

Analyse des Strom- und Wärmebedarfs im Siedlungsgebiet Forchheim

Abschlussbericht

von

Bastian Kupfer

Matrikelnummer 2542369

Fakultät Verfahrenstechnik

Studiengang Energieprozesstechnik

Sommersemester 2017

In Zusammenarbeit mit:



Informationen zur Projektarbeit

Titel: Analyse des Strom- und Wärmebedarfs im Siedlungsgebiet Forchheim

Kurztitel: Bedarfsanalyse

Bearbeitungszeit: März 2017 – Juni 2017

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp

Verfasser: Bastian Kupfer

Korrektur: Jakob Karakuz

Beteiligte: Stadtwerke Forchheim
 Haidfeldstraße 8
 91301 Forchheim
 info@stadtwerke-forchheim.de

Kontakt: Bastian Kupfer
 Kaiserin-Kunigunda-Straße 17
 91301 Forchheim
 kupferba58137@th-nuernberg.de

Vorwort

Der vorliegende Abschlussbericht wurde im Rahmen eines energietechnischen Projekts im Sommersemester 2017 erstellt. Im Zeitraum von März bis Juni 2017 wurde der Energiebedarf der Stadt Forchheim analysiert.

Diese Arbeit ist in Zusammenarbeit mit dem Energieversorgungsunternehmen, den Stadtwerken Forchheim entstanden.

An dieser Stelle möchte Ich mich für die Zusammenarbeit und die bereitgestellten Daten bedanken.

Ferner möchte Ich mich bei Prof. Matthias Popp und Christian Sponsel bedanken, die mich bei Fragen stets unterstützt haben.

Bastian Kupfer

Forchheim, den 28.06.2017

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es den Energiebedarf des Siedlungsgebiets Forchheim zu analysieren. Die beiden Energieträger Strom und Wärme sollten in ihrem Bedarf untersucht werden. Es wurden mögliche Faktoren, die den Bedarf beeinflussen könnten, untersucht.

Die Arbeit soll eine Auskunft über Grund- und Spitzenlasten liefern, mit deren Hilfe Energieanlagen und Energiespeicher ausgelegt werden können.

Auch sollte ein möglicher Zusammenhang zwischen auftretenden Lastspitzen im Verlauf der beiden Energieträger untersucht werden.

Zuletzt wurde dem Wärmebedarf das regenerative Angebot durch Solarstrahlung gegenübergestellt.

Verbrauchsdaten wurden von den Stadtwerken Forchheim zur Verfügung gestellt. Zur Bewertung der Einflüsse des Wetters wurden Temperatur und Globalstrahlung aus der MERRA-2 Datenbank heruntergeladen.

So konnten mit dieser Arbeit folgenden Erkenntnisse erzielt werden:

- Grundlast und auftretende Spitzenlasten wurden ermittelt
- Tagestypen haben einen starken Einfluss auf den Strombedarf
- Es konnten verschiedene Lastprofile für den Strombedarf ermittelt werden
- Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen auftretenden Lastspitzen konnte nicht festgestellt werden
- Der Einfluss von Ferien auf den Energiebedarf konnte nur in der Weihnachtszeit festgestellt werden
- Die Temperatur beeinflusst maßgeblich den Wärmebedarf
- Das Betreiben des Energiespeichers als zusätzlichen saisonalen Wärmespeichers wurde begründet

Inhaltsverzeichnis

Informationen zur Projektarbeit	II
Vorwort	III
Zusammenfassung	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einleitung.....	1
2. Datenerfassung	2
2.1. Verbraucherdaten	2
2.2. MERRA-2 Daten	4
2.2.1. Globalstrahlung	4
2.2.2. Temperatur.....	4
2.3. Kalendarische Daten	4
2.3.1. Saisonarten	5
2.3.2. Tagestypen	5
2.3.3. Feiertage	5
2.3.4. Ferien.....	5
3. Lastverhalten Strom	6
3.1. Allgemeine Erkenntnisse	6
3.2. Lastprofile	6
3.3. Auswertung der Einflussfaktoren	7
3.3.1. Temperatur.....	7
3.3.2. Globalstrahlung	9
3.3.3. Kalendarische Einflüsse	9
4. Lastverhalten Wärme	10
4.1. Versorgung durch die Stadtwerke Forchheim.....	10
4.2. Gesamtlast	11
4.2.1. Lastgang Gaseinspeisung ohne Großkunden	11
4.2.2. Gesamtlast Forchheim ohne Großkunden	12
4.2.3. Gesamtlast Forchheim	13
4.3. Einfluss der Temperatur	13
4.4. Einfluss der Tageszeit	16
4.5. Kalendarische Einflüsse	16
	V

5. Zusammenhänge auftretender Lastspitzen im Strom- und Wärmebedarf	17
6. Wärmebedarf und regeneratives Angebot.....	17
6.1. Aufbereitung der Solardaten.....	17
6.2. Versorgung durch die Stadtwerke Forchheim.....	19
6.3. Gesamtlast Forchheim.....	20
7. Fazit/Ausblick	20
Literaturverzeichnis	22
Anhang	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel Verbraucherdaten Strom aus dem Jahr 2016	2
Abbildung 2: Beispiel Gasverbrauchsdaten aus dem Jahr 2016	3
Abbildung 3: Ausschnitt aus den aberufenen Daten von MERRA-2	4
Abbildung 4: Lastgang der Stromeinspeisung im Jahr 2016	6
Abbildung 5: Lastprofile der verschiedenen Tagestypen im Sommer und Winter	7
Abbildung 6: Vergleich Temperatur/Verbrauch im Sommer und Winter	8
Abbildung 7: Tagesmittelwerte des Strombedarfs und der Temperatur	8
Abbildung 8: Lastprofil Werktag Winter mit Ausreißern 2016	10
Abbildung 9: Lastgang der Gaseinspeisung im Jahr 2016	11
Abbildung 10: Lastgang der Gaseinspeisung 2016 ohne Großkunden	12
Abbildung 11: Lastgang Forchheim 2016 ohne Großkunden der SWF	13
Abbildung 12: Lastgang Forchheim 2016 mit Großkunden der SWF	13
Abbildung 13: Temperaturverlauf über das Jahr 2016	14
Abbildung 14: monatliche Durchschnittstemperatur des Jahres 2016	14
Abbildung 15: monatliche Summenlast der drei Lastverläufe 2016	15
Abbildung 16: Januar – März, Tagesdurchschnittstemperatur und Last um 09:00 Uhr	15
Abbildung 17: gemittelte Tagesverläufe je Monat der Gaseinspeisung 2016	16
Abbildung 18: Versorgungsanalyse-Tool bereitgestellt von Prof. Matthias Popp	18
Abbildung 19: Leistung der Sonneneinstrahlung auf Kollektor mit 55° Neigung, südlicher Ausrichtung und Wirkungsgrad 80% im Jahr 2016	18
Abbildung 20: Gaseinspeisung ohne Großkunden und Leistung der 21400 m ² Kollektorfläche im Jahr 2016	19
Abbildung 21: Wärmebedarf ohne Großkunden und Leistung der 69000 m ² Kollektorfläche im Jahr 2016	20

Abkürzungsverzeichnis

MERRA-2	Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications
BHWK	Blockheizkraftwerk
RLM	registrierte Leistungsmessung
UTC	Coordinated Universal Time, dt. koordinierte Weltzeit
MEZ	mitteleuropäische Zeit
SWF	Stadtwerke Forchheim
TS	surface skin temperature
SWGNT	surface net downward shortwave flux
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz

1. Einleitung

Die Energiewende ist beschlossen und mit ihr stehen Energieversorger vor zahlreichen Herausforderungen. Die Einspeisung von erneuerbaren Energien ins Netz kann zu schwerwiegenden Problemen führen. In diesem Zuge ist es für Versorgungsunternehmen wichtig das Lastverhalten möglichst genau vorhersagen zu können.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Analyse des Wärme- und Strombedarfs im Siedlungsgebiet Forchheim. Hintergrund der Arbeit ist ein energietechnisches Projekt der Technischen Hochschule Nürnberg. Die Weiterentwicklung eines innovativen Speichersystems steht dabei im Vordergrund. Dieser Energiespeicher soll für das Siedlungsgebiet Forchheim ausgelegt werden. Es werden verschiedene Methoden angewandt um den Verbrauch zu analysieren. Zudem werden mögliche Einflussfaktoren auf den Bedarf der Energie untersucht. Dazu zählen kalendarische Einflüsse, aber auch die Temperatur und die Sonneneinstrahlung.

Ein weiterer Aspekt dieser Arbeit ist die Erlangung von Informationen für die Auslegung energietechnischer Anlagen, unter anderem für die Auslegung des Energiespeichersystems. Für den Energieträger Strom sollen verschiedene Lastprofile erstellt werden, der Bedarf an Wärme soll dem Angebot an Energie durch Sonneneinstrahlung gegenübergestellt werden. Auch ein möglicher Zusammenhang der auftretenden Lastspitzen im Wärme- und Strombedarf wird untersucht.

So ergeben sich für diese Arbeit folgende Forschungsfragen:

- Können Lastprofile ermittelt werden, um den Energiebedarf möglichst genau vorhersagen zu können?
- Welche Grund- und Spitzenlasten liegen einer Auslegung von Energieanlagen und Energiespeicher zu Grunde?
- Gibt es Zusammenhänge zwischen auftretenden Lastspitzen im Verbrauchsverhalten der beiden Energieträger Wärme und Strom?
- Existieren Faktoren, die den Bedarf beeinflussen?

Die notwendigen Verbraucherdaten zur Auswertung wurden vom Versorgungsunternehmen, den Stadtwerken Forchheim zur Verfügung gestellt.

Des Weiteren wurden Wetterdatensätze aus einer großen Datenbank exportiert. Diese wird im Verlauf der Arbeit vorgestellt. Das Einspeiseverhalten der vorhandenen erneuerbaren Energien wird nicht bewertet. Im Rahmen der Analyse des Wärmebedarfs werden verschiedenen Szenarien verglichen und dem Angebot an regenerativer Energie gegenübergestellt. Zunächst werden in Kapitel 2 die verwendeten Daten beschrieben. In Kapitel 3 wird der Strombedarf analysiert und in Kapitel 4 der Wärmebedarf. Kapitel 5 behandelt mögliche Zusammenhänge auftretender Lastspitzen. Zuletzt wird in Kapitel 6 dem Wärmebedarf das regenerative Angebot gegenübergestellt.

2. Datenerfassung

Zur Erfassung der notwendigen Daten wurden verschiedene Quellen ausgewählt, welche im Folgenden vorgestellt werden.

2.1. Verbraucherdaten

Die Stadtwerke Forchheim stellten im Zuge dieser Arbeit verschiedene Datensätze zur Verfügung. Die Verbraucherdaten des Stroms aus dem Jahr 2016 wurden im Viertel-Stunden-Takt am Übergabepunkt, dem Umspannwerk, gegeben. Zusätzlich dazu wurden ebenfalls die Netzverluste, die EEG-Einspeisung und die Einspeisung durch das BHKW der Kläranlage gegeben. Alle Werte haben die Einheit Kilowatt. In Abbildung 1 ist ein Ausschnitt der Daten zu sehen.

Zeit	Übergabe Umspannwerk	Netzverluste	EEG-Einspeisung	BHKW Kläranlage
01.01.2016 00:15	13.200,00	320,7972479	1.199,09	4,8
01.01.2016 00:30	13.065,00	320,7972479	1.185,87	2,4
01.01.2016 00:45	12.785,00	320,7972479	1.205,01	14,4
01.01.2016 01:00	12.560,00	320,7972479	1.204,37	15,6

Abbildung 1: Beispiel Verbraucherdaten Strom aus dem Jahr 2016

Für das Schaltjahr 2016 liegen somit 35136 Datensätze vor. Zur Berechnung der Gesamtlast werden die Einspeisungen zur Übergabe addiert und die Netzverluste subtrahiert. Daraus ergibt sich der gesamte eingespeiste Strom.

Zur Erstellung eines Lastprofils des Wärmebedarfs stellten die Stadtwerke Forchheim ebenfalls eine Vielzahl an Daten zur Verfügung. An der

Gasübergabestation wurden die eingespeiste Leistung der eigenen Biogasanlage und die eingespeiste Leistung aus dem vorgelagerten Netz mit stündlichen Werten gegeben. Diese beiden Werte addiert ergeben die gesamte mit Gas eingespeiste Leistung. Alle Werte haben die Einheit Kilowattstunden. In Abbildung 2 ist ein Ausschnitt dieser Daten zu sehen.

Zeit	ENTRY EFG Erdgas	Bioerdgas kWh Einspeisung
01.01.2016 07:00	33.193,97	4.817,00
01.01.2016 08:00	33.431,88	4.828,00
01.01.2016 09:00	33.851,05	4.818,00
01.01.2016 10:00	33.295,93	4.844,00

Abbildung 2: Beispiel Gasverbrauchsdaten aus dem Jahr 2016

Die Daten der Erdgaseinspeisung reichen nicht zurück bis 01.01.2016 00:00, sondern nur bis 07:00 Uhr am 01.01.2016. Für die Auswertung des Lastgangs ist dies jedoch ausreichend. So ergeben sich 8778 Datensätze für die Gaseinspeisung im Schaltjahr 2016.

Weitere Daten, die zur Verfügung gestellt wurden sind die RLM-Daten der Gasgroßkunden der SWF. Diese Tabelle beinhaltet 27 Großkunden mit stündlicher Leistungsmessung. Die Tabelle wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Am Tag der Zeitumstellung von Winter- auf Sommerzeit wurden von 02:00 Uhr bis 03:00 Uhr keine Werte aufgezeichnet, die Werte betragen Null. Diese wurden mit den Werten der vorherigen Stunde gefüllt, um einen Einbruch des Verlaufs zu vermeiden. Am Tag der Zeitumstellung auf Winterzeit liegen für eine Stunde zwei Werte vor. Die Werte der neueren Stunde wurden verwendet und die Einträge der älteren Stunde entfernt.

Zuletzt wurde ein Wärmekataster der Stadt Forchheim zur Verfügung gestellt. Dieses stellt die potenziellen Orte für Nahwärmekonzepte dar (FO 1, 2010). Dies ist eine sehr umfangreiche Datenauskunft und wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Aus diesem können jedoch Werte für den Wärmebedarf bestimmter Stadtgebiete oder der ganzen Stadt entnommen werden.

2.2. MERRA-2 Daten

Zur Analyse der Einflussfaktoren werden Wetterdaten benötigt. MERRA-2, modern-Era Retrospective analyses for Research and Applications Version 2 (NASA, 2017), stellt eine Vielzahl von meteorologischen Daten zur Verfügung. Mit Hilfe eines VBA-basiertem Daten- und Software Tools konnten diese heruntergeladen werden. Dieses wurde von Dr.-Ing. Matthias Popp, Professor der Technischen Hochschule Nürnberg, zur Verfügung gestellt. Zum Download der Daten mussten die Längen- und Breitengrade der Stadt Forchheim in das Softwaretool eingegeben werden. Die heruntergeladenen Daten sind eine Mittelung der Werte in diesem Rastergebiet. Für die Bewertung der Faktoren wurden Oberflächentemperatur und Globalstrahlung ausgewählt.

2.2.1. Globalstrahlung

Die abgerufenen Daten sind in stündlichem Takt in der Zeitzone UTC gegeben und müssen für die Zeitzone Forchheims in MEZ für Sommer und Winter umgerechnet werden. In Abbildung 3 ist ein Ausschnitt aus den abgerufenen Daten zu sehen.

UTC Mitte	ALBEDO	SWGDN	SWGNT	SWTDN	SWTNT	TAUTOT	TS
01.01.2016 00:30	0	0	0	0	0	32,64063	274,209
01.01.2016 01:30	0	0	0	0	0	27,50781	274,0718
01.01.2016 02:30	0	0	0	0	0	25,84375	274,1047
01.01.2016 03:30	0	0	0	0	0	24,21094	274,0703

Abbildung 3: Ausschnitt aus den abgerufenen Daten von MERRA-2

SWGNT entspricht hierbei der horizontalen Einstrahlung und wurde für die Bewertung ausgewählt. Die entsprechende Einheit der Werte ist Watt pro Quadratmeter (NASA 2, 2017).

2.2.2. Temperatur

In Abbildung 3 ist ebenfalls die Temperatur angegeben, welche zur Auswertung herangezogen wurde. TS steht hierbei für die Oberflächentemperatur (NASA 2, 2017). Der Wert ist in Kelvin angegeben. Er wird in Grad Celsius umgerechnet. Die Umrechnung der Zeit in die notwendige Zeitzone verläuft hier analog.

2.3. Kalendarische Daten

Zur Bewertung der kalendarischen Einflüsse werden für das Lastprofil des Strombedarfs zunächst drei Saisonarten unterschieden. Zudem werden Ferien

und mögliche Brückentage betrachtet und die Wochentage sowie Feiertage unterschieden.

2.3.1. Saisonarten

Der Stromlastgang wird in drei Saisonarten eingeteilt(GIPS, 2017):

Winter	1.11. – 20.3.
Sommer	15.5. – 14.9.
Übergang	21.3. – 14.5. und 15.9. – 31.10.

2.3.2. Tagestypen

Die Wochentage werden in Werktage, Samstage und Sonntage unterteilt. Es wird festgelegt, dass Feiertage im Folgenden wie Sonntage behandelt werden.

2.3.3. Feiertage

Die Stadt Forchheim befindet sich im Freistaat Bayern und es gelten folgenden Tage als Feiertage(BAYSTAAT, 2016):

Neujahr, Heilige Drei Könige, Karfreitag, Ostermontag, 1.Mai, Christi Himmelfahrt, Pfingstmontag, Fronleichnam, Tag der deutschen Einheit, Allerheiligen, 1. Weihnachtsfeiertag, 2. Weihnachtsfeiertag, Maria Himmelfahrt

2.3.4. Ferien

Die Ferien in Bayern waren im Jahr 2016(STAATBAY, 2016):

Weihnachten	24.12.2015 – 5.1.2016
Frühjahr	8.2.2016 – 12.2.2016
Ostern	21.3.2016 – 1.4.2016
Pfingsten	17.5.2016 – 28.5.2016
Sommer	30.7.2016 – 12.9.2016
Weihnachten	24.12.2016 – 5.1.2017

3. Lastverhalten Strom

In diesem Abschnitt wird der Bedarf an Strom im Jahr 2016 für die Stadt Forchheim ausgewertet. Daraus ergeben sich die grundlegenden Informationen für die Auslegung eines Speichers, der die Versorgung der Stadt Forchheim für zehn Tage gewährleisten soll.

3.1. Allgemeine Erkenntnisse

Nach Auswertung der bereitgestellten Datensätze der SWF können folgende Erkenntnisse gewonnen werden. So betrug die durchschnittliche Last im Jahr 2016 etwa 22,5 MW. Dies hat zur Folge, dass der benötigte Speicher für zehn Tage 5,5 GWh Speicherkapazität aufweisen muss. Alternativ ergeben sich zwei Speichersysteme mit jeweils 2,75 GWh Kapazität. Insgesamt betrug die eingespeiste Leistung 196.694,369 MWh. Weitere Erkenntnisse sind die Maximallast von 32,8 MW, welche am 5.12.2016 um 13:45 Uhr auftrat und die Minimallast von 10,6 MW, welche am 26.12.2016 um 3:30 Uhr auftrat. Abbildung 4 zeigt den Lastgang über das gesamte Jahr 2016.

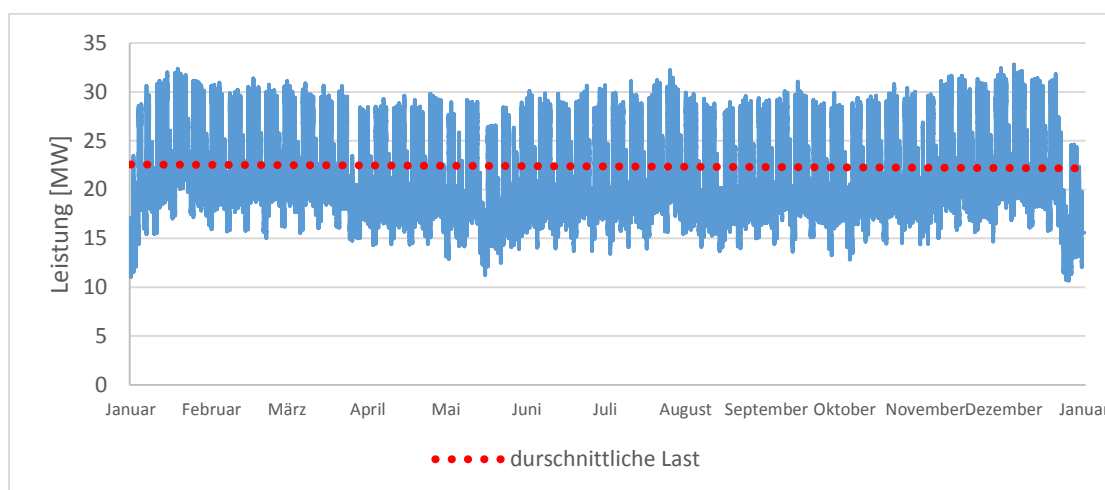


Abbildung 4: Lastgang der Stromeinspeisung im Jahr 2016

3.2. Lastprofile

Der folgende Abschnitt befasst sich mit den ermittelten Lastprofilen des Strombedarfs, die aus den Lastgangdaten des Jahres 2016 erstellt wurden. Es wurden jeweils Lastprofile für Werkstage, Samstage und Sonn- und Feiertage für jede der drei Saisonarten erstellt. In Abbildung 5 sind die Lastprofile der verschiedenen Tagestypen für Winter und Sommer dargestellt. Zur Ermittlung dieser wurden die Lastgänge aller gleichen Tagestypen gemittelt.

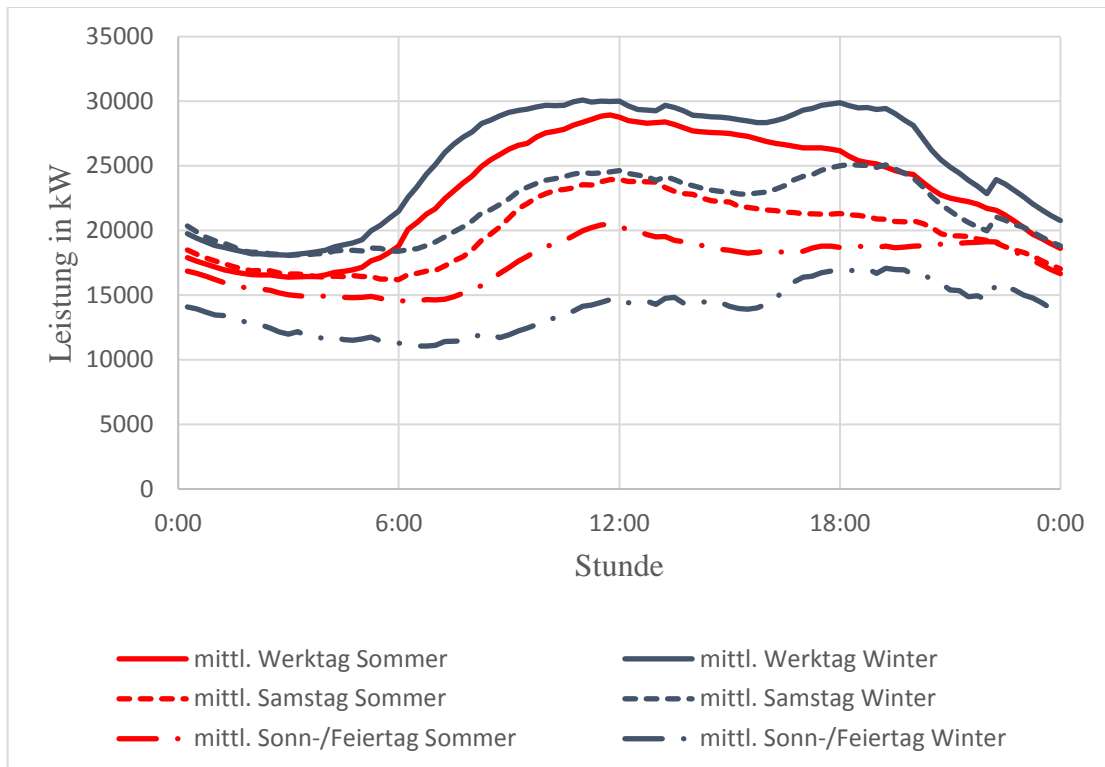


Abbildung 5: Lastprofile der verschiedenen Tagestypen im Sommer und Winter

In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass der Verbrauch im Winter an Werktagen und Samstagen stets größer ist als im Sommer. Lediglich das Lastprofil für Sonn- und Feiertage liegt unter dem des Sommers. Die charakteristischen Anstiege um 06:00 Uhr an Werktagen sind in beiden Saisonarten zu erkennen. An Samstagen fällt dieser Anstieg geringer aus. Dies ist auf den geringeren Beschäftigungsgrad zurückzuführen. Ebenfalls wurden Lastprofile für die Tagestypen im Übergang erstellt. Diese sind im Anhang zu finden. Dort sind ebenfalls einzelne Lastprofile mit drei Kennlinien dargestellt. Der Mittelwert aller Tagestypen einer Saisonart, der kleinste Bedarf und das Maximum. Besondere Tage, die von diesem stark abweichen werden einzeln dargestellt. In Kapitel 3.3.3 ist ein solches Diagramm abgebildet.

3.3. Auswertung der Einflussfaktoren

Im Folgenden Abschnitt werden die Einflussfaktoren Temperatur, Sonneneinstrahlung und kalendarische Einflüsse ausgewertet.

3.3.1. Temperatur

Die Temperatur hat einen entscheidenden Einfluss auf den Stromverbrauch. Der Zusammenhang ist im Winter und Sommer umgekehrt. Während im

Sommer bei wärmeren Temperatur mehr Strom gebraucht wird, wird im Winter bei niedrigeren Temperaturen mehr Strom benötigt. Das ist auf die benötigte Klimatisierung im Sommer und den zusätzlichen Heizbedarf im Winter zurückzuführen. In Abbildung 6 sind beispielhaft jeweils eine Sommer- und Winterwoche aufgetragen. Dazugehörig die vorherrschende Temperatur.

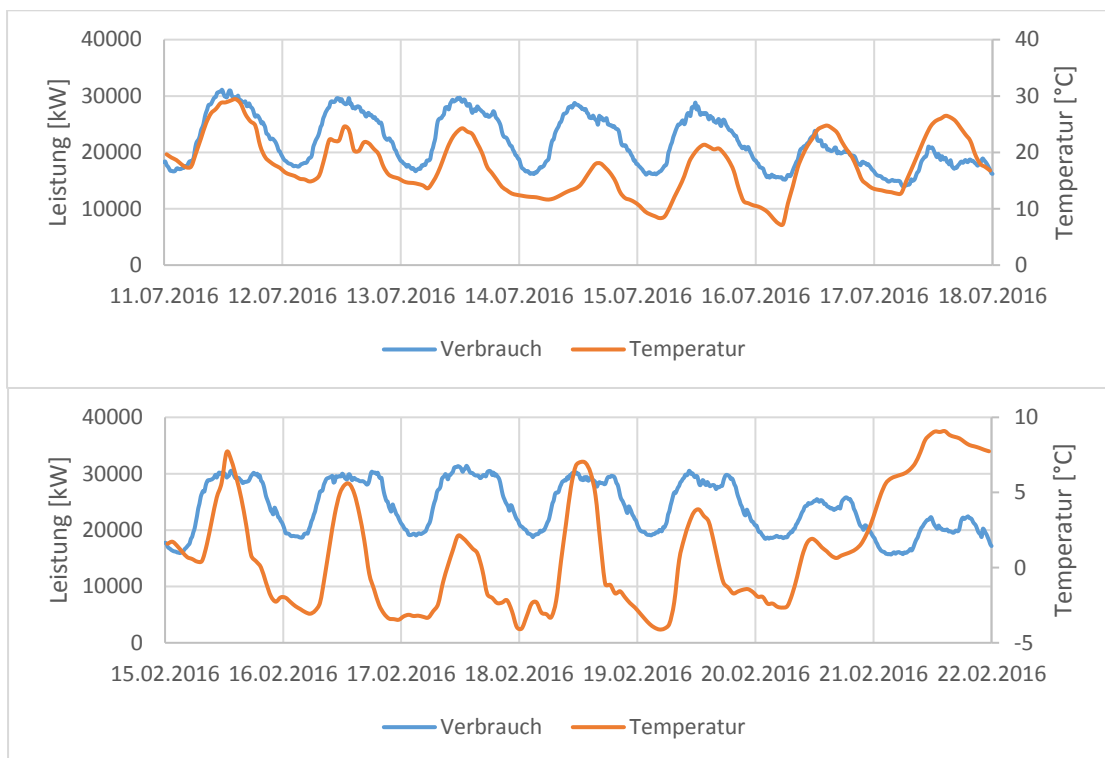


Abbildung 6: Vergleich Temperatur/Verbrauch im Sommer und Winter

Zur weiteren Auswertung des Temperatureinflusses wurden Tagesmittelwerte gebildet. Sowohl die Werte der Stromeinspeisung, als auch die Temperaturwerte. Daraus ergibt sich Abbildung 7.

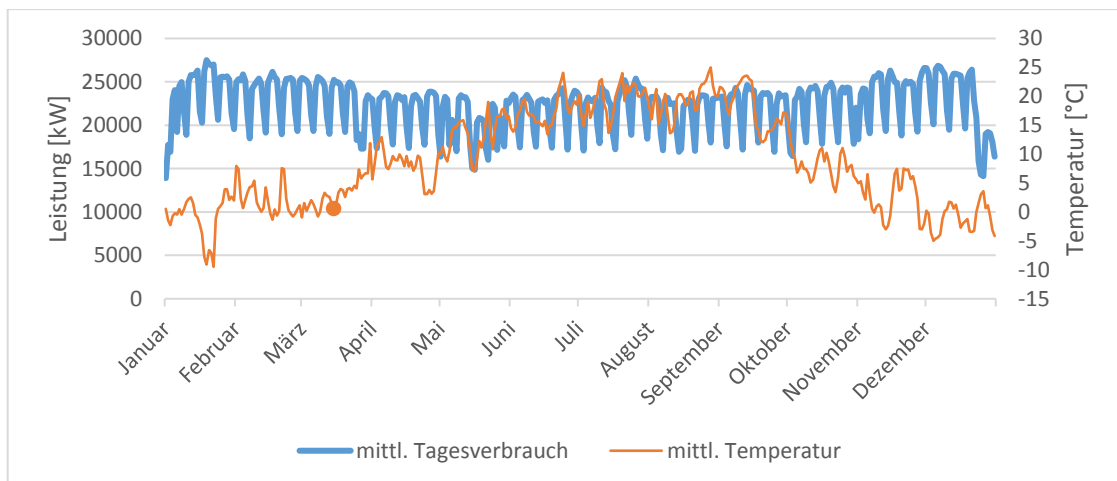


Abbildung 7: Tagesmittelwerte des Strombedarfs und der Temperatur

In Abbildung 7 sind die Spitzenwerte in beiden Verläufen gut erkennbar. Es fällt auf, dass der Einfluss der Temperatur in den Winter- und Sommermonaten stärker ausgeprägt ist, als in der Übergangszeit. Auch ist in diesem Diagramm der geringere Verbrauch an Wochenenden zu erkennen. Diese stellen die Einbrüche im Verlauf des Strombedarfs dar.

3.3.2. Globalstrahlung

Ein konkreter Einfluss der Sonneneinstrahlung auf den Stromverbrauch konnte in dieser Arbeit nicht festgestellt werden. Jedoch ist zu sagen, dass aufgrund der geringeren Anzahl an Sonnenstunden im Winter in den Abendstunden mehr Strom benötigt wird. Es ist zu vermuten, dass dies der notwendigen Beleuchtung zu Grunde liegt.

3.3.3. Kalendarische Einflüsse

Wie bereits aus den Lastprofilen in Kapitel 3.2 zu erkennen ist haben die kalendarischen Unterschiede einen Einfluss auf den Strombedarf. An den Werktagen liegt der Bedarf an Strom am höchsten, während er an Sonn- und Feiertagen am geringsten ist. Dies ist ebenfalls in der Abbildung 6 erkennbar. Ein konstanter Einfluss von Ferien auf den Verbrauch konnte nicht festgestellt werden. Lediglich die Weihnachtszeit stellt hierbei eine deutliche Ausnahme dar. Begründung für den geringeren Verbrauch um diese Jahreszeit könnte sein, dass Betriebe in dieser Zeit gänzlich geschlossen haben und somit der Gesamtverbrauch niedriger ist.

In Abbildung 8 ist das Lastprofil eines Werktags im Winter dargestellt. Die Ferientage nach Weihnachten liegen deutlich unter dem Mittelwert. Anschließend wurden diese Tage aus der Berechnung des Mittelwerts herausgenommen. So zeigt sich die Abweichung noch deutlicher.

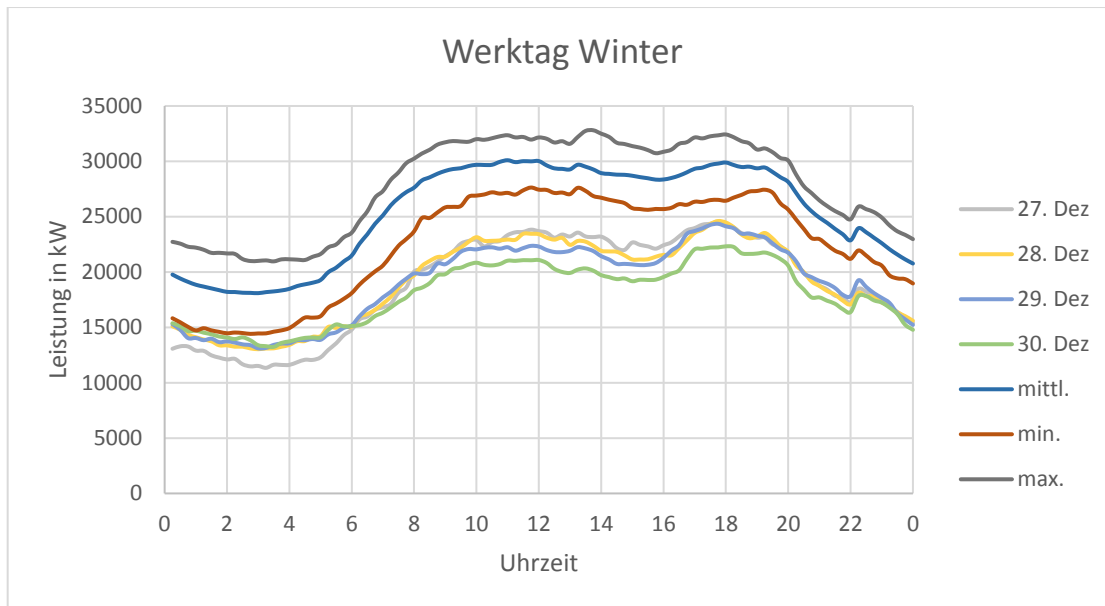


Abbildung 8: Lastprofil Werktag Winter mit Ausreißern 2016

Das Vorgehen Ausreißer aus der Berechnung des Mittelwerts herauszunehmen wurden anschließend auch auf die anderen Lastprofile übertragen. Diese sind im Anhang zu finden.

4. Lastverhalten Wärme

Der folgende Abschnitt befasst sich mit dem Wärmebedarf des Siedlungsgebiets Forchheim. Zunächst wird das Lastverhalten der Gaseinspeisung durch die Stadtwerke Forchheim analysiert. Im nächsten Schritt wird eine konstruierte Gesamtlast bewertet.

4.1. Versorgung durch die Stadtwerke Forchheim

Die zur Verfügung gestellten Daten der Gasübergabestation liefern die Grundlage für die Auswertung des Wärmebedarfs. Aus diesem lassen sich analog zum Lastverhalten des Stroms Erkenntnisse über Maximallast und durchschnittlicher Last ermitteln. In Abbildung 9 ist der Lastgang der gesamten eingespeisten Leistung zu sehen.

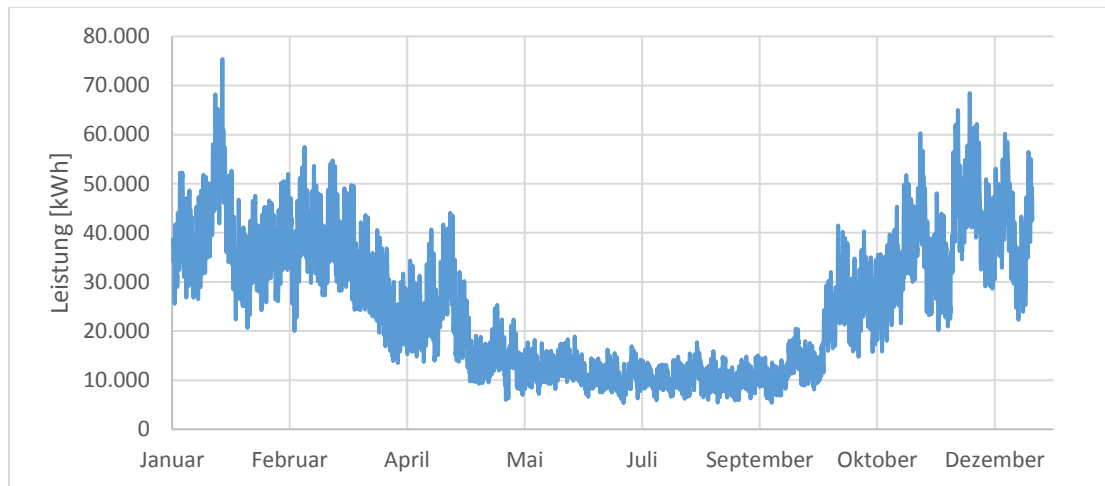


Abbildung 9: Lastgang der Gaseinspeisung im Jahr 2016

Bei Betrachtung des Lastgangs erkennt man, dass der Bedarf an Wärme zu Beginn und Ende des Jahres deutlich größer ist, als in der Jahresmitte. Der durchschnittliche Bedarf im Winter beträgt 39 MW, in der Übergangszeit 18,5 MW und im Sommer lediglich 10,8 MW. Dies lässt einen starken Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärmebedarf vermuten. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird dies noch deutlicher dargestellt. Die Höchstlast der Gaseinspeisung betrug im Jahr 2016 75,4 MW und trat am 22. Januar um 09:00 Uhr auf. Der niedrigste Bedarf belief sich auf etwa 5300 kW und trat am 11. Juli um 01:00 Uhr auf. Die gesamte eingespeiste Leistung betrug im Jahr 2016 etwa 219.718 MWh.

4.2. Gesamtlast

Zur Analyse des gesamten Wärmebedarfs des Siedlungsgebiets Forchheim wird das Lastverhalten der Gaseinspeisung auf den gesamten Bedarf aus dem Wärmekataster übertragen.

4.2.1. Lastgang Gaseinspeisung ohne Großkunden

Im Gasnetz der SWF befinden sich 27 Großkunden. Einige dieser Großkunden benötigen die Wärme nicht nur für Heizung und Warmwasser, sondern auch für Prozesswärme in ihrem Unternehmen. Für den gesamten Wärmebedarfs Forchheim ist es jedoch wichtig dies zu unterscheiden. Deshalb wurden im ersten Schritt die Stundenwerte der Gesamtlast aller Großkunden von denen der gesamten eingespeisten Leistung subtrahiert.

In Abbildung 10 ist der Lastgang ohne die Gasgroßkunden im Netz dargestellt.

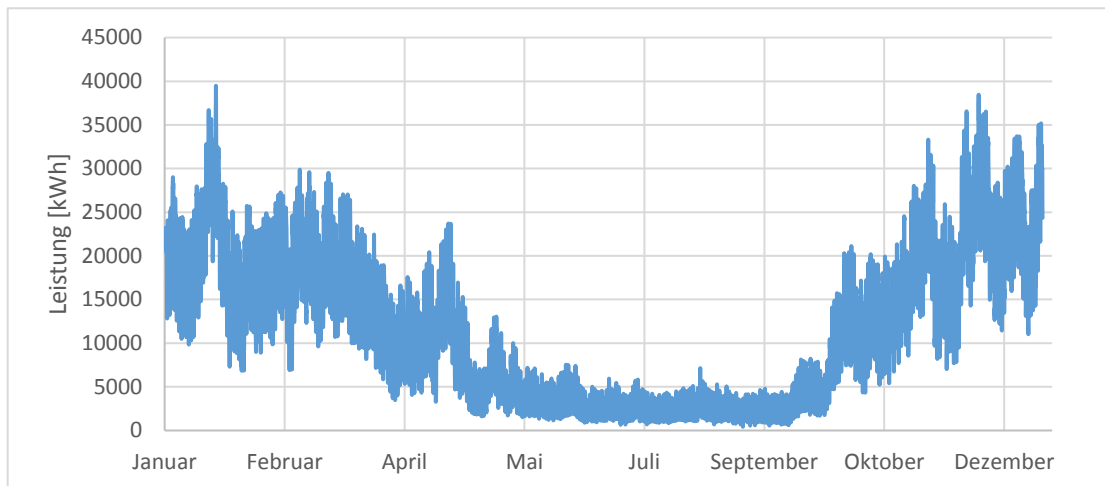


Abbildung 10: Lastgang der Gaseinspeisung 2016 ohne Großkunden

Die Höchstlast betrug ohne die Großkunden etwa 39.500 kW und trat am 22. Januar um 09:00 Uhr auf. Der geringste Leistungsbedarf trat am 29. August um 02:00 Uhr mit etwa 425 kW auf. Die gesamte eingespeiste Leistung abzüglich der Großkunden betrug im Jahr 2016 104.400 MWh. Der durchschnittliche Bedarf betrug im Winter 20,5 MW, in der Übergangszeit etwa 8 MW und im Sommer 3 MW.

4.2.2. Gesamtlast Forchheim ohne Großkunden

Aus dem Wärmekataster der SWF kann der Wärmebedarf für das gesamte Siedlungsgebiet entnommen werden. In diesem sind alle Straßen mit ihrem Wärmebedarf pro Jahr angegeben. Für eine Anschlussquote von 100 % an das Wärmenetz der Stadtwerke ergibt sich insgesamt ein Wärmebedarf von 452.122 MWh pro Jahr. Von diesem Wert wurde die Gesamtlast der Großkunden aus dem Jahr 2016 subtrahiert. Anschließend wurde diese resultierende Gesamtlast prozentual auf die Stundenwerte aus dem Jahr 2016 aufgeteilt. In Abbildung 11 ist der konstruierte Lastgang für die Komplettversorgung Forchheims ohne die Großkunden der SWF zu sehen.

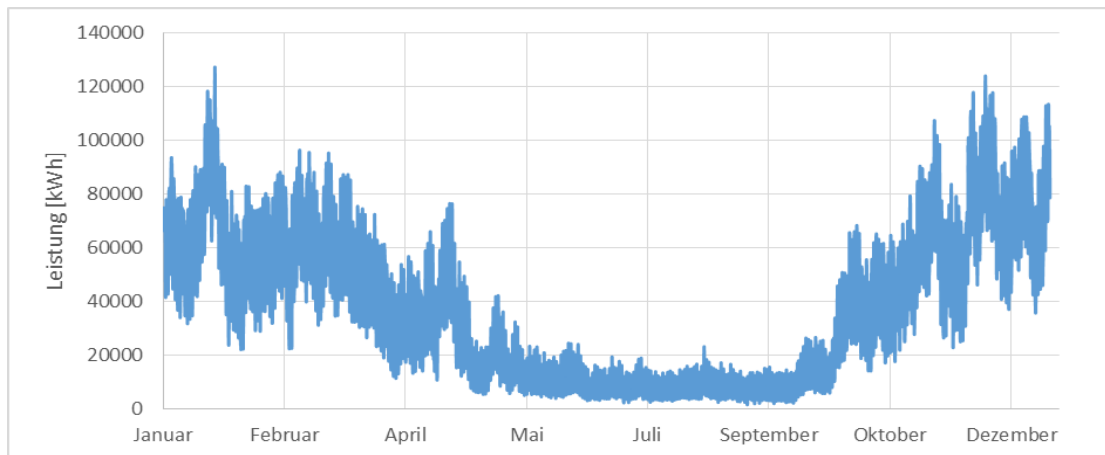


Abbildung 11: Lastgang Forchheim 2016 ohne Großkunden der SWF

4.2.3. Gesamtlast Forchheim

Abschließend wurde auf die konstruierte Gesamtlast Forchheims der Lastgang der Großkunden addiert, um so den gesamten Lastverlauf aus dem Jahr 2016 darstellen zu können. In Abbildung 12 ist der endgültige konstruierte Lastgang für eine komplette Wärmeversorgung Forchheims zu sehen.

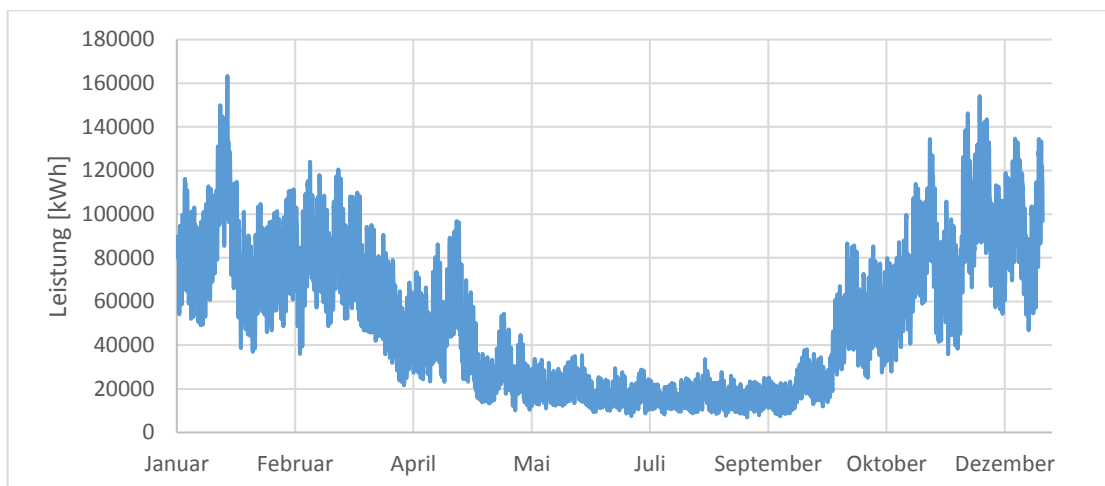


Abbildung 12: Lastgang Forchheim 2016 mit Großkunden der SWF

Die Höchstlast für den konstruierten Lastgang beträgt etwa 163.300 kW. Der geringste Leistungsbedarf in diesem Fall 6900 kW. Die Zeitpunkte des Auftretens dieser Lasten entsprechen denen zuvor in Kapitel 4.2.1 ermittelten.

4.3. Einfluss der Temperatur

Wie schon zuvor in Kapitel 4.1 vermutet hat die Temperatur einen entscheidenden Einfluss auf den Wärmebedarf. Dies ist mit dem größeren Heizbedarf bei niedrigen Außentemperaturen sehr anschaulich zu

verdeutlichen. In Abbildung 13 ist der Verlauf der Temperatur über das Jahr 2016 dargestellt.

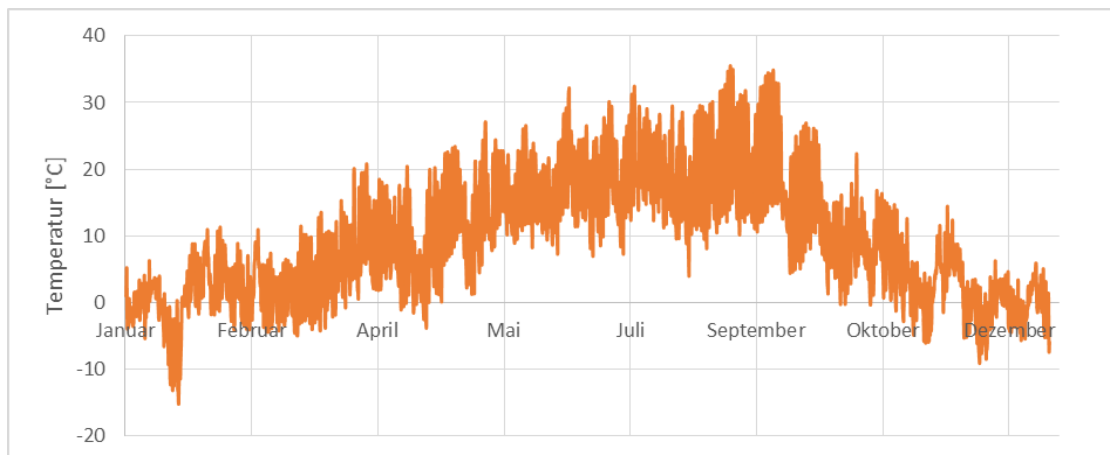


Abbildung 13: Temperaturverlauf über das Jahr 2016

Die kleinste gemessene Temperatur im Jahr 2016 beträgt $-15,3\text{ °C}$ und trat am 22. Januar auf. An diesem Tag trat ebenfalls die Maximallast der Gaseinspeisung auf. Die höchste Temperatur wurde am 27. August gemessen und betrug $35,5\text{ °C}$.

Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt die monatlichen Durchschnittstemperaturen in einem Balkendiagramm.

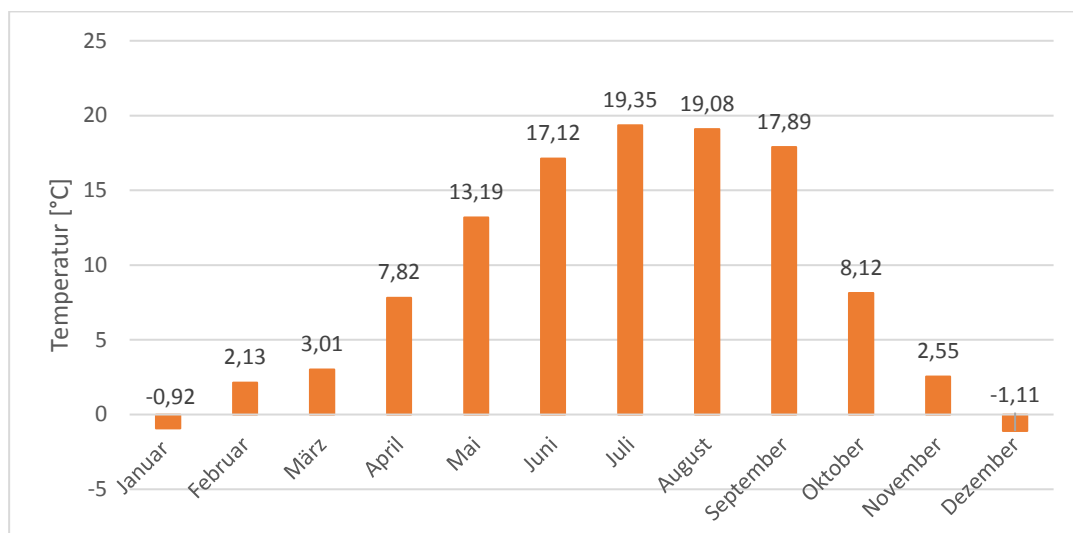


Abbildung 14: monatliche Durchschnittstemperatur des Jahres 2016

Die auftretende Lastspitze im Wärmebedarf im Januar deckt sich mit den niedrigsten Temperaturen im Jahr 2016. Ebenfalls zeigen die Monate mit den geringsten Durchschnittstemperaturen den größten Wärmebedarf.

Im nächsten Balkendiagramm sind die monatlichen Einspeisungen der verschiedenen Lastprofile zu sehen. Dies unterstützt die vorherige These.

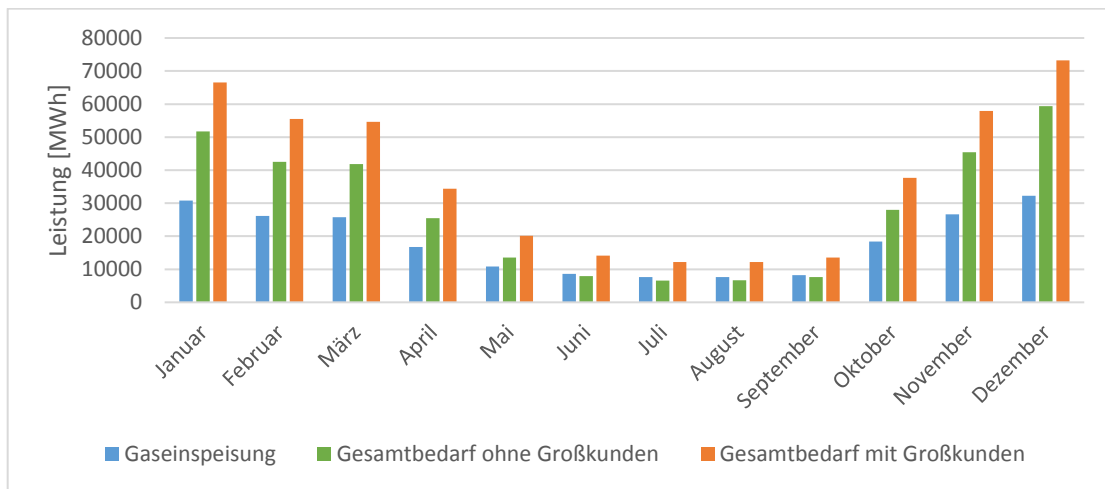


Abbildung 15: monatliche Summenlast der drei Lastverläufe 2016

Bei Betrachtung der beiden Abbildungen 14 und 15 ist zu erkennen, dass in den kältesten Monaten die benötigte Leistung am größten ist. Für eine Vorhersage des Bedarfs ist dies jedoch schwierig zu beurteilen, da Wettervorhersagen nur für wenige Tage im Voraus existieren. Zudem unterliegen auch diese Vorhersagen Schwankungen und Fehlern. In der nächsten Abbildung sind die Tagesdurchschnittstemperaturen mit der jeweiligen Last der Gaseinspeisung um 09:00 Uhr aufgetragen. Zu diesem Zeitpunkt tritt meist die Höchstlast des Wärmebedarfs eines Tages auf.

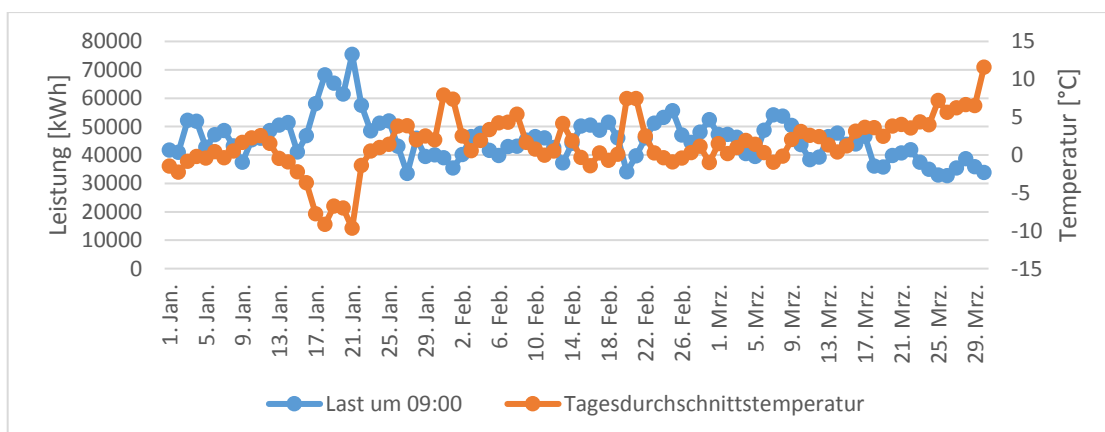


Abbildung 16: Januar – März, Tagesdurchschnittstemperatur und Last um 09:00 Uhr

In Abbildung 16 ist der starke Einfluss der Temperatur auf die Wärmelast noch deutlicher zu erkennen.

4.4. Einfluss der Tageszeit

Der Heizbedarf ist über den Verlauf eines Tages nicht konstant. In der Nacht wird deutlich weniger Wärme benötigt als am Tag. Der Anstieg des Bedarfs beginnt in den Morgenstunden, wenn in Privathaushalten sowie im Gewerbe der Arbeitstag beginnt, In Abbildung 17 sind die gemittelten Tagesverläufe für jeden Monat dargestellt.

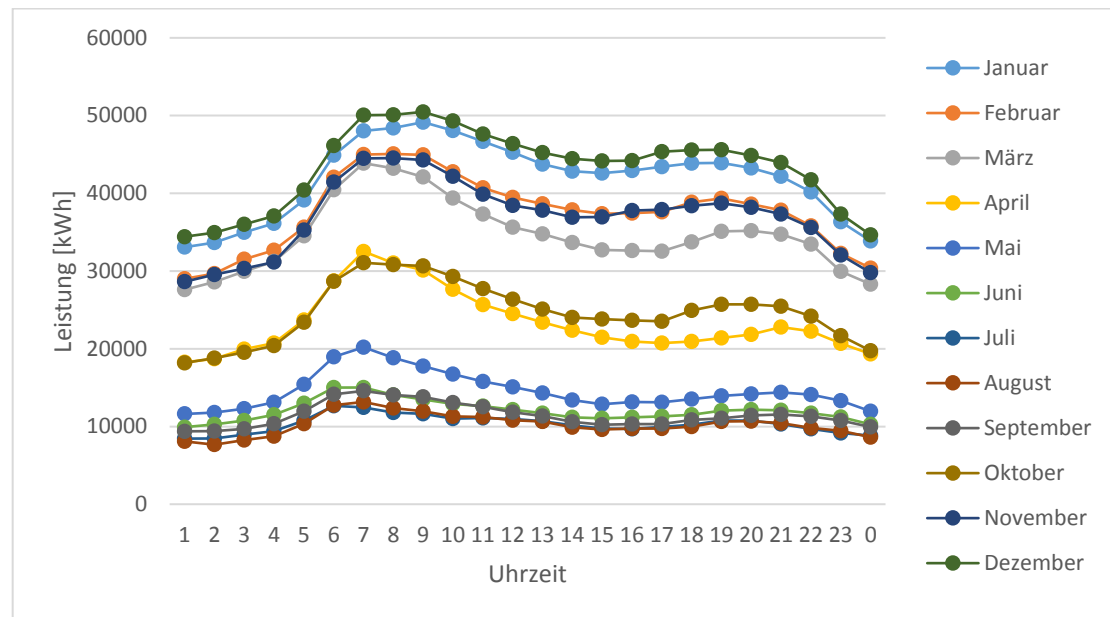


Abbildung 17: gemittelte Tagesverläufe je Monat der Gaseinspeisung 2016

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass der Bedarf an Wärme etwa ab 4:00 Uhr ansteigt. In den kalten Monaten ist der Anstieg am größten und weist einen Anstieg von etwa 20 MW auf. In den Sommermonaten ist der Anstieg geringer, da die Wärme hier nur für die Warmwasserversorgung benötigt wird. Ein weiterer Anstieg des Wärmebedarfs ist in den Abendstunden festzustellen. Es ist zu vermuten, dass dies mit dem Warmwasserbedarf und der notwendigen Heizung der Privathaushalte zusammenhängt.

4.5. Kalendarische Einflüsse

Um den Einfluss kalendarischer Daten auf den Wärmebedarf zu bewerten wurden die Tagesverläufe der verschiedenen Tagestypen je Monat betrachtet. Hierbei konnte keine Abhängigkeit vom Tagestypen festgestellt werden. Die durchschnittlichen Verläufe für die verschiedenen Tagestypen liefern nahezu gleiche Ergebnisse. Wie im Kapitel zuvor beschrieben ist die Temperatur der maßgebliche Faktor, der den Bedarf an Wärme bestimmt.

5.Zusammenhänge auftretender Lastspitzen im Strom- und Wärmebedarf

Das Lastverhalten der beiden Energieträger hängt unterschiedlich stark von den untersuchten Faktoren ab. Es konnte kein direkter Zusammenhang zwischen den auftretenden Lastspitzen der beiden Energieträger gefunden werden. Die Lastspitzen im Stromverbrauch treten häufig zur Mittagszeit oder in den Abendstunden auf. Die Höchstlasten eines Tages im Wärmebedarf hingegen treten meist in den Morgenstunden auf. Das ist damit zu erklären, dass morgens geheizt wird bis die gewünschte Temperatur erreicht ist. Dies ist ebenfalls in Abbildung 17 in allen monatlich gemittelten Lastgängen zu erkennen. Danach wird weniger Energie benötigt, um die Temperatur konstant zu halten. Ebenfalls wird in den Morgenstunden mehr Warmwasser benötigt. Der Strombedarf erreicht häufig Mittag sein Tageshoch. Das ist mit dem vermehrten Kochaufkommen zur Mittagszeit zu erklären. Auch am Abend kommt es dadurch zu Anstiegen im Strombedarf. In Kapitel 3.2 wurden bereits die verschiedenen Lastprofile des Strombedarfs vorgestellt. Diese bestätigen die Vermutungen. Jedoch traten im Jahr 2016 die Höchstlasten in beiden Verbräuchen an gleichen Tagen auf. Diese fallen mit den Tagen der tiefsten Temperaturen zusammen. Im Januar vom 19.1. bis 22.1 und im Dezember vom 5.12. bis 8.12.

6.Wärmebedarf und regeneratives Angebot

Im letzten Kapitel wird dem Wärmebedarf das regenerative Angebot gegenüber gestellt. Zunächst wird die Ermittlung der notwendigen Daten beschrieben.

6.1. Aufbereitung der Solardaten

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben wurden Solardaten von der MERRA-2 Datenbank heruntergeladen. Mit Hilfe eines weiteren Excel-Tools, welches ebenfalls von Matthias Popp zur Verfügung gestellt wurde, können diese aufbereitet werden. In diesem Tool ist es unter anderem möglich die Leistung einer Solaranlage aus den Solardaten zu ermitteln. Dafür wurden theoretische Werte für den Wirkungsgrad und die Ausrichtung der Wärmekollektoren

ausgewählt. In Abbildung 18 ist ein Ausschnitt aus dem verwendeten Tool zu sehen.

Ortslage		Ausrichtung der Kollektorfläche			Normalenvektor der Ebene nach			Solarenergieanlage						Solarleistung neu ermitteln						
Breite	49,50°	Richtung	α_c	180°	S	süd→	n_x	0,574	Probe:	0,574	Wirkungsgrad	EtaS	80%							
Länge	11,250°	Neigung	γ_c	35°	(55°)	ost→	n_y	0,000	[n]	0,000	maximale Leistung	Pmax	1000	W/m²						
$n_z/180=$	0,01745			hoch→	n_z	0,819	1,000	0,819												
aus MERRA														Normalenvektoren zur Sonne			Normalen	Vektoren	Ebenen	
ACHTUNG! Die Formeln dieses Tabellenblatts einschließlich Zeile 9 sollten keinesfalls gelöscht werden.														Vektor	Zwischen	Auftreff				
														Endpunkte	Winkel	Winkel				
Zeitschritt	Rückstrahlung	Strahlung horizontal	Strahlung senkrecht	Datum	mittlere Ortszeit	J'	Zeitgleichung	Sonnen-deklination	wahre Ortszeit WOZ	Stundenwinkel	Sonnenhöhe	Sonnenazimut	süd→	ost→	hoch→	Probe	Abstand	Theta	Delta	
UTC Mitte	ALBEDO	SWGNT	SWGDN	UTC mitte	MOZ [h]	[']	Zgl [min]	δ [°]	[h]	hh:mm:ss	ω [°]	γ_s [°]	α_s [°]	s_x	s_y	s_z	[s]	d	Θ_{gen} [°]	δ_s [°]
01.01.16 00:30	0,00E+00	0,0	0,0	01.01.2016 01:00	1,750	0,04	-2,79	-23,11	1,703	1:42:12	-154,4	-56,9	46,5	-0,376	0,397	-0,837	1	1,950	154,4	-64,4
01.01.16 01:30	0	0	0	01.01.2016 02:00	2,750	0,08	-2,81	-23,11	2,703	2:42:11	-139,5	-48,8	65,2	-0,277	0,598	-0,752	1	1,884	140,8	-50,8
01.01.16 02:30	0	0	0	01.01.2016 03:00	3,750	0,12	-2,83	-23,11	3,703	3:42:10	-124,5	-39,5	79,5	-0,141	0,758	-0,636	1	1,790	127,0	-37,0
01.01.16 03:30	0	0	0	01.01.2016 04:00	4,750	0,16	-2,85	-23,11	4,702	4:42:09	-109,5	-29,8	91,4	0,022	0,867	-0,497	1	1,670	113,3	-23,3
01.01.16 04:30	0	0	0	01.01.2016 05:00	5,750	0,21	-2,87	-23,10	5,702	5:42:08	-94,5	-20,2	102,3	0,200	0,917	-0,345	1	1,528	99,6	-9,6
01.01.16 05:30	0	0	0	01.01.2016 06:00	6,750	0,25	-2,89	-23,10	6,702	6:42:07	-79,5	-10,9	112,9	0,383	0,904	-0,189	1	1,368	86,3	3,7
01.01.16 06:30	0	0	0	01.01.2016 07:00	7,750	0,29	-2,91	-23,10	7,701	7:42:05	-64,5	-3,3	123,8	0,556	0,830	-0,041	1	1,195	73,4	16,6
01.01.16 07:30	0,1678337	4,552734	5,470703	01.01.2016 08:00	8,750	0,33	-2,93	-23,09	8,701	8:42:04	-49,5	5,2	135,4	0,709	0,699	0,090	1	1,019	61,3	28,7
01.01.16 08:30	0,1700915	30,79688	37	01.01.2016 09:00	9,750	0,37	-2,95	-23,09	9,701	9:42:03	-34,5	11,2	147,9	0,831	0,521	0,194	1	0,853	50,5	39,5
01.01.16 09:30	0,1640487	71,15625	84,96875	01.01.2016 10:00	10,750	0,41	-2,97	-23,09	10,701	10:42:02	-19,5	15,4	161,4	0,914	0,307	0,265	1	0,719	42,2	47,8
01.01.16 10:30	0,1512316	98,78125	115,8438	01.01.2016 11:00	11,750	0,45	-2,99	-23,08	11,700	11:42:01	-4,5	17,3	175,7	0,952	0,072	0,297	1	0,649	37,8	52,2
01.01.16 11:30	0,14995	133,375	156,5625	01.01.2016 12:00	12,750	0,49	-3,01	-23,08	12,700	12:42:00	10,5	16,8	190,1	0,942	-0,168	0,289	1	0,667	39,0	51,0
01.01.16 12:30	0,150824	131,875	155,1875	01.01.2016 13:00	13,750	0,53	-3,03	-23,08	13,700	13:42:58	25,5	14,0	204,1	0,886	-0,396	0,241	1	0,767	45,1	44,9
01.01.16 13:30	0,1564198	94,90625	112,5313	01.01.2016 14:00	14,750	0,58	-3,05	-23,08	14,699	14:42:57	40,5	9,0	217,2	0,787	-0,597	0,156	1	0,917	54,6	35,4
01.01.16 14:30	0,1624011	37,48438	44,84375	01.01.2016 15:00	15,750	0,62	-3,07	-23,07	15,699	15:42:56	55,5	2,3	229,3	0,651	-0,758	0,041	1	1,089	65,0	24,0
01.01.16 15:30	0,1758897	1,19873	1,458496	01.01.2016 16:00	16,750	0,66	-3,09	-23,07	16,699	16:42:55	70,5	-5,6	240,6	0,488	-0,867	-0,098	1	1,265	78,5	11,5
01.01.16 16:30	0	0	0	01.01.2016 17:00	17,750	0,70	-3,10	-23,07	17,698	17:42:54	85,5	-14,5	251,3	0,310	-0,917	-0,251	1	1,434	91,6	-1,6

Abbildung 18: Versorgungsanalyse-Tool bereitgestellt von Prof. Matthias Popp

Die ausgewählten Eingabeparameter für die Wärmekollektoren sind 55° Neigungswinkel bei südlicher Ausrichtung und einem Wirkungsgrad von 80%. Daraus ergibt sich der Wärmeertrag in stündlicher Auflösung in Watt pro Quadratmeter.

In Abbildung 19 sind die resultierenden Werte über das Jahr 2016 aufgetragen. Man erkennt die größere Einstrahlung in den Sommermonaten. Dies ist gegenläufig zum Wärmebedarf und begründet damit die Nutzung des Energiespeichers als saisonalen Wärmespeicher.

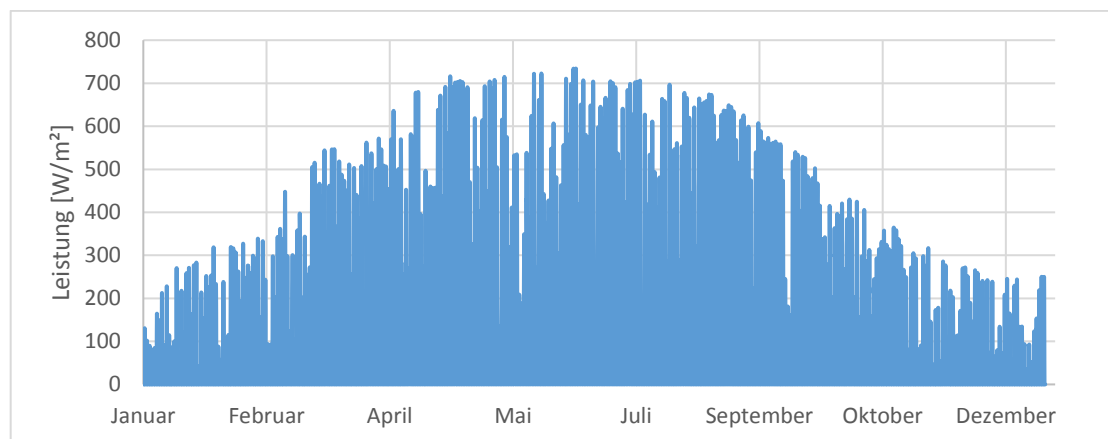


Abbildung 19: Leistung der Sonneneinstrahlung auf Kollektor mit 55° Neigung, südlicher Ausrichtung und Wirkungsgrad 80% im Jahr 2016

Im Folgenden werden zwei Szenarien für einen solaren Deckungsgrad von 20% vorgestellt. Das bedeutet, dass 20% des gesamten Jahresbedarfs durch die Kollektoren gedeckt werden. Für diese Betrachtung werden die Lastgänge ohne die Gasgroßkunden der SWF verwendet. Die Nutzung des

Energiespeichers als Wärmespeicher kann nur Wärme zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung bereitstellen. Prozesswärme kann damit nicht zur Verfügung gestellt werden.

6.2. Versorgung durch die Stadtwerke Forchheim

Zunächst wird ein Szenario betrachtet in dem die Verbraucher, die ans Netz der SWF angebunden sind mit 20% solaren Deckungsgrad versorgt werden sollen. Wie zuvor beschrieben werden die Großkunden hier nicht berücksichtigt. Zur Berechnung der benötigten Fläche zur Deckung der 20% des Jahresbedarfs wurde das Excel Add-In Solver genutzt. So ergibt sich eine notwendige Fläche an Kollektoren von etwa 21400 m². In Abbildung 20 sind der Bedarfsverlauf und der Verlauf der Kollektorleistung mit der errechneten Fläche dargestellt.

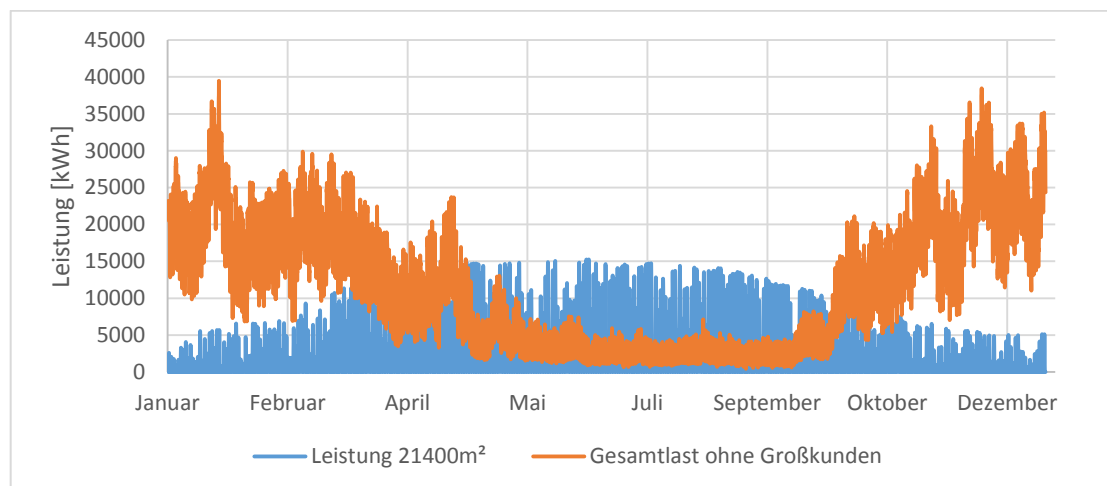


Abbildung 20: Gaseinspeisung ohne Großkunden und Leistung der 21400 m² Kollektorfläche im Jahr 2016

Die Differenz der benötigten Leistung und der verfügbaren Leistung in den Sommermonaten kann zum saisonalen Ausgleich in den Energiespeicher eingespeist werden. Daraus ergibt sich eine mittlere Einspeiseleistung in den Energiespeicher von etwa 5000 kW. Die größte einzuspeisende Leistung beträgt etwa 12.800 kW. Die mittlere Leistung zur Ausspeisung beträgt 12.300 kW. Die auftretende Spitzenlast der Ausspeisung beträgt etwa 38.700 kW. Insgesamt könnten mit der errechneten Fläche in den Sommermonaten 6985 MWh in den Energiespeicher eingespeist werden.

6.3. Gesamtlast Forchheim

Das zweite Szenario stellt die Komplettversorgung dar. Jedoch sind auch hier die Großkunden der SWF nicht berücksichtigt. Das Verfahren zur Ermittlung der benötigten Fläche verläuft analog zum vorherigen Kapitel. Für einen solaren Deckungsgrad von 20% wird eine Kollektorfläche von etwa 69.000 m² benötigt. Abbildung 21 zeigt die Verläufe für die synthetische Gesamtversorgung ohne Großkunden und die Leistung der errechneten Kollektorfläche.

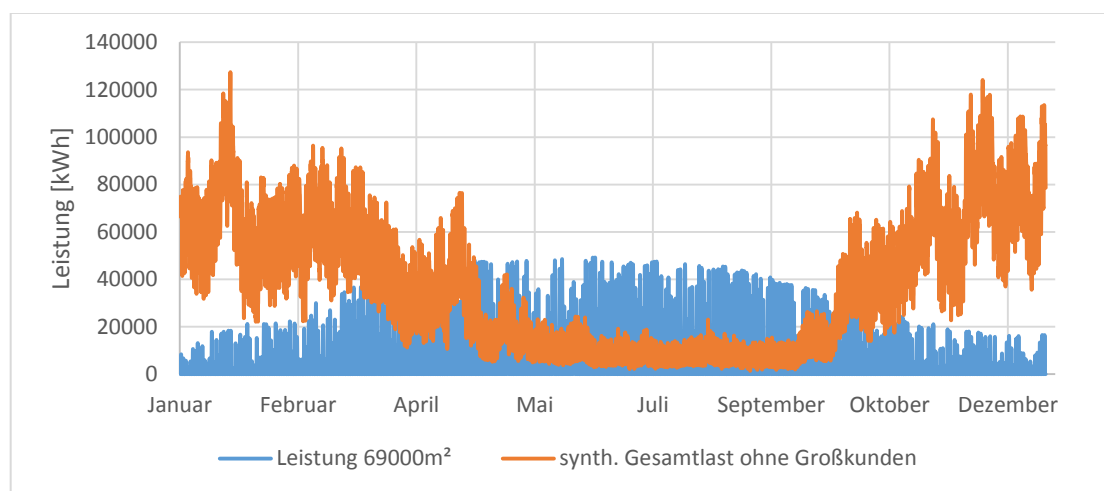


Abbildung 21: Wärmebedarf ohne Großkunden und Leistung der 69000 m² Kollektorfläche im Jahr 2016

Für dieses Szenario beträgt die mittlere Einspeiseleistung etwa 16.000 kW, während die größte einzuspeisende Leistung bei 41.300 kW liegt. Insgesamt können zum saisonalen Ausgleich im Sommer 22.508 MWh eingespeist werden.

7. Fazit/Ausblick

Ziel der Arbeit war es grundlegende Erkenntnisse über den Energiebedarf der Stadt Forchheim zu erlangen. Dies konnte erreicht werden. Beide Energieträger werden am stärksten durch die vorherrschende Temperatur beeinflusst. Der Strombedarf unterliegt zusätzlich noch starken Schwankungen in Bezug auf die Tagestypen. Der Wärmebedarf ist ebenfalls auch an Werktagen größer als an Samstagen und Sonntagen. Der Vergleich des regenerativen Angebots mit den verschiedenen Lastgängen des Wärmebedarfs

stellt nur eine grobe Auslegungshilfe für die Nutzung des Energiespeichers als saisonalen Wärmespeicher. Die Analyse der großen Datenmengen geschah in dieser Arbeit vor allem durch Funktionen in Excel. Mit Hilfe dieser wurden Mittelwerte gebildet und Maxima sowie Minima gefunden. Zur Sortierung der Daten wurden einfache Funktionen in VBA geschrieben. So konnte die Vielzahl an Daten zeitsparend in Tage und Monate sortiert werden. Aufbauend auf dieser Arbeit kann ein rechnerischer Ansatz verfolgt werden, um Funktionen zu erhalten, die die Einflussfaktoren mittels Korrelationskoeffizienten berücksichtigen. Dies wurde aufgrund der Analyse zweier Energieträger in dieser Arbeit nicht angewandt.

Literaturverzeichnis

- BAYSTAAT, 2016. Bayrische Staatskanzlei, BayFTG, Gesetzliche Feiertage.
<http://gesetze-bayern.de/Content/Document/BayFTG-1> abgerufen am
15.05.2017
- FO, 2010. Zusammenfassender Bericht zur Wärmepotenzialstudie Forchheim.
https://www.forchheim.de/sites/default/files/Gstfor_nwn_01.pdf abgerufen am
17.06.2017
- GIPS, 2017.
http://www.gipsprojekt.de/featureGips/Gips;jsessionid=C122ED95F9D68D832F1E473FEEC2F587?SessionMandant=sw_unna&Anwendung=EnWGKnotenAnzeigen&PrimaryId=133029&Mandantkuerzel=sw_unna&Navigation=J
abgerufen am 15.05.2017
- NASA 1, 2017. <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/> abgerufen
am 30.05.2017
- NASA 2, 2017. <https://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/docs/Bosilovich785.pdf> S.44
abgerufen am 30.05.2017
- Popp, M. 2017. Excel-Tool zur Aufbereitung der Solardaten
- Popp, M. 2017. Excel-Tool zum Download von MERRA-2
- STAATBAY, 2016. Staatsregierung Bayern, Amtsblatt Nr. 21, Schulferien.
<https://www.verkuendung-bayern.de/files/kwmb/2010/21/kwmb-2010-21.pdf>
abgerufen am 15.05.2017
- Stadtwerke Forchheim, 2017. <http://www.stadtwerke-forchheim.de/>

Anhang

