



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Simon Bremert

# **Simulation von Wärme- und Stromlastgängen von Gebäuden in der Wohnungswirtschaft zur Analyse und Optimierung der Betriebsweisen von Blockheizkraftwerken**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Mechanical Engineering and  
Production Management*

**Simon Bremert**

**Simulation von Wärme- und  
Stromlastgängen von Gebäuden in der  
Wohnungswirtschaft zur Analyse und  
Optimierung der Betriebsweisen von  
Blockheizkraftwerken**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau/Energie- und Anlagensysteme  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:  
URBANA Energiedienste GmbH  
Engineering  
Heidenkampsweg 40  
20097 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr. Thomas Veeseer  
Zweitprüfer : Dipl. Ing. Torsten Czulwik

Abgabedatum: 07.03.2016

# **Zusammenfassung**

**Simon Bremert**

## **Thema der Bachelorthesis**

Simulation von Wärme- und Stromlastgängen von Gebäuden in der Wohnungswirtschaft zur Analyse und Optimierung der Betriebsweisen von Blockheizkraftwerken

## **Stichworte**

Blockheizkraftwerk, dezentrale Energieversorgung, Standardlastprofil, Anlagenauslegung, Testreferenzjahr

## **Kurzzusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel verschiedene Betriebsweisen von Blockheizkraftwerken zu analysieren und zu optimieren. Dazu wird ein MS Office Excel Tool entwickelt, welches während der Projektierungsphase angewandt werden soll. Da oftmals keine Werte aus einer registrierenden Leistungsmessung vorliegen, müssen zunächst Lastprofile simuliert werden, welche den Jahresverlauf der Abnahme von Strom und Wärme durch ein Mehrfamilienhaus stundengenau widerspiegeln. Mit Hilfe weiterer Faktoren, unter anderem der Größe eines Warmwasserspeichers oder des Strompreises an der Börse, können verschiedene Fahrweisen von Blockheizkraftwerken simuliert und die daraus folgenden Auswirkungen auf Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlage untersucht werden. Es werden die Hintergründe des Tools erläutert, anhand eines Beispiels mögliche Betriebsweisen verglichen und die optimale ausgewählt.

**Simon Bremert**

## **Title of the thesis**

Simulation of heat and electricity load profiles of buildings in the housing industry to analyse and optimize the way of operation of Combined Heat and Power machines

## **Keywords**

Combined Heat and Power, decentralized supply of energy, standard load profile, test reference year

## **Abstract**

The intention of this thesis is to analyse and optimize the way of operation of Combined Heat and Power machines (CHP). This is realized in a tool that is programmed in MS Office Excel for use in the project planning stage. Often there is no measurement system for past energy requirements. Because of that, the heat and electricity load profile of a whole year must be simulated for a multi-family house. These and some other factors like the size of a warm water storage or the price of electricity at the stock exchange can be used for simulating different operation modes of CHP machines to see the influence in efficiency and profitability of the system. In order to understand the approach of this thesis, the operating principles of the tool will be explained. Using an example, different possible operational modes will be compared to choose the optimal alternative.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Hintergrund . . . . .	1
1.2	Motivation . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Standardlastprofile . . . . .	3
2.1.1	Wärme . . . . .	3
2.1.2	Strom . . . . .	4
2.2	Testreferenzjahr . . . . .	4
2.3	Blockheizkraftwerk . . . . .	4
2.4	Pufferspeicher . . . . .	6
2.5	Betriebsweisen von Blockheizkraftwerken . . . . .	7
2.6	European Energy Exchange . . . . .	7
2.7	Stromvermarktung . . . . .	8
2.8	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Entwicklung des Tools</b>	<b>11</b>
3.1	Eingabe . . . . .	11
3.2	Testreferenzjahre . . . . .	12
3.3	BHKW . . . . .	12
3.4	Heizlastgang . . . . .	13
3.5	Simulation . . . . .	15
3.5.1	Lastgänge . . . . .	15
3.5.2	Verhalten der Anlage im Betrieb . . . . .	16
3.5.3	Kosten und Erlöse . . . . .	18
3.6	Ausgabe . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Implementierung des Tools</b>	<b>22</b>
4.1	Das Projekt „Wohnen am Alsterberg“ . . . . .	22
4.2	Der Betrieb im Verlauf eines Jahres . . . . .	22
4.3	Der Betrieb vom 17. bis zum 20. November . . . . .	28
4.3.1	Wärmegeführter Betrieb . . . . .	28
4.3.2	Stromgeführter Betrieb . . . . .	30
4.3.3	Stromorientierter Betrieb . . . . .	33
4.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>37</b>

<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>38</b>
<b>Anhang</b>	<b>39</b>
<b>A Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>40</b>
<b>B Formelzeichen</b>	<b>41</b>
<b>C Klimazonen der Städte mit mindestens 100.000 Einwohnern</b>	<b>43</b>
<b>D Datenblatt Sokratherm</b>	<b>46</b>
<b>E Koeffizienten zur Ermittlung der Tagesfaktoren des Heizlastgangs</b>	<b>48</b>
<b>F Stundenfaktoren zur Ermittlung der stündlichen Heizleistung</b>	<b>49</b>
<b>G Ausschnitte des Tools - Simulation des Projektes „Wohnen am Alsterberg“</b>	<b>51</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Klimazonen . . . . .	5
2.2	Wartungskosten von BHKW . . . . .	6
2.3	Strompreiszusammensetzung . . . . .	9
2.4	Stromvermarktung . . . . .	9
3.1	BHKW Module . . . . .	13
4.1	Jahresdauerlinie der Wärmeleistung . . . . .	23
4.2	Jahresdauerlinie der Stromleistung . . . . .	24
4.3	Jahreswärmelastgang mit wärmegeführtem BHKW . . . . .	24
4.4	Jahreswärmelastgang mit stromgeführtem BHKW . . . . .	25
4.5	Jahresstromlastgang mit stromgeführtem BHKW . . . . .	25
4.6	Einspeisung eines wärmegeführten BHKW im Verlauf eines Jahres . . . . .	26
4.7	Einspeisung eines stromgeführten BHKW im Verlauf eines Jahres . . . . .	27
4.8	Einspeisung eines stromorientierten BHKW im Verlauf eines Jahres . . . . .	27
4.9	Tageswärmelastgang mit wärmegeführtem BHKW . . . . .	28
4.10	Füllstand des Pufferspeichers mit wärmegeführtem BHKW (17.-20.11.) . . . . .	29
4.11	Tagesstromlastgang mit wärmegeführtem BHKW . . . . .	29
4.12	Einspeisung eines wärmegeführten BHKW (17.-20.11.) . . . . .	30
4.13	Tageswärmelastgang mit stromgeführtem BHKW . . . . .	31
4.14	Füllstand des Pufferspeichers mit stromgeführtem BHKW (17.-20.11.) . . . . .	31
4.15	Tagesstromlastgang mit stromgeführtem BHKW . . . . .	32
4.16	Einspeisung eines stromgeführten BHKW (17.-20.11.) . . . . .	32
4.17	Tageswärmelastgang mit stromorientiertem BHKW . . . . .	33
4.18	Füllstand des Pufferspeichers mit stromorientiertem BHKW (17.-20.11.) . . . . .	34
4.19	Tagesstromlastgang mit stromorientiertem BHKW . . . . .	34
4.20	Einspeisung eines stromorientierten BHKW (17.-20.11.) . . . . .	35

# Tabellenverzeichnis

2.1	KWKG Zuschläge . . . . .	10
3.1	Gaspreiszusammensetzung . . . . .	19

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Der Klimawandel stellt die Energiebranche vor eine große Herausforderung. Mithilfe von erneuerbaren Energien und hocheffizienten Anlagen soll die Energiewende vorangetrieben werden. Einen zukunftsorientierten Markt bietet diesbezüglich die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom in dezentralen Energieversorgungsanlagen. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung werden wesentlich höhere Nutzungsgrade als beispielsweise mit Kern- oder Kohlekraftwerken erreicht, welche lediglich zur Erzeugung von Strom verwendet werden, während die Abwärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. In dem Zusammenhang wird häufig von Primärenergieeinsparung gesprochen. Als Primärenergie wird die Energieform bezeichnet, in welcher die schlussendlich nutzbare Energie ursprünglich vorlag. In diesem Fall ist das der Brennstoff. Damit einhergehend kann der Schadstoffausstoß reduziert werden.

Eine gängige Variante der Kraft-Wärme-Kopplung ist die Nutzung von Blockheizkraftwerken. Diese werden dezentral installiert und versorgen beispielsweise Wohnquartiere in unmittelbarer Umgebung mit Wärme. Der erzeugte Strom kann vor Ort genutzt oder in das allgemeine Netz eingespeist werden. Durch Dezentralisierung werden Leitungsverluste verringert und durch schnell reagierende Blockheizkraftwerke, deren Motoren in kurzer Zeit hoch- und herunterfahren, die Flexibilität der Stromeinspeisung erhöht. Letzteres wirkt sich positiv auf die Stabilität des Stromnetzes aus. Außerdem ist man durch Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung in der Lage, die nur unter bestimmten Voraussetzungen abrufbaren erneuerbaren Energien flexibel zu ergänzen.

## 1.2 Motivation

Die URBANA Energiedienste GmbH ist ein Energiedienstleister, der Energie in Form von Wärme und Strom vom Konzept bis zur Abrechnung erzeugt und verkauft. URBANA plant, baut und betreibt deutschlandweit unter anderem für die Wohnungswirtschaft Anlagen für eine effiziente Energieversorgung. Es werden Wärme und Strom aus dezentralen Anlagen zur gekoppelten Erzeugung von Wärme und Strom geliefert. Dabei agiert URBANA im Normalfall als Contractor. Das bedeutet, dass vom Kunden ein Heizraum an URBANA vermietet wird, in dem die Heizanlage installiert wird. URBANA bleibt im Besitz der Anlage und realisiert außerdem den Betrieb. Es wird ein Contracting-Vertrag über die Abnahme von Wärme und häufig auch von Strom über eine Laufzeit von meistens 10 bis 20 Jahren geschlossen. Mit den Erlösen von Wärme und Strom wird über die Laufzeit unter anderem das Blockheizkraftwerk abgeschrieben.



Es kommt immer wieder vor, dass es sich bei potentiellen Aufträgen um die Versorgung von Wohnquartieren handelt, von denen keine registrierende Leistungsmessung der stündlichen Wärme- und Stromabnahme vorliegt. In diesem Fall müssen Standardlastprofile erzeugt und für die weiteren Betrachtungen in der Projektierungsphase und auch danach verwendet werden, um verschiedene Betriebsweisen von Blockheizkraftwerken darstellen und miteinander vergleichen zu können. Während des Betriebs sind die Einflüsse einiger Parameter relevant. Es handelt sich dabei um die Strompreise an der Börse, das Taktverhalten des Blockheizkraftwerkes und die Zuschläge durch das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, um einleitend nur einige davon zu nennen. Anhand dieser Faktoren kann die Wirtschaftlichkeit im Zusammenspiel mit der Effizienz überprüft werden. Um das zu ermöglichen, wird ein MS Office Tool entwickelt, das Fahrweisen von Blockheizkraftwerken simulieren kann, um diese einer Bewertung zu unterziehen. In einem gewissen Umfang ist es dadurch schon in der frühen Projektierungsphase möglich, eine Aussage über die Anlagenauslegung und die Wirtschaftlichkeit der Anlage im Betrieb zu treffen.

## 2 Grundlagen

Dieses Kapitel vermittelt die Grundlagen der Themenbereiche, welche für das Verständnis der vorliegenden Thesis relevant sind. Dabei handelt es sich um Definitionen und Erläuterungen von Anlagenkomponenten, aber auch darum, welche Betriebsarten von Blockheizkraftwerken im Allgemeinen existieren. Des Weiteren gilt es zu verstehen, wovon der Energiebedarf von Haushalten abhängt, welche Arten der Vermarktung von Strom es gibt und welche Rolle verschiedene Gesetze in dem Zusammenhang spielen. Es ist nicht das Ziel, einen vollständigen Überblick über die Thematiken zu erlangen, sondern mit dem Grundlagenwissen eine Basis für das Simulationstool zu schaffen.

### 2.1 Standardlastprofile

Standardlastprofile (SLP) finden dann Anwendung, wenn keine stundengenauen Messwerte der Bezugsmengen beispielsweise von Strom oder Gas eines Verbrauchers oder eines Verbraucherkollektivs vorliegen. Das kann verschiedene Gründe haben. Häufig ist es bei kleinen Verbrauchern schlichtweg nicht wirtschaftlich eine sogenannte registrierende Leistungsmessung durchzuführen, da der Aufwand für die Messtechnik zu groß ist.

Ein SLP soll einen solchen, meist stündlichen Lastgang simulieren. Dabei darf nicht davon ausgegangen werden, dass die Werte zu jedem Zeitpunkt mit der Realität übereinstimmen. Sie sind keine Prognosen im eigentlichen Sinne. Vielmehr handelt es sich um eine statistische Verteilung, die bei großen Verbraucherkollektiven eher den tatsächlichen Verlauf widerspiegelt als bei kleinen.

Da unterschiedliche Verbraucher auch unterschiedliche Eigenarten haben, werden diese in Kategorien für Gewerbe und Haushalte zusammengefasst, wobei im Gewerbe zahlreiche Unterteilungen vorgenommen werden, während bei Haushalten lediglich für den Wärmelastgang Ein- und Mehrfamilienhäuser (MFH) in Alt- und Neubau klassifiziert werden. Zusätzlich spielt im Gewerbe die Unterscheidung der Wochentage eine Rolle.

#### 2.1.1 Wärme

Zahlreiche Parameter haben Auswirkungen auf den Wärmebedarf eines Verbrauchers. Den größten Einfluss hat das Klima durch die Lufttemperatur. Auch der Bedeckungsgrad und verschiedene Arten von Strahlung spielen ebenso wie Windstärke und Windrichtung eine Rolle. Ein weiterer Faktor ist das Nutzerverhalten. Manuelles Lüften und innere Wärmegewinne durch beispielsweise Personen oder elektronische Geräte beeinflussen den Wärmelastgang. Außerdem

ist der Wärmebedarf aufgrund von verschiedenen Dämmstandards bei Neubau und Altbau unterschiedlich.

Des Weiteren stellt sich die Frage, welche Art Versorgungsanlage und -peripherie zum Einsatz kommt. Außerdem ist von Interesse, ob es sich um eine zentrale Warmwasserbereitung (WWB) oder dezentrale Durchlauferhitzer oder Boiler handelt und wie lang das Wärmenetz und die damit verbundenen Netzverluste an die Umgebung sind.

Schlussendlich setzt sich aus all diesen Parametern der Bedarfsgang zusammen.

### 2.1.2 Strom

Ebenso wie ein Wärmelastgang, hängt ein Stromlastgang vom Klima ab. Jedoch sind die Einflüsse hier wesentlich geringer. Beim Stromverbrauch spielt das Nutzerverhalten eine übergeordnete Rolle.

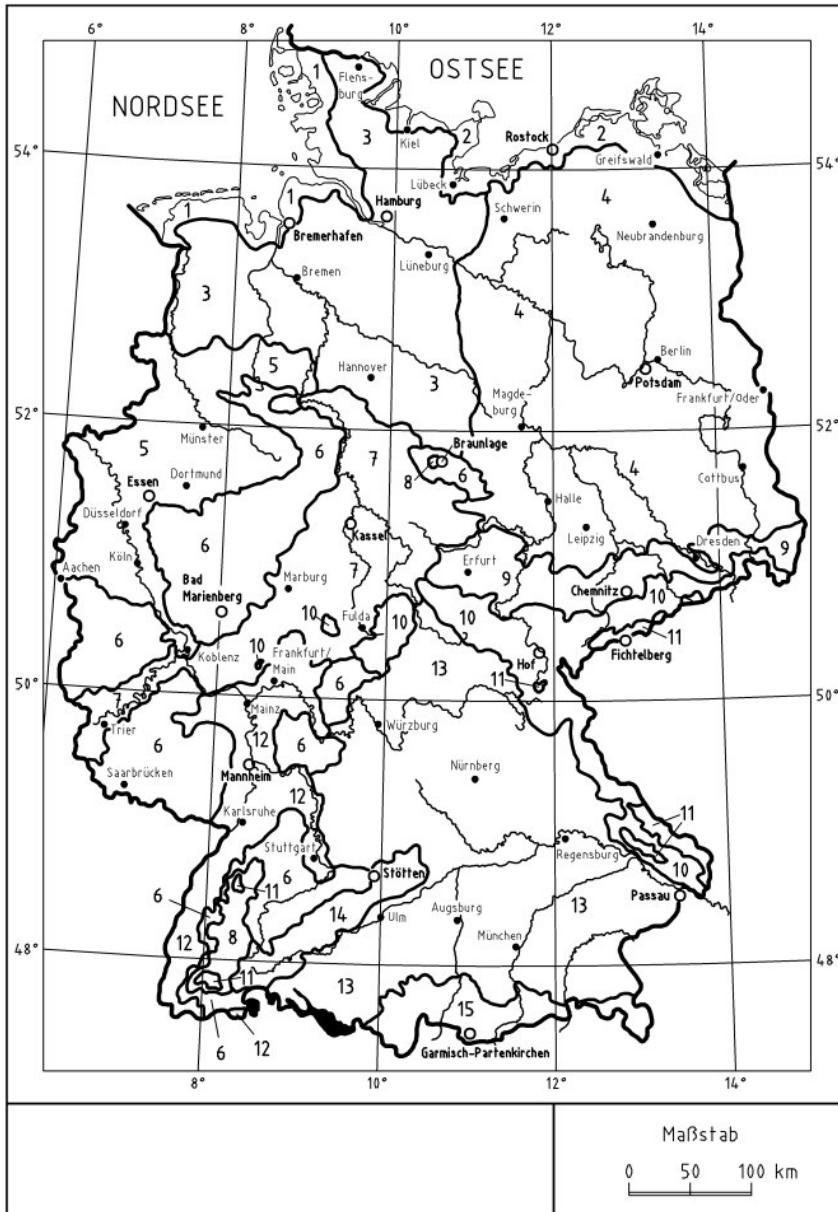
## 2.2 Testreferenzjahr

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt diverse Klimadaten zur freien Verfügung. Dabei kann aus aktuellen und historischen Datensätzen ausgewählt werden. Speziell für die Anlagenauslegung in der Klimatechnik wurden die Testreferenzjahre (TRY, Englisch: test reference year) entwickelt. Zur Differenzierung der klimatischen Bedingungen in verschiedenen Regionen ist der Ansatz der DIN 4710 ([1], S. 6 ff) heranzuziehen, nach dem Deutschland in 15 Klimazonen unterteilt wird (siehe Abbildung 2.1 und Anhang C). Für jede Zone wurden eine oder zwei Referenzwetterstationen festgelegt, welche den gesamten Bereich in Bezug auf die meteorologischen Klimadaten repräsentieren.

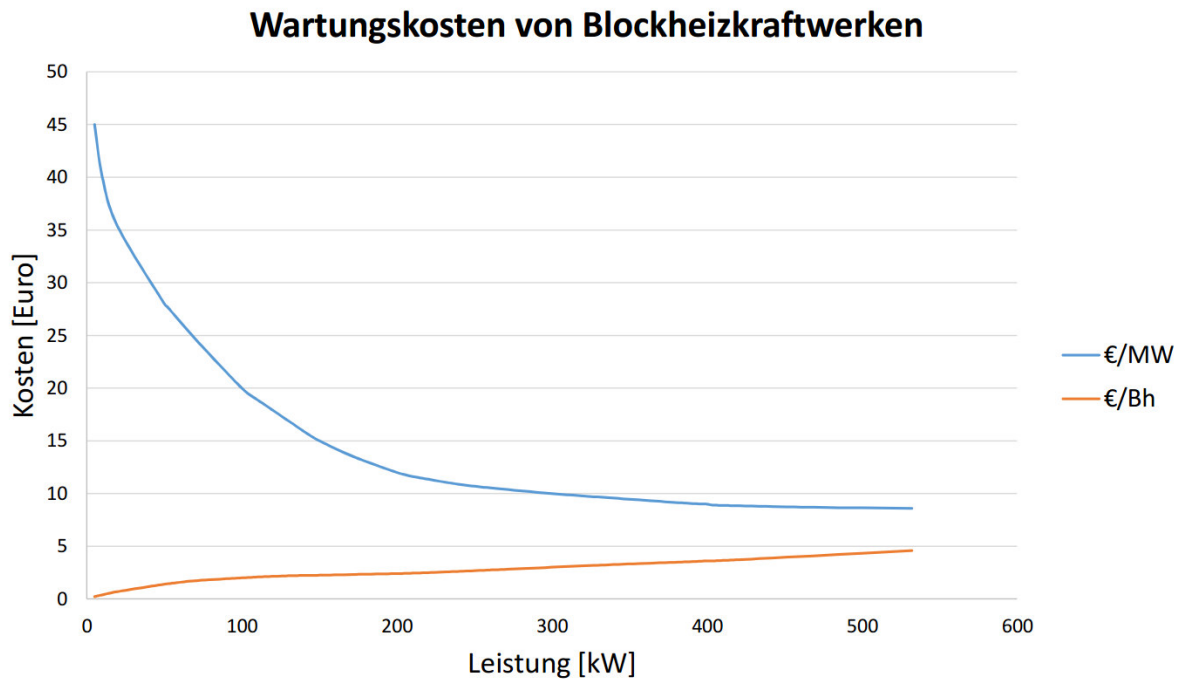
Die Datensätze enthalten sowohl Informationen über die Windgeschwindigkeit und -richtung und die in zwei Metern über dem Boden gemessene Lufttemperatur als auch über die Luftfeuchtigkeit und einige weitere Klimadaten in Stundenwerten auf der Basis der Jahre 1985 bis 2012. Zur Leistungsauslegung von Anlagen sind extreme Bedingungen von Relevanz. Deshalb gibt es zusätzlich zum mittleren TRY die Möglichkeit, ein TRY mit einem extrem warmen Sommerhalbjahr (April bis September) oder einem extrem kalten Winterhalbjahr (Oktober bis März) zu generieren. Ein Tool zur Erstellung der Datensätze kann auf der Internetseite des DWD heruntergeladen werden [2].

## 2.3 Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) ist eine Anlage zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom. Dieses Prinzip wird Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genannt. In einem BHKW wird das in der Regel durch einen Motor realisiert, der durch das Verfeuern eines Brennstoffes angetrieben wird. Die so entstehende mechanische Energie wird mithilfe eines Generators in elektrische Energie umgewandelt, während die bei der Verbrennung entstehende Abwärme



**Abbildung 2.1:** Einteilung Deutschlands in 15 Klimazonen  
 Quelle: [1], S. 8



**Abbildung 2.2:** Abhängigkeit der Wartungskosten von Blockheizkraftwerken pro Betriebsstunde und Megawattstunde von der elektrischen Leistung  
 Quelle: Eigene Darstellung aus Erfahrungswerten in Absprache mit Herrn Czulwik von URBANA

durch Wärmetauscher oder ähnliches genutzt wird, um beispielsweise Heizungswasser eines Wärmenetzes zu erwärmen. Die zumeist direkt beim Verbraucher installierten Anlagen gibt es mit einer elektrischen Leistung von wenigen Kilowatt bis zu mehreren Megawatt.

Typischerweise deckt ein BHKW die sogenannte Grundlast, also den Anteil der Energie, der relativ konstant übers Jahr benötigt wird, während die Spitzenlast durch einen Gaskessel oder ähnliches abgedeckt wird. Das trägt dazu bei, dass das BHKW eine hohe Anzahl an Betriebsstunden pro Jahr erreichen kann.

Ein BHKW muss regelmäßig einer Wartung unterzogen werden. Die Intervalle werden in einem Wartungsvertrag nach gelaufenen Betriebsstunden gestaffelt. Daher hat es einen negativen Einfluss auf die spezifischen Wartungskosten, also die Kosten in Euro pro erzeugter Kilowattstunde, wenn ein BHKW in Teillast betrieben wird. Bei großen BHKW sind zwar die Kosten pro Megawatt elektrischer Leistung geringer als bei kleinen, jedoch steigen die Kosten pro Betriebsstunde. Dieses Verhältnis ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

## 2.4 Pufferspeicher

In Kombination mit einem BHKW wird häufig ein Pufferspeicher in das Wärmenetz eingebunden. Ein solcher Speicher ermöglicht den Betrieb des BHKW zu Zeiten, in denen keine Wärmeabnahme durch die Verbraucher stattfindet. Häufig wird er so dimensioniert, dass das

BHKW eine Stunde ohne Abnahme laufen kann. Einerseits erreicht ein BHKW dadurch mehr Betriebsstunden, andererseits wird die Häufigkeit des Taktens vermindert. Letzteres fördert die Lebensdauer des BHKW.

### 2.5 Betriebsweisen von Blockheizkraftwerken

Die häufigste Art des Betriebs von BHKW ist die wärmegeführte Betriebsweise. Dabei richtet sich das BHKW nach der Wärmeabnahme der angebundenen Verbraucher. Da ein modulierender Betrieb die spezifischen Wartungskosten steigert und häufiges Takten die Langlebigkeit des Motors negativ beeinflusst, wird das BHKW in der Regel ausschließlich unter Vollast betrieben und ein Pufferspeicher in das System eingebunden. Im Normalfall wird das BHKW so dimensioniert, dass es die Grundlast des Wärmebedarfs abdeckt und nur so groß, dass es auch im Sommer, wenn lediglich Wärme für die Warmwasserbereitung benötigt wird, im Zusammenspiel mit dem Speicher auf einige Betriebsstunden kommt. Der erzeugte Strom wird entweder komplett ins öffentliche Netz eingespeist oder im Kundennetz verbraucht (siehe Kapitel 2.7). Der rein stromgeführte Betrieb orientiert sich am Strombedarf der angebundenen Verbraucher. Überschüssig produzierte Wärme muss hierbei meist ungenutzt über ein Kühlsystem an die Umgebung abgegeben werden. Durch die enorme Verschlechterung des Wirkungsgrades und die aufgrund von Teillastbetrieb steigenden spezifischen Wartungskosten wird diese Betriebsart im Normalfall nicht gewählt.

Denkbar wäre allerdings eine Kombination, bei der der Strom- und der Wärmebedarf im Zusammenspiel mit dem Pufferspeicher als Parameter eingesetzt werden. Dabei muss das Ziel einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit bei gleichbleibendem Anlagennutzungsgrad im Fokus liegen.

### 2.6 European Energy Exchange

Die European Energy Exchange (EEX) ist eine der größten Börsen für Energiehandel in Europa. Hier werden Strom und Gas ebenso wie Emissionsberechtigungen u.v.m. gehandelt.

Es gibt mehrere Varianten, mit dem Bezug oder Verkauf der Güter Strom und Gas umzugehen. Einerseits können Preise für bis zu sechs Jahre festgelegt werden, andererseits kann der Handel bis 30 Minuten vor Lieferung stattfinden [3] [4].

Die Hourly-Forward-Curve (HFC) bildet die stündlichen Börsenpreise des Stroms ab. Dabei werden bis zum aktuellen Tag die realen Daten aus der Vergangenheit und für die Stundenwerte der nächsten Jahre eine statistische Verteilung verwendet, um die Wirtschaftlichkeit von Stromerzeugungsanlagen auf längere Sicht einschätzen zu können. Andererseits spiegelt die HFC dadurch, dass sie aus stündlichen Werten besteht, die Schwankungen des Strompreises wider, der vielen Einflüssen unterliegt. In der Regel ist der Bezug von Strom dann teuer, wenn viele Abnehmer Strom benötigen, also tagsüber und vor allem morgens und abends. Analog dazu gilt dann für die Stromeinspeisung, dass die Vergütung tagsüber höher ist als nachts. Einen weiteren Faktor stellt die Stromerzeugung in großen Kraftwerken dar. Es kann dazu kommen,

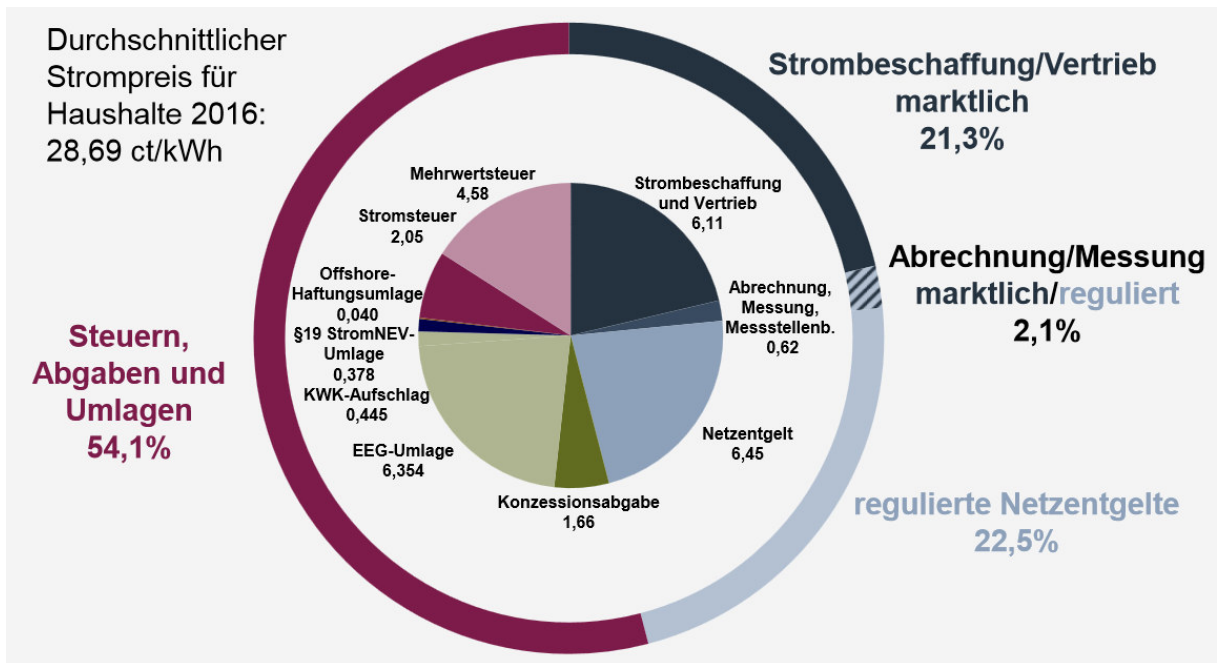
dass mehr Strom durch die trägen Grundlast-Kraftwerke erzeugt, als dem Netz durch Verbraucher entnommen wird. Der Aufwand, diese Kraftwerke herunter zu fahren, ist in der Regel sehr groß. Eine solche Situation kann kurzzeitig zu negativen Strompreisen an der Börse führen. Die EEX stellt außerdem den European Gas Index (EGIX) zur Verfügung. Der EGIX ist ein arithmetischer Mittelwert der Terminpreise der Gasmärkte in Deutschland, welcher den aktuellen Wert von Gas verdeutlicht, und wird als Tages-, Monats- und Jahreswert ermittelt [5].

## 2.7 Stromvermarktung

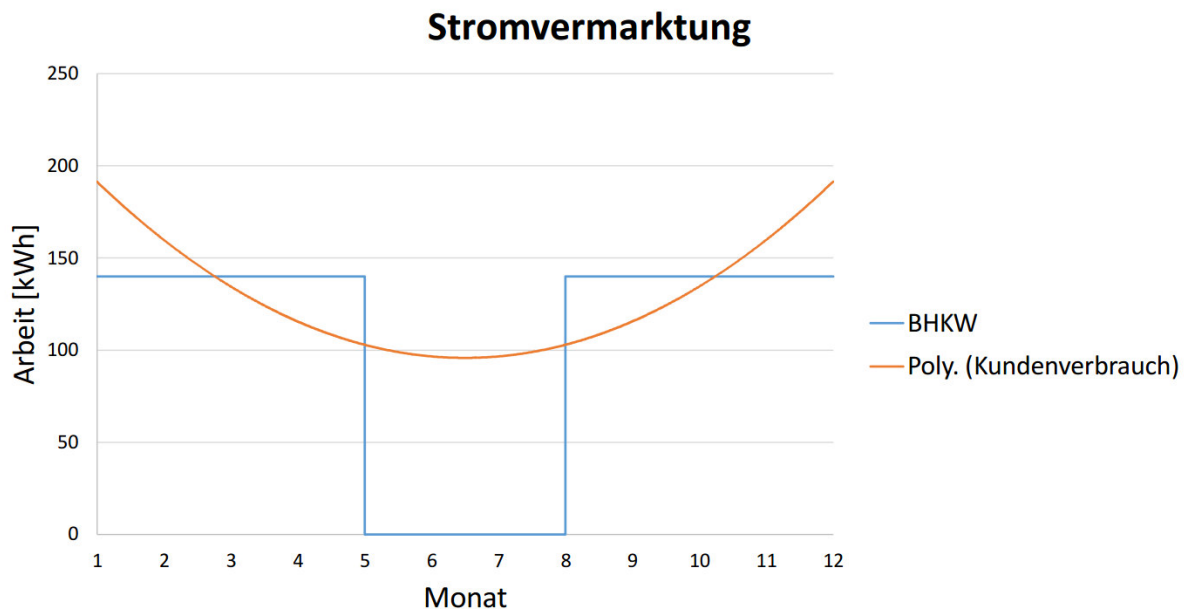
Der Strompreis setzt sich aus verschiedenen Entgelten zusammen (Abbildung 2.3): den gesetzlich geregelten Umlagen, den Steuern, den Netznutzungsentgelten durch den Netzbetreiber, der Konzession und den Gebühren für die Erzeugung und den Vertrieb.

Für Produzenten von Strom gibt es verschiedene Möglichkeiten, diesen zu vermarkten. Er kann unmittelbar in einer Kundenanlage verbraucht oder in das allgemeine Netz eingespeist werden. Bei letzterer Variante wird der Strom an den Netzbetreiber verkauft, per Direktvermarktung an einen Dritten geliefert oder kurzfristig an der Strombörse gehandelt. Je nach Art der Vermarktung setzen sich die Erlöse unterschiedlich zusammen. Wird der Strom direkt in eine Kundenanlage geleitet, fallen beispielsweise Aufwendungen für die Nutzung eines öffentlichen Netzes und Steuern weg. Bei der Einspeisung in das allgemeine Netz werden die Netznutzungsentgelte für die nächsthöhere Spannungsebene des Stromnetzes erstattet, dessen Nutzung bei dezentraler Einspeisung in aller Regel vermieden werden kann ([6], § 18). Außerdem wird in einer KWK-Anlage erzeugter Strom nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz gefördert (siehe Kapitel 2.8)

In Abbildung 2.4 ist beispielhaft und stark vereinfacht die elektrische Arbeit eines BHKW, welches ausschließlich unter Volllast betrieben wird, und der Stromverbrauch eines Haushaltskollektivs über den Zeitraum von einem Jahr dargestellt. Dadurch wird das Verhältnis zwischen erzeugtem und verbrauchtem Strom deutlich. In den ersten und letzten Wochen eines Jahres läuft das BHKW nahezu durchgehend. Der erzeugte Strom wird im Kundennetz verbraucht, während zusätzlich Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden muss. Da im Sommer die Wärmeabnahme sehr gering ist, kommt das BHKW kaum auf Betriebsstunden. Der benötigte Strom muss fast komplett aus dem öffentlichen Netz bezogen werden. Und in den Übergangszeiten wird ausreichend Strom produziert, um den Verbrauch zu decken, sodass der Überschuss eingespeist wird. Auch bei alternativen Fahrweisen mit einem BHKW, das nicht ausschließlich in Volllast sondern ebenfalls in Teillast fährt, ist nicht zu vermeiden, dass der Spitzenbedarf an Strom zugekauft werden muss. Je nachdem, wie die Steuerung eingestellt ist, kann so jedoch eine Einspeisung durch Überproduktion umgangen werden.



**Abbildung 2.3:** Zusammensetzung des Strompreises im Jahr 2016 in  $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  bei einem Verbrauch von  $3.500 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$   
 Quelle: [7], S. 21



**Abbildung 2.4:** Stromvermarktung - elektrische Arbeit eines BHKW und Stromverbrauch eines Kollektivs über den Zeitraum eines Jahres  
 Quelle: Eigene Darstellung



## 2.8 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) wurde ins Leben gerufen, um zur Energieeinsparung in Deutschland und zum Schutz des Klimas den Anteil der Energie durch KWK auf dem Markt zu vergrößern. Dazu werden in dem Gesetz, von dem seit Januar 2016 die Neuauflage gilt, die Abnahme des Stroms aus KWK-Anlagen, die Zuschlagszahlung sowie die Vergütung geregelt.

Einen Anhaltspunkt für die kaufmännische Vergütung von Strom bietet der sogenannte „übliche Preis“, der auch als KWK-Index bezeichnet wird. Er spiegelt den durchschnittlichen Strombörsenpreis für Grundlaststrom des letzten Quartals wider und gilt jeweils für das darauffolgende Quartal. Seit der aktuellen Fassung des KWKG ist der „übliche Preis“ nur noch für BHKW mit einer elektrischen Leistung von bis zu 100 kW relevant. Bei diesen ist der Netzbetreiber verpflichtet, jeglichen eingespeisten Strom nach dem im KWK-Index festgelegten Preis zu vergüten. Alternativ kann der Strom selbst verbraucht oder direkt vermarktet werden. Der Strom aus BHKW mit mehr als 100 kW elektrischer Leistung muss entweder selbst verbraucht oder über Direktvermarktung an einen Dritten vertrieben werden.

Bei den Zuschlägen des KWKG wird danach unterschieden, wie der Strom vermarktet wird. Außerdem werden sie nach Leistungsstufen gestaffelt. So werden bei Einspeisung ins allgemeine Netz für den Leistungsteil bis 50 kW mit 8  $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  gezahlt. Für den Leistungsteil von über 50 bis 100 kW beträgt der Zuschlag nur noch 4  $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$ . In Tabelle 2.1 ist die Höhe der Zuschläge aufgliedert. Für neue Anlagen mit bis zu 50 kW elektrischer Leistung werden die Zuschläge für 60.000 Vollbenutzungsstunden (Vbh) festgeschrieben. Anlagen mit einer größeren Leistung erhalten die Zuschlagszahlungen über eine Dauer von 30.000 Vbh ([8], §§ 6-8).

Zusätzlich zu den Zuschlägen des KWKG wird nach § 53a des Energiesteuergesetzes bei hocheffizienten Anlagen zur kombinierten Erzeugung von Wärme und Strom die komplette Erdgassteuer in der Höhe von 0,55  $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  erstattet ([9], §§ 2 und 53a).

Außerdem muss der jeweilige Netzbetreiber für dezentral eingespeisten Strom einen Betrag für vermiedene Netznutzung entrichten ([6], § 18). Die Höhe dieser Entgelterstattung hängt vom Netzbetreiber und davon ab, welche Spannungsebene des Verteilnetzes vermieden wird.

**Tabelle 2.1:** KWKG 2016 - Zuschläge in  $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$

Quelle: [8], § 7

elektrische Leistung [kW]	Einspeisung ins allgemeine Netz	Verbrauch im Kundennetz
bis 50	8,0	4,0
über 50 bis 100	6,0	3,0
über 100 bis 250	5,0	2,0
über 250 bis 2000	4,4	1,5
über 2000	3,1	1,0

## 3 Entwicklung des Tools

Im Folgenden wird der Aufbau des MS Office Excel Tools und der Umgang mit diesem erläutert. Ersterer ist im Wesentlichen in drei Bereiche einzuteilen: die Eingabemaske, in welcher die Rahmenbedingungen ausgewählt und notwendige Parameter eingegeben werden; die Berechnungen und Hintergrundabläufe, in denen die Simulation stattfindet; und die Ausgabe zur Darstellung und Aufbereitung der Ergebnisse. Ausschnitte des Tools sind in Anhang G dargestellt.

### 3.1 Eingabe

Begonnen wird mit den Eigenschaften des Verbraucherkollektivs. Zunächst kann ausgewählt werden, ob es sich um ein Neubau- oder um ein Altbau-Mehrfamilienhaus (MFH) handelt. Zur Berechnung des Energiebedarfs pro Jahr werden Angaben zur Anzahl der Wohneinheiten und zur beheizten Wohnfläche benötigt. Durch Multiplikation mit den spezifischen Energiebedarfen ergeben sich mit

$$W_{stat,a} = A_W * w_{stat} \quad (3.1)$$

$$W_{WWB,a} = A_W * w_{WWB} \quad (3.2)$$

$$W_{el,a} = WE * w_{el} \quad (3.3)$$

die statische Jahreswärmearbeit, also der Heizwärmebedarf, die Jahreswärmearbeit für die WWB und der Jahresenergiebedarf an Strom. Sind für WWB und Stromverbrauch keine Werte vorgegeben, kann der spezifische Energiebedarf der WWB mit  $25 \frac{kWh}{m^2*a}$  angenommen werden (Quelle: URBANA intern). Der spezifische Energiebedarf für Strom beträgt nach VDI 4655  $3.000 \frac{kWh}{WE*a}$  ([10], S. 15).

Liegt ein Wärmenetz vor, so werden anhand von eingegebener Trassenlänge und Spitzenverlust pro Meter die Netzverluste berechnet.

$$W_{NV,a} = \frac{l * p_V * 8760 \frac{h}{a}}{1000 \frac{Wh}{kWh}} \quad (3.4)$$

Mit (3.1), (3.2) und (3.4) ergibt sich die ab dem Heizwerk zu liefernde Jahreswärmearbeit zu

$$W_{th,a} = W_{stat,a} + W_{WWB,a} + W_{NV,a} \quad (3.5)$$

Im nächsten Schritt muss anhand von Abbildung 2.1 und Anhang C eine Klimazone ausgewählt werden, um der Anlage die standorttypischen klimatischen Bedingungen zuzuordnen. Bei Bedarf kann mit der Nummer 16 eine manuell eingepflegte Temperaturmessreihe ausgewählt werden. Dazu mehr in Kapitel 3.2.

Nun können die Anlagenkomponenten bestimmt werden. Dazu stehen BHKW der Fabrikate Sokratherm und COMUNA-metall zur Verfügung (siehe Kapitel 3.3). In der Regel sind BHKW bis auf 50 % der Leistung unter Volllast regelbar. Der Wert kann hier, wenn nötig, angepasst werden. Außerdem sind die Pufferspeichergröße, die Temperaturspreizung des Systems und der Wirkungsgrad des Kessels anzugeben.

Zur Erstellung der Lastgänge für Wärme und Strom kann an dieser Stelle eine Auswahl darüber getroffen werden, ob ein Standardlastprofil generiert werden soll oder nicht. Sollten Lastgänge aus einer registrierenden Leistungsmessung vorliegen, ist die Variante „gemessenen Lastgang einlesen“ zu verwenden (siehe Kapitel 3.4).

Zusätzlich zu den genannten können bei Bedarf noch weitere Einstellungen vorgenommen werden. Die Stromerlöse des in der Kundenanlage verbrauchten Stroms werden mit  $8 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$ , die vermiedenen Netznutzungsentgelte bei Stromeinspeisung und die Netznutzungsentgelte des Gasnetzes mit jeweils  $1 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  angenommen. In Abhängigkeit von der Region und von verschiedenen weiteren Faktoren fällt die Höhe der Entgelte unterschiedlich aus. Wenn diesbezüglich Angaben vorliegen, können die Werte hier präzisiert werden.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Parameter zu ändern, welche die simulierten Betriebsweisen des BHKW unmittelbar beeinflussen. Bei der stromgeführten Variante kann ausgewählt werden, ob eine Überschusseinspeisung in das allgemeine Netz vollständig verhindert werden soll. Außerdem wird an dieser Stelle ein prozentuales Verhältnis definiert, ab welchem das stromorientierte BHKW laufen soll. Es geht um das Verhältnis der Stromabnahme durch die Kundenanlage zur maximalen elektrischen Leistung des BHKW. Die letzte Eingabemöglichkeit bezieht sich auf den Strombörsenpreis. Über einen prozentualen Wert kann der prognostizierte Preisverlauf der HFC beeinflusst werden. Dabei entsprechen 100 % der offiziellen Prognose (Stand 04.02.2016). Durch Variation der Eingabe kann der Einfluss einer von dem prognostizierten Verlauf abweichenden Strompreisentwicklung auf die Wirtschaftlichkeit untersucht werden.

## 3.2 Testreferenzjahre

In der Arbeitsmappe TRY sind Temperaturverläufe der definierten 15 Klimazonen für ein Jahr hinterlegt. Diese sind aus den Datensätzen der jeweiligen TRY für extreme Winter entnommen und zur weiteren Verwendung in der Simulation in Tagesmittelwerte umgerechnet. Außerdem kann in dieser Mappe manuell ein Temperaturverlauf eingefügt werden, welcher optional in der Eingabe ausgewählt wird (siehe Kapitel 3.1).

## 3.3 BHKW

An dieser Stelle ist eine Auswahl an BHKW aufgeführt; einerseits ein 52 und ein 112 kWel BHKW von COMUNA-metall; andererseits einige BHKW mit Leistungen von 50 bis über

Typ	Fabrikat	Leistungsdaten [kW]			Nutzungsgrade [%]			Wartung [Euro/Bh]
		el	th	Brennstoff	el	th	gesamt	
GG 50	Sokratherm	50	90	150	33,4	60,0	93,4	1,4
GG 70	Sokratherm	71	125	209	34,0	59,7	93,7	1,7
GG 98	Sokratherm	100	177	291	34,4	60,9	95,3	2,0
GG 113	Sokratherm	114	198	335	34,0	59,2	93,2	2,1
GG 132	Sokratherm	133	215	365	36,4	59,0	95,4	2,2
GG 140	Sokratherm	142	237	402	35,3	59,0	94,3	2,2
GG 170	Sokratherm	172	251	452	38,1	55,4	93,5	2,3
GG 201	Sokratherm	205	363	607	33,8	59,8	93,5	2,4
GG 206	Sokratherm	211	295	542	38,9	54,4	93,4	2,5
GG 237	Sokratherm	239	408	686	34,9	59,5	94,3	2,6
GG 260	Sokratherm	263	418	711	37,0	58,8	95,8	2,8
GG 330	Sokratherm	337	505	901	37,4	56,0	93,4	3,2
GG 385	Sokratherm	386	563	1.024	37,7	55,0	92,7	3,5
GG 402	Sokratherm	405	594	1.071	37,8	55,4	93,2	3,6
GG 465	Sokratherm	469	676	1.221	38,4	55,3	93,8	4,1
GG 530	Sokratherm	532	758	1.375	38,7	55,1	93,8	4,6
Typ 2726	COMUNA	52	98	160	32,5	61,5	94,0	1,4
Typ 5450	COMUNA	112	214	340	32,9	62,9	95,8	2,1

**Abbildung 3.1:** Angepasste Leistungswerte, Wirkungsgrade und Wartungskosten der hinterlegten BHKW Module  
Quellen: Anhang D und [11]

500 kW<sub>el</sub> des Herstellers Sokratherm.

Aus der Erfahrung ist bekannt, dass die Angaben aus Datenblättern nicht mit den Werten im Betrieb übereinstimmen. Aus diesem Grund findet hier eine Umrechnung statt. Es kann von einem um 2,5 % höheren Brennstoffeinsatz und einem um 3 % besseren thermischen Wirkungsgrad durch einen Brennwert-Abgaswärmetauscher ausgegangen werden (Quelle: Absprache mit Herrn Czulwik von URBANA). Das führt bei gleichbleibender elektrischer Leistung zu einer leichten Verschlechterung des elektrischen Wirkungsgrades. Die thermische Leistung und der Gesamtwirkungsgrad sind dadurch allerdings größer bzw. besser als im Datenblatt angegeben. Sollten auch diese Werte nicht der Realität entsprechen und liegen Erkenntnisse in Form von Zahlen vor, können diese in dem dafür vorgesehenen Feld manuell eingegeben werden. Außerdem sind in dieser Arbeitsmappe die prognostizierten spezifischen Wartungskosten auf Basis der Abbildung 2.2 für jedes BHKW hinterlegt (siehe Kapitel 2.3). In Abbildung 3.1 sind die hinterlegten BHKW mit den umgerechneten Werten aufgeführt.

### 3.4 Heizlastgang

Die Simulation des Heizlastgangs wird in Anlehnung an die Dissertation „Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile“ von Mark Hellwig und den BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden „Abwicklung von Standardlastprofilen Gas“ durchgeführt. Beide beschreiben ein SLP-Verfahren für die Mengenermittlung an Ausspeisepunkten in der Gasversorgung, wobei der Leitfaden eine überarbeitete Version des Verfahrens von Hellwig darstellt. Für die Belange der hier behandelten Thematik wurde die ursprüngliche Variante als die einfachere, aber auch die geeignetere Variante eingestuft, sodass aus dem Leitfaden lediglich Grundlagen übernommen werden. Bezogen auf die Heizlast ist dieses Verfahren auf den Last-

gang des Wärmebedarfs übertragbar.

Hellwig erörtert zunächst die Einflussfaktoren auf den Heizenergiebedarf und stellt fest, dass die meisten keine nachweisbaren, konstanten Auswirkungen auf diesen haben ([12], S. 21-35). Somit können sie vernachlässigt werden. Schlussendlich ist ein Wärmelastgang hauptsächlich von der Außentemperatur abhängig. Um die Wärme-Speicherfähigkeit der Massen eines Hauses zu berücksichtigen, wird für den Temperaturverlauf das Prinzip der geometrischen Reihe angewandt, bei dem die Temperaturen der Vortage gewichtet mit einbezogen werden ([12], S. 25 f und [13] S. 44).

$$\vartheta_r = \frac{\vartheta_n + 0,5 * \vartheta_{n-1} + 0,25 * \vartheta_{n-2} + 0,125 * \vartheta_{n-3}}{1 + 0,5 + 0,25 + 0,125} \quad (3.6)$$

Zur Ermittlung der Tagesbedarfe wird die sogenannte Sigmoidfunktion als Regressionsfunktion gewählt, welche der Exponentialfunktion entstammt ([12], S. 39).

$$y = \frac{A}{1 + (\frac{B}{x})^C} \quad (3.7)$$

Um die Unstetigkeitsstelle der Funktion von  $x = 0$  auf  $x = 40$  und somit aus dem relevanten Temperaturbereich zu verschieben, wird die Konstante  $\vartheta_0 = 40^\circ\text{C}$  eingeführt, sodass sich die Profilkurve zur Ermittlung von Tagesfaktoren in Abhängigkeit der Temperatur ergibt.

$$h(\vartheta_r) = \frac{A}{1 + (\frac{B}{\vartheta_r - \vartheta_0})^C} \quad (3.8)$$

Zunächst werden mit 3.8 die Tagesfaktoren berechnet. Dazu werden je nach Auswahl in der Eingabemaske die Werte der Koeffizienten für MFH Neubau oder Altbau aus Anhang E verwendet. Der Faktor D spiegelt den Warmwasserbedarf wider. Er wird nicht berücksichtigt, da der Energiebedarf für die WWB gesondert ermittelt wird (siehe Kapitel 3.5.1). Anschließend kann mit der statischen Jahreswärmearbeit und der Summe aller Tagesfaktoren eines Jahres der normierte Tagesbedarf

$$W_{stat,d,norm} = \frac{W_{stat,a}}{365 \sum_{i=1} h(\vartheta_r)} \quad (3.9)$$

ermittelt werden ([13], S. 38). Aus der Multiplikation von normiertem Tagesbedarf, Wochentagsfaktor und Tagesfaktor ergibt sich die statische Tageswärmearbeit ([13], S. 41). Die Wochentagsfaktoren sind allerdings zu vernachlässigen, da diese bei Haushalten keinen Einfluss auf den Wärmebedarf haben ([12], S. 32). Daraus folgt

$$W_{stat,d} = W_{stat,d,norm} * h(\vartheta_r). \quad (3.10)$$

Der Verlauf des Wärmebedarfs an einem Tag hängt vom Temperaturniveau ab. Für die Klassifizierung werden Temperaturbereiche in  $5^\circ\text{C}$  Schritten festgelegt, denen entsprechende verbrauchertypische, durch Messungen ermittelte Stundenfaktoren (SF) als Anteil an der statischen Tageswärmearbeit zugeordnet sind ([12], S. 51 ff und Anhang F). So ergibt sich mit

$$P_{stat} = W_{stat,d} * SF \quad (3.11)$$

die Heizleistung ([12], S. 41). Durch die Verwendung der SF wird gleichzeitig der Einfluss einer Nachtabenkung auf den Tagesverlauf eingebracht ([12], S. 23).

Bei hohen Temperaturen bildet das SLP einen verhältnismäßig hohen Wärmebedarf ab, obwohl bei Haushalten an solchen Tagen fast ausschließlich Bedarf für die WWB auftreten dürfte. Aus diesem Grund wird eine Heiztemperaturgrenze  $\vartheta_{gr} = 18^\circ\text{C}$  eingeführt. Erreicht oder übersteigt die Außentemperatur diesen Wert, wird für den betroffenen Zeitraum keine statische Wärmearbeit abgeleistet.

## 3.5 Simulation

Die Simulation ist der Kern des Tools. Hier findet die Berechnung der Betriebsweisen in Abhängigkeit der Lastgänge statt. Alle Werte, die nicht über das Jahr konstant sind, werden in die Simulation eingebunden und stundengenau verarbeitet. Daraufhin werden diese für die Auswertung in der Ausgabe aufbereitet. Um eine Einheitlichkeit zu schaffen, wird davon ausgegangen, dass ein Jahr aus 365 Tagen besteht. Auch wenn viele der verwendeten Datensätze für das Jahr 2016 ausgelegt sind, wird das Schaltjahr und somit der 29. Februar nicht berücksichtigt. Es werden drei Varianten des Betriebs simuliert, um diese anschließend einer Gegenüberstellung zu unterziehen. Die erste Betriebsart stellt die wärmegeführte Betriebsweise dar, welche sich ausschließlich an der Wärmeabnahme in der Kundenanlage orientiert. Bei dem stromgeführten Betrieb wird die Regelbarkeit des BHKW ausgenutzt, sodass es nicht zu jeder Zeit in Volllast betrieben wird, sondern auch in Teillast. Die Stromerzeugung des BHKW folgt demnach dem Stromverbrauch der Kundenanlage. Die dritte Variante, der stromorientierte Betrieb, hängt wie der stromgeführte Betrieb vom Stromverbrauch in der Kundenanlage ab. Jedoch wird das BHKW in diesem Fall ausschließlich in Volllast betrieben.

Eines haben alle Betriebsweisen gemeinsam: Zu keiner Zeit findet eine Überproduktion an Wärme statt. Eine Abgabe an die Umwelt und daraus folgend eine Verringerung des Nutzungsgrades und der ökologischen sowie der ökonomischen Effizienz wird somit ausgeschlossen.

### 3.5.1 Lastgänge

Zunächst werden die Lastgänge aufbereitet. Hier besteht die bereits erwähnte Möglichkeit, einen gemessenen Wärmelastgang einzulesen. Wird in der Eingabe jedoch die Variante „Standardlastprofil erstellen“ ausgewählt, findet die Berechnung des Lastgangs statt. Die über das Jahr als konstant anzunehmenden Anteile der WWB und der NV bilden den Grundverbrauch.

$$P_{WWB} = \frac{W_{WWB,a}}{8760 \frac{h}{a}} \quad (3.12)$$

$$P_{NV} = \frac{W_{NV,a}}{8760 \frac{h}{a}} \quad (3.13)$$

Die geringfügigen Auswirkungen, die unterschiedliche Temperaturen in Sommer und Winter auf die NV haben, werden vernachlässigt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass sich die WWB

durch Gleichzeitigkeiten zu einem konstanten Wert ergibt. Damit wird sich darauf berufen, dass Verbraucher unterschiedliche Gewohnheiten und Tagesabläufe haben und dass in der Regel ein Warmwasserspeicher verwendet wird. Somit werden die durch WWB entstehenden Lastspitzen geglättet.

Gemeinsam mit den für den Heizlastgang ermittelten Werten ergibt sich durch

$$P_{th} = P_{stat} + P_{WWB} + P_{NV} \quad (3.14)$$

die Wärmeleistung für jede Stunde des Jahres.

Auch der Stromlastgang kann manuell eingefügt werden. Anderenfalls wird zur Simulation das SLP H0 herangezogen. Dieses für Haushalte entwickelte Profil wird vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) frei zur Verfügung gestellt und von Netzbetreibern verwendet. Das SLP H0 bildet den stündlichen Stromverbrauch von Haushalten über ein Jahr ab und ist auf einen Gesamtbedarf von 1.000 MWh normiert. Um den Lastgang auf einen davon abweichenden Jahresverbrauch zu übertragen, muss die Leistung mit (3.15) entnormiert werden.

$$P_{el} = \frac{P_{el,norm} * W_{el,a}}{W_{el,norm}} \quad (3.15)$$

An dieser Stelle sind außerdem die HFC vom 04.02.2016 und der KWK-Index des Jahres 2016 hinterlegt. Letzterer wird als arithmetischer Mittelwert der stündlichen Prognosen aus der HFC ermittelt.

### 3.5.2 Verhalten der Anlage im Betrieb

Für alle drei Betriebsweisen findet hier die Berechnung der charakteristischen Größen zu jeder Stunde des Jahres statt.

Zu Beginn wird der Zustand des Pufferspeichers bestimmt. Die Speicherkapazität kann in Abhängigkeit von Volumen und Temperaturspreizung des Systems mit der Faustformel

$$Q_{PS,kap} = V * \Delta T * 1,163 \quad (3.16)$$

hinreichend genau bestimmt werden. Der Faktor 1,163 beinhaltet die Umrechnung der Einheiten, sodass die Speichergröße in m<sup>3</sup> eingegeben und das Ergebnis in kWh ausgegeben wird. Mithilfe der Wärmeleistung des BHKW und der benötigten Wärmearbeit der Verbraucher wird die Be- und Entladung des Pufferspeichers jeder Stunde errechnet.

$$Q_{PS,lad} = W_{BHKW,th} - W_{th} \quad (3.17)$$

Es ergibt sich durch Addition des Füllstands und der Beladung beziehungsweise Entladung des Speichers der vorherigen Stunde der Füllstand der aktuellen Stunde zu

$$Q_{PS,st,n} = Q_{PS,st,n-1} + Q_{PS,lad} \quad (3.18)$$

Das Verhalten des Pufferspeichers ist, wenn man es unabhängig von dem BHKW Betrieb betrachtet, bei allen Betriebsweisen gleich. Wärmeverluste durch die Speicherung bleiben in

dieser Betrachtung unberücksichtigt.

Nun folgt mit den verschiedenen Arten des Betriebs des BHKW das Wesentliche der Simulation. Der wärmegeführte Betrieb des BHKW hängt vom Füllstand des Pufferspeichers und dem Wärmebedarf in der Kundenanlage ab. Immer dann, wenn die noch verfügbare Kapazität des Speichers mindestens so groß ist wie die Differenz aus der stündlichen Wärmearbeit des BHKW und der zu dieser Stunde benötigten Wärmearbeit, läuft das BHKW. Ist dies nicht der Fall, wird es abgeschaltet. So wird sichergestellt, dass die produzierte Wärme entweder direkt genutzt oder gespeichert wird. Außerdem wird automatisch die Häufigkeit der Taktvorgänge des Motors eingegrenzt, da das BHKW nach jedem Startvorgang mindestens eine Stunde am Stück eingeschaltet ist. Es läuft in dieser Betriebsweise immer unter Volllast. Ist das BHKW ausgeschaltet, wird geprüft, ob der Wärmebedarf der kommenden Stunde durch die im Puffer gespeicherte Wärmemenge abgedeckt werden kann. Wenn es so ist, bleibt das BHKW ausgeschaltet. Anderenfalls fährt es wieder hoch. Auch diese Regelung hat einen positiven Einfluss auf das Laufzeitverhalten des BHKW, indem die Takthäufigkeit eingegrenzt und die Dauer des Betriebs pro Startvorgang erhöht wird.

Auch der stromgeführte Betrieb wird durch den Pufferspeicherfüllstand und die Wärmeabnahme begrenzt. Demnach kann das BHKW immer nur dann laufen, wenn die Summe aus der verfügbaren Kapazität des Speichers und dem Wärmebedarf in der Kundenanlage mindestens so groß ist wie die Wärmearbeit des BHKW. In diesem Fall ist allerdings die Regelfähigkeit des BHKW einzubeziehen, welche in der Eingabe in Kapitel 3.1 definiert wird und im Normalfall 50% der Maximalleistung beträgt. Der Strombedarf in der Kundenanlage ist als Führungsgröße des BHKW anzusehen. Das bedeutet, dass das BHKW in seinen Möglichkeiten im regelbaren Leistungsbereich so viel Strom erzeugt, wie zu der aktuellen Stunde benötigt wird. Ist die Stromabnahme größer als die maximale elektrische Arbeit des BHKW, dann läuft es unter Volllast. Ist die Abnahme im Kundennetz geringer als die minimale elektrische Arbeit, läuft das BHKW mit seiner minimalen Leistung. Zusätzlich ist, wie bereits erwähnt, die Wärmeerzeugung zu beachten. Wenn dem BHKW also weniger Wärme abgenommen werden kann als durch die stromgeführte Regelung erzeugt werden würde, wird die Leistung gedrosselt oder das BHKW sogar ausgeschaltet, damit keine Überproduktion stattfindet.

Durch den Betrieb in Teillast verändern sich die Wartungskosten und die Wirkungsgrade des BHKW. Der Anstieg der Wartungskosten wird in der Ausgabe in Kapitel 3.6 einbezogen. Die Veränderungen der Wirkungsgrade können unberücksichtigt bleiben, da der elektrische Wirkungsgrad sinkt, während der thermische ansteigt. Dabei bleibt der Gesamtwirkungsgrad in etwa konstant und hat dadurch nur einen geringen Einfluss auf diese Betrachtung (Quelle: Absprache mit Herrn Czulwik von URBANA).

Zusätzlich zur Regelfähigkeit des BHKW kann in der Eingabe die Option gewählt werden, dass die Einspeisung von überschüssig produziertem Strom komplett vermieden wird. Das beeinflusst den Betrieb insofern, als das BHKW ausgeschaltet wird, sobald die Stromabnahme durch die Kundenanlage unter der minimalen elektrischen Leistung des BHKW liegt.

Zuletzt wird eine Art stromorientierte Betriebsweise simuliert. Auch bei dieser Variante ist der Strombedarf als Führungsgröße zu betrachten. Wenn der in der Eingabe festgelegte Anteil der maximalen elektrischen Leistung des BHKW durch die Kundenabnahme erreicht oder überschritten wird, ist das BHKW eingeschaltet. Dabei läuft es ausschließlich im Volllastbetrieb. Wie eingangs erwähnt, wird eine Überproduktion und ungenutzte Abgabe von Wärme



ausnahmslos unterbunden. Demzufolge sind auch in dieser Betriebsart der Pufferspeicher und die Wärmeabnahme der Kundenanlage begrenzende Parameter.

Auf der Basis dieser Regelungen können verschiedene Szenarien abgebildet werden. Wenn das BHKW, beispielsweise bei gefülltem Speicher oder geringer Stromabnahme, nicht läuft, wird die benötigte Wärme aus dem Pufferspeicher entnommen. Läuft das BHKW, ohne den Wärmebedarf zu decken, wird die entsprechende Differenz dem Speicher entzogen. Ist die Wärmeabnahme geringer als die Produktion durch das BHKW, wird der Überschuss dem Speicher zugeführt. Und wenn mehr Wärme benötigt wird als BHKW und Speicher gemeinsam liefern können, schaltet sich der Gas-Brennwertkessel ein und erzeugt die Wärme für die Spitzenlast. Dies ist infolgedessen auch in den Wartungszeiträumen des BHKW der Fall. Während das BHKW immer mindestens eine Stunde ununterbrochen läuft, muss der Kessel die Lasten abdecken, die gerade von ihm benötigt werden. Dabei kommt es in einigen Fällen dazu, dass vom Kessel eine so geringe Leistung gefordert wird, wie er es durch Drosseln nicht erreichen könnte. In diesem Fall würde er unter Mindestlast fahren, jedoch nicht die ganze Stunde, sodass der Bedarf gedeckt wird. Aus diesem Grund kann für den Kessel keine Anzahl an Betriebsstunden ermittelt werden.

#### 3.5.3 Kosten und Erlöse

Da nun der Betrieb der Anlagenkomponenten festgelegt ist, können die Betriebskosten und Erlöse berechnet werden. Dies ist in der Simulation zunächst auf die Kosten und Erlöse beschränkt, deren spezifische Kosten im Verlauf eines Jahres nicht als konstant zu betrachten sind. Alle weiteren Berechnungen werden in der Ausgabe in Kapitel 3.6 durchgeführt. Generell handelt es sich hierbei nicht um eine Zusammenstellung der kompletten Kosten und Erlöse. Vielmehr stellt es eine Auswahl an Faktoren dar, welche für die Betrachtung und zum Vergleich der Betriebsweisen im Tool relevant sind.

Zur Ermittlung der Brennstoffkosten sind die monatlichen Prognosewerte des EGIX für das Jahr 2016 hinterlegt. Zusätzlich setzt sich der Gaspreis aus der Erdgassteuer, einem Handling Fee und den Netznutzungsentgelten zusammen. Letztere hängen wie beim Strom von dem jeweiligen Netzbetreiber vor Ort ab und werden für die Kalkulation mit  $1 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  veranschlagt. Sie können aber in der Eingabe angepasst werden. Der Handling Fee schlägt mit  $0,15 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  zu Buche und deckt die Prozesskosten für den Energieeinkauf ab (Quelle: URBANA intern). Die gesetzlich geregelte Erdgassteuer beträgt  $0,55 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  ([9], § 2). Die Steuer ist an dieser Stelle besonders interessant, da Anlagen zur kombinierten Erzeugung von Kraft und Wärme gänzlich von der Brennstoffsteuer entlastet werden ([9], § 53a). So setzen sich die spezifischen Gaskosten für BHKW und Kessel zu jeweils unterschiedlichen Monatswerten zusammen. Die Gaskostenzusammensetzung ist in Tabelle 3.1 aufgelistet. Die Multiplikation der spezifischen Kosten des BHKW mit der Feuerungsleistung unter Einbeziehung des Faktors 1,11 zur Berücksichtigung des Verhältnisses von Brennwert zu Heizwert [14] ergibt die Gaskosten der jeweiligen Stunde. Analog dazu erfolgt die Berechnung der stündlichen Gaskosten für den Kessel. Jedoch ist hier der dazugehörige Wirkungsgrad zu berücksichtigen, welcher in der Eingabe definiert ist.

Für die Berechnung der Stromerlöse ist der stündliche Strompreis relevant. In Abhängigkeit der Größe des BHKW wird die Vermarktungsvariante gewählt. Handelt es sich um ein BHKW

**Tabelle 3.1:** Gaspreiszusammensetzung für das Jahr 2016 in  $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$   
Quelle: URBANA intern

Monat	EGIX	Handling Fee	Steuer	Annahme für Netznutzung	BHKW	Kessel
1	1,64	0,15	0,55	1,00	2,79	3,34
2	1,42	0,15	0,55	1,00	2,57	3,12
3	1,31	0,15	0,55	1,00	2,46	3,01
4	1,32	0,15	0,55	1,00	2,47	3,02
5	1,32	0,15	0,55	1,00	2,47	3,02
6	1,31	0,15	0,55	1,00	2,46	3,01
7	1,32	0,15	0,55	1,00	2,47	3,02
8	1,32	0,15	0,55	1,00	2,47	3,02
9	1,34	0,15	0,55	1,00	2,49	3,04
10	1,41	0,15	0,55	1,00	2,56	3,11
11	1,46	0,15	0,55	1,00	2,61	3,16
12	1,49	0,15	0,55	1,00	2,64	3,19

mit einer elektrischen Leistung von bis zu 100 kW, so wird der KWK-Index für die weitere Simulation verwendet. Wird ein größeres BHKW gewählt, so ist der Strombörsenpreis in Form von der HFC des Jahres 2016 in die Berechnung eingebunden. Anhand der stündlichen Überschusseinspeisung in das allgemeine Netz findet die Berechnung der Erlöse statt. Zusätzlich wird für die weitere Verwendung in der Ausgabe die Menge des vom BHKW erzeugten Stroms, der unmittelbar in der Kundenanlage verbraucht wird, ermittelt.

Nach Tabelle 2.1 werden die KWK-Zuschläge berechnet. Durch die Verteilung der Zuschläge auf die Leistungsabschnitte ergibt sich in Abhängigkeit der elektrischen Leistung des BHKW jeweils für die Einspeisung in das allgemeine Netz und den direkten Verbrauch in der Kundenanlage eine spezifische Vergütung in  $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$ .

### 3.6 Ausgabe

In der Ausgabe sind die Ergebnisse der Simulation zusammengetragen, sodass ein direkter Vergleich möglich ist. Die Berechnungen erfolgen demnach für alle drei Betriebsweisen gleich. Die Ergebnisse bilden ein komplettes Jahr ab.

Zwei wichtige Kennzahlen werden unmittelbar aus der Simulation entnommen. Dabei handelt es sich um die Vollbenutzungsstunden und die Anzahl der Taktvorgänge, welche als Summen über das Jahr ermittelt werden. Bei der stromgeführten Variante ist der Unterschied zwischen Betriebsstunden und Vollbenutzungsstunden zu berücksichtigen. Letztere beschreiben den Zeitraum, in dem das BHKW die geleistete Arbeit erbringen könnte, wenn es ausschließlich unter Volllast betrieben werden würde, während die Betriebsstunden die tatsächliche Laufzeit darstellen. Bei der wärmegeführten und der stromorientierten Betriebsweise sind also die Betriebsstunden gleich den Vollbenutzungsstunden.

Anschließend wird die Wärmearbeit der Anlage aufbereitet. Anhand der erzeugten Mengen

von BHKW und Kessel lässt sich der Anteil der durch die KWK-Anlage produzierten Wärme an der Gesamtwärmeleistung errechnen. Dieser ist beispielsweise für das Erreichen eines bestimmten Primärenergiefaktors von Relevanz. Eine Aufsummierung der Stundenwerte aus der Simulation (siehe Kapitel 3.5.3) ergibt die Gaskosten für den Kessel. Sowohl die Wartungs- als auch die Brennstoffkosten des BHKW werden gewichtet auf die Strom- und die Wärmeerzeugung verteilt. Dazu werden die jährlichen Gaskosten durch die gesamten erzeugten Kilowattstunden an Wärme und Strom dividiert. Daraus folgt ein spezifischer Brennstoffpreis, der auf die produzierte Wärme und den produzierten Strom umgelegt wird. Die spezifischen Wartungskosten ergeben sich durch Multiplikation der Kosten pro Betriebsstunde mit der Anzahl an Betriebsstunden und anschließender Division durch die insgesamt erzeugten Kilowattstunden des BHKW. Auch diese werden nun für die getrennte Berechnung der Kosten für die Wärme- und die Stromerzeugung verwendet. Mit der Summe aus den anteiligen Gas- und Wartungskosten des BHKW für die Wärmeproduktion und den Gaskosten des Kessels ergeben sich sowohl die spezifischen als auch die gesamten Kosten für die Wärmeerzeugung über ein Jahr.

Des Weiteren werden die Kosten und Erlöse durch die Stromproduktion aufgeschlüsselt. Der Jahresstrombedarf der Kundenanlage, der insgesamt durch das BHKW erzeugte Strom, die Menge des vom BHKW erzeugten Stroms, der unmittelbar in der Kundenanlage verbraucht wird, sowie die Überschusseinspeisung in das öffentliche Netz werden dargelegt. Zudem wird der prozentuale Anteil der direkt von der Kundenanlage bezogenen Strommenge an der insgesamt produzierten Strommenge durch das BHKW ermittelt.

Die Berechnung der Gas- und Wartungskosten des BHKW für die Stromerzeugung erfolgt analog zu der Berechnung der Kosten für die Wärmeerzeugung. Gemeinsam bilden sie die Gesamtkosten für die Stromerzeugung.

Die Stromerlöse setzen sich aus denen für die Überschusseinspeisung und denen für den unmittelbaren Verbrauch in der Kundenanlage zusammen. Die Überschusseinspeisung wird mit dem stündlichen Börsenpreis oder bei Anlagen mit bis zu 100 kWel mit dem aktuellen Wert des KWK-Index vergütet. Zusätzlich werden die vermiedenen Netznutzungsentgelte und der leistungsabhängige KWK-Zuschlag pro Kilowattstunde eingespeisten Stroms gezahlt. Die Erlöse durch die Kundenanlage ergeben sich durch die Vergütung der Kunden und dem KWK-Zuschlag für das Kundennetz.

Bei den bislang in der Ausgabe getätigten Rechnungen handelt es sich um theoretische Werte bei einer Verfügbarkeit des BHKW von 100%. Um einer realistischen Darstellung näher zu kommen, werden die Zeiträume berücksichtigt, in denen das BHKW aufgrund von Wartungsarbeiten nicht laufen kann. Dazu wird eine in Prozent angegebene Verfügbarkeit einbezogen, die mit 92% angenommen und manuell angepasst werden kann. Mit diesem Wert wird eine neue Tabelle berechnet, die die Ergebnisse entsprechend korrigiert.

Es reduzieren sich die Vollbenutzungsstunden, aber auch die Anzahl der Taktvorgänge. Das BHKW produziert weniger Wärme, welche zusätzlich durch den Kessel geleistet werden muss. Dementsprechend wird ein geringerer Anteil an KWK-Wärme erzielt. Die Umlage der Kosten für die Wärmeerzeugung auf BHKW und Kessel werden folglich angepasst. Also wird weniger Strom durch das BHKW erzeugt, was sich auf die Mengen der Überschusseinspeisung und des direkten Kundenverbrauchs vom durch das BHKW erzeugten Stroms auswirkt. Analog dazu werden die Kosten und Erlöse der Stromerzeugung neu ermittelt.

Mit den Ergebnissen kann nun eine Bilanz aufgestellt werden. Die Stromerlöse abzüglich der Strom- und Wärmeerzeugungskosten sorgen für eine Vergleichbarkeit der Betriebsweisen. Dazu wird die wärmegeführte Variante als Referenz genutzt und entspricht 100 %, während die anderen als Abweichung davon dargestellt werden. Dementsprechend spiegelt eine niedrigere Prozentzahl eine schlechtere und eine höhere Prozentzahl eine bessere Bilanz wider. Die Erlöse durch die Vermarktung von erzeugter Wärme werden hier nicht betrachtet, da diese unabhängig vom BHKW Betrieb sind.

Abschließend ist in der Ausgabe eine Übersicht der gewählten Anlagenkomponenten zu finden. Diese beinhaltet das BHKW mit Modulbezeichnung und Fabrikat sowie mit den Leistungswerten und Wirkungsgraden. Zudem werden die Größe des Pufferspeichers, der Kessel mit Wirkungsgrad und maximaler Leistung in den unterschiedlichen Betriebsweisen und die maximale Wärmeleistung der gesamten Anlage dargelegt. Die Kesselleistung ist nur als Richtwert zu betrachten, da dieser aus der Simulation ermittelt wird, in welcher die BHKW Verfügbarkeit noch nicht einbezogen wird. Es ist also möglich, dass das BHKW in einem Zeitraum still steht, in dem der Wärmebedarf in der Kundenanlage und damit auch die momentan zu erbringende Leistung des Kessels höher ist, als der hier ermittelte Wert für die maximale Kesselleistung.

In der Arbeitsmappe „Darstellung“ sind zur Veranschaulichung die Betriebsweisen in Diagrammen verbildlicht. Diese beinhalten jeweils eines mit dem Stromlastgang und eines mit dem Wärmelastgang der Kundenanlage. Zusätzlich ist der Füllstand des Pufferspeichers dargestellt. Das letzte der vier Diagramme beinhaltet den Strompreis und die Überschuss-einspeisung in das allgemeine Netz. Sofern in der Arbeitsmappe „Simulation“ der Filter für das Datum angewandt wird, enthalten die Diagramme nur den gewählten Zeitraum, was es ermöglicht, einzelne Tage, Wochen oder Monate darzustellen.

## 4 Implementierung des Tools

Zur Demonstration des Tools wird ein aktuelles Projekt der URBANA vorgestellt, mit dem anschließend der komplette Simulationsvorgang durchlaufen wird. Mithilfe der Formeln und Datensätze, welche in Kapitel 3 eingeführt wurden, ist es möglich die benötigten Werte zu berechnen, um anschließend die Betriebsweisen des BHKW analysieren und die optimale auswählen zu können. Damit der Ablauf im Tool nachvollziehbar ist, sind in Anhang G Ausschnitte der Datensätze und Tabellen in den verschiedenen Arbeitsmappen hinterlegt.

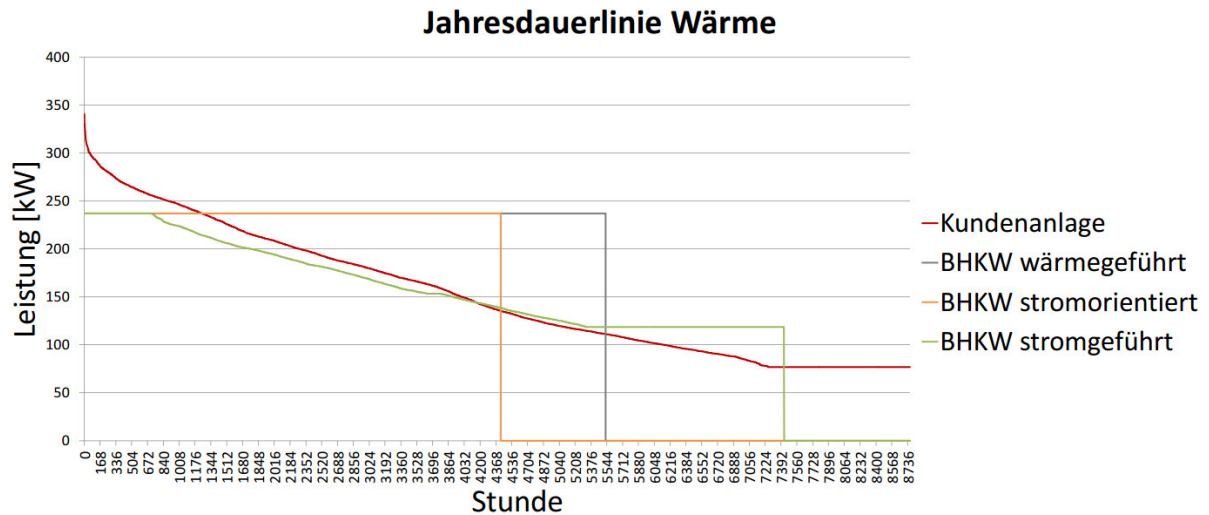
### 4.1 Das Projekt „Wohnen am Alsterberg“

Das Projekt „Wohnen am Alsterberg“ umfasst eine im Hamburger Stadtteil Alsterdorf befindliche Liegenschaft mit 332 Wohneinheiten und einer beheizten Fläche von etwa 20.000 m<sup>2</sup>. Sie soll durch ein BHKW Modul GG 140 von Sokratherm und einen Spitzenlast Gas-Brennwertkessel mit einem Wirkungsgrad von 96 % versorgt werden. Es handelt sich um Neubauten mit einem erwarteten spezifischen Wärmebedarf von  $60 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$ , wovon  $33 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$  für die Heizwärme und  $27 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$  für die Warmwasserbereitung anfallen. Der spezifische Strombedarf kann mit  $2.500 \frac{kWh}{WE \cdot a}$  angenommen werden. Für die 500 m lange Trasse des Wärmenetzes werden Netzverluste von  $30 \frac{W}{m}$  veranschlagt, was ein verhältnismäßig kleiner Wert ist, da es sich um ein neues Netz handelt. In dieses wird ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 10 m<sup>3</sup> eingebunden. In der Anlage wird im Mittel eine Temperaturspreizung von 25 K zwischen Vorlauf und Rücklauf angestrebt (Quelle: Absprache mit Herrn Czulwik von URBANA). Wie Abbildung 2.1 zu entnehmen ist, befindet sich das in Hamburg gelegene Wohnquartier in Klimazone 3, also im nordwestdeutschen Tiefland. Die weiteren Eingabefelder behalten ihren in der Eingabe voreingestellten Wert (siehe Kapitel 3.1). Durch Betätigen des Buttons „Werte berechnen“ startet das Tool die Berechnung.

Mit (3.1) und (3.2) ergeben sich die jährlichen Wärmebedarfe für Heizwärme und Warmwasser zu 660.000 und  $540.000 \frac{kWh}{a}$ . Die Verluste des Wärmenetzes schlagen nach (3.4) mit  $131.400 \frac{kWh}{a}$  zu Buche. (3.5) und (3.3) führen zur vom Heizwerk abgehenden Jahreswärmearbeit und zum Jahresstrombedarf der Kundenanlage, welche  $1.331.400$  und  $830.000 \frac{kWh}{a}$  betragen.

### 4.2 Der Betrieb im Verlauf eines Jahres

Die Lastgänge sind nun erzeugt. Da keine gemessenen Lastgänge zur Verfügung stehen, bleiben die dafür vorgesehenen Spalten leer. Für die Simulation des Strompreises wird die



**Abbildung 4.1:** Jahresdauerlinie der Wärmeleistung

Hourly-Forward-Curve verwendet, weil sich das gewählte BHKW mit einer elektrischen Leistung von 142 kW über der Grenze von 100 kW zur Vergütung durch den KWK-Index befindet.

In der Simulation werden Datensätze erstellt, in welchen die Wärmeleistung und die Stromleistung der Kundenanlage nach der Größe sortiert werden. Diese dienen zur Darstellung der geordneten Jahresdauerlinien (siehe Abbildungen 4.1 und 4.2). Darin sind jeweils die Lastgänge von Wärme und Strom von der größten zur kleinsten Abnahme durch die Kundenanlage auf die Stunden eines Jahres verteilt. Außerdem werden die sortierten Leistungswerte des BHKW in den verschiedenen Betriebsweisen dargestellt. Es ist nochmals zu unterstreichen, dass in der Simulation mit einer BHKW Verfügbarkeit von 100 % gerechnet wird. Die tatsächliche Verfügbarkeit wird erst in der Ausgabe berücksichtigt.

Die Jahresdauerlinie stellt eine praktische Variante dar, sich einen Überblick über die Rahmenbedingungen des Anlagenbetriebs zu verschaffen. Auf Anheb ist die Gesamtleistung abschätzbar. Da die maximale Abnahme in nur sehr wenigen Stunden des Jahres stattfindet, wird die Anlage in der Regel auf eine etwas niedrigere Leistung ausgelegt. In diesem Fall liegt die maximale Wärmeleistung demnach bei knapp 300 kW. Die Stunden mit der geringsten Wärmeabnahme bilden durch die über das Jahr gleich bleibenden Grundbedarfe an Warmwasser und für die Netzverluste eine Konstante. Auch werden einige Eckdaten der Betriebsweisen deutlich. Die ungefähre Anzahl der Betriebsstunden kann direkt abgelesen und verglichen werden. Am wenigsten Laufzeit erreicht die stromorientierte Variante, am meisten dagegen die stromgeführte, da bei dieser die Möglichkeit des Teillastbetriebs genutzt wird. Des Weiteren kann dem Diagramm eine Einschätzung entnommen werden, wie groß der Anteil der Wärme ist, der durch das BHKW abgedeckt werden kann. Bereiche, in denen die Leistung des BHKW größer ist als der Wärmebedarf des Kundennetzes, können als Zeiträume verstanden werden, in welchen der Pufferspeicher beladen wird. Bei der Jahresdauerlinie des Stroms hingegen wird in solchen Stunden mehr Strom erzeugt als verbraucht werden kann, sodass es zwangsläufig zu einer Überschusseinspeisung kommt.

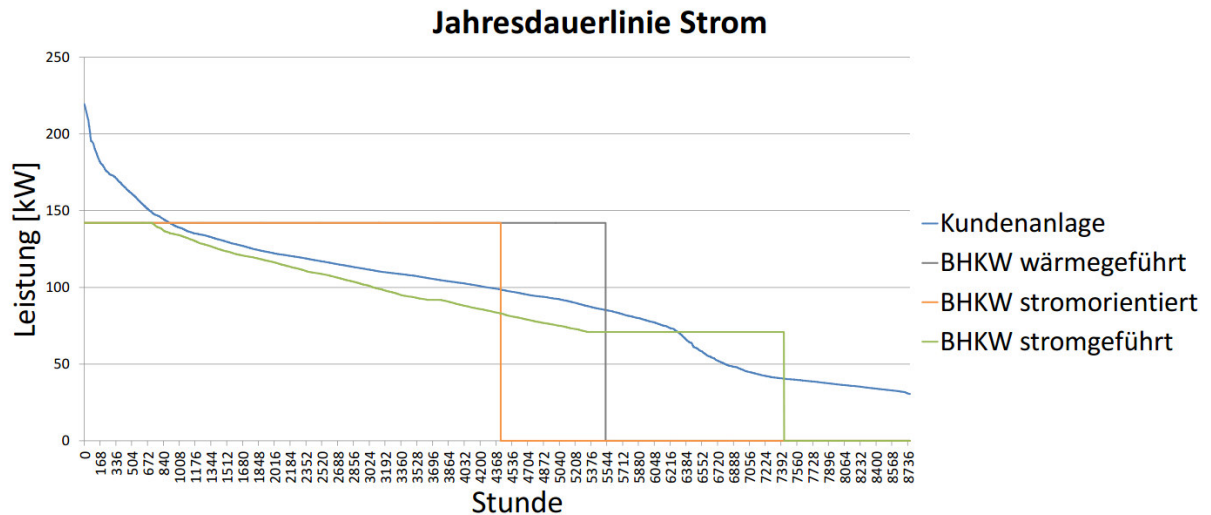


Abbildung 4.2: Jahresdauerlinie der Stromleistung

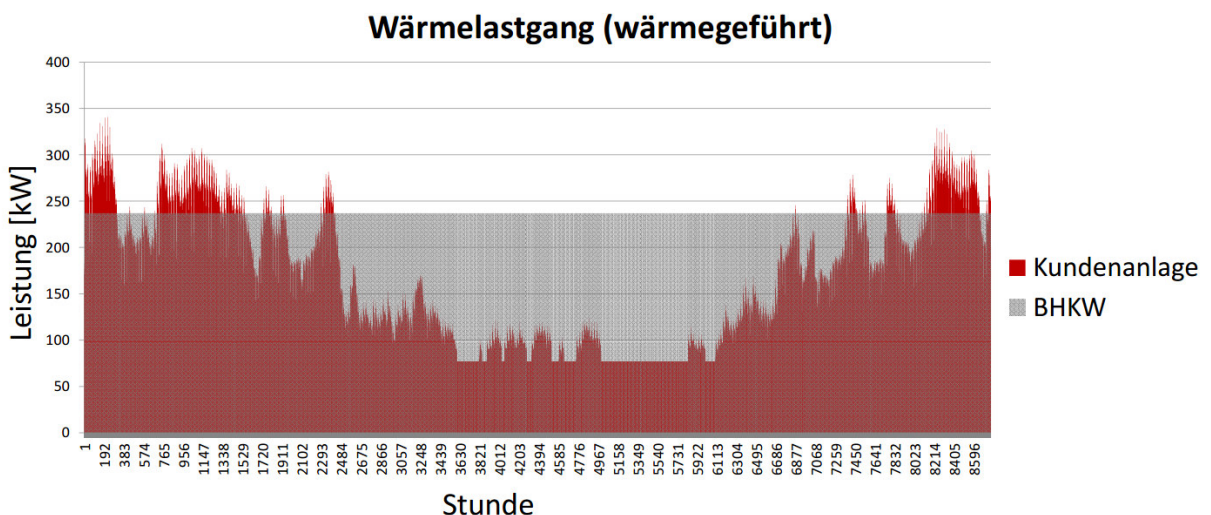


Abbildung 4.3: Wärmelastgang eines kompletten Jahres mit wärmegeführtem BHKW

Wärme- und Stromlastgang werden gemeinsam mit dem Leistungsverlauf des BHKW für jede Betriebsart einzeln dargestellt. Durch die hohe Dichte an Informationen in dem Diagramm des Wärmelastgangs wird das BHKW im wärmegeführten Betrieb so dargestellt, als würde es konstant über das ganze Jahr laufen. Bei genauerem Betrachten lässt sich die Tendenz erahnen, dass das BHKW im Sommer wesentlich häufiger taktet als im Winter (Abbildung 4.3). Gleiches gilt für die Darstellung des Stromlastgangs, ebenso im stromorientierten Betrieb. In den Diagrammen der stromgeführten Variante ist wenigstens das Regelverhalten zu erkennen (Abbildungen 4.4 und 4.5). Zudem werden die Bedarfsgänge der Kundenanlage deutlich.

Die Überschusseinspeisung ist wie zu erwarten und deutlich erkennbar vom Stromverbrauch

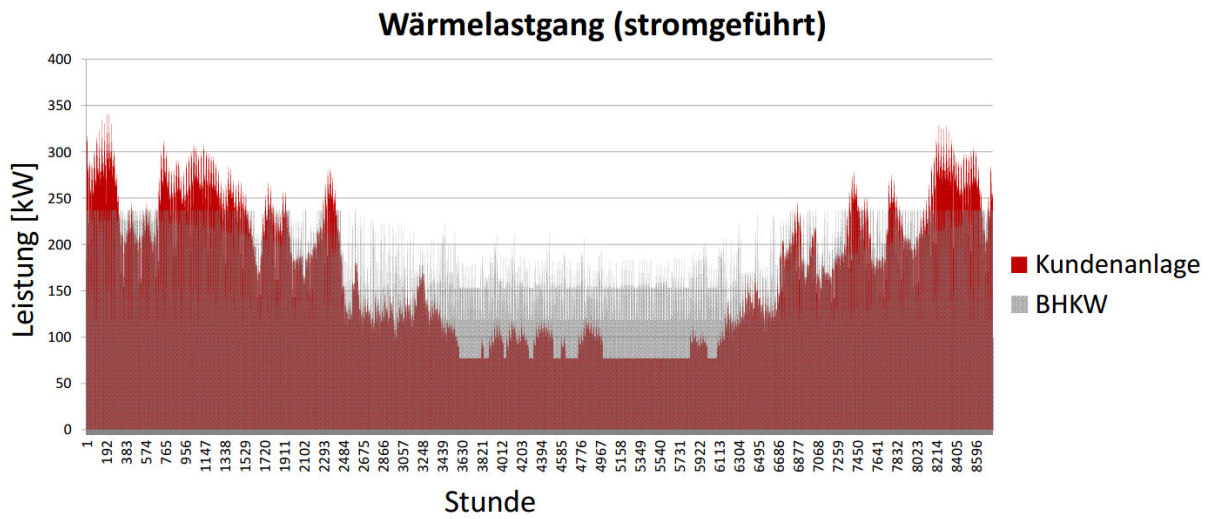


Abbildung 4.4: Wärmelastgang eines kompletten Jahres mit stromgeführtem BHKW

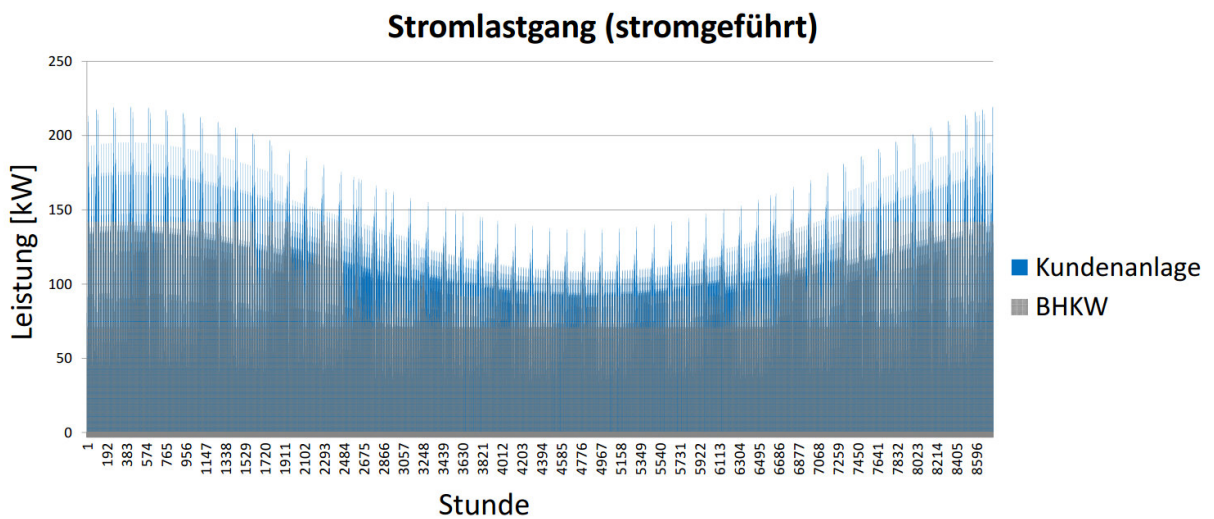
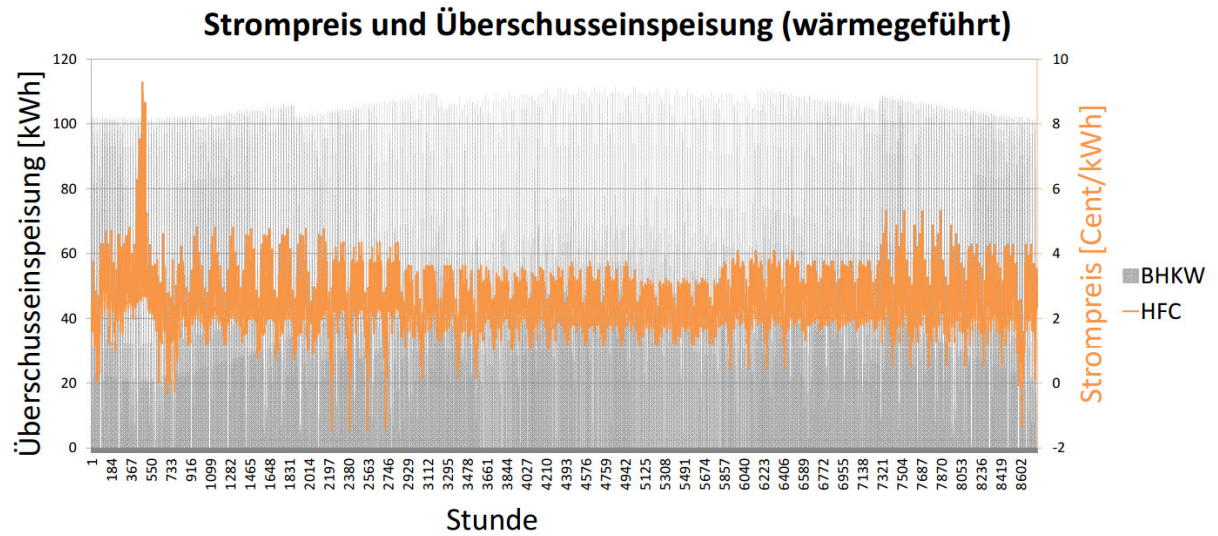


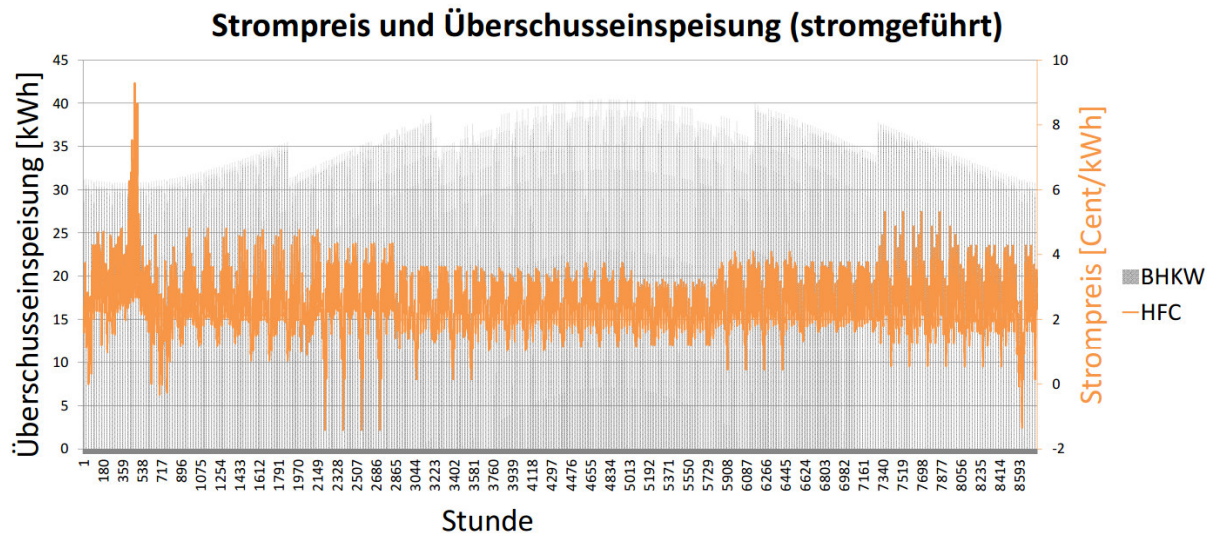
Abbildung 4.5: Stromlastgang eines kompletten Jahres mit stromgeführtem BHKW



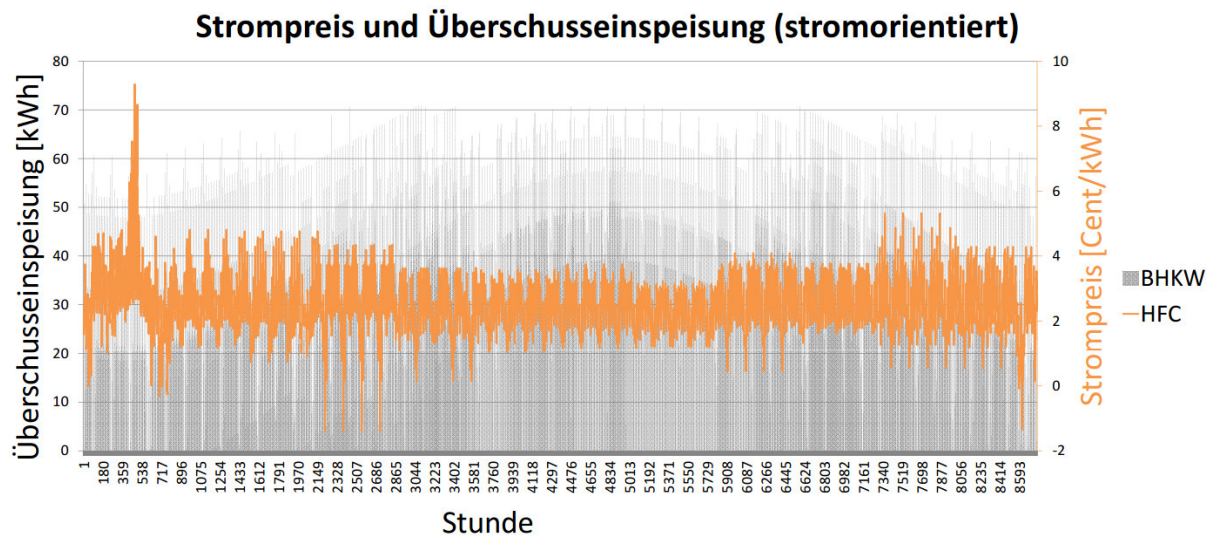


**Abbildung 4.6:** Einspeisung eines wärmegeführten BHKW und Strompreis im Verlauf eines Jahres

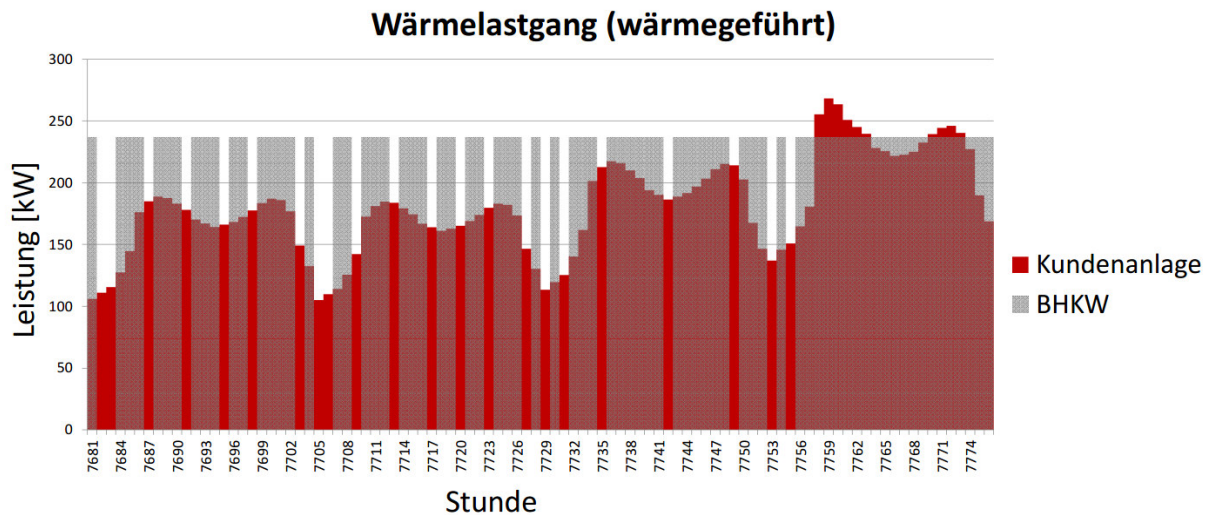
der Kunden abhängig. Zudem gibt sich der Unterschied zwischen den Betriebsweisen zu erkennen. Während im wärmegeführten Betrieb über das ganze Jahr hinweg in vielen Stunden mehr als 100 kWh eingespeist werden, liegt die stündlich maximal eingespeiste Strommenge bei dem stromgeführten BHKW bei knapp über 40 kWh. Die stromorientierte Variante bewegt sich dazwischen (Abbildungen 4.6, 4.7 und 4.8).



**Abbildung 4.7:** Einspeisung eines stromgeführten BHKW und Strompreis im Verlauf eines Jahres



**Abbildung 4.8:** Einspeisung eines stromorientierten BHKW und Strompreis im Verlauf eines Jahres



**Abbildung 4.9:** Wärmelastgang vom 17. bis zum 20. November mit wärmegeführtem BHKW

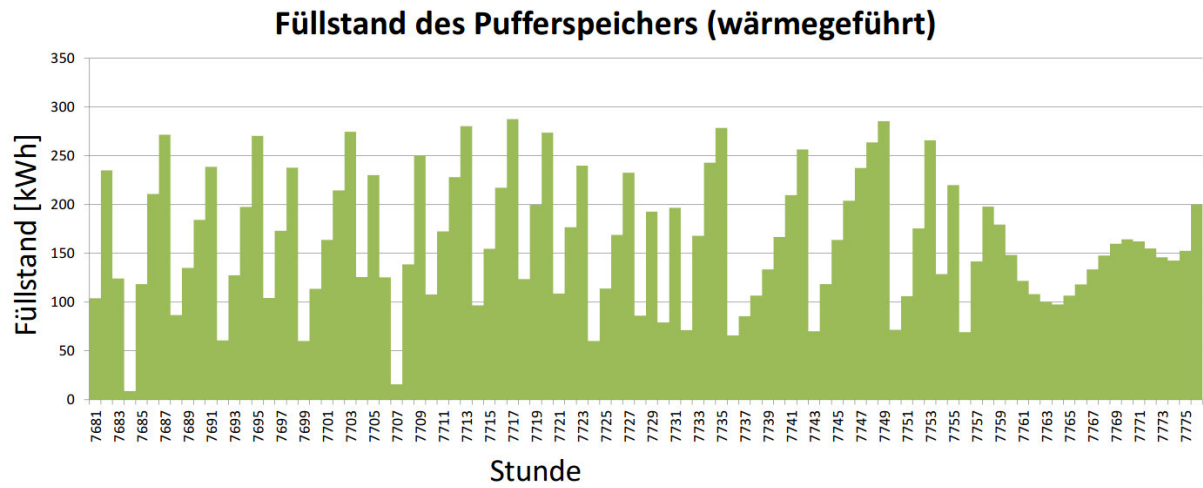
## 4.3 Der Betrieb vom 17. bis zum 20. November

Um einen tieferen Einblick in die Betriebsweisen und deren Verhalten zu ermöglichen, wird mit dem Filter in der Simulation ein Zeitraum ausgewählt. Für das Projekt „Wohnen am Alsterberg“ werden beispielhaft die vier Tage vom 17. bis zum 20. November betrachtet. Zunächst werden die Betriebsweisen einzeln analysiert und anschließend miteinander verglichen.

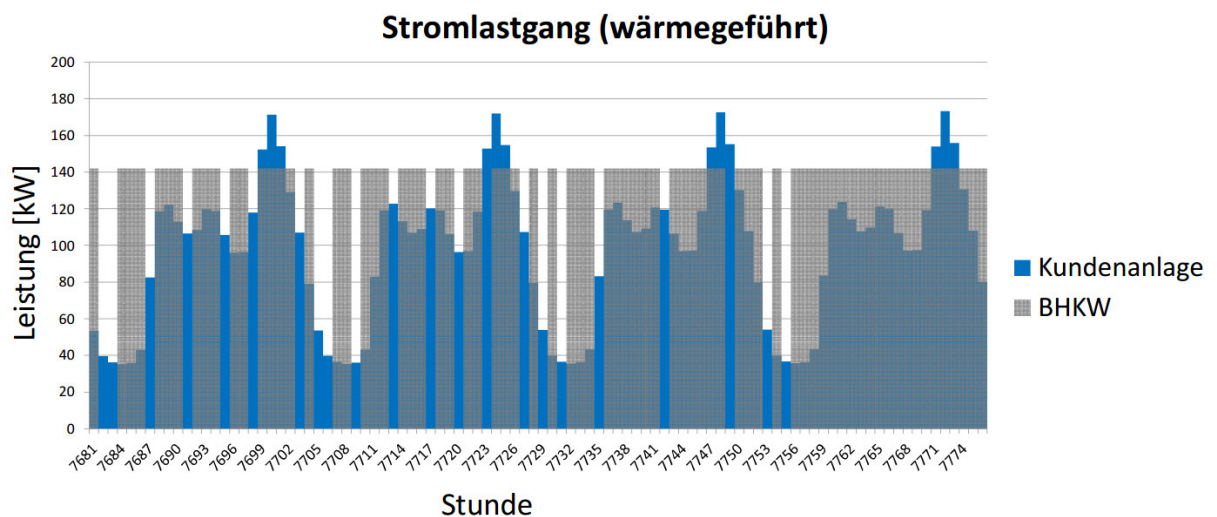
### 4.3.1 Wärmegeführter Betrieb

Ein Blick auf die Abbildungen 4.9 und 4.10 macht schnell deutlich, wie der wärmegeführte Betrieb funktioniert. Die in Kapitel 3.5.2 erläuterten Betriebsparameter sind klar ersichtlich. Ist der Puffer voll, so schaltet das BHKW ab. Das ist beispielsweise in der zweiten Stunde des betrachteten Zeitraums der Fall. Die nächsten beiden Stunden können durch die gespeicherte Wärme im Pufferspeicher abgedeckt werden, sodass das BHKW erst in der vierten Stunde wieder hochfährt. In dieser Stunde ist der Speicher nahezu leer. Auf diese Art und Weise kann der prognostizierte Betriebsablauf stundengenau verfolgt werden. Am 20. November ist der Wärmebedarf groß genug, um für einen durchgehenden Betrieb zu sorgen. Dementsprechend erreicht der Pufferspeicher nicht sein Limit.

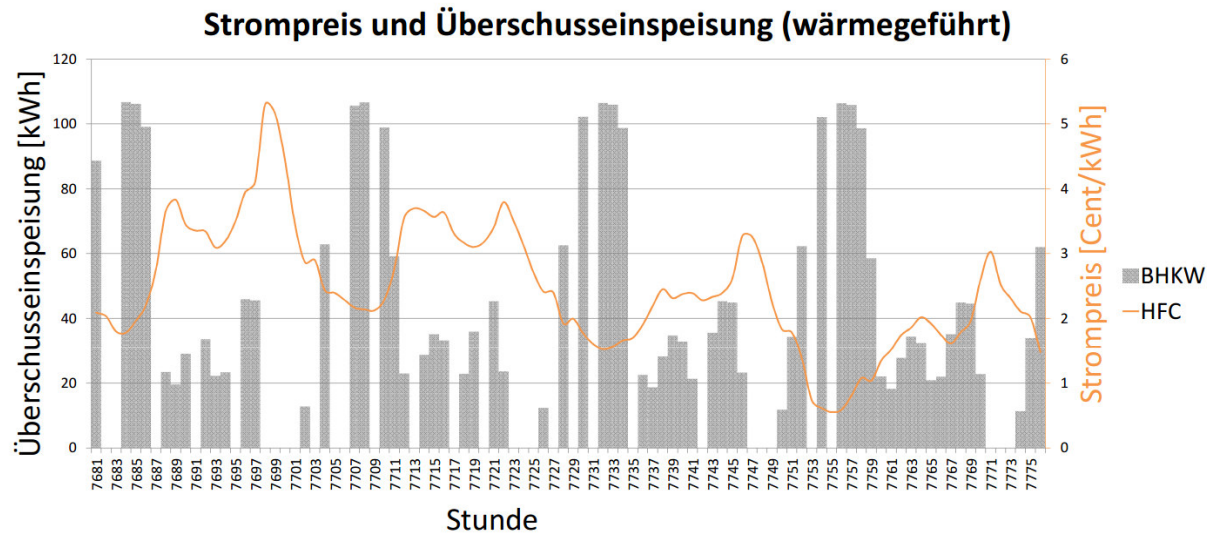
Es besteht keinerlei Abhängigkeit zwischen dem BHKW Betrieb und dem Kundenbedarf an Strom. Das verdeutlicht auch Abbildung 4.11. Folglich findet in den Nächten eine Überproduktion an Strom statt, da die Abnahme in diesen Stunden sehr gering ist. Das führt zur Einspeisung des überschüssigen Stroms in den Zeiträumen, in welchen die Einspeisevergütung verhältnismäßig gering ist. Im Vergleich dazu wird wenig Strom in den besser vergüteten Stunden eingespeist. Abends, wenn die Hourly-Forward-Curve in der Regel den höchsten Stromerlös



**Abbildung 4.10:** Füllstand des Pufferspeichers vom 17. bis zum 20. November mit wärmegeführtem BHKW



**Abbildung 4.11:** Stromlastgang vom 17. bis zum 20. November mit wärmegeführtem BHKW



**Abbildung 4.12:** Einspeisung eines wärmegeführten BHKW und Strompreis vom 17. bis zum 20. November

verspricht, wird in der Kundenanlage so viel Strom benötigt, dass es nicht zur Einspeisung kommen kann (siehe Abbildung 4.12).

### 4.3.2 Stromgeführter Betrieb

Bei der stromgeführten Variante folgt die Leistung des BHKW im Bereich zwischen der minimalen und der maximalen Leistung der Stromabnahme durch die Kundenanlage. Bei dem gewählten Modul mit einer Regelfähigkeit von 50 % entspricht das 71 und 142 kWel. In den abendlichen Stunden findet die Spitzenabnahme statt. In der Zeit läuft das BHKW unter Vollast. Veranlasst durch den sinkenden Wärmebedarf und den gefüllten Pufferspeicher, wird die Leistung des BHKW am 17. und am 18. November allerdings unabhängig vom Stromverbrauch gedrosselt. Zeitweise tritt also eine Art wärmegeführter Betrieb auf, um keine überschüssige Wärme zu erzeugen. Durch den Teillastbetrieb taktet das BHKW an diesen vier Tagen lediglich dreimal (siehe Abbildungen 4.13 bis 4.15). Zur Einsparung von Strom in das allgemeine Netz kommt es ausschließlich nachts, wenn die niedrigsten Erlöse gezahlt werden (siehe Abbildung 4.16).

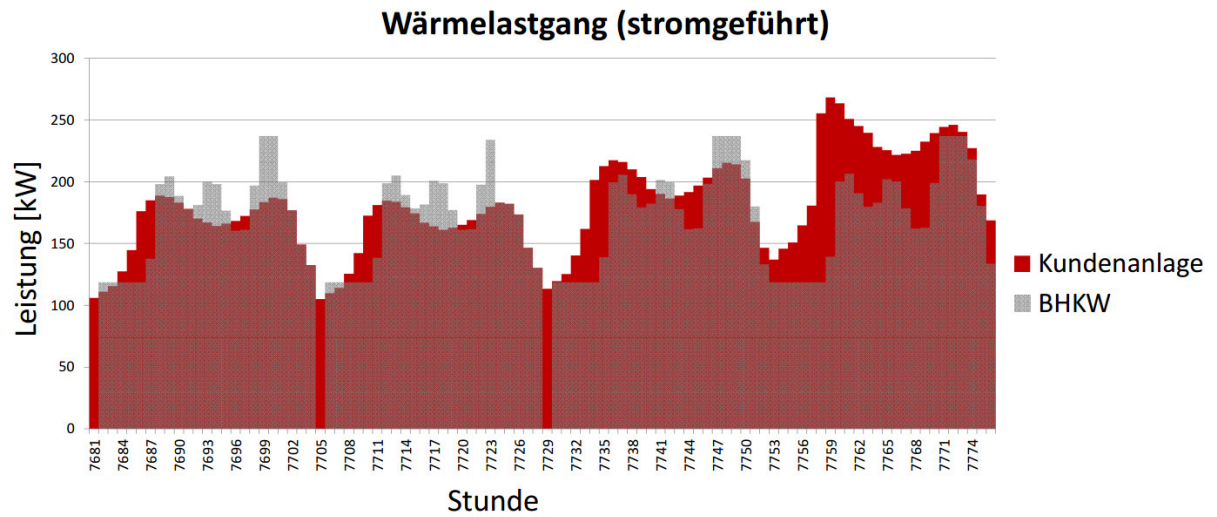


Abbildung 4.13: Wärmelastgang vom 17. bis zum 20. November mit stromgeführtem BHKW

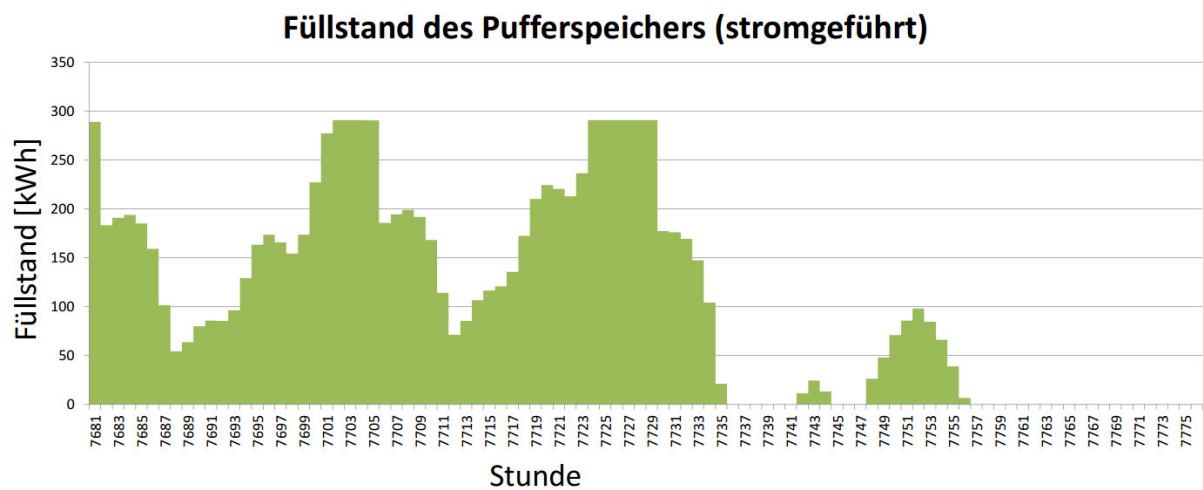


Abbildung 4.14: Füllstand des Pufferspeichers vom 17. bis zum 20. November mit stromgeführtem BHKW

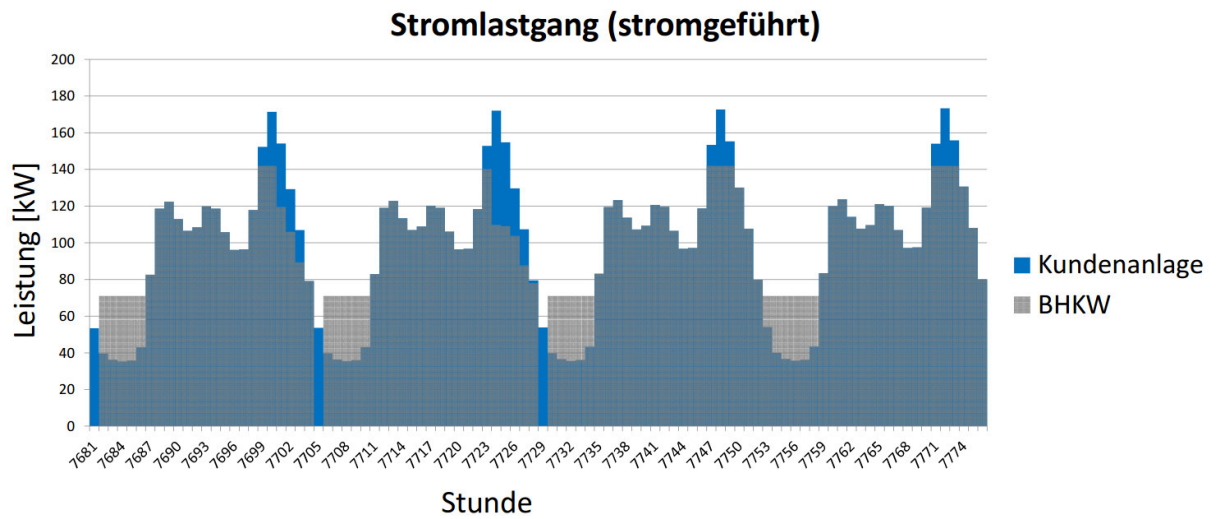


Abbildung 4.15: Stromlastgang vom 17. bis zum 20. November mit stromgeführtem BHKW

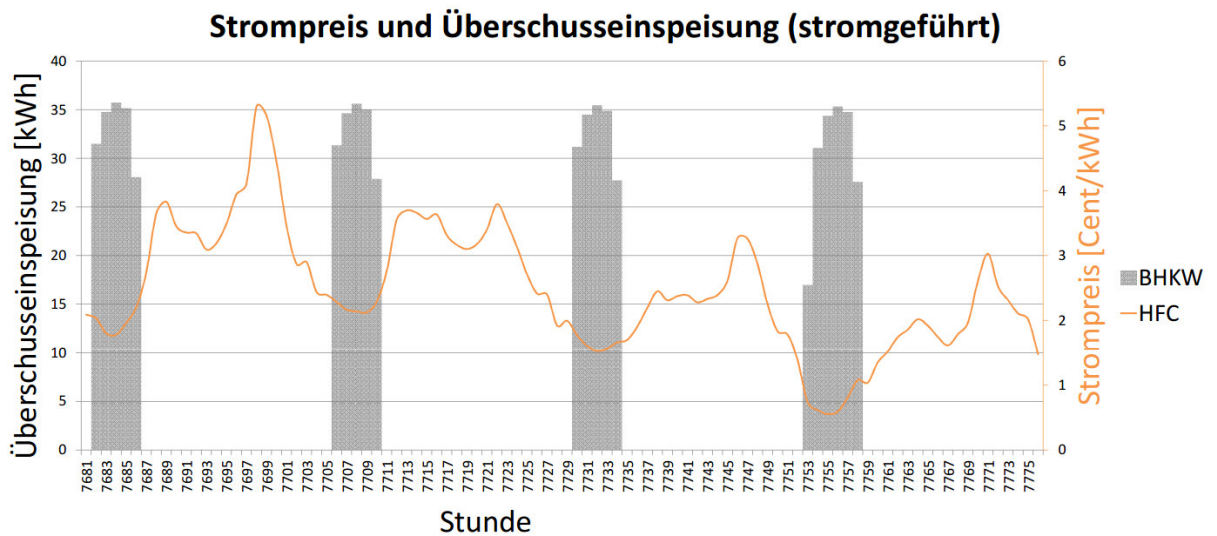
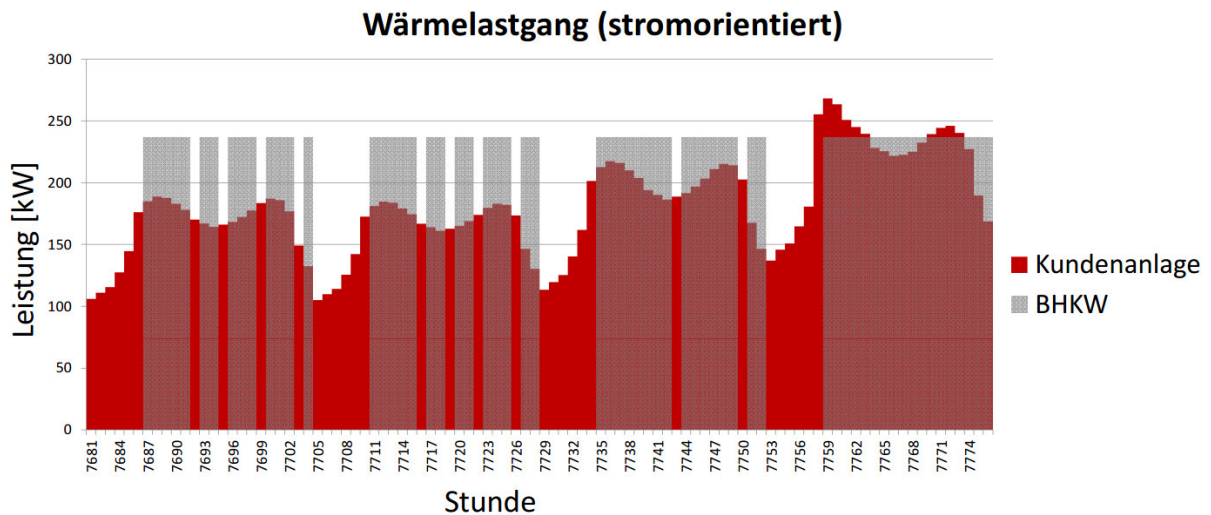


Abbildung 4.16: Einspeisung eines stromgeführten BHKW und Strompreis vom 17. bis zum 20. November



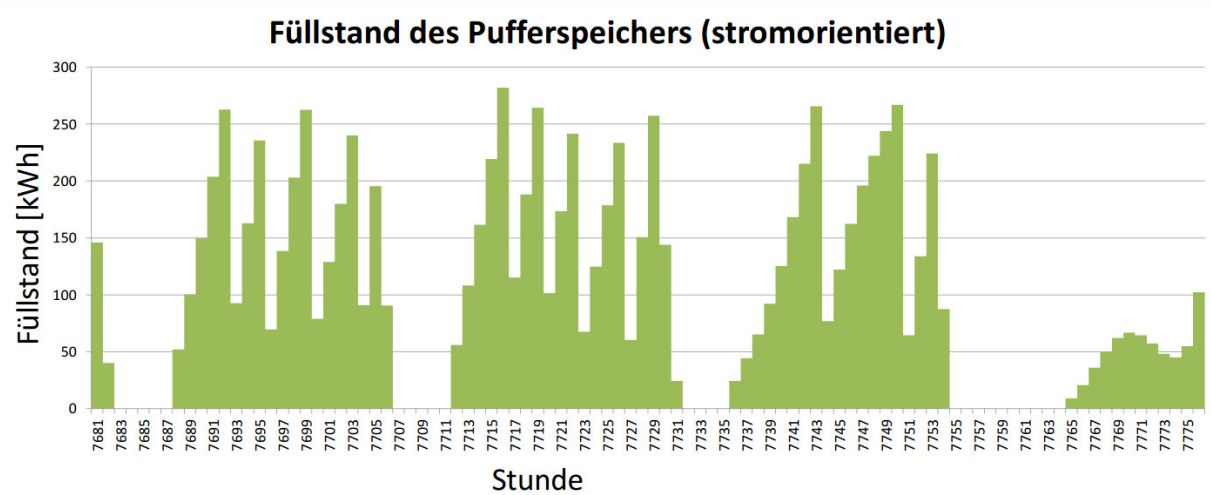
**Abbildung 4.17:** Wärmelastgang vom 17. bis zum 20. November mit stromorientiertem BHKW

### 4.3.3 Stromorientierter Betrieb

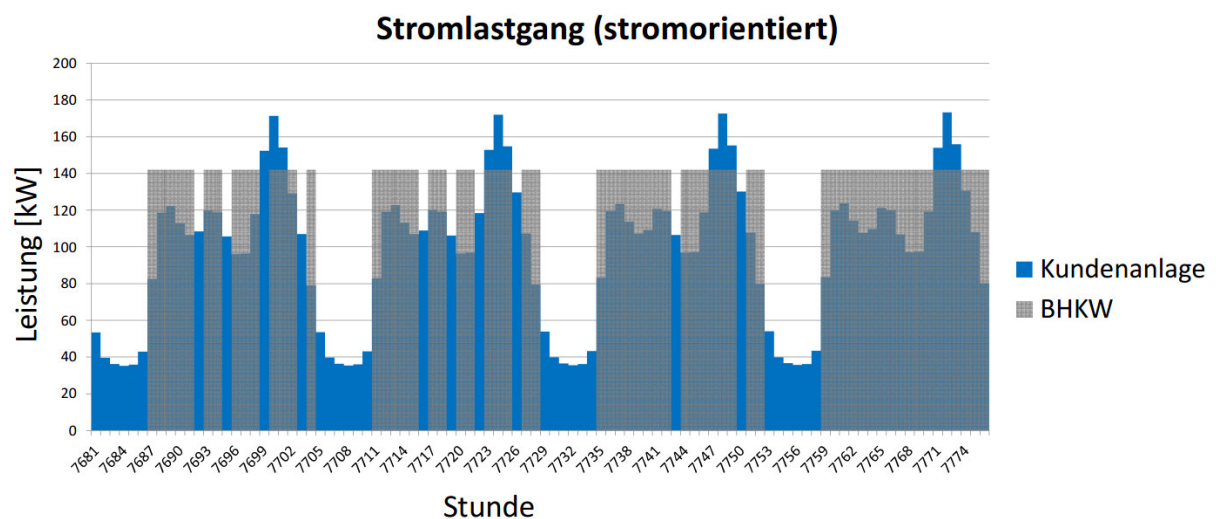
In den Abbildungen 4.17 bis 4.20 ist der stromorientierte Betrieb verbildlicht. Da das BHKW erst ab einer Stromabnahme von 50% der maximalen elektrischen Leistung des BHKW den Betrieb aufnimmt, findet in diesen Tagen nachts kein Betrieb statt. Tagsüber läuft das ausschließlich unter Volllast betriebene BHKW dann so lange, bis der Speicher voll ist. Ist es abgeschaltet, geht es in der Stunde wieder an, in welcher die Wärmeabnahme und der Platz im Speicher groß genug sind, um die erzeugte Wärme abnehmen zu können. Dadurch, dass das BHKW nachts abgeschaltet ist, wird eine Stromspeisung zu schlechten Konditionen größtenteils vermieden. In einigen Stunden am frühen Abend kann sogar die verhältnismäßig hohe Vergütung genutzt werden.

Im Vergleich fällt zunächst der Unterschied im Taktverhalten auf. Das stromorientierte und das wärmegeführte BHKW takteten, abgesehen von dem letzten der betrachteten Tage, mehrmals täglich. Aufgrund der Nachtstunden ohne Betrieb taktet ersteres nicht ganz so häufig, kommt dadurch allerdings auf weniger Betriebsstunden. Das stromgeführte BHKW hingegen taktet an den vier Tagen lediglich dreimal. Dieses Verhalten spiegeln auch die Abbildungen des Pufferspeicherfüllstands wider. Wenngleich keine der Betriebsweisen eine wirklich gute Ausbeute an der Strombörse zu erzielen scheint, wird im betrachteten Zeitraum deutlich, dass die stromorientierte Fahrweise im Schnitt die besten Vergütungen erhält.

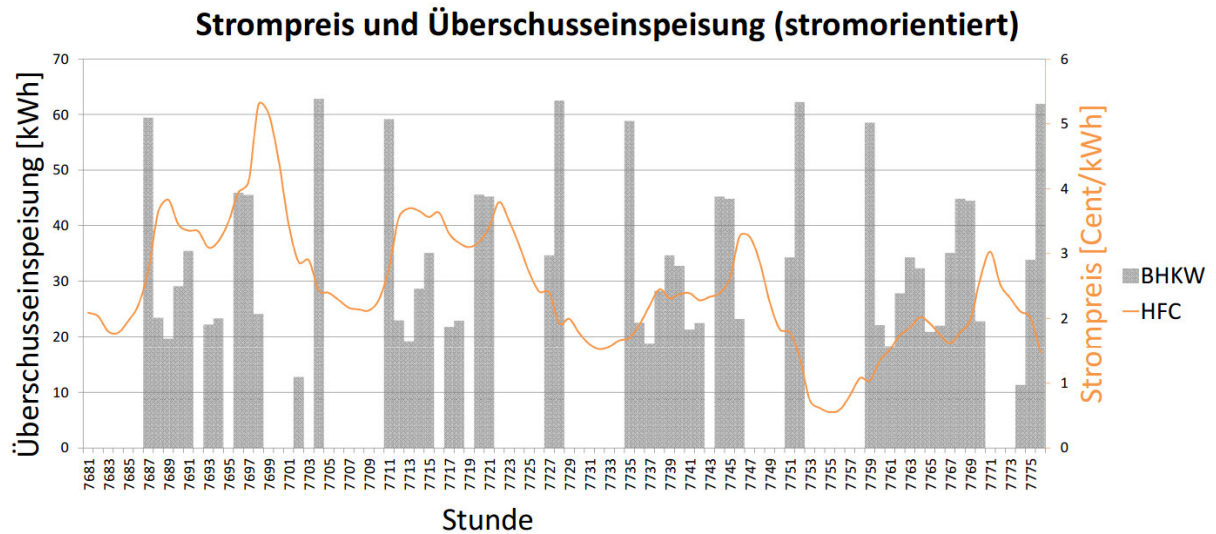




**Abbildung 4.18:** Füllstand des Pufferspeichers vom 17. bis zum 20. November mit stromorientiertem BHKW



**Abbildung 4.19:** Stromlastgang vom 17. bis zum 20. November mit stromorientiertem BHKW



**Abbildung 4.20:** Einspeisung eines stromorientierten BHKW und Strompreis vom 17. bis zum 20. November

## 4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zur Bewertung der Betriebsweisen dienen letztendlich die unter Berücksichtigung der angenommenen BHKW Verfügbarkeit von 92 % berechneten Werte eines ganzen Jahres (siehe Kapitel 3.6 und Anhang G - Ausgabe zur Darstellung und zum Vergleich der Betriebsweisen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit (2)).

Mit über 5.000 Vollbenutzungsstunden (Vbh) erreicht das wärmegeführte BHKW den höchsten Wert, der mit knapp 2.000 Taktvorgängen einhergeht. Trotz 6.800 Betriebsstunden kommt die stromgeführte Variante nur auf etwa 4.700 Vbh. Wegen der Regelfähigkeit ergibt sich eine kleine Anzahl an Taktvorgängen, nämlich 1.230. Der stromorientierte Betrieb weist 1.000 Vbh weniger als der wärmegeführte und 270 Taktvorgänge mehr als der stromgeführte auf. Der Anteil der KWK-Wärme an der insgesamt erzeugten Wärme ist bei allen Varianten sehr unterschiedlich. In Zahlen sind das 91, 83 und 72 % bei dem wärmegeführten, dem stromorientierten und dem stromgeführten BHKW. Aufgrund der unterschiedlich verteilten Wärmeerzeugung auf BHKW und Kessel verteilen sich die Kosten beim wärmegeführten und beim stromorientierten Betrieb anders. Die Gesamtkosten sind dennoch etwa gleich. Bei der stromorientierten Fahrweise fallen 125 Euro weniger pro Jahr an. Die Kosten zur Erzeugung von Wärme durch BHKW und Kessel unterscheiden sich nur geringfügig. Sobald ein BHKW in Teillast betrieben wird, ändert sich das. Dann steigen die spezifischen Wartungskosten, in diesem Fall von  $0,59$  auf  $0,86 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$ , und damit die spezifischen Kosten der Wärmeerzeugung insgesamt. Auf das Jahr gerechnet bedeutet das Mehrkosten von fast 3.000 Euro, bezogen auf das wärmegeführte BHKW.

Die größte Menge an Strom erzeugt das BHKW mit den meisten Vbh, also das wärmegeführte. Prozentual wird von diesem mit 69 % jedoch ein kleinerer Anteil unmittelbar in der Kundenanlage verbraucht als bei der stromgeführten (92 %) und der stromorientierten Fahrweise (81 %). In Jahreswerten entspricht das in selbiger Reihenfolge 502, 611 und  $468 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$  bei einer Stromerzeugung von 723, 665 und  $577 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$ . Die Differenzen werden in das

allgemeine Netz eingespeist. In der stromgeführten Fahrweise müssen folglich über 100 kWh Strom weniger aus dem öffentlichen Netz bezogen werden, da diese unmittelbar dem vom BHKW erzeugten Strom entnommen werden können. In Bezug auf die CO<sub>2</sub> Bilanz ist das ein Vorteil, da KWK-Strom diesbezüglich wesentlich ressourcenschonender ist als der Strom aus dem allgemeinen Strommix.

Analog zur Wärmeerzeugung sind auch bei der Erzeugung des Stroms die spezifischen Kosten der stromgeführten Variante größer als die der anderen beiden Varianten. Wie die Diagramme in Kapitel 4.3 erahnen lassen, ist die durchschnittliche spezifische Vergütung des eingespeisten Stroms beim stromorientierten BHKW mit  $2,58 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  am größten. Bei den anderen beiden liegt diese bei 2,17 (wärmegeführt) und  $1,81 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  (stromgeführt). Der KWK-Zuschlag für die Einspeisung ins allgemeine Netz beträgt für das BHKW Modul GG 140 mit einer elektrischen Leistung von 142 kW  $6,41 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  und beim direkten Verbrauch im Kundennetz  $3,06 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$ . Für die vermiedenen Netznutzungsentgelte und die Vergütung durch den im Kundennetz verbrauchten Strom werden die angenommenen 1 und  $8 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  verwendet.

Schließlich lässt sich die Differenz aus Erlösen und Kosten durch Stromproduktion und -vermarktung bilden. Bezogen auf den spezifischen Wert ist die wärmegeführte Fahrweise die schlechteste und liegt um  $0,25 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  hinter der stromorientierten. Sie weist jedoch am meisten Vbh und dadurch die größte Stromproduktion auf. Mit 50.600 Euro Gewinn durch die Stromvermarktung wird jährlich 3.800 bzw. 8.743 Euro mehr Gewinn erzielt als durch die stromgeführte bzw. die stromorientierte Fahrweise. Unter Einbeziehung der Unterschiede bei den Kosten der Wärmeerzeugung korrigieren sich diese Differenzen zu 6.728 und 8.618 Euro. Schlussendlich bedeutet das 13 bzw. 17% weniger Gewinn, als mit dem wärmegeführten BHKW erzielt wird.

Auch die Modifikationsmöglichkeiten von stromgeführtem und stromorientiertem Betrieb führen zu keinem anderen Ergebnis. Wird die Überschusseinspeisung bei der stromgeführten Variante gänzlich vermieden, sinken die Gewinne, sodass es bezogen auf den wärmegeführten Betrieb um 24% weniger sind. Außerdem kann der Betrieb des stromorientierten und, wenn die eben genannte Einstellung in der Eingabe gewählt wird, auch des stromgeführten BHKW beeinflusst werden. Durch Absenken des prozentualen Anteils des Kundenverbrauchs an der maximalen elektrischen Leistung des BHKW, ab dem das BHKW laufen soll, nähern sich die Gewinne dieser beiden Fahrweisen der durch die wärmegeführte Betriebsweise erzielten Gewinnspanne an, übersteigen sie aber nicht. Auch wenn der Verlauf des prognostizierten Strompreises, die Hourly-Forward-Curve, auf die Hälfte oder das Doppelte verändert wird, kommt es zu keinem anderen Ergebnis. Es bleibt also dabei. Die wärmegeführte Betriebsweise ist, bezogen auf das Projekt „Wohnen am Alsterberg“, die optimale.

## 5 Fazit

Der Anteil der KWK-Anlagen auf dem Energiemarkt wird weiterhin steigen, um im Zusammenspiel mit den erneuerbaren Energien dem Klimawandel entgegen zu wirken. Ein Blockheizkraftwerk als Variante der KWK-Anlagen birgt hohe Investitionskosten. Eine Möglichkeit, diese zu umgehen, stellt das Contracting-Modell dar. Während der Kunde wie üblich seine bezogene Energie, die Wärme und den Strom, bezahlt, ist der Contractor im Besitz und verantwortlich für den Betrieb der Anlage. Daher ist für den Contractor essenziell, wie sich die Anlage im Betrieb verhält, vor allem in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit. Diesbezüglich soll das entwickelte Simulations-Tool eine Planungshilfe darstellen. In Abhängigkeit von dem Jahrestemperaturverlauf der entsprechenden Region werden der Wärme- und der Stromlastgang für ein Verbraucherkollektiv simuliert. Damit werden drei Betriebsweisen im Vergleich dargestellt, sodass eine Aussage darüber getroffen werden kann, welche Fahrweise die optimale ist. Für das Projekt „Wohnen am Alsterberg“ mit 332 Wohneinheiten ist mit dem BHKW-Modul GG 140 von Sokratherm die wärmegeführte Fahrweise zu bevorzugen. Der stromgeführte und der stromorientierte Betrieb liegen bezogen auf den prognostizierten Gewinn pro Jahr einige tausend Euro dahinter.

Dabei gilt es zu bedenken, dass es sich um eine theoretische Betrachtung mit Annahmen und Vereinfachungen handelt. Zudem basieren einige der verwendeten Daten auf Prognosen, die so nicht zwingend eintreten müssen. Aus diesem Grund muss einerseits die Plausibilität im realen Betrieb erprobt werden. Und andererseits ist regelmäßig die Aktualität der Datensätze zu prüfen. Vor allem die Preise, aber auch die gesetzlichen Vorgaben, beispielsweise der EGIX, die HFC und das KWKG, unterliegen kurzfristigen Änderungen.

Das Tool ist keinesfalls als endgültig zu betrachten. Es bestehen vielfältige Möglichkeiten, dessen Umfang zu erweitern. Beispielsweise kann die BHKW-Datenbank um beliebig viele Module ergänzt werden. Des Weiteren ist die Performance des Tools bei der Veränderung von Parametern sehr träge. Folglich kann es zu Verzögerungen kommen, während die Berechnung der Datensätze vorgenommen wird. Diesbezüglich könnte das Übertragen des Tools in ein geeignetes Programm oder Verwenden der in Excel integrierten Programmiersprache „Visual Basic for Applications“ Abhilfe schaffen.

# Literaturverzeichnis

- [1] *DIN 4710 - Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland.* Beuth Verlag, 2003
- [2] <http://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html;jsessionid=27CAA3D1340F32E81224935315ACF255.live11052?nn=507312>. (02.02.2016)
- [3] <https://www.eex.com/de/produkte/strom>. (04.02.2016)
- [4] <https://www.eex.com/de/produkte/erdgas>. (04.02.2016)
- [5] <https://www.eex.com/blob/69834/81acfade72d7e24c44ad522154444c8a/eex-reference-price-egix-pdf-data.pdf>. (08.02.2016)
- [6] *Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzentgeltverordnung - StromNEV) vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2225), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498)*
- [7] *BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: BDEW-Strompreisanalyse Januar 2016 - Haushalte und Industrie.* 2016
- [8] *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz KWKG) vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498)*
- [9] *Energiesteuergesetz (EnergieStG) vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1534; 2008 I S. 660, 1007), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 3. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2178)*
- [10] *VDI 4655 - Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen.* Beuth Verlag, 2008
- [11] <http://www.comuna-metall.de/produkte/blocker.php>. (01.03.2016)
- [12] Hellwig, Mark: *Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile*, Technische Universität München, Diss., 2003
- [13] *BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., VKU Verband kommunaler Unternehmen e. V., GEODE: BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden - Abwicklung von Standardlastprofilen Gas.* 2015
- [14] <http://heizkostenrechner.eu/heizwert-brennwert-tabelle.html>. (28.02.2016)
- [15] <http://www.sokratherm.de/htcms/de/downloads.html>. (01.03.2016)

# Anhang

# A Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
b.z.w.	beziehungsweise
BHKW	Blockheizkraftwerk
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
EEX	European Energy Exchange
EGIX	European Gas Index
HFC	Hourly-Forward-Curve
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MFH	Mehrfamilienhaus
SF	Stundenfaktor
SLP	Standardlastprofil
TRY	Testreferenzjahr
u.v.m.	und vieles mehr
Vbh	Vollbenutzungsstunden
WWB	Warmwasserbereitung

## B Formelzeichen

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$A$	Koeffizient	–
$A_W$	beheizte Wohnfläche	$m^2$
$B$	Koeffizient	$^{\circ}C$
$C$	Koeffizient	–
$\Delta T$	Temperaturspreizung des Systems	$K$
$h$	Profilfunktion	–
$l$	Länge	$m$
$P$	Leistung	$kW$
$p$	spezifischer Wärmeverlust	$W/m$
$Q$	Wärmemenge	$kWh$
$SF$	Stundenfaktor	%
$\vartheta, \vartheta_0$	Temperatur, Referenztemperatur	$^{\circ}C$
$V$	Volumen Pufferspeicher	$kg$
$W$	Arbeit	$kWh$
$w$	spezifischer Energiebedarf	$kWh/(m^2 * a)$
$WE$	Wohneinheiten	$Stck$



Indizes-tiefgestellt:

Index	Bedeutung
a	Jahr
BHKW	Blockheizkraftwerk
d	Tag
el	elektrisch
gr	Grenze
kap	Kapazität
lad	Be-/Entladen
n	laufende Nummer
norm	normiert
NV	Netzverluste
PS	Pufferspeicher
r	Reihe
st	Füllstand
stat	statisch
th	thermisch
WWB	Warmwasserbereitung

## **C Klimazonen der Städte mit mindestens 100.000 Einwohnern**

C Klimazonen der Städte mit mindestens 100.000 Einwohnern

Stadt	Klimazone (Nr)	Beim DWD verfügbare Alternativstation mit stündlichen Daten zur bestmöglichen Abschätzung
Aachen	5	Aachen
Augsburg	13	Augsburg
Berlin	4	Berlin
Bielefeld	6	Bad Salzuflen
Bergisch Gladbach	5	Köln-Bonn
Bochum	5	–
Bonn	5	Köln-Bonn
Bottrop	5	–
Braunschweig	3	Braunschweig
Bremen	3	Bremen
Bremerhaven	1	–
Chemnitz	9	–
Cottbus	4	Cottbus
Darmstadt	12	Frankfurt/Main
Dortmund	5	–
Dresden	4	Dresden
Duisburg	5	Düsseldorf
Düsseldorf	5	Düsseldorf
Erfurt	9	Erfurt
Erlangen	13	Nürnberg
Essen	5	–
Frankfurt/Main	12	Frankfurt/Main
Freiburg/Breisgau	12	Freiburg/Breisgau
Fürth	13	Nürnberg
Gelsenkirchen	5	–
Gera	9	Gera
Göttingen	7	Göttingen
Hagen	5	–
Halle/Saale	4	Halle
Hamburg	3	–
Hamm/Westfalen	5	früher Münster, seit Okt. 1989 Greven
Hannover	3	Hannover
Heidelberg	12	–
Heilbronn	12	Stuttgart
Herne	5	–
Hildesheim	3	Hannover
Ingolstadt	13	Regensburg
Jena	9	Gera
Kaiserslautern	6	Saarbrücken
Karlsruhe	12	Karlsruhe
Kassel	7	–
Kiel	2	Kiel






C Klimazonen der Städte mit mindestens 100.000 Einwohnern

Stadt	Klimazone (Nr)	Beim DWD verfügbare Alternativstation mit stündlichen Daten zur bestmöglichen Abschätzung
Koblenz	5	früher Koblenz, seit Jan. 1990 Bendorf
Köln	5	Köln-Bonn
Krefeld	5	Düsseldorf
Leipzig	4	Leipzig
Leverkusen	5	Köln-Bonn
Lübeck	2	Lübeck
Ludwigshafen/Rhein	12	–
Magdeburg	4	Magdeburg
Mainz	12	Frankfurt/Main
Mannheim	12	–
Mönchengladbach	5	Düsseldorf
Moers	5	Düsseldorf
Mülheim/Ruhr	5	–
München	13	früher München-Riem, seit Mai 1992 Erdinger Moos
Münster	5	früher Münster, seit Okt. 1989 Greven
Neuss	5	Düsseldorf
Nürnberg	13	Nürnberg
Oberhausen	5	Düsseldorf
Offenbach/Main	12	Frankfurt/Main
Oldenburg (Oldenburg)	3	Oldenburg (Oldenburg)
Osnabrück	5	Osnabrück
Paderborn	5	Bad Lippspringe
Pforzheim	6	Stuttgart
Potsdam	4	–
Recklinghausen	5	–
Regensburg	13	Regensburg
Remscheid	6	Essen
Reutlingen	6	Stuttgart
Rostock	2	–
Saarbrücken	6	Saarbrücken
Salzgitter	3	Braunschweig
Schwerin	4	Schwerin
Siegen	6	Lüdenscheid
Solingen	6	Essen
Stuttgart	12	Stuttgart
Ulm	13	Ulm
Wiesbaden	12	Frankfurt/Main
Witten	5	–
Wolfsburg	3	Braunschweig
Wuppertal	6	Essen
Würzburg	13	Würzburg
Zwickau	9	–

Quelle: [1], S. 20 f

# D Datenblatt Sokratherm

## BHKW-Kompaktmodule zum Betrieb mit Erdgas

Spezifikation		Leistungsdaten			Wirkungsgrade			Stromkennzahl <sup>5)</sup>	Wartung		Abmessungen			Betriebsgewicht [kg]	Luftschalldruckpegel [dB(A) in 1m]
BHKW-Typ	Motorhersteller MAN, Motortyp	Elektrisch <sup>1)</sup> [kW]	Thermisch [kW]	Gasverbrauch [kW H <sub>2</sub> ]	elektrisch [%]	thermisch [%]	gesamt [%]		Wartungsintervall [Betriebsstunden]	Grundüberholung nach ca. [Bh]	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]		
 <b>50 kW - Klasse</b>															
GG 50	E 0834 E 302	50	82	146	34,2	56,2	90,4	0,60	1.500	60.000	2.400	900	1.800	1.950	62
GG 70	E 0836 E 302	71	114	204	34,8	55,9	90,7	0,61	1.500	60.000	2.400	900	1.800	2.070	63
 <b>100 kW - Klasse</b>															
GG 98 <sup>4)</sup>	E 2676 E 302	100	162	284	35,2	57,0	92,2	0,60	1.500	50.000	2.800	900 <sup>6)</sup>	2.000	3.050	71
GG 113	E 2876 E 312	114	181	327	34,9	55,4	90,3	0,61	1.500	50.000	2.800	900	2.000	2.850	69
GG 132 <sup>4)</sup>	E 2676 E 302	133	196	356	37,4	55,1	92,5	0,66	1.500	50.000	2.800	900 <sup>6)</sup>	2.000	3.050	71
GG 140	E 2876 E 312	142	216	392	36,2	55,1	91,3	0,64	1.500	50.000	2.800	900	2.000	2.850	69
 <b>200 kW - Klasse</b>															
GG 170 <sup>2)</sup>	E 2676 LE 202	172	227	441	39,0	51,5	90,5	0,73	1.000	50.000	3.400	1.300	2.300	4.330	69
GG 201	E 2842 E 312	205	331	592	34,6	55,9	90,5	0,60	1.500	50.000	3.400	1.300	2.300	4.650	70
GG 206 <sup>2)</sup>	E 2676 LE 202	211	267	529	39,9	50,5	90,4	0,76	1.000	50.000	3.400	1.300	2.300	4.330	69
GG 237	E 2842 E 312	239	372	669	35,7	55,6	91,3	0,62	1.500	50.000	3.400	1.300	2.300	4.650	70
GG 260 <sup>4)</sup>	E 3262 E 302	263	381	694	37,9	54,9	92,8	0,67	1.500	50.000	3.700	1.500	2.300	6.100	74
 <b>400 kW - Klasse</b>															
GG 330 <sup>2)</sup>	E 2842 LE 322	337	458	879	38,3	52,1	90,4	0,72	1.000	50.000	3.500	1.300	2.300	5.990	72
	70 °C Gemischkühlwasser	337	455	883	38,2	51,5	89,7	0,72							
GG 385 <sup>2)</sup>	E 2842 LE 322	386	510	999	38,6	51,1	89,7	0,74	1.000	50.000	3.500	1.300	2.300	5.990	72
GG 402 <sup>2)</sup>	E 2842 LE 322	405	538	1.045	38,8	51,5	90,3	0,74	1.000	50.000	3.500	1.300	2.300	5.990	72
	70 °C Gemischkühlwasser	366	495	955	38,3	51,8	90,1	0,72							
 <b>500 kW - Klasse</b>															
GG 465 <sup>2)</sup>	E 3262 LE 202	469	612	1.191	39,4	51,4	90,8	0,75	1.000	50.000	3.700 <sup>3)</sup>	1.500	2.600	7.300	74
GG 530 <sup>2)</sup>	E 3262 LE 202	532	686	1.341	39,7	51,2	90,9	0,76	1.000	50.000	3.700 <sup>3)</sup>	1.500	2.600	7.300	74

1) Angabe gilt als elektrische Bruttoleistung an den Generatorklemmen.

2) Leistungsdaten gelten für 40 °C Gemischkühlwassertemperatur, Daten für 70 °C ggf. in nachfolgender Zeile. Angabe der Heizleistung jeweils incl. Gemischkühlwasserwärme.

3) Zzgl. separater Schaltschrank zur Aufnahme des Leistungsteils, Abmessungen (B x T x H =) 1.200 x 600 x 2.200 mm, Querverkabelung bauseits.

4) Serienfreigabe voraussichtlich Ende 2016.

5) Gemäß KWK-Gesetz bezogen auf die elektrische Nettoleistung.

6) Breite ohne die per Schnellverschluss abnehmbaren Schalldämmklappen (Einbringungsmaß), mit Schalldämmklappen 1.000 mm.

Lieferumfang: BHKW-Kompaktmodul bestehend aus Gasmotor und Generator, über elastische Kupplung und starren Zwischenflansch verbunden, Kühlwasser- und Abgaswärmetauscher, Kühlwasserpumpe, Sicherheits-Gasregelstrecke, Ölwannebehälter, Ölnachfüllautomatik mit Niveaüberwachung usw., komplett verrohrt, zum Betrieb in Heizsystemen mit 90/70 °C Vor-/Rücklauftemperaturen (Sonderausführung für 95/80 °C z.B. zum Betrieb mit Absorptionskältemaschinen auf Anfrage), im Schalldämmgehäuse anschlussfertig montiert. Integrierter Schaltschrank mit Regelungs- und Leistungsteil für vollautomatischen Betrieb incl. Netzüberwachung mit Schutzeinrichtungen gemäß VDE-Anwendungsregel AR-N 4105 (< 100 kWel.) bzw. BDEW-Mittelspannungsrichtlinie (>= 100 kWel.), komplett verkabelt. Schadstoffreduktion über Katalysator und Lambda-Regelung auf Werte unterhalb der Grenzwerte der TA-Luft (2002). Erstfüllung mit Motorenöl und Korrosionsschutz sowie Prüfstandslauf mit anschließender erster Wartung. Weitere Einzelheiten siehe jeweilige technische Beschreibung.

Alle Angaben sind Richtwerte, Änderungen vorbehalten.

Sonderausführungen für den Betrieb mit Propangas (auch bivalent) auf Anfrage. Siehe auch Lieferprogramm für BHKW-Kompaktmodule zum Betrieb mit Klärgas oder Biogas.

**SOKRATHERM®**

**Blockheizkraftwerke**

SOKRATHERM GmbH, D-32120 Hiddenhausen, Milchstraße 12, Tel: +49.52 21.96 21-0, Fax: +49.52 21.66 0 63

## E Koeffizienten zur Ermittlung der Tagesfaktoren des Heizlastgangs

Kategorie		Koeffizienten				Wochentagsfaktoren						
		A	B	C	D	F <sub>Mo</sub>	F <sub>Di</sub>	F <sub>Mi</sub>	F <sub>Do</sub>	F <sub>Fr</sub>	F <sub>Sa</sub>	F <sub>So</sub>
Haushalte	EFH Alt	3,130	-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
Gewerbe, Handel und Dienstleistung	Kategorie 1 (Metall & Kfz)	2,754	-34,76	6,628	0,0558	1,1074	1,0589	1,0345	0,9999	1,0919	0,9120	0,8460
	Kategorie 2 (Papier & Druck)	2,578	-34,73	6,481	0,1408	1,0214	1,0866	1,0720	1,0557	1,0117	0,9001	0,8511
	Kategorie 3 (Einzelhandel)	3,318	-36,28	7,096	0,0334	1,0692	1,0700	1,0589	1,0478	1,0449	0,9123	0,7982
	Kategorie 4 (Großhandel)	4,153	-38,13	7,595	0,0681	0,9761	0,9395	0,9649	0,9965	0,9899	1,0647	1,0617
	Kategorie 5 (Sonstige betr. Dienstl.)	2,918	-36,18	5,927	0,1152	1,1052	1,0857	1,0378	1,0622	1,0266	0,7629	0,8980
	Kategorie 6 (Gebietsk. & Sozialversich.)	2,787	-35,55	6,295	0,0996	1,0454	1,0509	1,0643	1,0611	0,9997	0,8638	0,9162
	Kategorie 7 (Kreditanst. & Versicherungen)	2,803	-36,59	5,538	0,1498	1,0864	1,0530	1,0449	1,0551	0,9627	0,8629	0,9353
	Kategorie 8 (Beherbergung)	2,010	-35,25	6,154	0,3295	0,9767	1,0389	1,0028	1,0162	1,0024	1,0043	0,9584
	Kategorie 9 (Gaststätten)	2,285	-36,29	6,589	0,3151	0,9322	0,9894	1,0033	1,0109	1,0180	1,0356	1,0091
	Kategorie 10 (Bäckereien)	0,652	-37,17	5,597	0,8221	1,0848	1,1211	1,0769	1,1353	1,1402	0,4852	0,9584
	Kategorie 11 (Wäschereien)	0,766	-36,02	4,866	0,8049	1,2457	1,2615	1,2707	1,2430	1,1276	0,3877	0,4615
	Kategorie 12 (Organisationen oh. Erw.zw. & Heime)	2,421	-34,76	7,010	0,1934	1,0081	1,0538	1,0203	1,0329	0,9814	0,9208	0,9807
	Kategorie 13 (Gartenbau)	3,390	-39,29	4,491	0,0835	0,9897	0,9627	1,0507	1,0552	1,0297	0,9767	0,9360

Quelle: [12], S. 100

# **F Stundenfaktoren zur Ermittlung der stündlichen Heizleistung**



## F Stundenfaktoren zur Ermittlung der stündlichen Heizleistung

MFH Alt nur Rhzdg.	600 Uhr	700 Uhr	800 Uhr	900 Uhr	1000 Uhr	1100 Uhr	1200 Uhr	1300 Uhr	1400 Uhr	1500 Uhr	1600 Uhr	1700 Uhr	1800 Uhr	1900 Uhr	2000 Uhr	2100 Uhr	2200 Uhr	2300 Uhr	000 Uhr	100 Uhr	200 Uhr	300 Uhr	400 Uhr	500 Uhr	600 Uhr
	Temp. <= -15 °C	5,11%	4,49%	4,62%	4,57%	4,34%	4,49%	4,40%	4,35%	4,26%	4,34%	4,36%	4,66%	4,60%	4,68%	4,61%	4,32%	4,12%	2,99%	2,80%	2,82%	2,80%	2,90%	3,64%	5,71%
-15 °C < Temp. <= -10 °C	5,13%	4,50%	4,64%	4,58%	4,35%	4,50%	4,41%	4,35%	4,26%	4,34%	4,39%	4,67%	4,61%	4,69%	4,62%	4,33%	4,12%	2,95%	2,76%	2,76%	2,76%	2,86%	3,63%	5,76%	
-10 °C < Temp. <= -5 °C	5,19%	4,52%	4,66%	4,61%	4,36%	4,52%	4,43%	4,36%	4,27%	4,35%	4,40%	4,70%	4,64%	4,73%	4,65%	4,34%	4,11%	2,88%	2,67%	2,70%	2,67%	2,78%	3,60%	5,85%	
-5 °C < Temp. <= 0 °C	5,00%	4,64%	4,81%	4,78%	4,67%	4,54%	4,54%	4,43%	4,42%	4,48%	4,69%	4,95%	4,92%	4,85%	4,68%	4,24%	3,81%	2,62%	2,43%	2,50%	2,53%	2,77%	3,60%	5,22%	
0 °C < Temp. <= 5 °C	4,99%	4,84%	4,90%	4,79%	4,63%	4,51%	4,47%	4,47%	4,50%	4,56%	4,77%	4,97%	5,07%	5,04%	4,91%	4,39%	3,64%	2,64%	2,14%	2,29%	2,31%	2,49%	3,34%	5,14%	
5 °C < Temp. <= 10 °C	5,68%	5,24%	5,06%	4,68%	4,47%	4,32%	4,24%	4,17%	4,16%	4,33%	4,65%	4,97%	5,21%	5,39%	5,30%	4,69%	3,95%	2,72%	1,68%	2,17%	1,91%	2,09%	3,28%	5,52%	
10 °C < Temp. <= 15 °C	7,38%	5,90%	5,61%	4,98%	4,67%	4,39%	4,26%	4,06%	3,82%	3,92%	4,13%	4,55%	5,13%	5,60%	5,79%	5,40%	3,99%	2,52%	1,36%	1,13%	0,89%	1,07%	3,09%	6,35%	
15 °C < Temp. <= 20 °C	9,72%	6,92%	6,11%	5,74%	4,96%	4,64%	4,62%	3,55%	3,30%	2,90%	3,20%	3,84%	4,84%	5,72%	6,62%	6,03%	3,76%	1,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,19%	8,91%	
20 °C < Temp. <= 25 °C	3,30%	7,68%	6,29%	6,88%	6,02%	5,77%	5,45%	3,31%	4,79%	0,64%	0,58%	2,92%	4,58%	5,37%	8,40%	7,03%	3,43%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,22%	15,34%	
Temp. >25 °C	1,31%	9,22%	6,72%	7,77%	6,22%	5,77%	5,20%	1,32%	4,00%	0,00%	0,00%	0,61%	3,62%	5,04%	10,53%	8,05%	1,53%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	23,08%	
MFH Neu nur Rhzdg.	600 Uhr	700 Uhr	800 Uhr	900 Uhr	1000 Uhr	1100 Uhr	1200 Uhr	1300 Uhr	1400 Uhr	1500 Uhr	1600 Uhr	1700 Uhr	1800 Uhr	1900 Uhr	2000 Uhr	2100 Uhr	2200 Uhr	2300 Uhr	000 Uhr	100 Uhr	200 Uhr	300 Uhr	400 Uhr	500 Uhr	600 Uhr
Temp. <= -15 °C	4,91%	5,23%	4,79%	4,42%	4,05%	4,14%	4,01%	3,96%	4,10%	4,33%	4,51%	4,66%	4,65%	4,83%	4,68%	4,46%	4,36%	3,79%	3,10%	2,93%	2,90%	3,05%	3,13%	4,99%	
-15 °C < Temp. <= -10 °C	5,34%	5,23%	4,76%	4,41%	4,04%	4,12%	3,99%	3,94%	4,08%	4,32%	4,50%	4,65%	4,65%	4,83%	4,67%	4,44%	4,35%	3,77%	3,06%	2,89%	2,86%	3,02%	3,09%	4,99%	
-10 °C < Temp. <= -5 °C	5,69%	5,26%	4,79%	4,41%	4,02%	4,11%	3,97%	3,92%	4,06%	4,31%	4,50%	4,66%	4,66%	4,84%	4,68%	4,44%	4,34%	3,74%	3,01%	2,82%	2,79%	2,96%	3,03%	5,01%	
-5 °C < Temp. <= 0 °C	5,59%	5,49%	5,43%	5,12%	4,81%	4,61%	4,41%	4,31%	4,31%	4,34%	4,51%	4,69%	4,76%	4,82%	4,64%	4,20%	3,39%	2,84%	2,20%	2,33%	2,48%	2,71%	2,90%	5,14%	
0 °C < Temp. <= 5 °C	5,68%	5,54%	5,16%	4,99%	4,83%	4,49%	4,41%	4,30%	4,33%	4,40%	4,62%	4,82%	4,97%	5,02%	4,85%	4,46%	3,35%	2,73%	1,79%	2,05%	2,20%	2,61%	3,08%	5,30%	
5 °C < Temp. <= 10 °C	5,25%	5,43%	5,36%	5,15%	4,91%	4,53%	4,38%	4,24%	4,33%	4,44%	4,64%	4,89%	5,18%	5,35%	5,30%	4,86%	3,51%	2,70%	1,42%	1,66%	1,86%	2,46%	3,29%	4,82%	
10 °C < Temp. <= 15 °C	6,02%	6,79%	6,15%	5,84%	5,33%	4,73%	4,52%	4,26%	4,17%	4,15%	4,23%	4,43%	4,72%	5,38%	5,39%	5,10%	3,95%	2,61%	0,63%	0,95%	1,21%	2,01%	2,93%	4,48%	
15 °C < Temp. <= 20 °C	5,99%	8,50%	6,89%	6,76%	5,94%	5,05%	4,82%	4,11%	4,30%	3,96%	4,00%	4,25%	4,67%	5,02%	5,04%	5,10%	4,03%	3,04%	0,00%	0,46%	0,35%	1,20%	2,44%	4,06%	
20 °C < Temp. <= 25 °C	5,25%	9,72%	7,16%	7,16%	5,97%	5,09%	5,20%	4,11%	4,04%	4,25%	4,17%	4,60%	4,93%	5,24%	5,49%	5,06%	4,14%	3,60%	0,00%	0,20%	0,00%	0,32%	1,79%	2,54%	
Temp. >25 °C	5,26%	9,87%	7,25%	7,24%	6,01%	5,10%	5,21%	4,07%	4,02%	4,24%	4,17%	4,63%	4,96%	5,28%	5,51%	5,05%	4,08%	3,69%	0,00%	0,02%	0,00%	0,17%	1,69%	2,46%	

Quelle: [12], S. 102

# **G Ausschnitte des Tools - Simulation des Projektes „Wohnen am Alsterberg“**

Quelle: eigenes Simulations-Tool

gelbe Zellen sind Eingabefelder		grüne Zellen werden berechnet	
<b>Rahmenbedingungen</b>			
Bautyp		Neubau	
Anzahl Wohneinheiten		332 Stck	
beheizte Wohnfläche		20.000 m <sup>2</sup>	
spez. Energiebedarf stat.		33 kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
spez. Energiebedarf WWB		27 kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
spez. Energiebedarf Strom		2.500 kWh/(WE*a)	
Jahreswärmearbeit stat.		660.000 kWh/a	
Jahreswärmearbeit WWB		540.000 kWh/a	
<b>Netzverluste</b>			
Trassenmeter		500 [m]	
Spitzenverlust pro Meter		30 [W/m]	
Netzverluste		131.400 kWh/a	
Jahreswärmearbeit ab Heizwerk		1.331.400 kWh/a	
Jahresenergiebedarf Strom		830.000 kWh/a	
<b>Klimazone (01-15)</b> (16 für manuellen Temperaturverlauf)		03 Nordwestdeutsches Tiefland	
<b>Anlagenkomponenten</b>			
BHKW		GG 140 Sokratherm	
In Teillst regelbar bis		50 %	
Pufferspeichergröße		10 m <sup>3</sup>	
Temperaturspreizung		25 K	
Kesselwirkungsgrad		96 %	
<b>Lastgänge</b>			
Wärme		Standardlastprofil erstellen	
Strom		Standardlastprofil erstellen	
<b>weitere Einstellungen</b>			
rechnerischer Stromerlös Kundenanlage		8 Ct/kWh	
Vermiedene Netznutzung		1 Ct/kWh	
Netznutzung Gas		1 Ct/kWh	
stromgeführt: Überschusseinspeisung gänzlich vermeiden		Nein	
stromorientiert: Betrieb ab einem Kundenstromverbrauch von		50 % der max. el. Leistung des BHKW	
Variation der Strompreisentwicklung		100 % der HFC 2016 (Stand 4.2.2016)	
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                 Werte berechnen             </div>			

Eingabemaske zum Einpflegen des Projektes

Lastgänge										Strompreis		
WWB	NV	WWB + NV	Heizleistung	Wärmeleistung	Wärmeleistung geordnet	Wärmeleistung SLP BDEW normiert	Stromleistung geordnet	Stromleistung geordnet	gemessener Stromlastgang	gemessener Stromlastgang	Hourly-Forward-Curve (2016)	KWK-Index 2015 ("üblicher Preis")
[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	Pth	Pel/norm	Pel	Pel	Ph,ref	Ph,ref	[Ct/kWh]	[Ct/kWh]
61,64	15,00	76,64	94,78	171,42	340,71	97,21	80,69	219,53			2,39	3,32
61,64	15,00	76,64	100,38	177,03	340,00	69,98	58,08	219,47			2,24	3,32
61,64	15,00	76,64	106,84	183,49	334,30	56,05	46,52	219,15			2,06	3,32
61,64	15,00	76,64	116,75	193,40	330,91	51,17	42,47	218,87			1,68	3,32
61,64	15,00	76,64	124,94	201,58	329,90	48,16	39,97	218,77			1,74	3,32
61,64	15,00	76,64	221,44	298,09	328,53	48,03	39,87	218,71			1,70	3,32
61,64	15,00	76,64	240,83	317,47	327,50	50,92	42,27	218,39			1,59	3,32
61,64	15,00	76,64	236,52	313,16	324,91	62,18	51,61	218,12			1,82	3,32
61,64	15,00	76,64	233,94	310,58	324,14	110,08	91,37	217,80			1,77	3,32
61,64	15,00	76,64	220,58	297,22	322,97	172,23	142,95	217,69			1,98	3,32
61,64	15,00	76,64	207,22	283,87	322,27	216,59	179,77	217,46			2,38	3,32
61,64	15,00	76,64	198,61	275,25	320,75	252,16	209,29	217,05			2,60	3,32
61,64	15,00	76,64	189,99	266,64	320,10	257,04	213,34	216,94			2,71	3,32
61,64	15,00	76,64	185,68	262,33	317,47	215,16	178,58	216,71			2,66	3,32
61,64	15,00	76,64	185,68	262,33	315,22	169,28	140,50	216,20			2,50	3,32
61,64	15,00	76,64	186,98	263,62	314,83	145,00	120,35	215,86			2,44	3,32
61,64	15,00	76,64	194,30	270,94	313,17	132,68	110,13	215,68			2,89	3,32
61,64	15,00	76,64	202,06	278,70	313,16	156,31	129,74	215,45			3,74	3,32
61,64	15,00	76,64	205,07	281,71	312,63	194,49	161,43	215,34			3,74	3,32
61,64	15,00	76,64	207,66	284,30	311,87	219,20	181,94	215,16			3,53	3,32
61,64	15,00	76,64	199,90	276,54	311,70	199,12	165,27	214,61			3,31	3,32
61,64	15,00	76,64	180,94	257,59	310,95	168,53	139,88	214,59			2,95	3,32
61,64	15,00	76,64	146,05	222,69	310,76	142,70	118,44	214,50			3,01	3,32
61,64	15,00	76,64	122,35	199,00	310,58	105,23	87,34	214,08			2,46	3,32

Simulation mit Werten der ersten Woche des Jahres: Lastgänge und Strompreise

wärmegeführter Betrieb																				
Anlagenkomponenten																				
Puffer				BHKW				Kessel				Vergütung								
Speicher- kapazität [kWh]	Füllstand [kWh]	Be-/ Entladung [kWh]	Speicher voll	an/aus	Takten	Wärme- leistung [kW]	Strom- leistung [kW]	Wärme geordnet Pbkw,th [kW]	Strom geordnet Pbkw,el [kW]	Gaskosten speziell [Euro]	Gaskosten speziell [Euro]	an/aus	Wärme- leistung [kW]	Spez. Gaskosten [Euro]	Spez. Gaskosten [Euro]	speziell vergütung [Ct/kWh]	Überschuss- einspeisung [kWh]	Überschuss- vergütung [Euro]	Verbrauch Kundennetz [kWh]	
290,75	0,00	290,75	65,58	0	1	1	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	61,31	2,39	83,92	1,46	80,69
290,75	65,58	225,17	59,98	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	83,92	2,24	83,92	1,88	58,08
290,75	125,56	165,19	53,52	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	95,48	2,06	95,48	1,97	46,52
290,75	179,07	111,68	43,61	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	99,53	1,88	99,53	1,67	42,47
290,75	222,68	66,07	35,42	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	102,03	1,74	102,03	1,78	39,97
290,75	258,10	32,65	-61,08	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	102,13	1,70	102,13	1,74	39,87
290,75	197,02	93,73	-80,47	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	99,73	1,59	99,73	1,58	42,27
290,75	116,55	174,20	-76,16	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	90,39	1,82	90,39	1,64	51,61
290,75	40,39	250,36	-73,58	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	33,18	3,86	50,63	1,77	50,63	0,90	91,37
290,75	0,00	290,75	-60,22	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	60,22	3,86	0,00	1,98	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-46,86	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	46,86	3,86	0,00	2,38	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-38,25	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	38,25	3,86	0,00	2,60	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-29,63	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	29,63	3,86	0,00	2,71	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-25,32	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	25,32	3,86	0,00	2,66	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-25,32	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	25,32	3,86	1,50	2,50	1,50	0,04	140,50
290,75	0,00	290,75	-26,62	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	26,62	3,86	1,03	2,44	1,03	0,53	120,35
290,75	0,00	290,75	-33,94	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	33,94	3,86	1,31	2,89	1,31	0,92	110,13
290,75	0,00	290,75	-41,69	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	41,69	3,86	1,61	3,74	1,61	0,46	129,74
290,75	0,00	290,75	-44,71	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	44,71	3,86	1,73	3,74	1,73	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-47,30	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	47,30	3,86	1,83	3,53	1,83	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-39,54	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	39,54	3,86	1,53	3,31	1,53	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-20,58	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	20,58	3,86	2,12	2,95	2,12	0,06	139,88
290,75	0,00	290,75	14,31	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	23,56	3,01	23,56	0,71	118,44
290,75	14,31	276,44	38,01	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	54,66	2,46	54,66	1,34	87,34

Simulation mit Werten der ersten Woche des Jahres: Der wärmegeführte Betrieb

stromgeführter Betrieb (mit Teillast)																		
Anlagenkomponenten																		
Puffer										BHKW								
Speicher- kapazität Ops.kap [kWh]	Füllstand Ops.st [kWh]	mögliche Beladung Ops.diff [kWh]	Be-/ Entladung Ops.lad [kWh]	Speicher voll	an/aus	Takten	Wärmebedarf + mögliche Pufferbeladung [kW]	Lastverhältnis Wärme [%]	Lastverhältnis Strom [%]	Verhältnis Strom bereinigt [%]	anzuwendendes Lastverhältnis [%]	Wärme- leistung Pbkw,th [kW]	Strom- leistung Pbkw,el [kW]	Wärme geordnet Pbkw,th [kW]	Strom geordnet Pbkw,el [kW]	spez. Gaskosten [€/kWh]	Gaskosten [Euro]	
290,75	0,00	290,75	-36,75	0	1	1	462	195	57	57	57	135	81	237	142	3,10	7,07	
290,75	0,00	290,75	-58,52	0	1	0	468	197	41	41	50	50	71	237	142	3,10	6,22	
290,75	0,00	290,75	-64,99	0	1	0	474	200	33	33	50	50	71	237	142	3,10	6,22	
290,75	0,00	290,75	-74,89	0	1	0	484	204	30	30	50	50	71	237	142	3,10	6,22	
290,75	0,00	290,75	-83,08	0	1	0	492	208	28	28	50	50	71	237	142	3,10	6,22	
290,75	0,00	290,75	-179,58	0	1	0	589	248	28	28	50	50	71	237	142	3,10	6,22	
290,75	0,00	290,75	-198,97	0	1	0	604	257	36	36	50	50	71	237	142	3,10	6,22	
290,75	0,00	290,75	-194,66	0	1	0	604	255	36	36	50	50	71	237	142	3,10	6,22	
290,75	0,00	290,75	-158,08	0	1	0	601	254	64	64	64	64	152	91	237	142	3,10	8,00
290,75	0,00	290,75	-60,22	0	1	0	588	248	101	101	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-46,86	0	1	0	575	242	127	127	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-38,25	0	1	0	566	239	147	147	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-29,63	0	1	0	557	235	150	150	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-25,32	0	1	0	553	233	126	126	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-27,83	0	1	0	553	233	99	99	99	99	234	140	237	142	3,10	12,31
290,75	0,00	290,75	-62,76	0	1	0	554	234	85	85	85	85	201	120	237	142	3,10	10,54
290,75	0,00	290,75	-87,13	0	1	0	562	237	78	78	78	78	184	110	237	142	3,10	9,65
290,75	0,00	290,75	-62,16	0	1	0	569	240	91	91	91	91	217	130	237	142	3,10	11,37
290,75	0,00	290,75	-44,71	0	1	0	572	242	114	114	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-47,30	0	1	0	575	243	128	128	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-39,54	0	1	0	567	239	116	116	100	100	237	142	237	142	3,10	12,44
290,75	0,00	290,75	-24,12	0	1	0	548	231	99	99	99	99	233	140	237	142	3,10	12,25
290,75	0,00	290,75	-25,02	0	1	0	513	217	83	83	83	83	198	118	237	142	3,10	10,38
290,75	0,00	290,75	-53,22	0	1	0	490	207	62	62	62	62	146	87	237	142	3,10	7,65

Simulation mit Werten der ersten Woche des Jahres: Der stromgeführte Betrieb (1)

an/aus	Kessel				Vergütung				Strom			
	Wärmeleistung Pkessel [kW]	spez. Gaskosten [€/kWh]	spez. Gaskosten [Euro]	Gaskosten	spez. Einspeisevergütung [€/kWh]	Einspeisevergütung	Kunden-Überschuss-einspeisung [kWh]	Kunden-Überschuss-einspeisung [Euro]	Kunden-Überschuss-einspeisung [kWh]	Kunden-Überschuss-einspeisung [Euro]	Verbrauch Kundennetz	Verbrauch Kundennetz
1	36,75	3,86	1,42	2,39	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,69	80,69
1	58,52	3,86	2,26	2,24	2,24	12,92	0,29	0,29	0,29	0,29	58,08	58,08
1	64,99	3,86	2,51	2,06	2,06	24,48	0,50	0,50	0,50	0,50	46,52	46,52
1	74,89	3,86	2,89	1,68	1,68	28,53	0,48	0,48	0,48	0,48	42,47	42,47
1	83,08	3,86	3,21	1,74	1,74	31,03	0,54	0,54	0,54	0,54	39,97	39,97
1	179,58	3,86	6,93	1,70	1,70	31,13	0,53	0,53	0,53	0,53	39,87	39,87
1	194,66	3,86	7,68	1,59	1,59	28,73	0,46	0,46	0,46	0,46	42,27	42,27
1	158,08	3,86	6,10	1,77	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,37	91,37
1	60,22	3,86	2,33	1,98	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	46,86	3,86	1,81	2,38	2,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	38,25	3,86	1,48	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	29,63	3,86	1,14	2,71	2,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	25,32	3,86	0,98	2,66	2,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	27,83	3,86	1,07	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	140,50	140,50
1	62,76	3,86	2,42	2,44	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,35	120,35
1	87,13	3,86	3,36	2,89	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	110,13	110,13
1	62,16	3,86	2,40	3,74	3,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	129,74	129,74
1	44,71	3,86	1,73	3,74	3,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	47,30	3,86	1,83	3,53	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	39,54	3,86	1,53	3,31	3,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,00	142,00
1	24,12	3,86	0,93	2,95	2,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	139,88	139,88
1	25,02	3,86	0,97	3,01	3,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	118,44	118,44
1	53,22	3,86	2,05	2,46	2,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,34	87,34

Simulation mit Werten der ersten Woche des Jahres: Der stromgeführte Betrieb (2)

stromorientierter Betrieb (in Volllast)																						
Anlagenkomponenten										Kessel					Strom							
Puffer			BHKW			Wärmeleistung				an/aus		Wärmeleistung		Gaskosten		an/aus		Vergütung		Kunden- und Überschusseinspeisung		
Speicher- kapazität [kWh]	Füllstand [kWh]	mögliche Beladung Ops.st [kWh]	Be-/ Entladung Ops.diff [kWh]	Speicher voll	Takten	Wärme- leistung Pbhkwh,th [kW]	Strom- leistung Pbhkwh,el [kW]	Wärme- leistung geordnet Pbhkwh,th [kW]	Strom geordnet Pbhkwh,th [kW]	spez. Gaskosten [Ct/kWh]	Gaskosten [Euro]	an/aus	Wärme- leistung Pkhessel [kW]	spez. Gaskosten [Ct/kWh]	Gaskosten [Euro]	an/aus	spez. Vergütung [Ct/kWh]	Überschuss- einspeisung [kWh]	Überschuss- einspeisung [kWh]	Einspeisevergütung [Euro]	Verbrauch Kunden- netz [kWh]	
290,75	0,00	290,75	65,58	0	1	237	142	237	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	0,00	0,00	2,39	61,31	1,46	80,69	0,00
290,75	65,58	225,17	-177,03	0	0	0	0	0	237	142	3,10	0,00	1	111,45	3,86	4,30	0,00	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00
290,75	0,00	290,75	-183,49	0	0	0	0	0	237	142	3,10	0,00	1	183,49	3,86	7,08	0,00	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00
290,75	0,00	290,75	-193,40	0	0	0	0	0	237	142	3,10	0,00	1	193,40	3,86	7,47	0,00	1,68	0,00	0,00	0,00	0,00
290,75	0,00	290,75	-201,58	0	0	0	0	0	237	142	3,10	0,00	1	201,58	3,86	7,78	0,00	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00
290,75	0,00	290,75	-298,09	0	0	0	0	0	237	142	3,10	0,00	1	298,09	3,86	11,51	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00
290,75	0,00	290,75	-317,47	0	0	0	0	0	237	142	3,10	0,00	1	317,47	3,86	12,26	0,00	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00
290,75	0,00	290,75	-73,58	0	1	237	142	237	142	3,10	12,44	0,00	1	73,58	3,86	2,84	0,00	1,77	50,63	0,90	0,00	91,37
290,75	0,00	290,75	-60,22	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	60,22	3,86	2,33	0,00	1,98	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-46,86	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	46,86	3,86	1,81	0,00	2,38	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-38,25	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	38,25	3,86	1,48	0,00	2,60	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-29,63	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	29,63	3,86	1,14	0,00	2,71	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-25,32	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	25,32	3,86	0,98	0,00	2,66	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-25,32	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	25,32	3,86	0,98	0,00	2,50	1,50	0,04	0,00	140,50
290,75	0,00	290,75	-26,62	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	26,62	3,86	1,03	0,00	2,44	21,65	0,53	0,00	120,35
290,75	0,00	290,75	-33,94	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	33,94	3,86	1,31	0,00	2,89	31,87	0,92	0,00	110,13
290,75	0,00	290,75	-41,69	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	41,69	3,86	1,61	0,00	3,74	12,26	0,46	0,00	129,74
290,75	0,00	290,75	-44,71	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	44,71	3,86	1,73	0,00	3,74	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-47,30	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	47,30	3,86	1,83	0,00	3,53	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-39,54	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	39,54	3,86	1,53	0,00	3,31	0,00	0,00	0,00	142,00
290,75	0,00	290,75	-20,58	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	1	20,58	3,86	0,79	0,00	2,95	2,12	0,06	0,00	139,88
290,75	0,00	290,75	14,31	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	0,00	0,00	3,01	23,56	0,71	0,00	118,44
290,75	14,31	276,44	38,01	0	1	0	237	142	237	142	3,10	12,44	0	0,00	3,86	0,00	0,00	2,46	54,66	1,34	0,00	87,34

Simulation mit Werten der ersten Woche des Jahres: Der stromorientierte Betrieb



theoretische Werte bei 100% BHKW Verfügbarkeit

	wärmegeführt	stromgeführt	stromorientiert
<b>Rahmenbedingungen</b>			
Vollbenutzungsstunden BHKW	5.532 Vbh/a	5.090 Vbh/a	4.419 Vbh/a
Anzahl Taktvorgänge jährlich	2.157	1.337	1.630
<b>Wärme</b>			
Wärmearbeit BHKW	1.311.012 kWh/a	1.206.365 kWh/a	1.047.226 kWh/a
Wärmearbeit Kessel	20.389 kWh/a	125.035 kWh/a	284.174 kWh/a
Anteil KWK-Wärme	98 %	91 %	79 %
Gaskosten Kessel	758 €/a	4.580 €/a	10.263 €/a
Gaskosten BHKW	39.531 €/a	36.316 €/a	31.564 €/a
Wartungskosten BHKW	7.714 €/a	10.353 €/a	6.162 €/a
Gesamtkosten Wärmeerzeugung	48.003 €/a	51.249 €/a	47.989 €/a
	3,72 Ct/kWh	3,66 Ct/kWh	3,61 Ct/kWh
	3,02 Ct/kWh	3,01 Ct/kWh	3,01 Ct/kWh
	0,59 Ct/kWh	0,86 Ct/kWh	0,59 Ct/kWh
	3,61 Ct/kWh	3,85 Ct/kWh	3,60 Ct/kWh
<b>Strom</b>			
Jahresstrombedarf Kundenanlage	830.000 kWh/a	830.000 kWh/a	830.000 kWh/a
Stromerzeugung BHKW	785.544 kWh/a	722.796 kWh/a	627.498 kWh/a
Kundenverbrauch des BHKW Stroms	545.348 kWh/a	664.072 kWh/a	508.943 kWh/a
Anteil Kundenverbrauch des BHKW Stroms	69 %	92 %	81 %
Überschusseinspeisung	240.196 kWh/a	58.724 kWh/a	118.555 kWh/a
Gaskosten BHKW	23.686 €/a	21.759 €/a	18.913 €/a
Wartungskosten BHKW	4.622 €/a	6.203 €/a	3.692 €/a
Gesamtkosten Stromerzeugung	28.309 €/a	27.962 €/a	22.606 €/a
	3,60 Ct/kWh	3,87 Ct/kWh	3,60 Ct/kWh
Erlöse Überschusseinspeisung	5.223 €/a	1.063 €/a	3.053 €/a
ermiederte Netznutzungsentgelte	2.402 €/a	587 €/a	1.186 €/a
KWK Zuschlag Einspeisung	15.393 €/a	3.763 €/a	7.598 €/a
Stromerlös Kundenanlage	43.628 €/a	53.126 €/a	40.715 €/a
KWK Zuschlag Kundennetz	16.668 €/a	20.296 €/a	15.555 €/a
Gesamterlöse Strom	83.313 €/a	78.836 €/a	68.107 €/a
Differenz Erlöse - Kosten	55.004 €/a	50.874 €/a	45.501 €/a
	7,00 Ct/kWh	7,04 Ct/kWh	7,25 Ct/kWh
	3,02 Ct/kWh	1,81 Ct/kWh	2,58 Ct/kWh
	0,59 Ct/kWh	1,00 Ct/kWh	1,00 Ct/kWh
	3,60 Ct/kWh	6,41 Ct/kWh	6,41 Ct/kWh
	8,00 Ct/kWh	8,00 Ct/kWh	8,00 Ct/kWh
	3,06 Ct/kWh	3,06 Ct/kWh	3,06 Ct/kWh
	10,61 Ct/kWh	10,91 Ct/kWh	10,85 Ct/kWh

Ausgabe zur Darstellung und zum Vergleich der Betriebsweisen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit (1)

Berücksichtigung einer BHKW Verfügbarkeit von 92%

Rahmenbedingungen	wärmegeführt	stromgeführt	stromorientiert	
<b>Wärme</b>	Vollbenutzungsstunden BHKW Anzahl Taktvorgänge jährlich Wärme BHKW Wärme Kessel Anteil KWK-Wärme Gaskosten Kessel Gaskosten BHKW Wartungskosten BHKW Gesamtkosten Wärmeerzeugung	5.089 Vbh/a 1.984 1.206.131 kWh/a 125.269 kWh/a 91 % 4.657 €/a 36.368 €/a 7.097 €/a 48.122 €/a 3,72 Ct/kWh 3,02 Ct/kWh 0,59 Ct/kWh 3,61 Ct/kWh	4.683 Vbh/a 1.230 1.109.856 kWh/a 221.544 kWh/a 83 % 8.115 €/a 33.411 €/a 9.524 €/a 51.050 €/a 3,66 Ct/kWh 3,01 Ct/kWh 0,86 Ct/kWh 3,83 Ct/kWh	4.065 Vbh/a 1.500 963.448 kWh/a 367.952 kWh/a 72 % 13.288 €/a 29.039 €/a 5.669 €/a 47.997 €/a 3,61 Ct/kWh 3,01 Ct/kWh 0,59 Ct/kWh 3,60 Ct/kWh
<b>Strom</b>	Jahresstrombedarf Kundenanlage Stromerzeugung BHKW Kundenverbrauch des BHKW Stroms Anteil Kundenverbrauch des BHKW Stroms Überschusseinspeisung Gaskosten BHKW Wartungskosten BHKW Gesamtkosten Stromerzeugung Erlöse Überschusseinspeisung verminderte Netznutzungsentgelte KWK Zuschlag Einspeisung Stromerlös Kundenanlage KWK Zuschlag Kundennetz Gesamterlöse Strom Differenz Erlöse- Kosten	830.000 kWh/a 722.700 kWh/a 501.720 kWh/a 69 % 220.980 kWh/a 21.791 €/a 4.252 €/a 26.044 €/a 4.805 €/a 2.210 €/a 14.161 €/a 40.138 €/a 15.334 €/a 76.648 €/a 50.804 €/a 7,00 Ct/kWh 0,59 Ct/kWh 3,60 Ct/kWh 3,02 Ct/kWh 0,59 Ct/kWh 3,60 Ct/kWh 3,02 Ct/kWh 1,17 Ct/kWh 1,00 Ct/kWh 6,41 Ct/kWh 8,00 Ct/kWh 3,06 Ct/kWh 10,61 Ct/kWh 7,00 Ct/kWh	830.000 kWh/a 664.972 kWh/a 610.946 kWh/a 92 % 54.027 kWh/a 20.018 €/a 5.707 €/a 25.725 €/a 978 €/a 540 €/a 3.462 €/a 48.876 €/a 18.673 €/a 72.529 €/a 46.804 €/a 7,04 Ct/kWh 3,01 Ct/kWh 0,86 Ct/kWh 3,87 Ct/kWh 1,81 Ct/kWh 1,00 Ct/kWh 6,41 Ct/kWh 8,00 Ct/kWh 3,06 Ct/kWh 10,91 Ct/kWh 7,04 Ct/kWh	830.000 kWh/a 577.298 kWh/a 468.228 kWh/a 81 % 109.070 kWh/a 17.400 €/a 3.397 €/a 20.797 €/a 2.809 €/a 1.091 €/a 6.990 €/a 37.458 €/a 14.311 €/a 62.698 €/a 41.861 €/a 7,25 Ct/kWh 3,01 Ct/kWh 0,59 Ct/kWh 3,60 Ct/kWh 2,58 Ct/kWh 1,00 Ct/kWh 6,41 Ct/kWh 8,00 Ct/kWh 3,06 Ct/kWh 10,85 Ct/kWh 7,25 Ct/kWh
<b>Summe</b>	Differenz Stromerlöse - Stromkosten - Wärmekosten Differenz: wärmegeführt als Referenz Index: wärmegeführt entspricht: 100%	2.482 €/a 0 €/a 100%	-6.136 €/a -8.618 €/a 83%	
<b>BHKW</b>	Modul Fabrikat el. Leistung th. Leistung Feuerungseistung el. Wirkungsgrad th. Wirkungsgrad Gesamtwirkungsgrad Pufferspeicher	GG 140 Sokratherm 142 kW 237 kW 402 kW 35,3% 59,0% 94,3% 10,0 m³		
<b>Kessel</b>	Wirkungsgrad max. Leistung (abhängig vom BHKW Betrieb) max. Wärmeleistung Gesamt	96% 84 kW 341 kW	211 kW	330 kW

Ausgabe zur Darstellung und zum Vergleich der Betriebsweisen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit (2)



## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Bremert

Vorname: Simon

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Simulation von Wärme- und Stromlastgängen von Gebäuden in der Wohnungswirtschaft zur Analyse und Optimierung der Betriebsweisen von Blockheizkraftwerken

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

*- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -*

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

07.03.2016

Datum

S. Bremert

Unterschrift im Original