 27 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Graz (mit Ausbaubeschränkung) .....	97
Abbildung 28 Stromnachfrage mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz .....	101
Abbildung 29 Kraftwerkeinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Graz (inkl. CO <sub>2</sub> -Reduktion) .....	104
Abbildung 30 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet in Graz (inkl. CO <sub>2</sub> -Reduktion) .....	104
Abbildung 31 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Graz (inkl. CO <sub>2</sub> -Reduktion) .....	105
Abbildung 32 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet Salzburg .....	108
Abbildung 33 Kraftwerkeinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Salzburg .....	108
Abbildung 34 Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet einer Sommerwoche in Salzburg inkl. Strommarktpreise .....	110

Abbildung 35 Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet einer Winterwoche in Salzburg inkl. Strommarktpreise .....	110
Abbildung 36 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Salzburg.....	111
Abbildung 37 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Salzburg .....	112
Abbildung 38 Ausbaugesbiet in Salzburg.....	114
Abbildung 39 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet mit Ausbaubeschränkung in Salzburg.....	115
Abbildung 40 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg...	116
Abbildung 41 Stromnachfrage unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	117
Abbildung 42 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet Hallein ohne Kopplung an Salzburg (inkl. Ausbaubeschränkung) .....	119
Abbildung 43 Überproduktion an Fernwärme in Hallein ohne Kopplung an Salzburg (inkl. Ausbaubeschränkung) .....	120
Abbildung 44 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im gekoppelten Fernwärmegebiet Salzburg und Hallein mit Ausbaubeschränkung .....	121
Abbildung 45 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im nicht mit Fernwärme versorgten Gebiet in Salzburg und Hallein mit Ausbaubeschränkung .....	121
Abbildung 46 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Salzburg und Hallein mit Ausbaubeschränkung .....	122
Abbildung 47 Anteile zur Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet Salzburg und Hallein mit CO <sub>2</sub> -Reduktion.....	125
Abbildung 48 Kraftwerkseinsatz zur Fernwärmeerzeugung in Salzburg und Hallein mit CO <sub>2</sub> -Restriktion .....	125
Abbildung 49 Deckung der thermischen Nachfrage im Fernwärmegebiet einer Winterwoche in Salzburg und Hallein mit CO <sub>2</sub> -Reduktion inkl. Strommarktpreise .....	126
Abbildung 50 Anteile zur Deckung der Stromnachfrage in Salzburg und Hallein mit CO <sub>2</sub> -Reduktion	127
Abbildung 51 Differenz des Strombedarfs aus dem Durchlauf mit Ausbaubeschränkung und dem Durchlauf mit CO <sub>2</sub> -Reduktion in Salzburg und Hallein .....	127
Abbildung 52 Vergleich einer Winterwoche im Durchlauf mit Ausbaubeschränkung mit dem CO <sub>2</sub> -Reduktionsdurchlauf .....	128

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Netzlängen und Kosten unterschiedlicher Siedlungstypen, (Lutsch et al., 2004) .....	7
Tabelle 2 Übersicht technischer Abwärmepotentiale auf Branchenbasis, (Niedermair, 2012).....	10
Tabelle 3 Überleitung aus den Nutzenergieanalysen zur Ermittlung der Energiebedarfswerte im produzierenden Bereich.....	15
Tabelle 4 Überleitung aus den Nutzenergieanalysen zur Ermittlung der Energiebedarfswerte im Dienstleistungsbereich und Landwirtschaft.....	16
Tabelle 5 Überleitung aus den Nutzenergieanalysen zur Ermittlung der Energiebedarfswerte in privaten Haushalten .....	16
Tabelle 6 Siedlungstypen, (Neuffer et al., 2001).....	31
Tabelle 7 Prozentuelle Bestandteile der Siedlungstypen an Gebäudetypen, in Anlehnung an (Neuffer et al., 2001).....	31
Tabelle 8 Mittlere Wärmeanschlussdichte der Siedlungstypen, (Blesl, 2002).....	32
Tabelle 9 Prozentuelle Aufteilung der Gebäudetypen auf die Siedlungstypen, basierend auf Tabelle 7 .....	32
Tabelle 10 Gebäudedichten der einzelnen Siedlungstypen, (Neuffer et al., 2001) .....	32
Tabelle 11 Einwohner/Arbeitsstätten in Österreich, Steiermark und Graz, Quellen: (Statistik Austria, 2011a, 2011b).....	34
Tabelle 12 Energiebedarfswerte der Sektoren in Österreich und der Steiermark, (Statistik Austria, 2012).....	35
Tabelle 13 Energiebedarf im Siedlungsbereich/private Haushalte in Graz.....	36
Tabelle 14 Übersicht über die Zuordnung von Unternehmen und Arbeitsstätten in Graz laut IEA .....	37
Tabelle 15 Vergleich des Raumwärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz.....	38
Tabelle 16 Vergleich des Warmwasserbedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz.....	39
Tabelle 17 Vergleich des Prozesswärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz.....	40
Tabelle 18 Prozentuelle Aufteilung des Prozesswärmebedarfs auf unterschiedliche Temperaturniveaus laut Bereichen des produzierenden Sektors in Graz .....	41
Tabelle 19 Bedarf an elektrischer Kühlung in Graz anhand der Skalierungsmethode.....	41
Tabelle 20 Bedarf an Fernkälte und sonstiger Kühlung in Graz anhand der Skalierungsmethode.....	42
Tabelle 21 Vergleich des Bedarfs an elektrischer Energie anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz.....	42
Tabelle 22 Übersicht der Bedarfswerte der MAGNA Gruppe .....	43
Tabelle 23 Übersicht der Bedarfswerte von Stahl- und Walzwerk Marienhütte .....	44
Tabelle 24 Übersicht der Bedarfswerte der Brauerei Puntigam .....	45
Tabelle 25 Vergleich des Raumwärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Graz (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft).....	46
Tabelle 26 Berechneter Warmwasserbedarfs in Graz (öffentliche und private Dienstleistungen - Landwirtschaft).....	46
Tabelle 27 Umlagen des Prozesswärmebedarfs auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft) .....	46
Tabelle 28 Umlagen des Bedarfs an elektrischer Energie auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft) .....	46

Tabelle 29 Übersicht über die gewählten Energienachfragewerte für Graz.....	47
Tabelle 30 Zuteilung der Lastprofile in Graz.....	48
Tabelle 31 Wärmedichten der Siedlungstypen in Graz.....	52
Tabelle 32 Daten des GuD-Kraftwerks Mellach .....	54
Tabelle 33 Daten des FHKW Mellach (ED).....	54
Tabelle 34 Daten des FHKW Neudorf-Werndorf (ED) .....	54
Tabelle 35 Daten der KWK-Anlage Thondorf (GT).....	55
Tabelle 36 Daten des FHW Graz.....	55
Tabelle 37 Daten des FHW Thondorf .....	56
Tabelle 38 Übersicht der Solarthermieanlagen zur Einspeisung ins Fernwärmenetz Graz, (Schlemmer, 2011).....	56
Tabelle 39 Daten des Wärmespeichers in Graz.....	58
Tabelle 40 Einwohner/Arbeitsstätten in Österreich, Salzburg und Salzburg Stadt, Quellen: (Statistik Austria, 2011a, 2011b) .....	59
Tabelle 41 Energiebedarfswerte der Sektoren in Österreich und Salzburg, (Statistik Austria, 2012) ..	60
Tabelle 42 Energiebedarf im Siedlungsbereich/private Haushalte in Salzburg .....	61
Tabelle 43 Übersicht über die Zuordnung von Unternehmen und Arbeitsstätten in Salzburg laut IEA62	
Tabelle 44 Vergleich des Raumwärmebedarfs von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg .....	62
Tabelle 45 Vergleich des Warmwasserbedarfs von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg .....	63
Tabelle 46 Vergleich des Prozesswärmebedarfs von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg .....	64
Tabelle 47 Prozentuelle Aufteilung des Prozesswärmebedarfs auf unterschiedliche Temperaturniveaus laut Bereichen des produzierenden Sektors in Salzburg .....	65
Tabelle 48 Bedarf an elektrischer Kühlung von Industriebetrieben in Salzburg anhand der Skalierungsmethode.....	65
Tabelle 49 Fernkälte und sonstige Kühlung von Industriebetrieben in Salzburg anhand der Skalierungsmethode.....	66
Tabelle 50 Vergleich des Bedarfs an elektrischer Energie von Industriebetrieben anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg.....	66
Tabelle 51 Vergleich des Raumwärmebedarfs anhand der unterschiedlichen Berechnungsmethoden in Salzburg (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft).....	67
Tabelle 52 Berechneter Warmwasserbedarfs in Salzburg (öffentliche und private Dienstleistungen - Landwirtschaft).....	67
Tabelle 53 Umlagen des Prozesswärmebedarfs auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft) .....	67
Tabelle 54 Umlagen des Bedarfs an elektrischer Energie auf die Stadt Graz (öffentliche und private Dienstleistungen -Landwirtschaft) .....	68
Tabelle 55 Übersicht über die gewählten Energienachfragewerte für Salzburg .....	69
Tabelle 56 Wärmedichten der Siedlungstypen in Salzburg.....	71
Tabelle 57 Daten des Heizkraftwerks Mitte (GuD).....	73
Tabelle 58 Daten des Heizkraftwerks Nord (GD).....	73
Tabelle 59 Daten des Heizkraftwerks Siezenheim (GD) .....	74
Tabelle 60 Daten des Spitzenlastkessels Mitte (FHW) .....	75
Tabelle 61 Daten des Spitzenlastkessels Nord (FHW).....	75

Tabelle 62 Daten des Heizwerk Elsbethen .....	75
Tabelle 63 Daten des Heizwerk Schwarzenbergkaserne.....	75
Tabelle 64 Daten des Wärmespeichers in Salzburg .....	77
Tabelle 65 Daten der Laufkraftwerke in Salzburg .....	78
Tabelle 66 Daten des Heizkraftwerks Hallein.....	78
Tabelle 67 Daten der Laufkraftwerke in Hallein.....	79
Tabelle 68 Geschätzte Investitionskosten der erweiterbaren Technologien, (Büchele, 2013) .....	81
Tabelle 69 Ausbaugebiete in Graz.....	83
Tabelle 70 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne FW-Ausbau in Graz .....	85
Tabelle 71 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne FW-Ausbau in Graz .....	88
Tabelle 72 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne FW-Ausbau in Graz .....	88
Tabelle 73 Energiebilanz (Strom) mit und ohne FW-Ausbau in Graz .....	90
Tabelle 74 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne FW-Ausbau in Graz .....	90
Tabelle 75 Anteile am CO <sub>2</sub> -Ausstoß mit und ohne FW-Ausbau in Graz .....	91
Tabelle 76 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz.....	92
Tabelle 77 Anteile zur Nachfragedeckung mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz .....	92
Tabelle 78 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz .....	93
Tabelle 79 Anteile am CO <sub>2</sub> -Ausstoß mit Strommarktpreisen aus 2013 und 2011 in Graz .....	94
Tabelle 80 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz .....	95
Tabelle 81 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz .....	95
Tabelle 82 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz .....	96
Tabelle 83 Energiebilanz (Strom) mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz.....	97
Tabelle 84 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz .....	98
Tabelle 85 Anteile am CO <sub>2</sub> -Ausstoß mit und ohne Ausbaubeschränkung in Graz .....	98
Tabelle 86 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz .....	99
Tabelle 87 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz.....	100
Tabelle 88 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz .....	100
Tabelle 89 Energiebilanz (Strom) mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz.....	100
Tabelle 90 Energiebilanz (Strom) mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz.....	101
Tabelle 91 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz .....	101
Tabelle 92 Anteile am CO <sub>2</sub> -Ausstoß mit und ohne Berücksichtigung von Stromspitzen in Graz.....	102
Tabelle 93 Investitionskosten und Ausbau der Technologien mit und ohne CO <sub>2</sub> -Reduktion in Graz .....	103
Tabelle 94 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) mit und ohne CO <sub>2</sub> -Reduktion in Graz.....	103
Tabelle 95 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW mit und ohne CO <sub>2</sub> -Reduktion in Graz.....	103
Tabelle 96 Energiebilanz (Strom) mit und ohne CO <sub>2</sub> -Reduktion in Graz.....	105
Tabelle 97 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit und ohne CO <sub>2</sub> -Reduktion in Graz .....	106

Tabelle 98 Anteile am CO <sub>2</sub> -Ausstoß mit und ohne CO <sub>2</sub> -Reduktion in Graz .....	106
Tabelle 99 Investitionskosten und Ausbau der Technologien in Salzburg .....	107
Tabelle 100 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) in Salzburg .....	109
Tabelle 101 Volllaststunden und erzeugten Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW in Salzburg .....	109
Tabelle 102 Energiebilanz (Strom) in Salzburg .....	112
Tabelle 103 Kostenaufteilung des Durchlaufs mit Strompreisen aus 2013 und Fernwärmeausbau in Salzburg .....	112
Tabelle 104 Investitionskosten und Ausbau der Technologien unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	113
Tabelle 105 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	114
Tabelle 106 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	115
Tabelle 107 Energiebilanz (Wärme - im fernwärmefreien Gebiet) unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	115
Tabelle 108 Energiebilanz (Strom) unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	116
Tabelle 109 Kostenaufteilung unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	117
Tabelle 110 Anteile am CO <sub>2</sub> -Ausstoß unterschiedlicher Durchläufe in Salzburg .....	118
Tabelle 111 Investitionskosten der Städte Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen .....	119
Tabelle 112 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) der Städte Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen .....	120
Tabelle 113 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW in Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen .....	120
Tabelle 114 Energiebilanz (Strom) der Städte Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen .....	122
Tabelle 115 Kostenaufteilung und CO <sub>2</sub> -Ausstoß in Salzburg und Hallein in verschiedenen Durchläufen .....	123
Tabelle 116 Investitionskosten der Durchläufe Salzburg mit Hallein mit und ohne CO <sub>2</sub> -Restriktion .....	124
Tabelle 117 Energiebilanz (Wärme - im Fernwärmegebiet) der Städte Salzburg und Hallein mit CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	124
Tabelle 118 Volllaststunden und erzeugte Wärmemengen der KWK-Anlagen und FHW in Salzburg und Hallein mit CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	124
Tabelle 119 Energiebilanz (Strom) der Städte Salzburg und Hallein mit CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	126
Tabelle 120 Kostenaufteilung und CO <sub>2</sub> -Ausstoß in Salzburg und Hallein inkl. CO <sub>2</sub> -Restriktion .....	128
Tabelle 121 Anteile am CO <sub>2</sub> -Ausstoß der Versorgungsgebiete und Handel im Vergleich .....	128

# Anhang

## Anhang I Aufteilung des Energiebedarfs anhand der Nutzenergiekategorien von 2005 am Beispiel des produzierenden Bereiches in Österreich 2011

Produzierender Bereich Gesamt	Raum- heizung	Klima- anlage	Beleuchtung und EDV	Dampf- erzeugung	Industrie- öfen	Stand- motoren	Kfz	Sonstiges	davon Warmwasser	davon Kühlung	davon Elektrochemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke	Gesamt
	in TJ													
Steinkohle	1.085	0	0	3.309	8	0	0	0	0	0	0	0	0	4.403
Braunkohle	0	0	0	0	1.843	0	0	0	0	0	0	0	0	1.843
Koks	0	0	0	0	8.675	0	0	0	0	0	0	0	0	8.675
Petrolkoks	0	0	0	579	2.058	0	0	0	0	0	0	0	0	2.637
Heizöl	3.449	0	0	1.843	1.688	183	0	348	10	0	0	338	0	7.512
Heizöl extra leicht	1.708	1	0	597	454	55	0	137	78	0	0	50	9	2.953
Diesel	0	0	0	0	0	6.804	26.618	6.153	0	3	0	4	6.147	39.575
Benzin	0	0	0	0	0	164	1.474	37	0	0	0	0	37	1.675
Petroleum	0	0	0	0	8	0	0	1	1	0	0	0	0	9
Flüssiggas	491	4	0	128	958	14	12	419	2	0	0	8	408	2.026
Erdas	19.358	0	0	41.093	40.731	3.924	2	4.653	681	178	0	2.867	928	109.761
Elektrische Energie	1.993	2.351	7.023	889	12.962	72.771	65	3.021	231	1.681	362	59	688	101.075
Fernwärme	5.285	63	0	2.415	1.209	0	0	2.133	35	0	0	2.098	0	11.104
Scheitholz	245	0	0	598	200	0	0	4	4	0	0	0	0	1.046
Biogene Brenn- und Treibstoffe	10.151	0	0	31.752	6.764	0	2.211	3.560	44	0	0	2.193	1.323	54.437
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	37	0	0	6.956	7.335	0	0	0	0	0	0	0	0	14.328
Sonstige Energieträger	133	0	0	11	4.667	0	0	0	0	0	0	0	0	4.810
Umgebungs-wärme	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133
Gichtgas	0	0	0	4	1.544	0	0	0	0	0	0	0	0	1.547
Kokereigas	0	0	0	7	3.123	0	0	0	0	0	0	0	0	3.130
Brenntorf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>43.935</b>	<b>2.419</b>	<b>7.023</b>	<b>90.169</b>	<b>89.560</b>	<b>83.915</b>	<b>30.382</b>	<b>20.466</b>	<b>1.087</b>	<b>1.862</b>	<b>362</b>	<b>7.617</b>	<b>9.539</b>	<b>367.870</b>
Anteilig	13,0%	0,7%	2,1%	26,7%	26,5%	24,9%	9,0%	6,1%	0,3%	0,5%	0,1%	2,1%	2,6%	100,0%

Anhang II Aufteilung des Energiebedarfs anhand der Nutzenergiekategorien von 1998 am Beispiel der öffentlichen und privaten Dienstleistungen in Österreich 2011

Öffentliche und Private Dienstleistungen	Raumheizung und Klimaanlage	Dampferzeugung	Industrieöfen	Standmotoren	Traktion	Beleuchtung und EDV	Elektrochemische Zwecke	Summe
	in Terajoule							
Steinkohle	7	0	1	0		0	0	8
Braunkohle	107	0	26	0		0	0	133
Koks	38	0	0	0		0	0	38
Petrolkoks	0	0	0	0		0	0	0
Heizöl	765	93	20	45		0	0	922
Gasöl für Heizzwecke	3.097	47	56	0		0	0	3.200
Diesel	0	0	2	1.052		0	0	1.054
Benzin	0	0	0	12		0	0	12
Petroleum	0	0	0	57		0	0	57
Flüssiggas	1.356	7	172	23		0	0	1.558
Naturgas	22.404	3.531	689	542		0	0	27.165
Elektrische Energie	8.850	0	19.519	4.301		13.373	3	46.046
Fernwärme	36.060	229	0	0		0	0	36.288
Brennholz	610	0	108	0		0	0	718
Biogene Brenn- und Treibstoffe	2.201	0	136	0		0	0	2.337
Brennbare Abfälle	20	0	0	0		0	0	21
Sonstige ET	3.935	0	0	0		0	0	3.935
Umgebungswärme etc.	3.935	0	0	0		0	0	3.935
Gichtgas	0	0	0	0		0	0	0
Kokereigas	0	0	0	0		0	0	0
Brenntorf	0	0	0	0		0	0	0
<b>Insgesamt</b>	<b>79.449</b>	<b>3.906</b>	<b>20.730</b>	<b>6.032</b>	<b>0</b>	<b>13.373</b>	<b>3</b>	<b>123.493</b>
Anteilig	64,3%	3,2%	16,8%	4,9%	0,0%	10,8%	0,0%	100,0%

Anhang III Aufteilung des Energiebedarfs anhand der Nutzenergiekategorien von 2005 am Beispiel der privaten Haushalte in Österreich 2011

Private Haushalte	Raumwärme	Warmwasser	Kochen	Kühlen und Gefrieren	Großgeräte	Haushaltskleingeräte	Büro- und Unterhaltungselektronik	Beleuchtung	Sonstiges	Traktion	Gesamt
	in Terajoule										
Steinkohle	426	22	2	0	0	0	0	0	0	0	450
Braunkohle	367	26	18	0	0	0	0	0	0	0	411
Koks	1.076	68	0	0	0	0	0	0	0	0	1.144
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	493	50	0	0	0	0	0	0	0	0	543
Gasöl für Heizzwecke	44.595	4.548	0	0	0	0	0	0	0	0	49.143
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77.800	77.800
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.360	44.360
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	1.521	236	34	0	0	0	0	0	0	0	1.790
Naturgas	43.360	6.834	665	0	0	0	0	0	0	0	50.859
Elektrische Energie	11.404	8.689	6.362	7.389	6.375	2.215	6.295	5.169	6.315	0	60.213
Fernwärme	21.865	4.378	0	0	0	0	0	0	0	0	26.244
Brennholz	48.065	2.992	487	0	0	0	0	0	0	0	51.543
Biogene Brenn- und Treibstoffe	10.868	1.004	12	0	0	0	0	0	0	6.759	18.643
Brennbare Abfälle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige ET	6.681	1.988	0	0	0	0	0	0	0	0	8.669
<i>Umgebungswärme etc.</i>	6.676	1.988	0	0	0	0	0	0	0	0	8.664
<i>Gichtgas</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Kokereigas</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brenntorf</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
<b>Gesamt</b>	<b>190.720</b>	<b>30.836</b>	<b>7.579</b>	<b>7.389</b>	<b>6.375</b>	<b>2.215</b>	<b>6.295</b>	<b>5.169</b>	<b>6.315</b>	<b>128.919</b>	<b>391.813</b>
<i>Anteilig</i>	48,7%	7,9%	1,9%	1,9%	1,6%	0,6%	1,6%	1,3%	1,6%	32,9%	100,0%

**Anhang IV Spezifischer Raumwärmebedarf und mittlere Größe einer Wohneinheit unterschiedlicher Gebäudetypen und Baualtersklasse, (Lutsch et al., 2004)**

		spezifischer Raumwärmebedarf [kWh/m <sup>2</sup> *a]				mittlere Größe einer Wohneinheit [m <sup>2</sup> /WE]			
		1 WE	2 WE	3 bis 5 WE	mehr als 6 WE	1 WE	2 WE	3 bis 5 WE	mehr als 6 WE
<b>Baujahr</b>	<b>Vor 1919</b>	205,5	199,6	187,8	124,4	106,3	81,8	69,1	60,5
	<b>1919 bis 1944</b>	206,0	173,2	151,1	168,9	111,6	83,7	69,1	65,9
	<b>1945 bis 1960</b>	252,4	162,5	174,9	140,6	116,4	80,8	69,1	59,4
	<b>1961 bis 1970</b>	185,3	161,8	179,7	160,4	120,0	90,2	73,4	62,6
	<b>1971 bis 1980</b>	147,5	139,8	122,8	122,7	135,7	100,2	77,8	68,0
	<b>1981 bis 1990</b>	139,5	124,4	95,2	90,9	128,3	96,9	78,9	67,0
	<b>1991 bis 2000</b>	122,7	110,9	88,4	81,1	130,0	98,7	79,4	68,1
	<b>2001 und später</b>	85,0	85,0	65,0	65,0	125,3	125,3	70,0	70,0

**Anhang V Durchschnittliche mitarbeiterspezifische thermische Leistung des Wärmebedarfs von Industriebetrieben nach Betriebsgrößenklasse und Anwendungsbereich, (Blesl et al., 2009)**

Betriebsklasse	Mitarbeiter	Raumwärme	Warmwasser	NT- Prozesswärme	MT- Prozesswärme	HT- Prozesswärme	Volllaststunden
	bis	[MWth/(Mitarbeiter-a)]					Produktion [h/a]
Zuckerindustrie	10	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Zuckerindustrie	25	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Zuckerindustrie	50	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Zuckerindustrie	100	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Zuckerindustrie	500	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Zuckerindustrie	1000	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Zuckerindustrie	10000	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Zuckerindustrie	100000	6,24	0,22	362	73,2	0	2.500
Molkerei	10	9,07	0,31	41	0	0	2.000
Molkerei	25	9,18	0,32	50	5	0	3.000
Molkerei	50	9,18	0,32	50	5	0	3.000
Molkerei	100	9,18	0,32	50	5	0	3.000
Molkerei	500	9,18	0,32	50	5	0	3.000
Molkerei	1000	6,24	0,22	59,4	5,9	0	4.000
Molkerei	10000	6,24	0,22	59,4	5,9	0	4.000
Molkerei	100000	6,24	0,22	59,4	5,9	0	4.000
Brauerei	10	9,07	0,31	51	12	0	2.000
Brauerei	25	9,18	0,32	79,1	19,4	0	3.000
Brauerei	50	9,18	0,32	79,1	19,4	0	3.000
Brauerei	100	9,18	0,32	79,1	19,4	0	3.000
Brauerei	500	9,18	0,32	79,1	19,4	0	3.000
Brauerei	1000	6,24	0,22	104,8	25,6	0	5.000
Brauerei	10000	6,24	0,22	104,8	25,6	0	5.000
Brauerei	100000	6,24	0,22	104,8	25,6	0	5.000
Bäckerei	10	9,07	0,31	0,31	5	0	1.000
Bäckerei	25	9,18	0,32	0,48	8,33	0	2.000
Bäckerei	50	9,18	0,32	0,48	8,33	0	2.000
Bäckerei	100	9,18	0,32	0,48	8,33	0	2.000
Bäckerei	500	9,18	0,32	0,48	8,33	0	2.000
Bäckerei	1000	6,24	0,22	1,9	32,9	0	5.000
Bäckerei	10000	6,24	0,22	1,9	32,9	0	5.000
Bäckerei	100000	6,24	0,22	1,9	32,9	0	5.000
Mälzerei	10	122,50	60	1.030	0	0	6.000
Mälzerei	25	122,50	60	1.133	0	0	6.000
Mälzerei	50	122,50	60	1.133	0	0	6.000
Mälzerei	100	122,50	60	1.133	0	0	6.000
Mälzerei	500	122,50	60	1.133	0	0	6.000
Mälzerei	1000	122,50	60	1.236	0	0	6.000
Mälzerei	10000	122,50	60	1.236	0	0	6.000
Mälzerei	100000	122,50	60	1.236	0	0	6.000
Futtertrocknung	10	0,00	0,31	1.334	0	0	2.000

Futtertrocknung	25	0,00	0,32	2.084	0	0	2.250
Futtertrocknung	50	0,00	0,32	2.084	0	0	2.250
Futtertrocknung	100	0,00	0,32	2.084	0	0	2.250
Futtertrocknung	500	0,00	0,32	2.084	0	0	2.250
Futtertrocknung	1000	0,00	0,22	2.751	0	0	2.500
Futtertrocknung	10000	0,00	0,22	2.751	0	0	2.500
Futtertrocknung	100000	0,00	0,22	2.751	0	0	2.500
Feuerfestherstellung	10	9,56	0,35	0	0	276	4.000
Feuerfestherstellung	25	13,31	0,52	0	0	317	5.000
Feuerfestherstellung	50	13,31	0,52	0	0	317	5.000
Feuerfestherstellung	100	13,31	0,52	0	0	317	5.000
Feuerfestherstellung	500	13,31	0,52	0	0	317	5.000
Feuerfestherstellung	1000	8,55	0,34	0	0	353	5.000
Feuerfestherstellung	10000	8,55	0,34	0	0	353	5.000
Feuerfestherstellung	100000	8,55	0,34	0	0	353	5.000
Ziegelherstellung	10	9,56	0,35	144	0	480	4.000
Ziegelherstellung	25	13,31	0,52	235	0	784	6.500
Ziegelherstellung	50	13,31	0,52	235	0	784	6.500
Ziegelherstellung	100	13,31	0,52	235	0	784	6.500
Ziegelherstellung	500	13,31	0,52	235	0	784	6.500
Ziegelherstellung	1000	8,55	0,34	276	0	920	7.000
Ziegelherstellung	10000	8,55	0,34	276	0	920	7.000
Ziegelherstellung	100000	8,55	0,34	276	0	920	7.000
Keramikherstellung	10	9,56	0,35	0	0	165	3.000
Keramikherstellung	25	13,31	0,52	0	0	297	4.000
Keramikherstellung	50	13,31	0,52	0	0	297	4.000
Keramikherstellung	100	13,31	0,52	0	0	297	4.000
Keramikherstellung	500	13,31	0,52	0	0	297	4.000
Keramikherstellung	1000	8,55	0,34	0	0	413	4.000
Keramikherstellung	10000	8,55	0,34	0	0	413	4.000
Keramikherstellung	100000	8,55	0,34	0	0	413	4.000
Kalkherstellung	10	9,56	0,35	0	0	2.244	5.000
Kalkherstellung	25	13,31	0,52	0	0	2.630	6.000
Kalkherstellung	50	13,31	0,52	0	0	2.630	6.000
Kalkherstellung	100	13,31	0,52	0	0	2.630	6.000
Kalkherstellung	500	13,31	0,52	0	0	2.630	6.000
Kalkherstellung	1000	8,55	0,34	0	0	3.056	7.000
Kalkherstellung	10000	8,55	0,34	0	0	3.056	7.000
Kalkherstellung	100000	8,55	0,34	0	0	3.056	7.000
Glasfabrik	10	9,56	0,35	0	14	135	6.000
Glasfabrik	25	13,31	0,52	0	21	210	7.500
Glasfabrik	50	13,31	0,52	0	21	210	7.500
Glasfabrik	100	13,31	0,52	0	21	210	7.500
Glasfabrik	500	13,31	0,52	0	21	210	7.500
Glasfabrik	1000	8,55	0,34	0	31	308	8.000
Glasfabrik	10000	8,55	0,34	0	31	308	8.000

Glasfabrik	100000	8,55	0,34	0	31	308	8.000
Zementfabrik	10	9,56	0,35	0	0	2.545	6.000
Zementfabrik	25	13,31	0,52	0	0	3.253	6.500
Zementfabrik	50	13,31	0,52	0	0	3.253	6.500
Zementfabrik	100	13,31	0,52	0	0	3.253	6.500
Zementfabrik	500	13,31	0,52	0	0	3.253	6.500
Zementfabrik	1000	8,55	0,34	0	0	3.599	7.000
Zementfabrik	10000	8,55	0,34	0	0	3.599	7.000
Zementfabrik	100000	8,55	0,34	0	0	3.599	7.000
Papierfabrik	10	16,62	0,64	453	0	0	4.000
Papierfabrik	25	18,07	0,78	691	0	0	4.500
Papierfabrik	50	18,07	0,78	691	0	0	4.500
Papierfabrik	100	18,07	0,78	691	0	0	4.500
Papierfabrik	500	18,07	0,78	691	0	0	4.500
Papierfabrik	1000	9,52	0,4	828	0	0	5.000
Papierfabrik	10000	9,52	0,4	828	0	0	5.000
Papierfabrik	100000	9,52	0,4	828	0	0	5.000
Druckerei	10	2,21	0,11	0	0	0	2.000
Druckerei	25	2,26	0,11	0	34,5	0	3.000
Druckerei	50	2,26	0,11	0	34,5	0	3.000
Druckerei	100	2,26	0,11	0	34,5	0	3.000
Druckerei	500	2,26	0,11	0	34,5	0	3.000
Druckerei	1000	1,70	0,09	0	55,2	0	5.000
Druckerei	10000	1,70	0,09	0	55,2	0	5.000
Druckerei	100000	1,70	0,09	0	55,2	0	5.000
Gießerei	10	7,24	1,04	0	0	40	4.000
Gießerei	25	7,24	1,04	0	0	48	5.000
Gießerei	50	7,24	1,04	0	0	48	5.000
Gießerei	100	7,24	1,04	0	0	48	5.000
Gießerei	500	7,24	1,04	0	0	55	5.000
Gießerei	1000	7,24	1,04	0	0	55	5.000
Gießerei	10000	7,24	1,04	0	0	55	5.000
Gießerei	100000	7,24	1,04	0	0	55	5.000
Stahlwerk	10	16,09	0,92	0	0	1.891	6.000
Stahlwerk	25	16,09	0,92	0	0	1.891	6.000
Stahlwerk	50	16,09	0,92	0	0	1.891	6.000
Stahlwerk	100	16,09	0,92	0	0	1.891	6.000
Stahlwerk	500	16,09	0,92	0	0	1.891	6.000
Stahlwerk	1000	15,15	0,82	0	0	2.743	6.000
Stahlwerk	10000	15,08	0,82	0	0	3.100	7.000
Stahlwerk	100000	15,08	0,82	0	0	3.100	7.000
Aluminiumwerk	10	15,08	0,82	0	0	1.055	6.000
Aluminiumwerk	25	15,08	0,82	0	0	1.055	6.000
Aluminiumwerk	50	15,08	0,82	0	0	1.055	6.000
Aluminiumwerk	100	15,08	0,82	0	0	1.055	6.000
Aluminiumwerk	500	15,08	0,82	0	0	1.055	6.000

Aluminiumwerk	1000	15,15	0,82	0	0	1.143	6.500
Aluminiumwerk	10000	15,08	0,82	0	0	1.143	6.000
Aluminiumwerk	100000	15,08	0,82	0	0	1.143	6.000
Chemiewerk	10	13,90	0,36	31	48	0	2.500
Chemiewerk	25	13,90	0,36	31	48	0	2.500
Chemiewerk	50	13,90	0,36	31	48	0	2.500
Chemiewerk	100	13,29	0,39	48	127	0	4.500
Chemiewerk	500	13,29	0,39	48	127	0	4.500
Chemiewerk	1000	13,29	0,39	48	127	0	4.500
Chemiewerk	10000	16,55	0,5	31	48	127	6.000
Chemiewerk	100000	16,55	0,5	31	48	127	6.000
Raffinerie	10	13,90	0,36	0	1.165	0	6.000
Raffinerie	25	13,90	0,36	0	1.165	0	6.000
Raffinerie	50	13,90	0,36	0	1.165	0	6.000
Raffinerie	100	13,90	0,36	0	1.165	0	6.000
Raffinerie	500	13,29	0,39	0	1.282	0	6.500
Raffinerie	1000	13,29	0,39	0	1.282	0	6.500
Raffinerie	10000	8,55	0,5	0	1.445	0	7.000
Raffinerie	100000	8,55	0,5	0	1.445	0	7.000
Kunststoffverarbeitung	10	4,18	0,13	0	660	0	2.500
Kunststoffverarbeitung	25	3,69	0,1	0	907	0	3.000
Kunststoffverarbeitung	50	3,69	0,1	0	907	0	3.000
Kunststoffverarbeitung	100	3,69	0,1	0	907	0	3.000
Kunststoffverarbeitung	500	2,79	0,1	0	1.081	0	3.500
Kunststoffverarbeitung	1000	2,79	0,1	0	1.081	0	3.500
Kunststoffverarbeitung	10000	2,79	0,1	0	1.081	0	3.500
Kunststoffverarbeitung	100000	2,79	0,1	0	1.081	0	3.500
Fahrzeugbau	10	8,99	1,22	3	3	5	3.500
Fahrzeugbau	25	8,99	1,22	3	3	5	3.500
Fahrzeugbau	50	8,99	1,22	3	3	5	3.500
Fahrzeugbau	100	8,99	1,22	3	3	5	3.500
Fahrzeugbau	500	8,99	1,22	3	3	5	3.500
Fahrzeugbau	1000	8,99	1,22	3	3	5	3.500
Fahrzeugbau	10000	8,97	1,25	3	3	5	3.750
Fahrzeugbau	100000	3,16	0,44	3	3	5	4.000
Holzverarbeitung	10	1,58	0,1	2	0	0	1.500
Holzverarbeitung	25	1,58	0,1	2	0	0	1.500
Holzverarbeitung	50	1,58	0,1	2	0	0	1.500
Holzverarbeitung	100	1,82	0,15	2,5	0	0	2.000
Holzverarbeitung	500	1,20	0,08	3,5	0	0	3.000
Holzverarbeitung	1000	1,20	0,08	3,5	0	0	3.000
Holzverarbeitung	10000	1,20	0,08	3,5	0	0	3.000
Holzverarbeitung	100000	1,20	0,08	3,5	0	0	3.000

Gewerbe	10	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewerbe	25	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewerbe	50	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewerbe	100	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewerbe	500	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewerbe	1000	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewerbe	10000	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewerbe	100000	2,36	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	10	1,58	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	25	1,58	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	50	1,58	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	100	1,82	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	500	1,20	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	1000	1,20	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	10000	1,20	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau	100000	1,20	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00

**Anhang VI Zuordnung des Tätigkeitsbereiches nach ÖNACE 2008 zu IEA/EU konformer Zuordnung und Zuordnung zur Bestimmung des Wärmebedarfs, (Statistik Austria, 2011c) und eigene Ausführung**

<b>Nummer ÖNACE 2008</b>	<b>Tätigkeitsbereich ÖNACE 2008</b>	<b>Zuordnung Tätigkeitsbereich (IEA/EU)</b>	<b>Zuordnung zur Bestimmung des Wärmebedarfs</b>
C101	Schlachten und Fleischverarbeitung	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Gewerbe
C103	Obst- und Gemüseverarbeitung	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Gewerbe
C105	Milchverarbeitung	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Molkerei
C107	Herstellung von Back- und Teigwaren	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Bäckerei
C108	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Gewerbe
C109	Herstellung von Futtermitteln	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Futtertrocknung
C110	Getränkeherstellung	Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Brauerei
C133	Veredlung von Textilien und Bekleidung	Textil und Leder	Gewerbe
C139	Herstellung von sonstigen Textilwaren	Textil und Leder	Gewerbe
C141	Herstellung von Bekleidung (ohne Pelzbekleidung)	Textil und Leder	Gewerbe
C152	Herstellung von Schuhen	Textil und Leder	Gewerbe
C161	Säge-, Hobel- und Holzimprägnierwerke	Holzverarbeitung	Holzverarbeitung
C162	Herstellung von sonstigen Holz-, Kork-, Flecht- und Korbwaren (ohne Möbel)	Holzverarbeitung	Holzverarbeitung
C172	Herstellung von Waren aus Papier, Karton und Pappe	Papier und Druck	Gewerbe
C181	Herstellung von Druckerzeugnissen	Papier und Druck	Druckerei
C182	Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	Papier und Druck	Gewerbe
C192	Mineralölverarbeitung		Raffinerie
C212	Herstellung von pharmazeutischen Spezialitäten und sonstigen pharmazeutischen Erzeugnissen	Chemie und Petrochemie	Chemiewerk
C221	Herstellung von Gummiwaren	Sonstiger produzierender Bereich	Gewerbe
C222	Herstellung von Kunststoffwaren	Sonstiger produzierender Bereich	Gewerbe
C231	Herstellung von Glas und Glaswaren	Steine und Erden, Glas	Glasfabrik
C236	Herstellung von feuerfesten keramischen Werkstoffen und Waren	Steine und Erden, Glas	Gewerbe
C237	Be- und Verarbeitung von Naturwerksteinen und Natursteinen a. n. g.	Steine und Erden, Glas	Gewerbe
C241	Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	Eisen- und Stahlerzeugung	Stahlwerk
C251	Stahl- und Leichtmetallbau	Maschinenbau	Gewerbe
C252	Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen	Maschinenbau	Gewerbe
C253	Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)	Maschinenbau	Gewerbe
C255	Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen	Maschinenbau	Gewerbe
C256	Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung; Mechanik a. n. g.	Maschinenbau	Gewerbe
C257	Herstellung von Schneidwaren, Werkzeugen, Schlössern und Beschlägen aus unedlen Metallen	Maschinenbau	Gewerbe
C259	Herstellung von sonstigen Metallwaren	Maschinenbau	Gewerbe
C261	Herstellung von elektronischen Bauelementen und Leiterplatten	Maschinenbau	Gewerbe
C262	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten und peripheren Geräten	Maschinenbau	Gewerbe
C263	Herstellung von Geräten und Einrichtungen der Telekommunikationstechnik	Maschinenbau	Gewerbe

C265	Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations-u. ä. Instrumenten und Vorrichtungen; Herstellung von Uhren	Maschinenbau	Gewerbe
C266	Herstellung von Bestrahlungs- und Elektrotherapiegeräten und elektromedizinischen Geräten	Maschinenbau	Gewerbe
C267	Herstellung von optischen und fotografischen Instrumenten und Geräten	Maschinenbau	Gewerbe
C279	Herstellung von sonstigen elektrischen Ausrüstungen und Geräten a. n. g.	Maschinenbau	Gewerbe
C281	Herstellung von nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen	Maschinenbau	Gewerbe
C282	Herstellung von sonstigen nicht wirtschaftszweigspezifischen Maschinen	Maschinenbau	Gewerbe
C289	Herstellung von Maschinen für sonstige bestimmte Wirtschaftszweige	Maschinenbau	Gewerbe
C291	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren	Fahrzeugbau	Fahrzeugbau
C292	Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern	Fahrzeugbau	Fahrzeugbau
C293	Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen	Fahrzeugbau	Fahrzeugbau
C309	Herstellung von Fahrzeugen a. n. g.	Fahrzeugbau	Fahrzeugbau
C310	Herstellung von Möbeln	Sonstiger produzierender Bereich	Holzverarbeitung
C321	Herstellung von Münzen, Schmuck und ähnlichen Erzeugnissen	Sonstiger produzierender Bereich	Gießerei
C322	Herstellung von Musikinstrumenten	Sonstiger produzierender Bereich	Gewerbe
C324	Herstellung von Spielwaren	Sonstiger produzierender Bereich	Gewerbe
C325	Herstellung von medizinischen und zahnmedizinischen Apparaten und Materialien	Sonstiger produzierender Bereich	Gewerbe
C329	Herstellung von Erzeugnissen a. n. g.	Sonstiger produzierender Bereich	Gewerbe
C331	Reparatur von Metallerzeugnissen, Maschinen und Ausrüstungen	Öffentliche und private Dienstleistungen	Gewerbe
F410	Hochbau	Bau	Bau
F411	Erschließung von Grundstücken; Bauträger	Bau	Bau
F412	Bau von Gebäuden	Bau	Bau
F421	Bau von Straßen und Bahnverkehrsstrecken	Bau	Bau
F422	Leitungstiefbau und Kläranlagenbau	Bau	Bau
F431	Abbrucharbeiten und vorbereitende Baustellenarbeiten	Bau	Bau
F432	Bauinstallation	Bau	Bau
F433	Sonstiger Ausbau	Bau	Bau
F439	Sonstige spezialisierte Bautätigkeiten	Bau	Bau

**Anhang VII Spezifischer Wärmebedarf, mitarbeiterspezifischer Flächenbedarf und Beschäftigungsschlüssel für verschiedene Gebäudetypen des GHD-Sektors einer Großstadt mit mehr als 50.000 Einwohner, (Blesl et al., 2009)**

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Volllaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Volllaststunden Warmwasser	Spez. Mitarbeiterplatz	Beschäftigungsschlüssel
	[-]	[-]	[kWhth/m2]	[h/a]	[kWhth/m2]	[h/a]	[m2/Mitarbeiter]	%
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants etc.	bis 1951	klein	254	1.500	8	800	10	1
		mittel	254	1.500	8	800	10	3
		groß	254	1.500	8	800	10	1
	1952-1977	klein	280	1.500	8	800	10	3,5
		mittel	280	1.500	8	800	10	5
		groß	280	1.500	8	800	10	3
	1978-1995	klein	158	1.500	8	800	10	3
		mittel	158	1.500	8	800	10	4
		groß	158	1.500	8	800	10	3
	nach 1995	klein	120	1.500	8	800	10	2
		mittel	120	1.500	8	800	10	2
		groß	120	1.500	8	800	10	2
Kaufhaus	bis 1951	klein	146	1.500	8	800	25	0,4
		mittel	146	1.500	8	800	35	0,5
		groß	146	1.500	8	800	55	0,1
	nach 1951	klein	91	1.500	8	800	30	0,5
		mittel	91	1.500	8	800	40	0,5
		groß	91	1.500	8	800	60	1,1
Gewerbe-/Industriebau	vor 1995	klein	91	1.500	8	800	20	3
		mittel	91	1.500	8	800	25	5
		groß	91	1.500	8	800	35	2,5
	nach 1995	klein	69	1.500	8	800	25	1,6
		mittel	69	1.500	8	800	30	2,6
		groß	69	1.500	8	800	40	2,5
Verwaltungsgebäude	bis 1951	klein	146	1.500	8	800	10	0,5
		mittel	146	1.500	8	800	12	1,5
		groß	146	1.500	8	800	12	1
	1952-1977	klein	161	1.500	8	800	12	2
		mittel	161	1.500	8	800	14	7
		groß	161	1.500	8	800	14	4
	1978-1995	klein	91	1.500	8	800	13	3
		mittel	91	1.500	8	800	14	6
		groß	91	1.500	8	800	16	5
	nach 1995	klein	69	1.500	8	800	15	1
		mittel	69	1.500	8	800	17	2
		groß	69	1.500	8	800	18	1
Verkaufs-/Ausstellungsgebäude	vor 1978	klein	146	1.500	8	800	45	1,2
		mittel	146	1.500	8	800	66	1,5
		groß	146	1.500	8	800	80	1
	1978-1995	klein	91	1.500	8	800	48	1
		mittel	91	1.500	8	800	70	1,5
		groß	91	1.500	8	800	85	1,5
	nach 1995	klein	69	1.500	8	800	50	0,5
		mittel	69	1.500	8	800	75	1
		groß	69	1.500	8	800	90	1
			[kWhth/Bett]	[h/a]	[kWhth/Bett]	[h/a]	[m2/Mitarbeiter]	%
Hotel, Beherbergung	vor 1995	klein	1.565	1.500	160	800	45	0,5
		mittel	1.565	1.500	160	800	30	0,5
		groß	1.565	1.500	160	800	25	0,5
	nach 1995	klein	1.190	1.500	160	800	30	0,5
		mittel	1.190	1.500	160	800	30	0,5
		groß	1.190	1.500	160	800	40	0,5

**Anhang VIII Spezifischer Warmwasser- und Heizungsverbrauch, mitarbeiterspezifischer/einwohnerspezifischer Flächenbedarf und Beschäftigungsschlüssel für verschiedene Gebäudetypen des öffentlichen Sektors einer Großstadt mit mehr als 50.000 Einwohner; (Blesl et al., 2009)**

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Volllaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Volllaststunden Warmwasser	Spez. Mitarbeiterplatz	Beschäftigungsschlüssel
	[-]	[-]	[kWhth/m2]	[h/a]	[kWhth/m2]	[h/a]	[m2/Mitarbeiter]	%
Verwaltungsgebäude	bis 1951	klein	147	1.500	8	800	10	0,03
		mittel	147	1.500	8	800	10	0,08
		groß	147	1.500	8	800	10	0
	1952-1977	klein	161	1.500	8	800	10	0,36
		mittel	161	1.500	8	800	10	0,36
		groß	161	1.500	8	800	10	0,36
	1978-1995	klein	91	1.500	8	800	10	0,11
		mittel	91	1.500	8	800	10	0,22
		groß	91	1.500	8	800	10	0,22
	nach 1995	klein	69	1.500	8	800	10	0
		mittel	69	1.500	8	800	10	0,22
		groß	69	1.500	8	800	10	0,22
Stadthalle, Gemeindezentrum	bis 1951	klein	91	1.500	8	800	25	0,04
		mittel	91	1.500	8	800	35	0
		groß	91	1.500	8	800	55	0,04
	nach 1995	klein	69	1.500	8	800	30	0,01
		mittel	69	1.500	8	800	40	0
		groß	69	1.500	8	800	60	0,02
			[kWhth/m2]	[h/a]	[kWhth/m2]	[h/a]	[m2/Einwohner]	
Schwimmbad	vor 1995	klein	3000	1.500	1650	2250	0	
		mittel	3000	1.500	1650	2500	0,01	
		groß	3000	1.500	1650	2750	0,01	
			[kWhth/Platz]	[h/a]	[kWhth/Platz]	[h/a]		
Alters-/Pflege- und sonstige Heime	bis 1951	klein	2525	2.200	349	800		
		mittel	2525	2.200	349	800		
		groß	2525	2.200	349	800		
	1952-1977	klein	2768	2.200	349	800		
		mittel	2768	2.200	349	800		
		groß	2768	2.200	349	800		
	1978-1995	klein	1565	2.200	349	800		
		mittel	1565	2.200	349	800		
		groß	1565	2.200	349	800		
	nach 1995	klein	1190	2.200	349	800		
		mittel	1190	2.200	349	800		
		groß	1190	2.200	349	800		
			[kWhth/Schüler]	[h/a]	[kWhth/Schüler]	[h/a]		
Schule	vor 1978	klein	788	1.100	18	800		
		mittel	788	1.100	18	800		
		groß	788	1.100	18	800		
	1978-1995	klein	445	1.100	18	800		
		mittel	445	1.100	18	800		
		groß	445	1.100	18	800		
	nach 1995	klein	339	1.100	18	800		
		mittel	339	1.100	18	800		
		groß	339	1.100	18	800		
			[kWhth/Bett]	[h/a]	[kWhth/Bett]	[h/a]		
Krankenhaus	bis 1951	klein	31.830	1.500	80	800		
		mittel	31.830	1.500	80	800		
		groß	31.830	1.500	80	800		
	1952-1977	klein	34.890	1.500	80	800		
		mittel	34.890	1.500	80	800		
		groß	34.890	1.500	80	800		
	1978-1995	klein	19.725	1.500	80	800		
		mittel	19.725	1.500	80	800		
		groß	19.725	1.500	80	800		
	nach 1995	klein	15.000	1.500	80	800		
		mittel	15.000	1.500	80	800		
		groß	15.000	1.500	80	800		

**Anhang IX Koeffizienten und Wochentagsfaktoren zur Erstellung von Lastprofilen anhand des Hellwig-Verfahrens (Hellwig, 2003)**

Last	A	B	C	D	MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO
EFH_alt	3,13	-37,19	5,752	0,0983	1	1	1	1	1	1	1
EFH_neu	2,794	-37,18	5,403	0,1714	1	1	1	1	1	1	1
MFH_alt	2,496	-34,74	5,661	0,1021	1	1	1	1	1	1	1
MFH_neu	2,059	-34,66	6,427	0,2807	1	1	1	1	1	1	1
Metall_Kfz	2,754	-34,76	6,628	0,0558	1,1074	1,0589	1,0345	0,9999	1,0919	0,912	0,846
Papier_Druck	2,578	-34,73	6,481	0,1408	1,0214	1,0866	1,072	1,0557	1,0117	0,9001	0,8511
Einzelhandel	3,318	-36,28	7,096	0,0334	1,0692	1,07	1,0589	1,0478	1,0449	0,9123	0,7982
Grhandel	4,153	-38,13	7,595	0,0681	0,9761	0,9395	0,9649	0,9965	0,9899	1,0647	1,0617
Dienstleistungen	2,918	-36,18	5,927	0,1152	1,1052	1,0857	1,0378	1,0622	1,0266	0,7629	0,898
Sozialversicherung	2,787	-35,55	6,295	0,0996	1,0454	1,0509	1,0643	1,0611	0,9997	0,8638	0,9162
Banken_Versicherungen	2,803	-36,59	5,538	0,1498	1,0864	1,053	1,0449	1,0551	0,9627	0,8629	0,9353
Beherbergung	2,01	-35,25	6,154	0,3295	0,9767	1,0389	1,0028	1,0162	1,0024	1,0043	0,9584
Gaststaetten	2,285	-36,29	6,589	0,3151	0,9322	0,9894	1,0033	1,0109	1,018	1,0356	1,0091
Baeckereien	0,652	-37,17	5,597	0,8221	1,0848	1,1211	1,0769	1,1353	1,1402	0,4852	0,9584
Waeschereien	0,766	-36,02	4,866	0,8049	1,2457	1,2615	1,2707	1,243	1,1276	0,3877	0,4615
Krankenhaeuser_Heime	2,421	-34,76	7,01	0,1934	1,0081	1,0538	1,0203	1,0329	0,9814	0,9208	0,9807
Gartenbau	3,39	-39,29	4,491	0,0835	0,9897	0,9627	1,0507	1,0552	1,0297	0,9767	0,936
EFH_alt_RHZ	3,13	-37,19	5,752	0,0983	1	1	1	1	1	1	1
EFH_neu_RHZ	2,794	-37,18	5,403	0,1714	1	1	1	1	1	1	1
MFH_alt_RHZ	2,496	-34,74	5,661	0,1021	1	1	1	1	1	1	1
MFH_neu_RHZ	2,059	-34,66	6,427	0,2807	1	1	1	1	1	1	1
Kaelte	1	-65	20	0	1	1	1	1	1	1	1
Kaelte_Gewerbe	1	-65	20	0	1	1	1	1	1	1	1