

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Science

# **Erhöhung der Stromeigennutzung bei wärmegeführten KWK-Anlagen durch Pufferspeicher**

**Bachelor Thesis**

Im Studiengang Umwelttechnik

Vorgelegt von

**Walied Moustafa**

Matrikelnummer: 2000938

Hamburg den 7.5.2014

Gutachter:

Prof. Dr. Armin Gregorzewski  
Dipl. Ing. (FH) Torge Gummels

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	4
2	Zielsetzung .....	7
3	Theoretischer Hintergrund.....	8
3.1	KWK-Anlagen .....	8
3.2	Wärmespeicher.....	9
3.3	KWK Gesetz.....	11
4	Auswertung der Marktsituation .....	13
4.1	Daten Erhebung.....	13
4.2	Konventionelle wärmegeführte Steuerung.....	13
4.3	Nulllastregelung .....	14
4.4	Netzbezugsregelung mit Berücksichtigung der Wärmeseite .....	14
4.5	Regelung nach Zeitschema.....	15
4.6	Benutzerspezifische Steuerungen .....	15
4.7	Marktsituation .....	16
5	Anforderungen an eine Steuerung .....	18
5.1	Grundlegendes .....	18
5.2	Verhalten der Steuerung.....	20
6	Auslegung Pufferspeicher .....	22
6.1	Randbedingungen der Berechnung .....	22
6.1.1	Zweck der Randbedingungen .....	22
6.1.2	Pufferspeicher .....	22
6.1.3	Wärmeverluste .....	22
6.1.4	BHKW .....	22
6.1.5	Steuerung.....	23
6.1.6	Heizkreise .....	23
6.1.7	Lastgänge.....	23
6.2	Funktionsweise des Tools .....	23
6.3	Überprüfung der Richtigkeit des Tools .....	31

7	Anwendung des tools auf Beispiele und Auswertung .....	35
7.1	Veranschaulichung des Berechnungsverlaufes .....	36
7.1.1	Wärmeseitige Regelung.....	36
7.1.2	Stromseitige Regelung .....	38
7.2	Beispielhaftes Projekt Schlachthof .....	41
7.3	Beispielhaftes Projekt Wäscherei.....	46
7.4	BHKWs höherer Leistungsklassen.....	50
7.5	Generelle Aussagen .....	52
8	Fazit .....	54
9	Literaturverzeichnis.....	55
10	Abbildungsverzeichnis .....	56
11	Tabellenverzeichnis.....	56

## ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit wurde der Einfluss von Pufferspeichern und BHKW-Steuerungen auf den BHKW-Betrieb untersucht. Hierzu wurde zuerst eine Auswertung der Marktsituation bezüglich der angebotenen BHKW-Steuerungsvarianten durchgeführt. Überlegungen zu der Verbesserung von BHKW-Steuerungen wurden angestellt und ein Steuerungsmodell, welches eine Maximierung der Eigennutzung des selbstproduzierten Stroms zum Ziel hat, vorgestellt.

Zur Überprüfung des Einflusses von unterschiedlichen Pufferspeichergrößen und den Steuerungen wurde ein MS Excel Tool geschaffen. Dieses führt anhand von BHKW- Daten sowie den Strom- und Wärmelastgängen der Betrachtungsobjekte eine Laufzeitsimulation für das BHKW durch und berechnet Werte wie z.B. Strom- und Wärmeproduktion, Strom-Eigennutzung oder Stromeinspeisung für unterschiedliche Pufferspeicherkapazitäten.

Das Ergebnis der Arbeit ist, dass durch die Wahl größerer Pufferspeicher eine höhere Rate an selbstproduzierter, eigenverbraucher Wärme sowie selbstproduziertem, eigenverbrauchtem Strom erreicht werden kann. Zu der Wahl der Steuerung konnte keine allgemeingültige Aussage getroffen werden. Eine Primärenergieeinsparung durch die Verwendung von Pufferspeichern ist immer gegeben.

# 1 EINFÜHRUNG

---

Im Zuge der Ressourcenverknappung und der zunehmenden Belastung unserer Atmosphäre mit sogenannten klimaschädlichen Gasen gewinnt der effiziente Einsatz von Primärenergie immer mehr an Bedeutung.

Die Reduktion von CO<sub>2</sub> Emissionen und die Steigerung der Energieeffizienz, ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Schlagzeilen die Erneuerbaren Energien betreffend finden sich in vielen Tageszeitungen, deutlich weniger bekannt ist der breiten Öffentlichkeit die Kraft-Wärme-Kopplung, auch als KWK abgekürzt.

Sie gilt als einer der großen Hoffnungsträger mit viel ungenutztem Potential. KWK-Anlagen wandeln den eingesetzten Primärenergieträger in elektrische Energie und Wärme um. Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken steht die Nutzung beider Energieformen im Vordergrund. Wärme und Strom werden gezielt abgeführt und für andere Prozesse zur Verfügung gestellt [1].

Bei konventionellen Kohlekraftwerken (um ein Beispiel zu nennen) entsteht bei der Stromerzeugung auch Wärme, ein Großteil wird jedoch an die Umwelt abgeführt und nicht weiter genutzt.

Mit einem Gesamtwirkungsgrad von bis zu 90 % (bei Einsatz von KWK-Anlagen mit Brennwertechnik kann der Wirkungsgrad bei bis zu 105 % bezogen auf den Heizwert des Energieträgers liegen) lassen sich mit KWK-Anlagen im Vergleich zur getrennten Strom- und Wärmeerzeugung, Primärenergieeinsparungen von bis zu 25 % erzielen [2].

Im Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz wurde als Ziel für das Jahr 2020 formuliert, 25 % der Stromerzeugung in Deutschland durch KWK-Anlagen zu realisieren [3]. Dies zeigt welches hohe Potential, bezogen auf Energieeinsparung, die Bundesregierung in KWK sieht. Um dieses Ziel zu erreichen werden diverse staatliche und regionale Förderungen angeboten, um Anreize für die Investition in KWK-Anlagen zu schaffen.

Der sich daraus ergebende derzeitige Zubau von Blockheizkraftwerken (BHKW) ist mit Abstand der größte Anteil (bezogen auf die Anzahl) der in Betrieb genommenen Anlagen im

Herbst der Jahre 2011 und 2012 [4]. BHKWs sind Anlagen welche das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung nutzen. Die häufig mit Erdgas betriebenen BHKWs bedeuten allein aufgrund des eingesetzten Primärenergieträgers gegenüber Kohlekraftwerken eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion. Hinzu kommt dann noch der KWK-Effekt, welcher zusätzliche Reduktionen nach sich zieht [1].

CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen reichen allerdings nur in den seltensten Fällen als alleiniges Argument für die Investition in BHKWs. Vielmehr ist die Wirtschaftlichkeit einer Anlage der wichtigste Parameter bei unternehmerischen Investitionsvorhaben.

Die Wirtschaftlichkeit wird einerseits durch effiziente Komponenten und deren Kosten bestimmt, andererseits entscheidend durch eine sorgfältige Auslegung, basierend auf dem Wärme- und Stromlastgang des zu betrachtenden Unternehmens, beeinflusst.

Der Betrieb eines BHKWs ermöglicht die Eigenproduktion von Strom und Wärme zur gleichen Zeit. Allerdings ist die gleichzeitige Notwendigkeit für Wärme und Strom in dem vom BHKW zur Verfügung gestellten Verhältnis unwahrscheinlich. Meist wird nur eines von beiden in hohem Maße benötigt. Ein Verlust der zur Verfügung stehenden Energie ist jedoch unwirtschaftlich und ärgerlich.

Die Planung eines BHKWs bezieht immer die Fragestellung ein, ob die Anlage wärmeseitig oder stromseitig ausgelegt wird. Normalerweise wird wärmeseitig geplant und der Strom so gut es geht genutzt. Der nicht genutzte Anteil kann in das Stromnetz eingespeist werden [5].

Wird das BHKW wärmegeführt betrieben, so entsteht keine Überproduktion an Wärme [5]. Die Vergütung für eingespeisten überschüssigen Strom in das öffentliche Stromnetz ist jedoch gering, verglichen mit dem Strom-Einkaufspreis.

Die Speicherung von Strom ist schwierig. Als direkte Speicherung, z.B. in Spulen und Kondensatoren, sind lediglich kleine Mengen, dafür bei hohem Wirkungsgrad (ca.90 %) realisierbar. Indirekt, z.B. in Form von chemischen Bindungen, der Trennung chemischer Bindungen, Schwungmasse oder potentieller Höhenenergie, sind höhere Energiemengen speicherbar. Problematisch ist hier jedoch der teils geringe Wirkungsgrad und der erhebliche Platzbedarf des Speichers. Pumpspeicherkraftwerke zum Beispiel können hohe

Energiemengen speichern, benötigen dafür allerdings große Flächen bzw. Volumina und sind somit für Kleinprojekte nicht nutzbar [6] [7].

Wesentlich einfacher ist die sensible Wärmespeicherung. Schichtspeicher Systeme mit Wasser als Speichermedium eignen sich gut um Wärme bei Temperaturniveaus bis ca. 100 °C zu speichern. Diese Technik ist gut erforscht und wirtschaftlich [8] [9].

Die in dieser Studie erarbeiteten Zusammenhänge und Erkenntnisse sollen Planer bei der Auslegung von BHKWs und insbesondere der Pufferspeichergröße unterstützen.

## 2 ZIELSETZUNG

---

Gemeinhin werden BHKWs wärmegeführt ausgelegt und Pufferspeichergößen pauschal gewählt.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwiefern eine möglichst hohe Abdeckung des Strombedarfes durch ein BHKW, ohne eine Überproduktion an Wärme, zu realisieren ist. Hierfür sind das Zwischenspeichern von Wärme, z.B. in einem Schichtpufferspeicher, und die entsprechende Regelungseinheit nötig.

Die Vermutung, dass die Eigennutzungsrate des Stroms durch größere Pufferspeicher als gebräuchlich gesteigert werden kann, soll bestätigt oder widerlegt werden.

Dabei entstehen drei Fragen:

- Welchen Anforderungen unterliegt eine Steuerung welche diese Regelung realisiert? Und sind entsprechende Modelle bereits auf dem Markt verfügbar?
- Welche Kapazität muss der Pufferspeicher, in Abhängigkeit von dem individuellen Strom- und Wärmebedarf eines Unternehmens, haben?
- Ist das konventionelle Modell der reinen Wärmeauslegung wirklich schlechter?

Zunächst soll daher ein Überblick über die am Markt verfügbaren Regelungsmodelle sowie später ein Ausblick, welche Regelung sinnvoll erscheint, gegeben werden.

Für die individuelle Dimensionierung des Speichers soll ein Excel-Tool geschaffen werden, in welchem die Lastgänge und weiteren Parameter von Projekten eingegeben werden können. Durch das wiederholte Durchlaufen eines Jahres mit inkrementellen Pufferspeichergößen und den eingegebenen Parametern werden BHKW Laufzeiten simuliert und Parameter berechnet. Diese Daten sollen als Hilfestellung bei der Dimensionierung des Pufferspeichers fungieren.

Des Weiteren werden eine Auswertung und der Vergleich von Projekten verschiedener Branchen durchgeführt.



## 3 THEORETISCHER HINTERGRUND

---

### 3.1 KWK-ANLAGEN

„Definition:

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer und thermischer Nutzenergie aus anderen Energieformen mittels eines thermodynamischen Prozesses in einer technischen Anlage.“ [10]

Die Erzeugung von Wärme und Kraft kann durch die Auskopplung von Kraft aus dem Prozess der Wärmeerzeugung, oder umgekehrt durch die Auskopplung von Wärme aus dem Prozess der Stromerzeugung erfolgen.

Blockheizkraftwerke welche mittels Otto- oder Dieselmotoren in der Lage sind mechanische Arbeit abzugeben aber auch Wärme zur Verfügung zu stellen, sind somit Kraft-Wärme gekoppelte Anlagen. Die durch Kühlung des Motors anfallende Wärme wird aus den Kühleinheiten durch Wärmetauscher entnommen und kann für andere Anwendungen genutzt werden. Der Erlass des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes im April 2002 und die damit einhergehende besondere Subventionierung von BHKWs im Leistungsbereich bis 50 kW<sub>el</sub> führte zu einem verstärkten Zubau von Anlagen dieses Leistungsbereiches. Üblicherweise sind diese Kraftwerke öl- oder gasgetrieben (meist Erdgas, möglich sind jedoch auch Flüssig-, Bio-, Deponiegas etc.) [5].

Die Auslegung von KWK-Anlagen erfolgt häufig wärmeseitig.

Der Wärmebedarf eines Gebäudes bzw. der zu versorgenden Einheit ist aufzuteilen in Heizwärme und Prozesswärme. Der Prozesswärmebedarf wird durch innerbetriebliche Abläufe bestimmt und ist somit meist gut im Voraus abzuschätzen. Der Heizwärmebedarf ist abhängig von den Außentemperaturen. Eine exakte Vorhersage ist daher schwierig.

Je höher also das Verhältnis  $\frac{\text{Prozesswärmebedarf}}{\text{Heizwärmebedarf}}$  desto besser lässt sich der Gesamtwärmebedarf abschätzen.

Aufgrund der Notwendigkeit von hohen Laufzeiten für das BHKW (bei klassischer Auslegung) aus kaufmännischer Sicht, wird meist zusätzlich ein Spitzenlastkessel installiert. Dieser soll einerseits die Versorgungssicherheit erhöhen, andererseits den Spitzenwärmebedarf z.B. an

sehr kalten Wintertagen abdecken. Das BHKW wird nur für einen Teil des Gesamtbedarfes ausgelegt und kann die Grundwärmeversorgung übernehmen, was zu einer hohen Volllaststundenzahl führt [5].

### 3.2 WÄRMESPEICHER

Das Speichern von Strom ist, wie in der Einführung angesprochen, aufwendig.

Einfacher ist die sogenannte sensible Wärmespeicherung. Hier soll betont werden, dass nicht die Wärme an sich gespeichert wird. Vielmehr erfährt ein Medium eine Temperaturerhöhung, die möglichst bis zu einem späteren Zeitpunkt beibehalten wird, um dann durch eine Temperaturniedrigung die Energie freizugeben.

Produzierte Wärme wird also genutzt um in einem Pufferspeicher das Speichermedium auf eine erhöhte Temperatur zu bringen und somit die Nutzung zu einem späteren Zeitpunkt zu ermöglichen [9].

Im Falle von BHKW-Anlagen welche zur Unterstützung der Heizanlage und prozesswärmeseitig nur für Warmwasserproduktion ausgelegt sind, wird in der Regel mit Niedertemperaturspeicher (Speicherhöchsttemperatur unter 100 °C) und Wasser als Speichermedium gearbeitet.

Zur Charakterisierung von Speichern kann die Speicherkapazität  $Q_{max}$  genutzt werden. Sie ist die Energie, die ein Speicher pro Ladezyklus maximal aufnehmen (bzw. ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste abgeben) kann. Ein Ladezyklus beginnt mit der Beladung, fährt mit der Speicherung fort und endet mit der Entladung des Speichers.

Die Speicherkapazität berechnet sich aus der spezifischen Wärmekapazität  $c$  und der Masse  $m$  des Speichermediums sowie aus der möglichen Temperaturänderung  $\Delta T$  zwischen minimaler Temperatur (meist durch die Umgebungstemperatur und Heizkreise vorgegeben) und der maximal zulässigen Temperatur des Speichers. Hierbei werden Wärmeverluste an die Umgebung nicht berücksichtigt.

$$Q_{max} = m \times c \times \Delta T$$

Die Kapazität des Speichers ist häufig ein begrenzender Faktor für die Vollbenutzungsdauer Heizanlage.

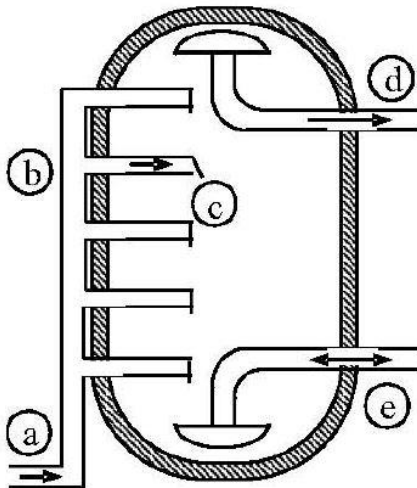
Auch die Be- und Entladeleistung des Speichers ist eine wichtige Eigenschaft, die angibt wie schnell die Be- oder Entladung erfolgen kann. Sie stellt die abgegebene Wärme pro Zeit, also den Wärmestrom dar [9].

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$

Eine besondere Form der sensiblen Wärmespeicher sind die Schichtspeicher welche das Verdrängungsprinzip und die Unterschiede der Dichte von Wasser je nach Temperatur nutzen.

Das Wasser wird je nach Temperatur in unterschiedlicher Höhe in einen zylindrischen, aufrecht stehenden Speicher geleitet (siehe Abbildung 1). Das gleiche Volumen an kaltem Wasser wird aus dem Speicher verdrängt. Aufgrund der Dichteunterschiede des unterschiedlich temperierten Wassers entstehen unterschiedliche Temperaturzonen innerhalb des Speichers. Das Wasser mit höchster Temperatur und niedrigster Dichte befindet sich ganz oben im Speicher. Niedrigste Temperaturen und höchste Dichte sind am Speicherboden zu finden. Die Wärmeabnahme findet im oberen Teil des Speichers statt. Eine Durchmischung der Zonen wird durch geeignete Be- und Entladesysteme vermieden [11].

Vorteilhaft an diesem System ist die Bereitstellung von Energie auf hohem Temperaturniveau. Dies ermöglicht eine einfachere Nutzung der thermischen Energie verglichen mit niedrigen Temperaturniveaus.



- a: Einspeicherung von Warmwasser aus solarthermischer Anlage
- b: Verteiler mit unterschiedlichen Auslässen
- c: Einspeisung bei entsprechender Temperatur (Dichtegleichheit)
- d: Ausspeicherung
- e: Einspeisung bzw. Verdrängung von kaltem Wasser

**Bild 17.11:**  
Prinzip des Schichtenspeichers für solarthermische Anwendungen

Abbildung 1 Funktionsweise Schichtenspeicher Quelle: Zahoransky et al.. (2010). *Energietechnik 5. Auflage*, Vieweg+Teubner Verlag, Bild 17.11

### 3.3 KWK GESETZ

„§1 Zweck des Gesetzes

Zweck des Gesetzes ist es, im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung einen Beitrag zur Erhöhung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung in der Bundesrepublik Deutschland auf 25 Prozent bis zum Jahr 2020 durch die Förderung der Modernisierung und des Neubaus von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen)[...]“ [3]

Das „Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“ hat zum Ziel finanzielle Anreize zu bieten, welche den Zubau von KWK-Anlagen fördern sollen. Die Vergütung sowie Annahme des durch KWK-Anlagen erzeugten Stroms, sofern die Anlagen den Bestimmungen des KWK-Gesetzes entsprechen, wird durch das Gesetz geregelt. So werden Netzbetreiber zur vorrangigen Stromabnahme und Vergütung verpflichtet. Zusätzlich zu der durch den Anlagenbetreiber und Netzbetreiber vereinbarten Vergütung (alternativ dem durchschnittlichen Grundlaststrompreis an der Leipziger Strombörse EEX), erhält der Anlagenbetreiber einen Zuschlag. Die Höhe des Zuschlags ist abhängig von der Leistung der KWK-Anlage und wird auch für selbstgenutzten Strom gezahlt. Der gesamte produzierte Strom wird also bezuschusst. Die Dauer der Zuschüsse liegt wahlweise bei 10 Jahren oder 30000 Vollbenutzungsstunden. Ihre Höhe bemisst sich an

der elektrischen Leistung des Kraftwerkes. Bis 50 kW werden  $5,41 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$ , ab 50 kW bis 250 kW  $4 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  und ab 250 kW  $2,4 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$  gezahlt. Die Leistungsanteile werden jedoch entsprechend ihrer Leistungsklasse vergütet.

Als Beispiel:

- 70 kW<sub>el</sub> mit einer Stunde Laufzeit bedeuten  $50 \text{ kWh} \times 5,41 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}} + 20 \text{ kWh} \times 4 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$
- 270 kW<sub>el</sub> mit einer Stunde Laufzeit ergeben  $50 \text{ kWh} \times 5,41 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}} + 200 \text{ kWh} \times 4 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}} + 20 \times 2,4 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$

Ebenso kann unter bestimmten Voraussetzungen der Bau von Wärmespeichern bezuschusst werden [3].

## 4 AUSWERTUNG DER MARKTSITUATION

---

### 4.1 DATEN ERHEBUNG

Die Darstellung der aktuellen Marktsituation der Regelungsmodule verschafft einen Überblick über die aktuell angebotene Technik im Bereich bis ca. 400kW elektrisch (Gasbetriebene BHKWs). Eine grobe Orientierung, welchen Möglichkeiten vorhanden sind und vielleicht künftig zu erwarten sind, wird so gegeben. Darauf aufbauend sollen Überlegungen zu einer wünschenswerten Regelung, im Sinne erhöhter Wirtschaftlichkeit, Ressourceneinsparung sowie Dezentralisierung angestellt werden.

Zur Ermittlung des Angebotes wurde meist das persönliche Gespräch mit dem Technical Support einschlägiger BHKW-Hersteller und Steuerungssystem-Entwicklern gesucht. In zwei Fällen wurden ausschließlich die technischen Planungsunterlagen genutzt (Buderus und Wolf GmbH).

Im Folgenden sollen die ermittelten Steuerungsvarianten erläutert werden.

### 4.2 KONVENTIONELLE WÄRMEGEFÜHRTE STEUERUNG

Die bisher gängigste Art der Steuerung von wärmegeführten BHKWs ist der rein wärmegeführte Betrieb. Er ergibt sich durch das An- oder Abschalten des Kraftwerks abhängig von zwei Temperaturfühlern im Pufferspeicher oder Zu- und Rücklauf.

Wird eine vorgegebene Temperatur in Fühlerhöhe, im oberen Pufferspeicherbereich, unterschritten, so wird das BHKW aktiviert. Es läuft dann bis eine vorgegebene Temperatur im unteren Pufferspeicherbereich erlangt wird. Danach wird das Kraftwerk abgeschaltet.

Bei dieser Art von Regelung wird lediglich die Wärmeseite betrachtet, völlig unabhängig von dem Strombedarf. Eine Verfügbarkeit des selbst produzierten Stroms (Eigenstrom) zu Zeiten, in denen auch tatsächlich ein Strombedarf im Betrieb besteht, ist daher dem Zufall überlassen.

Inzwischen gibt es jedoch auch Neuerungen im BHKW-Regelungsbereich, wie z.B. die Netzbezugsregelung (siehe Abschnitt 4.4) (Auskunft Firma Sokratherm, 2014) [12].

### 4.3 NULLLASTREGELUNG

Die Nulllastregelung ist eine klassische stromgeführte Variante der BHKW-Regelung. Sie verhindert den Betrieb des BHKWs für den Fall, dass kein Strombedarf vorliegt. Sobald die Regelung über ein Signal einen Strombezug detektiert, wird das Kraftwerk gestartet. Dies geschieht unabhängig von dem Wärmebedarf. Somit muss eine Rückkühlung vorgesehen werden welche die erzeugte Wärme abführt und eine Überhitzung der Anlage vermeidet (Auskunft Firma Sokratherm, 2014).

Die Idee der Kraftwärmekopplung ist hier nur eingeschränkt umgesetzt, daher fallen Anlagen solcher Art mit einem Jahres- oder Monatsgesamtwirkungsgrad unter 70% nicht unter das KWK-Gesetz. Somit entfallen Steuerentlastungen nach dem Energiesteuergesetz [13].

### 4.4 NETZBEZUGSREGELUNG MIT BERÜCKSICHTIGUNG DER WÄRMESSEITE

Bei der Netzbezugsregelung wird ab einem festgelegten stromseitigen Leistungsbedarf das BHKW gestartet. Fällt der Leistungsbedarf unter einen definierten Wert, schaltet sich das Kraftwerk ab. Der Strombedarf wird so durch Eigenstromproduktion gezielt bedient. Allerdings unterscheidet sich diese Art von Regelung von der Nulllastregelung durch die Berücksichtigung der Wärmeseite. Die entstehende Wärme wird in einem Pufferspeicher zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt genutzt. Für den Fall, dass der Pufferspeicher maximal erwärmt ist, lässt die Regelung den Betrieb des BHKWs nicht zu. Abhängig von dem Anbieter der Regelung können ebenfalls Zeiten definiert werden, zu denen das BHKW nicht eingeschaltet werden darf. Das BHKW hat eine Mindestlaufzeit sobald es angestellt wurde. So soll vermieden werden es für zu kurze Zeitintervalle zu betreiben. Treten in einem Betrieb, z.B. über Nacht, kurzzeitige Stromspitzen auf, würde durch die Zeitsteuerung ein ineffizientes Anspringen des BHKWs unterdrückt werden (Auskunft Firma KW energie, 2014).

Zu beachten ist, dass die Bezeichnungen nicht einheitlich sind und bei einigen Unternehmen mit der Netzbezugsregelung die Nullbezugsregelung gemeint ist.

## 4.5 REGELUNG NACH ZEITSHEMA

Ebenfalls angeboten wird die Regelung nach Zeitschemata. Zeiten in denen Energie benötigt wird werden im Voraus festgelegt. Das BHKW wird nach diesem Zeitplan angesteuert [14].

## 4.6 BENUTZERSPEZIFISCHE STEUERUNGEN

Es besteht die Möglichkeit eine Regelung spezifisch für den gewünschten Anwendungsfall zu programmieren z.B. als speicherprogrammierbare Steuerung (SPS).

Der Vorteil besteht in der beliebig hohen Zahl an nutzbaren Parametern und einem auf den Bedarfsfall zugeschnittenen Verhalten der Regelung.

Der Nachteil sind die erhöhten Kosten, die zwangsläufig durch den Mehraufwand gegenüber einem Standardmodul entstehen (Auskunft Firma Alfred Kuhse GmbH, 2014).



## 4.7 MARKTSITUATION

Die folgende Tabelle zeigt die Angebote der betrachteten Marktteilnehmer.

Tabelle 1 Modelle am Markt

Unternehmen	wärmegeführte Steuerung	Nulllastregelung	Netzbezugregelung	Zeitschema	Benutzer-spezifisch
Mephisto	✓	✓	✓		
Sokratherm	✓	✓			
KW Energie	✓	✓	✓	✓	
Giese	✓		✓		
ESS Energie Systeme	✓	✓	✓	✓	✓
Vissmann	✓				
Buderus	✓	✓			
Wolf	✓	✓		✓	
Lichtblick	✓				
Alfred Kuhse					✓
Phoenix Contact					✓

Die rein wärmegeführte Steuerung ist bei jedem BHKW-Hersteller verfügbar und wird im klein- und mittelständischen Bereich normalerweise auch verbaut.

Für den Inselbetrieb ist die Nulllastregelung nötig. Ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz oder sonstige Abnehmer, muss die Überproduktion von Strom vermieden werden. Dies wird durch die Nulllastregelung als rein stromgeführte Steuerung sichergestellt. Auch bei öffentlichen (staatlichen) Projekten, bei denen vorgegebenermaßen kein Strom eingespeist werden darf, wird die Nulllastregelung eingesetzt. Sie ist ebenfalls bei mehreren Herstellern verfügbar.

Die Netzbezugsregelung mit Berücksichtigung der Wärmeseite ist lediglich bei Mephisto, KW Energie und Giese vorgesehen. Auch wenn andere Hersteller eine ähnliche stromseitige Regelung zur Verfügung stellen, fehlt dabei jedoch stets die Berücksichtigung des Pufferspeichers womit Rückkühler nötig werden würden.

Benutzerspezifische Steuerungen können von spezialisierten Unternehmen erstellt und an den jeweiligen Bedarf angepasst werden. Im Portfolio der BHKW Hersteller werden diese jedoch nicht geführt.

## 5 ANFORDERUNGEN AN EINE STEUERUNG

---

### 5.1 GRUNDLEGENDES

Im Sinne der Dezentralisierung und der Steigerung der Gesamteffizienz ist eine möglichst hohe Eigennutzung der bereitgestellten Energie anzustreben. Dies bedeutet für den Unternehmer vermutlich eine direkte Kostenreduktion sowie CO<sub>2</sub> Emissions-Ersparnis.

Nachfolgend soll eine BHKW-Steuerungsvariante vorgeschlagen werden, durch die eine möglichst hohe Eigennutzung des selbstproduzierten Stroms realisiert werden soll.

Um den Bedarf an Strom mit Eigenstrom bestmöglich zu decken, ist eine bewusste BHKW-Führung in Abhängigkeit des Strombezuges nötig. Wichtig dabei ist die permanente Überwachung des Pufferspeichers. Eine Rückkühlung des BHKWs soll vermieden werden, da dies dem Gedanken der Kraftwärmekopplung widerspricht.

Aus dieser Vorüberlegung ergeben sich also die laufend zu überprüfenden Parameter:

- Strombedarf
- Pufferspeicherbeladung
- Jahreszeit

Liegt ein Strombedarf an sollte das BHKW laufen, solange der Strombedarf eine gewisse Grenze überschreitet. Die untere Grenze sollte im Bereich der Regelbarkeit des BHKWs liegen, eine Überproduktion also vermieden werden.

Zur Verdeutlichung:

Hat das Kraftwerk 50 kW<sub>elektrisch</sub> und lässt sich im Teillastbetrieb auf 30 kW<sub>elektrisch</sub> begrenzen so läge die minimale Strombedarfsgrenze bei 30 kW, welche für den Betrieb des BHKWs erreicht werden müssten. Das Kraftwerk würde seinen Betrieb ab einem Bedarf von 30 kW<sub>el</sub> aufnehmen.

Die Beladung des Pufferspeichers ist laufend zu prüfen. Ist er vollständig geladen, so muss ein Betrieb des BHKWs vermieden werden.

Auch die Jahreszeit bzw. die Außentemperatur ist entscheidend. Im Sommer ist keine Heizanforderung zu erwarten. Wird für den betrieblichen Ablauf keine Prozesswärme benötigt, sollte eine unnötige Beladung des Pufferspeichers vermieden werden.

Für Betriebe in denen zu festgelegten Zeiten immer wiederkehrende Stromlastspitzen vorhanden sind, ist die Festlegung eines Zeitfensters (im Folgenden Prioritätszeitfenster genannt), in welchen das BHKW laufen soll, sinnvoll. Häufig produziert das Kraftwerk zu diesem Zeitpunkt mehr Wärme als benötigt. Daraus ergibt sich ein weiteres Zeitfenster (im Folgenden Vor-Prioritätszeitfenster genannt), in welchem eine Entladung des Pufferspeichers erfolgt, also ein Betrieb des BHKWs unterdrückt wird. Dies schafft genügend Kapazitäten für eine Wärmespeicherung während der Lastspitzenzeit, in der das BHKW möglichst auf Volllast betrieben werden soll.

Von den auf dem Markt verfügbaren Steuerungen erfüllt lediglich die Netzbezugsregelungs-Steuerung die Anforderungen. Optimal wäre eine Kombination aus Netzbezugsregelungs- und Zeitschemasteuerung.

## 5.2 VERHALTEN DER STEUERUNG

Anhand der zuvor besprochenen Parameter ergibt sich ein spezifisches Verhalten der gewünschten Steuerung. Die verschiedenen möglichen Fälle werden hier dargestellt. Zustände der Parameter werden durch 1 und 0 gekennzeichnet. Ist der Parameter nicht gekennzeichnet, so ist der Zustand irrelevant. Im Folgenden (siehe Tabelle 2) werden die genauen Bedeutungen der Zustände erörtert:

*Tabelle 2 Zustände der beidseitigen Regelung*

<b>Strombedarf</b>	1	Es liegt ein Strombedarf vor, der einen Schwellwert überschreitet
	0	Kein Strombedarf vorhanden oder Schwellwert nicht überschritten
<b>Prioritätszeit</b>	1	Die aktuelle Zeit liegt im Prioritätszeitfenster
	0	Die aktuelle Zeit liegt nicht im Prioritätszeitfenster
<b>Vorprioritätszeit</b>	1	Pufferspeicher muss entladen werden - die aktuelle Zeit liegt im Vor-Prioritätszeitfenster
	0	Die aktuelle Zeit liegt nicht im Vor-Prioritätszeitfenster
<b>BHKW</b>	1	BHKW läuft und liefert Strom und Wärme
	0	BHKW ist ausgeschaltet
<b>Pufferspeicher</b>	1	Pufferspeicher ist vollständig beladen
	0	Pufferspeicher verfügt über Kapazitäten
<b>Sommerzeit</b>	1	Aktuelle Zeit ist außerhalb der Heizperiode
	0	Aktuelle Zeit ist innerhalb der Heizperiode

Folgende Regelfälle (Abbildung 2) können sich ergeben:

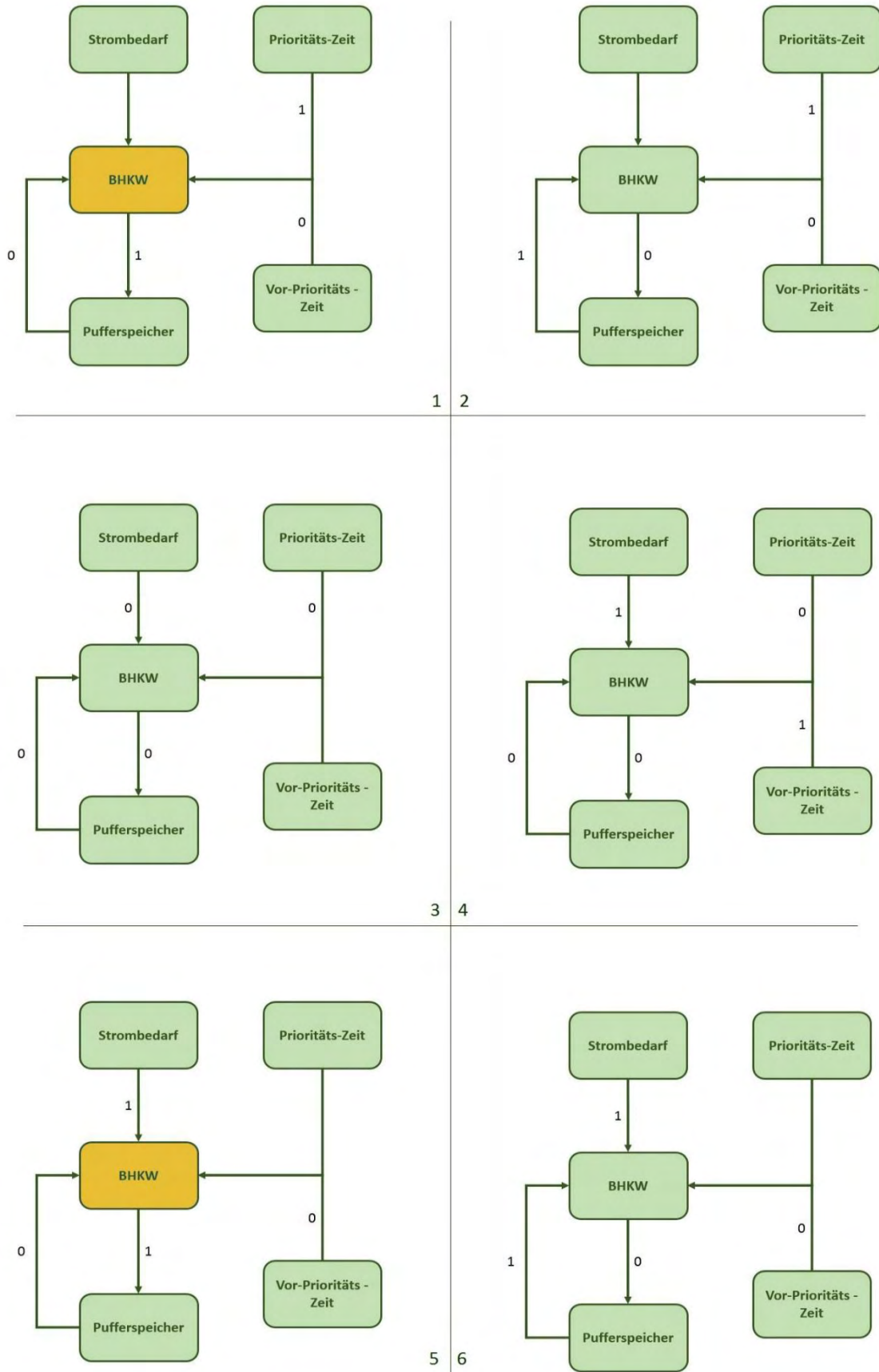


Abbildung 2 Regelfälle

## 6 AUSLEGUNG PUFFERSPEICHER

---

### 6.1 RANDBEDINGUNGEN DER BERECHNUNG

#### 6.1.1 Zweck der Randbedingungen

Die nachfolgenden Randbedingungen sollen eine Simulation des BHKW-Betriebes möglichst stark vereinfachen, hierzu werden zum Teil einige Parameter idealisiert dargestellt. Es wird jedoch versucht eine für den Anwendungsfall möglichst hohe Übertragbarkeit der Betrachtung beizubehalten.

#### 6.1.2 Pufferspeicher

Der Pufferspeicher wird als idealer Schichtenspeicher angenommen. Die Temperatur des erhitzten Wasser soll 80 °C betragen. Die gespeicherte Wärmemenge bleibt auch auf dem Temperaturniveau von 80 °C. Wärmeverluste werden nur in kWh gerechnet. Eine Durchmischung der verschiedenen Temperaturen ist nicht vorgesehen.

Die Dichte des Wassers und die spezifische Wärmekapazität werden im hier relevanten Temperaturbereich als konstant mit  $980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  bzw.  $4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ . Somit ergibt sich eine volumetrische Wärmekapazität von  $1,14 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3\text{K}}$ .

#### 6.1.3 Wärmeverluste

Auf die Betrachtung von Leitungs-Wärmeverlusten wird verzichtet, da diese unabhängig von der zu betrachtenden Regelung auftreten.

Lediglich Wärmeverluste des Speichers werden betrachtet. Mangels ausreichendem Informationsmaterials seitens der Hersteller wurde die Höhe der Verluste auf Grundlage von vorhandenen Werten für Pufferspeichergrößen bis  $5 \text{ m}^3$  und für Speichergrößen  $> 5 \text{ m}^3$  durch MS EXCEL Interpolation und die Trendlinienfunktion angenommen.

#### 6.1.4 BHKW

Das BHKW entwickelt sofort seine volle Leistung – es wird keine Anlaufphase modelliert. Auch der erhöhte Primärenergiebedarf in der Anlaufphase wird nicht modelliert. Jedoch kann die Modulation der Leistung frei eingestellt werden.

#### **6.1.5 Steuerung**

Die im Folgenden genutzte Steuerung entspricht zum Teil der in 5.2 beschriebenen Variante. Jedoch werden im Moment keine Zeitsteuerungen vorgesehen.

#### **6.1.6 Heizkreise**

Für die Wärmeabnahme wird eine Vorlauftemperatur von 80 °C und eine Rücklauftemperatur von 40 °C angenommen.

#### **6.1.7 Lastgänge**

Die Lastgänge werden als Stundenwerte in kW zur Verfügung gestellt. Der Wärmelastgang wird auch gleichzeitig als Wärmebedarf gesehen – der Wirkungsgrad des vorhandenen Wärmeerzeugers mit 1 angenommen.

Bei einigen Lastgängen fehlen einige Stunden, meist am Jahresanfang oder am Jahresende. Die Stromlastgänge sind durch den Netzbetreiber gemessene Werte. Bei den Wärmelastgängen handelt es sich entweder um gemessene Werte, oder um (z.B.) anhand der Wetter-, Prozesswärme-, und Jahresgesamtenergieverbrauch-Daten generierte Werte. Die Lastgänge werden von B.A.U.M. Consult GmbH zur Verfügung gestellt.

## **6.2 FUNKTIONSWEISE DES TOOLS**

Die Auslegung des Pufferspeichers wird mithilfe von Microsoft Excel berechnet. In das Programm können der Wärme- und Stromlastgang (in kW pro Stunde) eines Projektes eingefügt werden. Ebenso können das zu verwendende BHKW und eine Schwelllast, die erreicht werden muss, damit das BHKW aktiviert, wird eingegeben werden. Auf die Berücksichtigung der Prioritätszeiten musste aus Zeitmangel verzichtet werden.



Mithilfe eines Makros wird eine Simulation der Laufzeit des BHKWs durchgeführt. Die Eigenschaften der Steuerung sind in dem Makro hinterlegt. Die Lastgangdaten werden eingelesen, der Tank (mit 1 m<sup>3</sup> Inhalt) und seine Befüllung werden initialisiert und von der Regelung geprüft. Das BHKW wird durch die Steuerung angeschaltet, falls ein Strombedarf vorliegt, der den Schwellwert überschreitet, und der Pufferspeicher noch genügend freie Kapazitäten aufweist. Die Produktion und der Bedarf werden sowohl wärme- als auch stromseitig verrechnet. Der Pufferspeicher wird be- oder entladen.

Stromproduktion, Selbstnutzung, Einspeisung und zusätzlicher Bezug werden errechnet und geloggt.

Ebenso werden Wärmeproduktion, Wärmeverluste, Wärmebezug und Wärmeüberproduktion errechnet und geloggt.

Selbiges geschieht mit dem darauf folgenden Lastgangdaten-Paar so lange, bis das Jahr durchgearbeitet wurde. Danach wird das Pufferspeichervolumen um 1 m<sup>3</sup> vergrößert und der Vorgang erneut durchgeführt.

Dies geschieht bis ein Pufferspeichervolumen von 19m<sup>3</sup> erreicht wurde.

Im Folgenden ist das Flussdiagramm des Makrocodes in Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt:

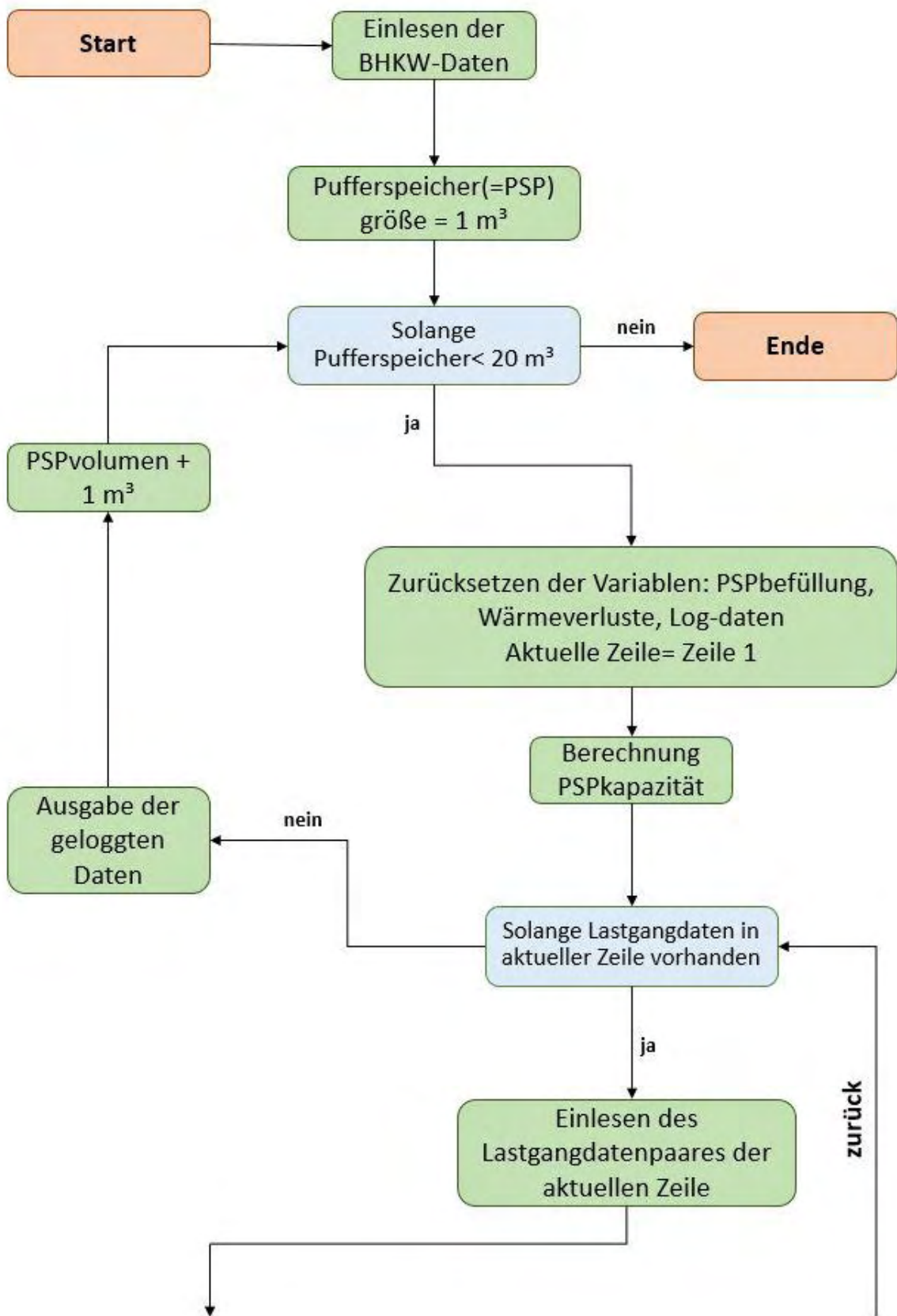


Abbildung 3 Flussdiagramm des Codes 1

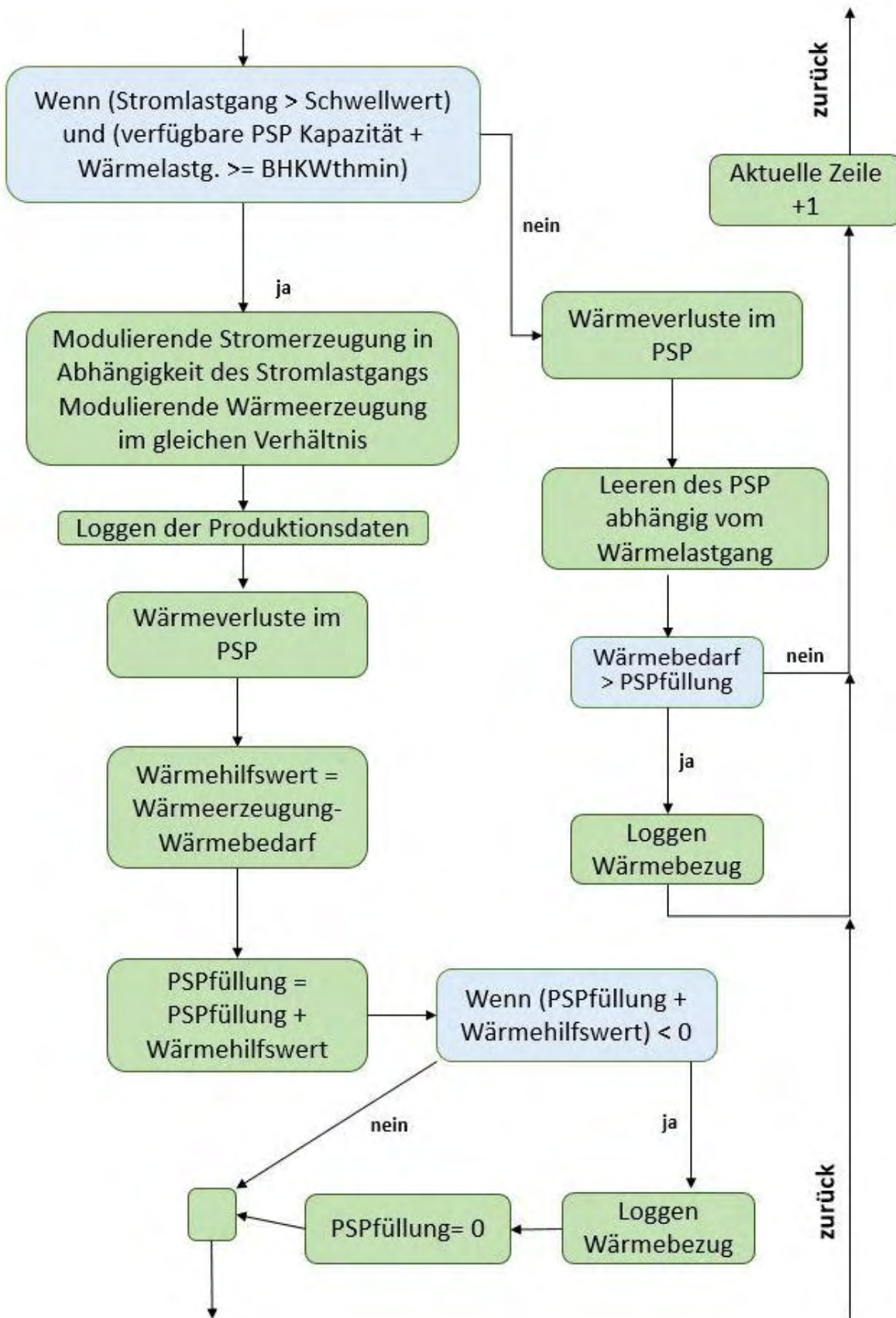


Abbildung 4 Flussdiagramm des Codes 2

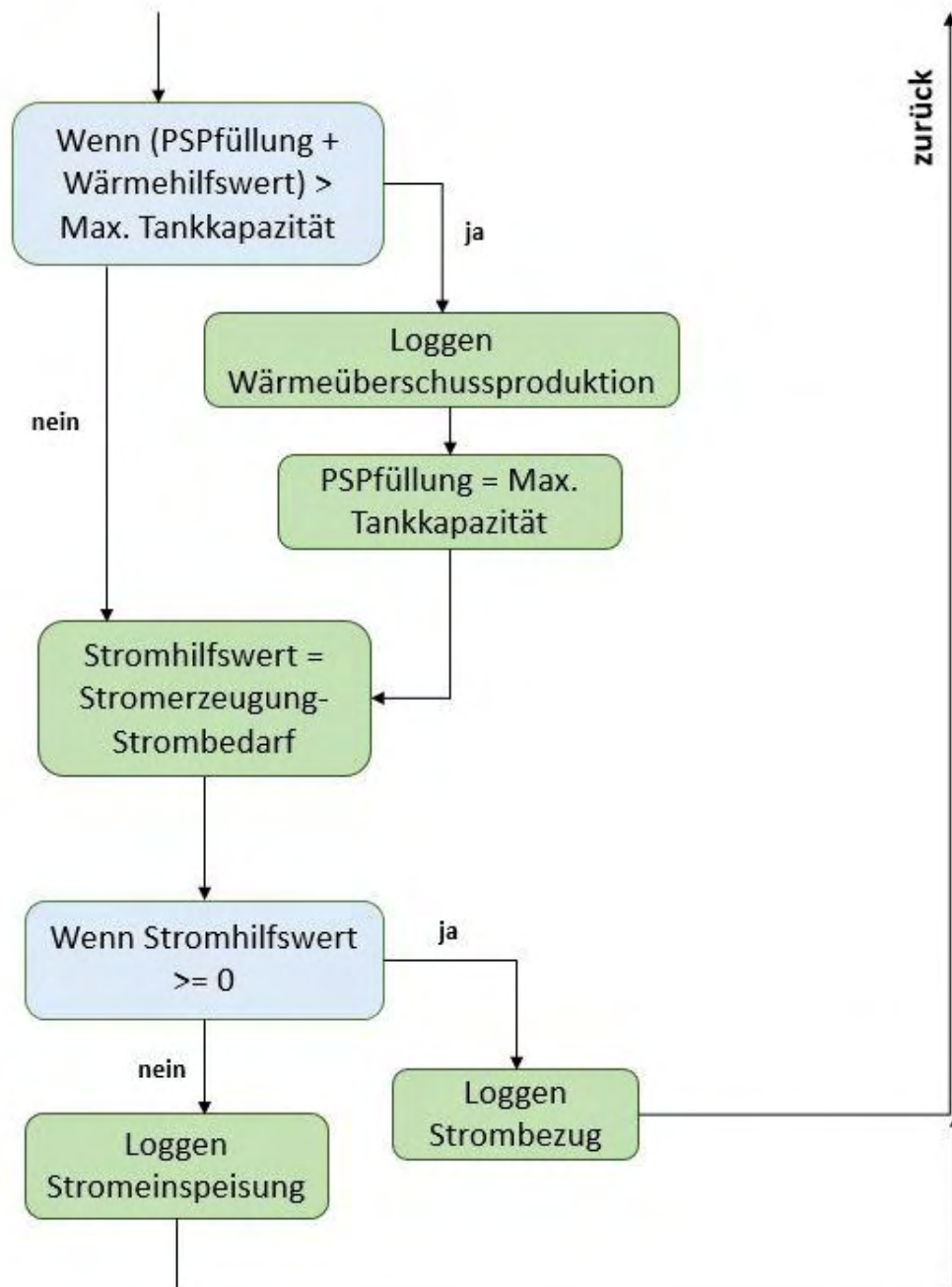


Abbildung 5 Flussdiagramm des Codes 3

Größen die in das Makro eingelesen werden:

- BHKW-Leistung elektrisch
- BHKW-Leistung thermisch

- Schwellleistung
- Lastgang elektrisch
- Lastgang thermisch

Größen die von dem Makro in Abhängigkeit der Tankgröße ausgegeben werden:

- Stromproduktion
- Stromeinspeisung
- Strombezug
- Wärmeproduktion
- Wärmebezug
- Wärmeverluste
- Wärmeüberproduktion

Weiterhin werden in dem Excel Sheet unter anderem durch Eingabe von

- Strompreis [€]
- Einspeisevergütung [€]
- Erdgaspreis [€]
- KWK-Zuschlag [€]

folgende Größen berechnet:

- Gesamtstrombedarf [kWh]
- Gesamtwärmebedarf [kWh]
- Gesamtstromeigendeckung [%]
- Eigennutzungsgrad des produzierten Stroms [%]
- Gesamtwärmeeigendeckung [%]
- Primärenergiebedarf des BHKWS [kWh]
- Primärenergiebedarf des gesamten Unternehmens [kWh]
- Gesamtkosten [€]

Berechnungen

Formel 1

$$\text{Gesamtstrombedarf} = \int \text{Stromlastgang}$$

Formel 2

$$\text{Gesamtwärmebedarf} = \int \text{Wärmelastgang}$$

Formel 3

$$\text{Stromeigennutzung} = \begin{cases} \text{Strombedarf}, & \text{Strombedarf} < \text{Stromproduktion} \\ \text{Stromproduktion}, & \text{Strombedarf} \geq \text{Stromproduktion} \end{cases}$$

Formel 4

$$\text{Gesamtstromeigendeckung} = \frac{\text{Stromproduktion} - \text{Stromeinspeisung}}{\text{Gesamtstrombedarf}}$$

Formel 5

$$\text{Eigennutzungsgrad des produzierten Stroms} = \frac{\text{Stromproduktion} - \text{Stromeinspeisung}}{\text{Stromproduktion}}$$

Formel 6

$$\text{Gesamtwärmeeigendeckung} = \frac{\text{Gesamtwärmebedarf} - \text{Wärmebezug}}{\text{Gesamtwärmebedarf}}$$

Formel 7

$$\text{Primärenergiebedarf des BHKWs} = \frac{\text{Stromproduktion}}{\eta_{\text{elektrisch}}}$$

Formel 8

$$\begin{aligned} & \text{Primärenergiebedarf des gesamten Unternehmens} \\ & = \text{Primärenergiebedarf BHKW} + \frac{\text{Strombezug}}{0,385} + \text{Wärmebezug} \\ & \quad - \frac{\text{eingestpeister Strom}}{0,385} \end{aligned}$$

Der Primärenergiefaktor für den deutschen Strommix beträgt 2,6 ( $2,6^{-1} \approx 0,385$ ) nach Energie Einsparverordnung.

Formel 9

$$\begin{aligned} & \text{Gesamt Energiekosten} \\ & = \text{Primärenergiebedarf BHKW} \times \text{Erdgaspreis} + \text{Strombezug} \\ & \quad \times \text{Strompreis} + \text{Wärmebezug} \times \text{Erdgaspreis} - \text{Stromproduktion} \\ & \quad \times \text{KWKZuschlag} - \text{Stromeinspeisung} \times \text{Einspeisevergütung} \end{aligned}$$

Berechnung der Pufferspeicherkapazität:

Formel 10

$$\text{Pufferspeichkapazität} = 1,16 \frac{\text{kWh}}{1000\text{kg K}} \times \text{Masse} \times \Delta T$$

$$980 \text{ kg} \approx 1\text{m}^3 \text{ Wasser}$$

Formel 11

$$\text{Pufferspeichkapazität} = 1,14 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{ K}} \times \text{Volumen} \times \Delta T$$

Die Gesamtkosten sollen einen Überblick über die Höhe der laufenden Kosten geben. In diese werden nachfolgend die Energiekosten für Gas- und Strombezug, der KWK-Zuschlag, die Einspeisevergütung sowie Vollwartungskosten für das BHKW und den Kessel einbezogen. Die Wartungskosten entstammen den Erhebungen des ASUE e.V.. Der Gaspreis wurde mit  $5 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}$  und der Strompreis mit  $18 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}$  angenommen. Die Einspeisevergütung für Strom aus KWK-Anlagen an der EEX lag im 4. Quartal 2013 bei  $3,754 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}$ .

Formel 12

$$\text{Energiekosten}_{\text{BHKW}} = \text{Energiebedarf}_{\text{BHKW}} \times \text{Gaspreis}$$

Formel 13

$$\text{Energiekosten}_{\text{Spitzenlastkessel}} = \text{Energiebedarf}_{\text{Spitzenlastkessel}} \times \text{Gaspreis}$$

Formel 14

$$\text{Energiekosten}_{\text{Strombezug}} = \text{Strombezug} \times \text{Strompreis}$$

Formel 15

$$\text{Erstattung}_{\text{KWK Zuschlag}} = \text{produzierter Strom} \times \text{KWK Zuschlag}$$

Formel 16

$$\text{Erstattung}_{\text{Einspeisevergütung}} = \text{ingespeister Strom} \times \text{Einspeisevergütung}$$

Formel 17

$$\text{Vollwartungskosten}_{BHKW} = 2,3133 \times P_{elBHKW}^{-0,141} \frac{\text{ct}}{\text{kWh}_{el}} \times \text{Stromproduktion}$$

[15]

Formel 18

$$\text{Wartungskosten}_{\text{Spitzenlastkessen}} = 100 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

[16]

Formel 19

*Gesamtkosten*

$$\begin{aligned} &= \text{Energiekosten}_{BHKW} + \text{Energiekosten}_{\text{Spitzenlastkessel}} \\ &+ \text{Energiekosten}_{\text{Strombezug}} - \text{Erstattung}_{KWK \text{ Zuschlag}} \\ &- \text{Erstattung}_{\text{Einspeisevergütung}} + \text{Vollwartungskosten}_{BHKW} \\ &+ \text{Wartungskosten}_{\text{Spitzenlastkessen}} \end{aligned}$$

Berechnung der Wärmeverluste des Pufferspeichers:

Von den Pufferspeicherherstellern zur Verfügung gestellte Werte sind prozentuale Auskühlungen über 24 Stunden bei voller Speicherbeladung. Zur Vereinfachung wurde durch genau diese Werte eine Kurve (in Abhängigkeit des Tankvolumens) interpoliert (mithilfe von MS EXCEL) und durch 24 geteilt und die so erhaltenen Stundenwerte für jeglichen Beladungsstatus genutzt.

Formel 20

$$\text{relative Wärmeverluste pro Stunde} = \frac{(0,0462 \times \text{Tankvolumen}^{-0,421})}{24}$$

Formel 21

$$\text{Wärmeverlust} = \text{Tankbeladung} * \text{relative Wärmeverluste pro Stunde}$$

### 6.3 ÜBERPRÜFUNG DER RICHTIGKEIT DES TOOLS

Vor dem endgültigen Einsatz des Tools muss die Korrektheit der Abläufe und Rechenoperationen des Tools geprüft werden.



Zu diesem Zweck wurden beispielhaft für 4 Tage die Berechnungen von Hand durchgeführt. Für die vorliegenden Lastgangdatenpaare wurde überprüft ob das BHKW laufen soll oder nicht. Die erzeugten Strom- sowie Wärmemengen, Wärmeverluste, Stromeinspeisungen, Stromeigenverbräuche und Pufferspeicherbeladungen wurden berechnet.

Das Vorgehen und die Rechenoperationen sind im Folgenden dargestellt.

Zur Vereinfachung werden folgende Abkürzungen genutzt:

Maximale elektrische Leistung des BHKWs -  $P_{elmax}$

Maximale thermische Leistung des BHKWs -  $P_{thmax}$

Minimale elektrische Leistung des BHKWs -  $P_{elmin}$

Minimale thermische Leistung des BHKWs -  $P_{thmin}$

Abgegebene elektrische Leistung des BHKWs -  $P_{el}$

Abgegebene thermische Leistung des BHKWs -  $P_{th}$

#### **BHKW-Status im Falle einer rein wärmegeführten Anlage:**

Wenn ein Wärmebedarf vorliegt und Wärmebedarf + freie Pufferspeicherkapazität größer gleich  $P_{thmin}$  ist, dann läuft das BHKW.

Liegt der Wärmebedarf unter  $P_{thmin}$  so sind  $P_{th} = P_{thmin}$  und  $P_{el} = P_{elmin}$ .

Liegt der Wärmebedarf im modulierbaren Bereich zwischen  $P_{thmin}$  und  $P_{thmax}$  so ist der im Lastgang verzeichnete Wärmebedarf gleich  $P_{th}$ . Die elektrische Leistung des Kraftwerkes berechnet sich folgendermaßen (Formel 22):

Formel 22

$$P_{el} = P_{elmax} \times \frac{P_{th}}{P_{thmax}}$$

Liegt der Wärmebedarf über  $P_{thmax}$ , so sind  $P_{th} = P_{thmax}$  und  $P_{el} = P_{elmax}$ .

#### **BHKW-Status im Falle einer Anlage mit Betrachtung der Wärme- und Stromseite:**

Wenn ein Strombedarf oberhalb des Schwellwertes vorliegt und Wärmebedarf + freie Pufferspeicherkapazität größer gleich  $P_{thmin}$  ist, dann läuft das BHKW.

Liegt der Strombedarf unter  $P_{elmin}$  so sind  $P_{th} = P_{thmin}$  und  $P_{el} = P_{elmin}$ .

Liegt der Strombedarf im modulierbaren Bereich zwischen  $P_{elmin}$  und  $P_{elmax}$  so ist der im Lastgang verzeichnete Strombedarf gleich  $P_{el}$ . Die thermische Leistung des Kraftwerkes berechnet sich folgendermaßen (Formel 23):

Formel 23

$$P_{th} = P_{thmax} \times \frac{P_{el}}{P_{elmax}}$$

Liegt der Strombedarf über  $P_{elmax}$ , so sind  $P_{th} = P_{thmax}$  und  $P_{el} = P_{elmax}$ .

Berechnung der Wärmeverluste durch Formel 20 und Formel 24

Formel 24

*Wärmeverluste*

$$= \text{Wärmemenge im Pufferspeicher zum Ende der letzten Stunde} \\ \times \text{Verlustperzentil}$$

Berechnung des Beladungsstatus des Pufferspeichers ( $PSP_{Status}$ )

Formel 25

$$PSP_{Status} = PSP_{Status} \text{ der letzten Stunde} + P_{Kth} - \text{Wärmebedarf} - \text{Wärmeverluste}$$

Formel 26

$$\text{Stromeinspeisung} = \left. \begin{array}{l} \text{Stromproduktion} - \text{Strombedarf} \\ \geq \text{Strombedarf} \end{array} \right\} \text{für Stromproduktion}$$

Formel 27

$$\text{Stromeigennutzung} = \begin{cases} \text{Strombedarf}, & \text{Strombedarf} < \text{Stromproduktion} \\ \text{Stromproduktion}, & \text{Strombedarf} \geq \text{Stromproduktion} \end{cases}$$

Formel 28

Wärmenutzung

$$= \begin{cases} \text{Wärmebedarf,} & \text{Wärmebedarf} \leq \text{Wärmeproduktion} + \text{Speicherfüllstand} \\ \text{Wärmeprod. + Speicherfüllst.,} & \text{Wärmebedarf} > \text{Wärmeproduktion} + \text{Speicherfüllstand} \end{cases}$$

Zur besseren Verdeutlichung werden die Ergebnisse der ersten Rechenzeile (Datensatz: Tag 1 – 1 m<sup>3</sup> wärmeseitig) grafisch dargestellt (Abbildung 6), während die restlichen Ergebnisse in tabellarischer Form im Anhang vorliegen.

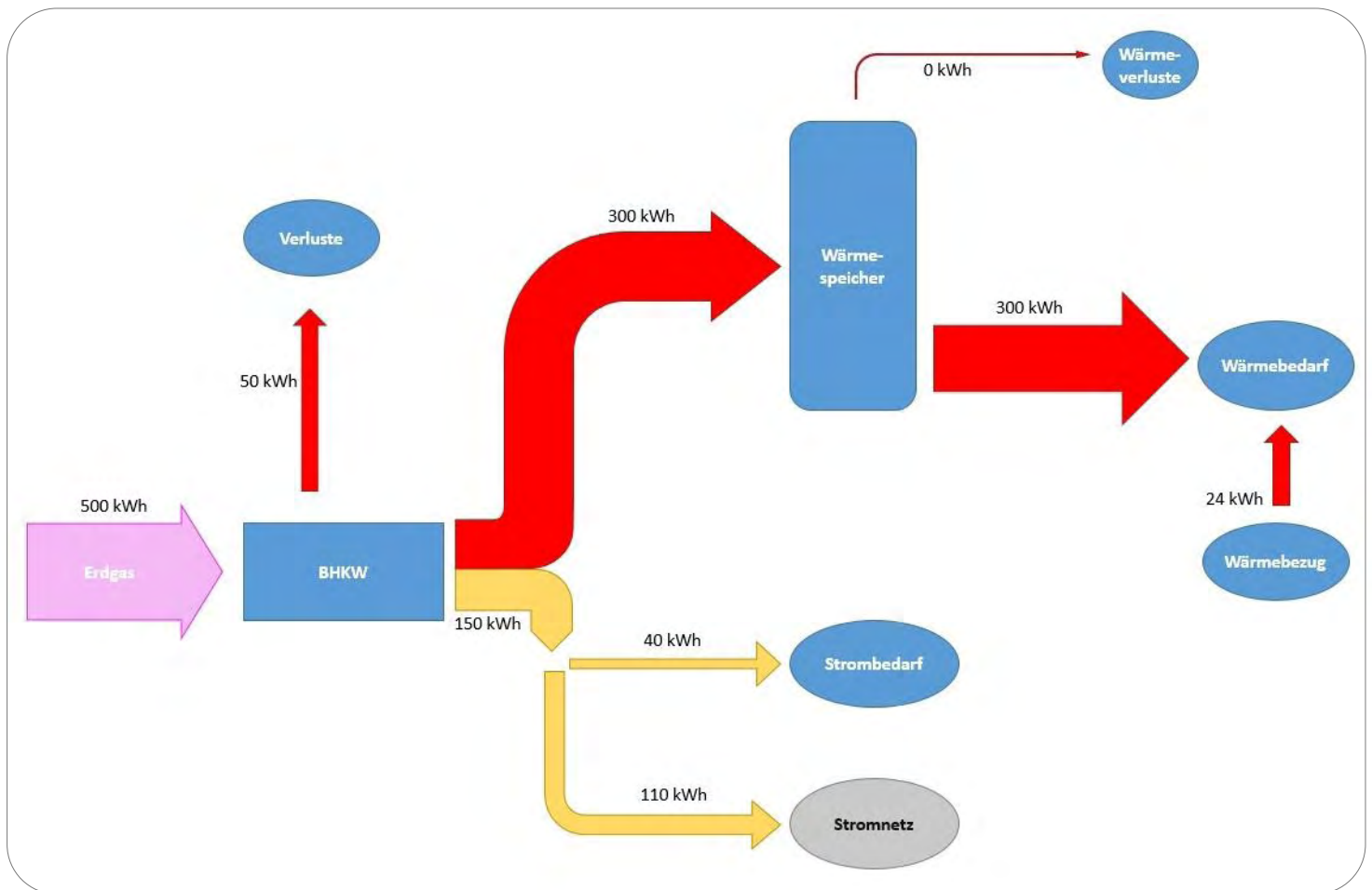


Abbildung 6 Graphische Aufarbeitung der Ergebnisse der Überprüfung

Die Ergebnisse der automatisierten Berechnung durch das Tool, sowie die von Hand errechneten Werte stimmen überein. Die Ergebnisse sind im Anhang zu finden.

## 7 ANWENDUNG DES TOOLS AUF BEISPIELE UND AUSWERTUNG

---

Das Tool wurde auf sieben Projekte, deren Lastgänge vorliegen, angewandt. Sie gehören allesamt zu den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sowie zu folgenden Geschäftszweigen:

- Hotel 2x
- Bäckerei 1x
- Metallbau 1x
- Papierverarbeitung 1x
- Schlachthof 1x
- Wäscherei 1x

Die genutzten Lastgänge bestehen aus mehreren Zeiträumen (zu je einer Stunde), für die jeweils ein Strombezugswert ( $Bedarf_{el}$ ) sowie ein Gasbezugswert ( $Bedarf_{therm}$ ) vorliegen.

Folgende drei Fälle, bezogen auf eine Stunde können eintreten:

- a) Die durch das BHKW zur Verfügung gestellte Arbeit kann vollständig genutzt werden, da  $P_{el\ BHKW} \leq Bedarf_{el}$  sowie  $P_{therm\ BHKW} \leq Bedarf_{therm}$  sind.
- b) Die durch das BHKW zur Verfügung gestellte Arbeit kann nur auf der Stromseite vollständig genutzt werden, da  $P_{el\ BHKW} \leq Bedarf_{el}$  aber  $P_{therm\ BHKW} > Bedarf_{therm}$  ist.
- c) Die durch das BHKW zur Verfügung gestellte Arbeit kann nur auf der Wärmeseite vollständig genutzt werden, da  $P_{el\ BHKW} > Bedarf_{el}$  aber  $P_{therm\ BHKW} \leq Bedarf_{therm}$  ist.

Diesbezüglich unterscheiden sich die vorliegenden Lastgänge in Bezug auf die Häufigkeit des Auftretens der zuvor beschriebenen Fälle a, b und c. Dies stellt die Rechtfertigung für die Wahl von Projekten aus unterschiedlichen Branchen dar.

Die Berechnungsgrenzen des Tools wurden für die Anwendung von 1 m<sup>3</sup> und 19 m<sup>3</sup> auf 0 m<sup>3</sup> und 18 m<sup>3</sup> gesetzt. Die Berechnungsdurchläufe starten also mit einer Speichergröße von 0 m<sup>3</sup> und enden nach dem Durchlauf mit 18 m<sup>3</sup>.

Die den Berechnungen zugrunde gelegten BHKW-Daten stammen aus einer Erhebung des ASUE e.V. [15]. Der sich verändernde in Abhängigkeit der elektrischen Leistung ändernde elektrische Wirkungsgrad wurde durch die MS Excel Trendlinien Funktion beschrieben. Die Ausgleichsfunktion lautet  $\eta_{el} = 0,0235 \ln(P_{el}) + 0,2497$ . Ein Gesamtwirkungsgrad von 0,9 wurde unterstellt. Somit ergeben sich die thermische Leistung und der Energiebedarf des BHKW.

Formel 29

$$P_{aufnahme} = \frac{P_{el}}{\eta_{el}}$$

Formel 30

$$P_{th} = (0,9 - 0,0235 \ln(P_{el}) + 0,2497) \times \frac{P_{el}}{0,0235 \ln(P_{el}) + 0,2497}$$

Für die unterschiedlichen Projekte wurden die Leistungsklassen der BHKWs meist so gewählt, dass der wärmegeführte Betrieb den Bereich von ca. 5000 bis 6000 Volllaststunden erreicht.

## 7.1 VERANSCHAULICHUNG DES BERECHNUNGSVERLAUFES

Die Ergebnisse für den Durchlauf eines Tages sollen nachfolgend graphisch dargestellt werden. Es handelt sich bei den folgenden Abbildungen um jeweils den gleichen Tag, jedoch mit unterschiedlichen Auslegungsarten. Bei den Balken, welche die Strom- und Wärmeerzeugung darstellen, handelt es sich um voreinander liegende Balken und nicht um gestapelte. Einige Ereignisse sind in den Diagrammen gesondert durch Zahlen markiert. Es ist von einer Integration der Kurven abzusehen, da der Fokus auf der Verdeutlichung der Funktionsweise liegt.

### 7.1.1 Wärmeseitige Regelung

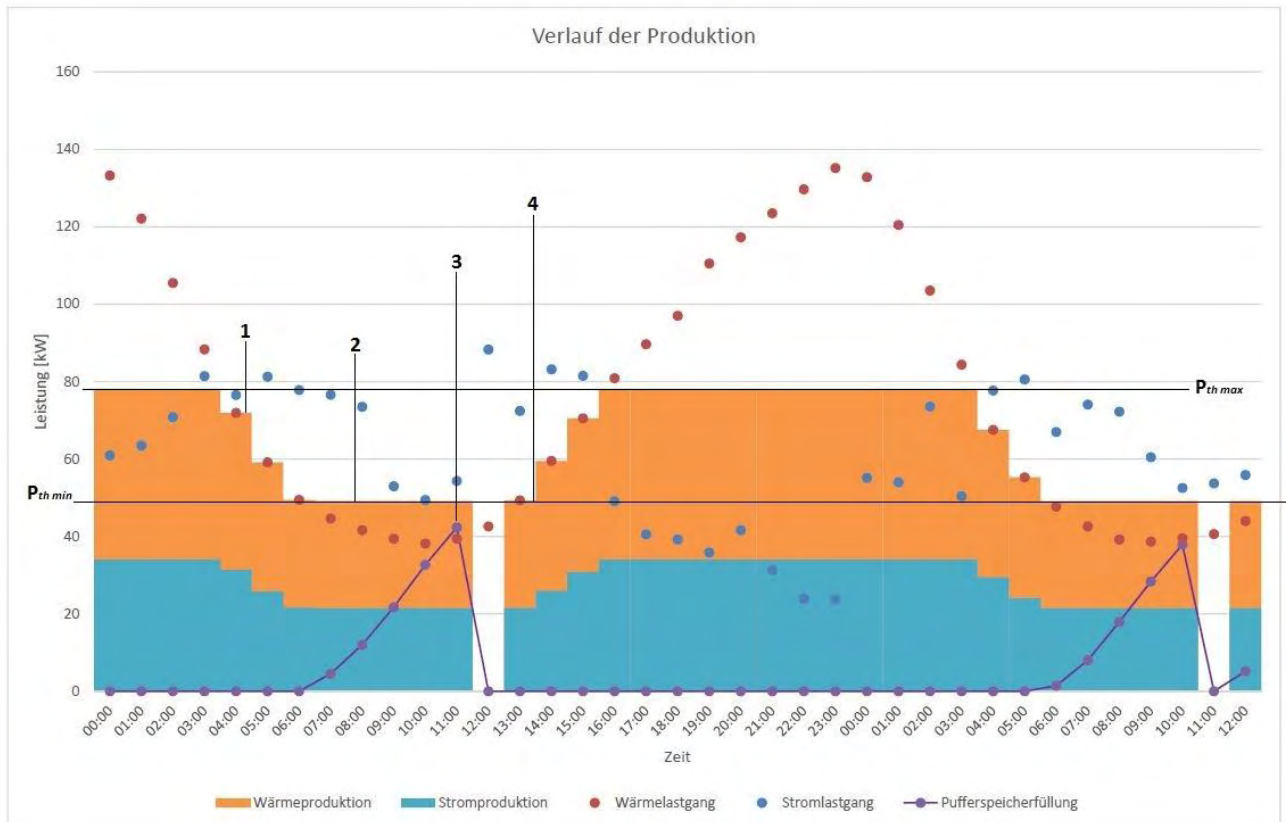


Abbildung 7 Wärmeseitige Regelung SpeichergroÙe = 1 m³

In Abbildung 7 ist die Berechnung bei einer SpeichergroÙe von 1 m³ und einer wärmeseitigen Regelung zu sehen. Der in Form roter Punkte dargestellte Wärmelastgang liegt bei Beginn der Betrachtung (0:00) weit über der maximalen thermischen Leistung. Somit läuft das BHKW auf Volllast. Bei Erreichen des Ereignisses 1 fällt der Wärmebedarf auf ein Niveau zwischen der maximalen und minimalen thermischen Leistung des BHKWs, welches dann genau auf die erforderliche Leistung regelt. Dies geschieht bis Ereignis 2. Nun liegt der Wärmebedarf unter der minimalen thermischen Leistung und der Pufferspeicher wird mithilfe der überschüssigen thermischen Energie beladen, bis bei Ereignis 3 eine vollständige Befüllung des Pufferspeichers erreicht ist. Zur nächsten Stunde liegt der Wärmebedarf immer noch unter der minimalen Leistung und der Pufferspeicher ist vollständig befüllt. Das BHKW wird ausgeschaltet und der Pufferspeicher geleert. Die nun bei 4 vorliegenden Voraussetzungen (freie Kapazitäten im Pufferspeicher und Wärmebedarf sind größer bzw. gleich  $P_{thmin}$ ) lassen den Betrieb des BHKWs (im geregelten Bereich) wieder zu. Ein ähnliches Verhalten ist in dem darauffolgenden Zeitraum von 6:00 bis 12:00 zu beobachten.

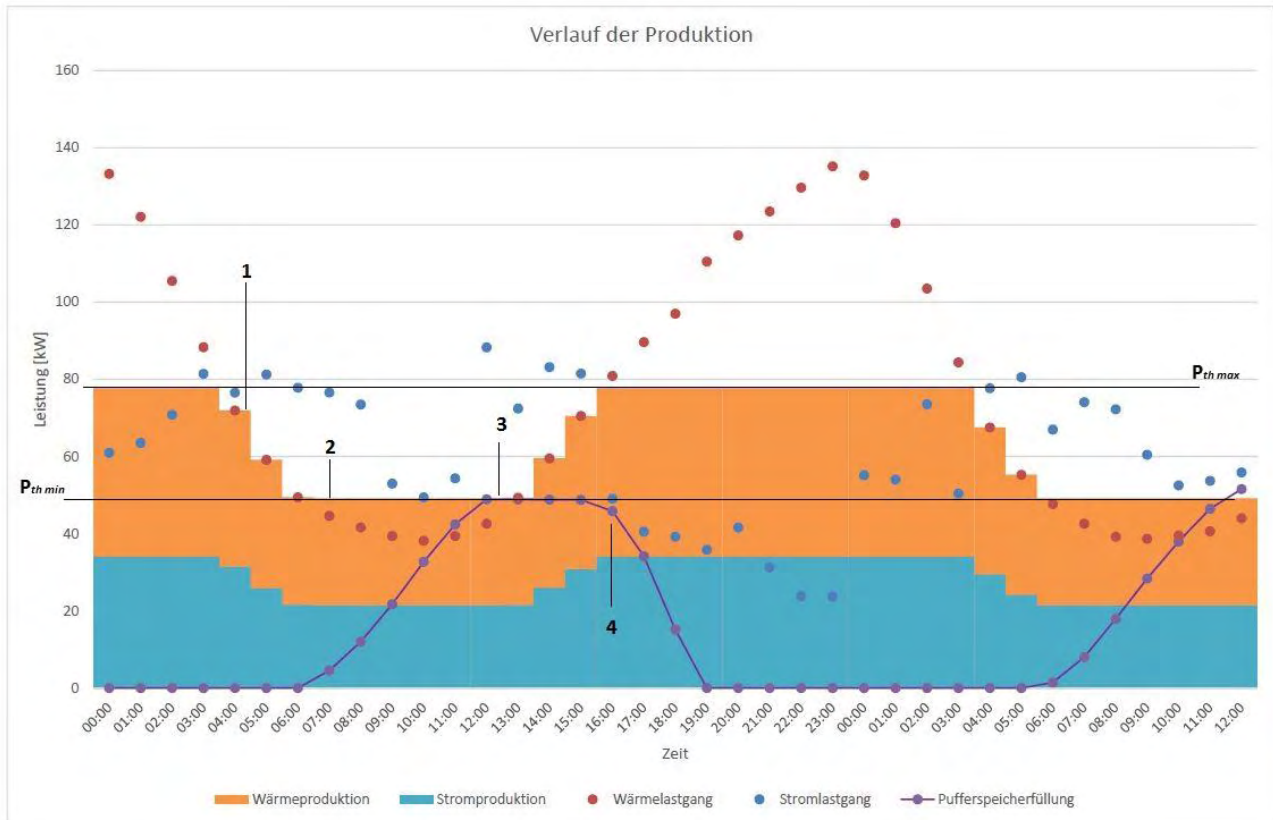


Abbildung 8 Wärmeseitige Regelung SpeichergroÙe = 6 m<sup>3</sup>

Der gleiche Tag ist auch wärmeseitig geregelt jedoch mit einem Pufferspeicher der Größe 6 m<sup>3</sup> berechnet worden, zu sehen in Abbildung 8. Hier ist die Drosselung der Leistung ab 1 ebenfalls zu sehen. Im Gegensatz zu Abbildung 7 wird jedoch die gesamte Zeit zwischen Ereignis 2 und Ereignis 3 das Kraftwerk auf minimaler Leistung gefahren. Die Kapazität des Pufferspeichers ist ausreichend, um die erzeugte Wärme zwischen zu speichern. Ab Ereignis 4 wird der Pufferspeicher wieder geleert, um den stark ansteigenden Wärmebedarf zu befriedigen. Der Vorteil ist ein zusätzlicher Teil an Wärme und Strom welcher durch das BHKW erzeugt wurde und auf der Wärmeseite den Spitzenbedarf zum Teil decken kann.

### 7.1.2 Stromseitige Regelung

In Abbildung 9 ist die Berechnung bei beidseitiger Auslegung mit einer PufferspeichergroÙe von 1 m<sup>3</sup> dargestellt. Das BHKW läuft mit Berücksichtigung des Strombedarfes mit maximaler Leistung bis Ereignis 2. Da ab Ereignis 1 der Pufferspeicher bereits befüllt wird, ist zum Ereignis 2 nicht mehr genügend Kapazität für einen Betrieb bei Maximalleistung vorhanden. Das BHKW wird soweit heruntergeregelt, dass kein Wärmeüberschuss produziert

wird. Aufgrund der geringen Wärmeabnahme und der begrenzten Pufferspeicherkapazität ist zwischen Ereignis 2 und 3 eine An- und Ausschalten des Kraftwerks zu beobachten. Läuft das Kraftwerk, dann sind zur nächsten Stunde nicht ausreichend Pufferspeicherkapazität und Wärmebedarf vorhanden, um den Betrieb des BHKWs auf minimaler Leistung zu ermöglichen. Ab Ereignis 3 steigt der Wärmebedarf wieder an und schafft somit die Voraussetzung für einen dauerhaften (wenn auch gedrosselten) Betrieb des BHKWs, bis zum Ereignis 4, ab dem der Wärmebedarf ausreichend hoch ist, um die volle Leistung des BHKWs zuzulassen. Bei Ereignis 5 ist eine erneute Drosselung der BHKW-Leistung zu sehen. Dies liegt an dem niedrigen Strombedarf, welcher im Regelungsbereich der Anlage liegt. Die abgegebene Leistung liegt daher unter der maximalen elektrischen Leistung.

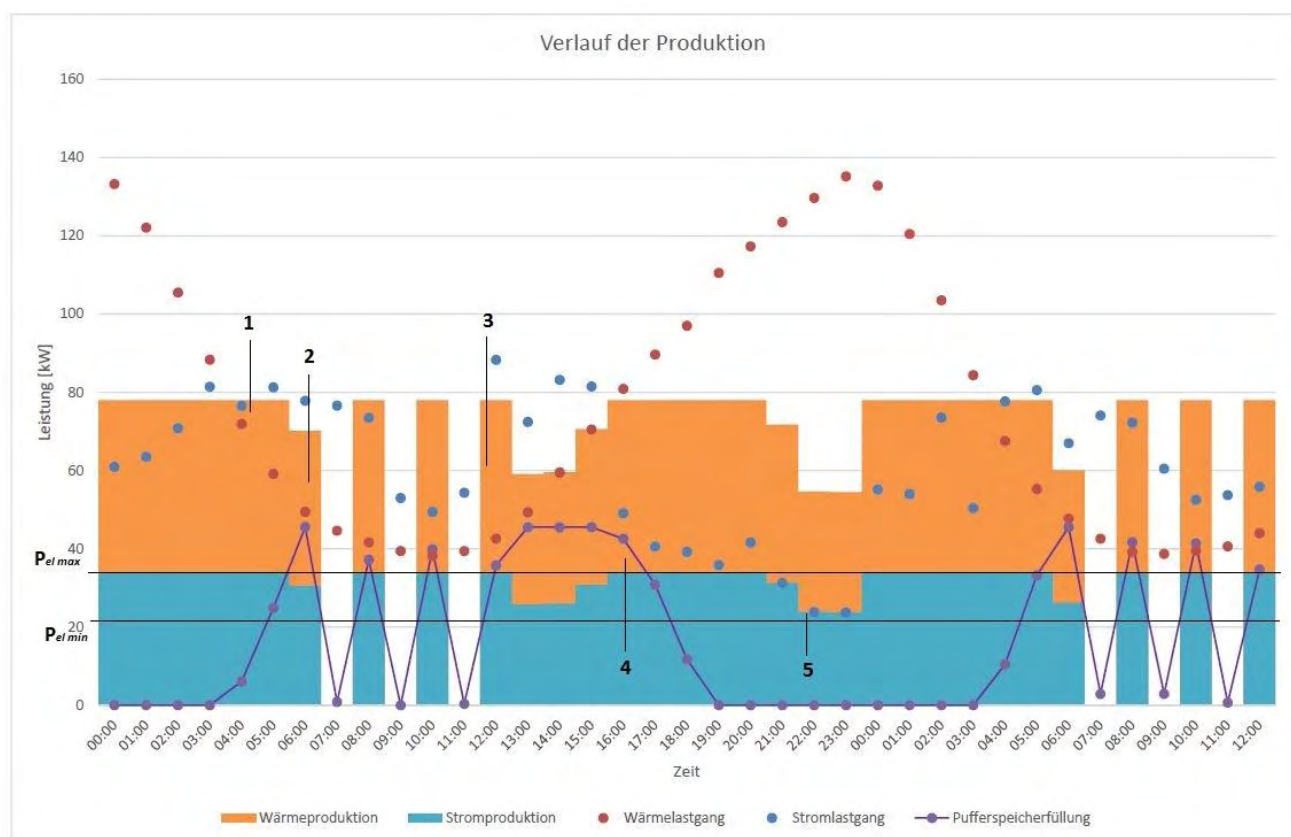


Abbildung 9 Beidseitige Regelung SpeichergroÙe = 1 m<sup>3</sup>

Die in Abbildung 10 dargestellte Variante ist ebenfalls beidseitig geregelt mit einem Pufferspeichervolumen von 6 m<sup>3</sup>. Im Vergleich zu Abbildung 9 ist hier der durchgehende Betrieb des BHKWs auffällig. Bis zu Ereignis 1 läuft das BHKW auf Volllast, da ein ausreichender Strombedarf vorliegt. Bei Erreichen des Ereignisses 1 ist der Pufferspeicher



jedoch vollständig gefüllt, der Wärmebedarf allerdings ausreichend hoch, so dass das Kraftwerk im Teillastbetrieb weiter laufen kann. Ab Ereignis 2 ist der Wärmebedarf so hoch, dass sowohl der Pufferspeicher entleert werden, als auch das BHKW bei maximaler Leistung laufen kann. Ereignis 3 zeigt die Regelung der BHKW-Leistung auf den niedrigeren Strombedarf. Verglichen mit Abbildung 8 werden eine deutlich höhere Ausnutzung des Speichers und mehr Vollbenutzungsstunden erreicht.

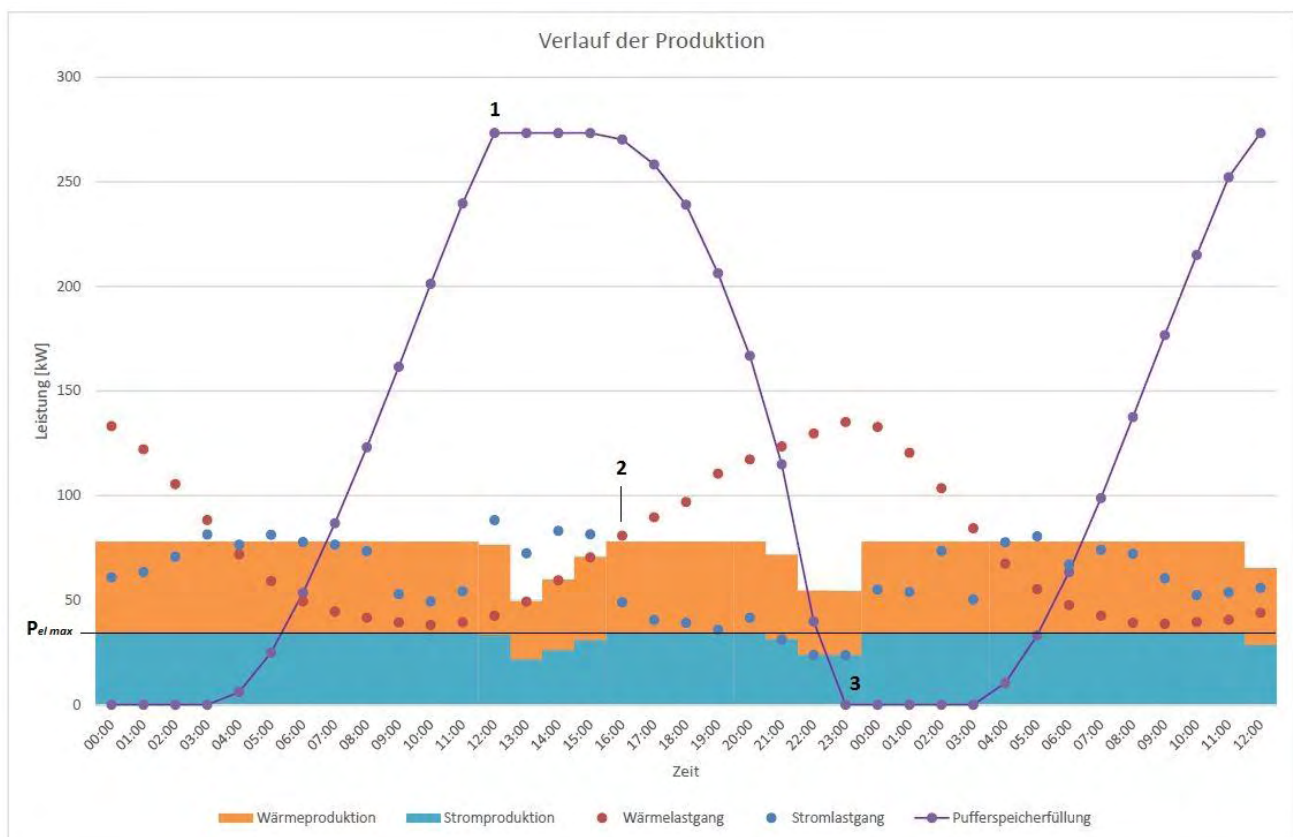


Abbildung 10 Beidseitige Regelung SpeichergroÙÙe = 6 m³

## 7.2 BEISPIELHAFTES PROJEKT SCHLACHTHOF

Tabelle 3 Lastgangzusammenfassung Schlachthof

	Maximale Leistung	Minimale Leistung	Ø Leistung	Werte des oberen Drittels $\geq$	Werte des unteren Drittels $\leq$	Gesamtbedarf
	[kW]					[kWh]
Wärmebedarf	1210	0	275	233,6	113,2	2410546
Strombedarf	255	0	109	108,2	71,6	953935

Zwei typische Tagesverläufe sind im zu sehen. Je ein Winter- und ein Sommertag.

### Wintertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	65,8	154,0
01:00	65,6	159,0
02:00	69,6	160,0
03:00	65,6	195,0
04:00	89,0	628,0
05:00	133,0	472,0
06:00	221,0	1152,0
07:00	235,8	1081,0
08:00	229,8	1051,0
09:00	229,8	1010,0
10:00	199,8	701,0
11:00	184,6	413,0
12:00	167,6	392,0
13:00	143,2	422,0
14:00	122,4	335,0
15:00	95,2	186,0
16:00	98,8	218,0
17:00	88,0	227,0
18:00	84,2	226,0
19:00	76,2	229,0
20:00	76,0	185,0
21:00	69,4	191,0
22:00	68,0	183,0
23:00	64,4	243,0

### Sommertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	80,2	0,0
01:00	87,0	0,0
02:00	85,8	251,0
03:00	87,2	417,9
04:00	98,0	326,4
05:00	150,6	904,6
06:00	241,0	910,2
07:00	243,0	845,7
08:00	238,0	774,4
09:00	228,2	214,5
10:00	165,8	161,7
11:00	149,8	179,8
12:00	137,8	154,1
13:00	136,4	103,2
14:00	107,6	36,2
15:00	92,2	33,9
16:00	85,4	83,4
17:00	86,8	0,0
18:00	80,2	0,0
19:00	78,0	0,0
20:00	70,4	0,0
21:00	69,8	0,0
22:00	72,2	0,0
23:00	65,2	0,0

Ein erhöhter Energiebedarf sowohl Wärme- als auch Stromseitig ist ab 6:00 unter der Woche zu verzeichnen. Am Wochenende ändert sich der Energiebedarf meist nicht ab 6:00.

Die Charakteristika des Lastganges sind in Tabelle 3 dargestellt. Gezeigt werden die Maximal-, Minimal- und Durchschnittsleistung und der Jahresbedarf. Außerdem werden der niedrigste Wert des oberen Drittels der höchsten Werte und der höchste Wert des unteren Drittels der niedrigsten Werte.

Zur Verdeutlichung, sind die Strom-/Wärmebezugswerte der Größe nach aufsteigen sortiert so ergibt sich, den Zeitraum eines Jahres annehmend, folgende Situation:

- Minimalleistung = Stunde 1
- höchster Wert des unteren Drittels = Stunde 2920
- niedrigster Wert des oberen Drittels = Stunde 5840
- Maximalleistung = Stunde 8760

Die Auswertung erfolgte mit folgenden BHKW Daten:

$P_{el} = 119 \text{ kW}$

$P_{th} = 177 \text{ kW}$

$P_{aufnahme} = 329 \text{ kW}$

Modulierbarkeit = 1

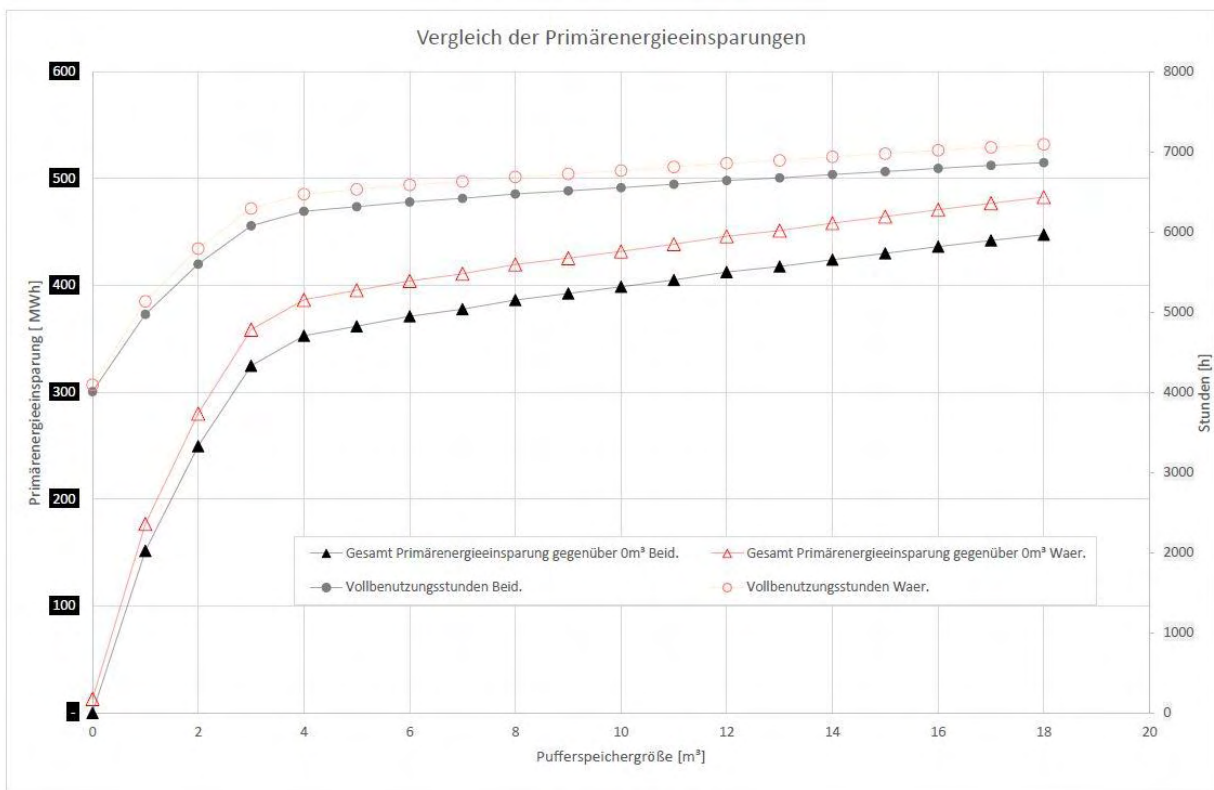
Schwellwert<sub>elektrisch</sub> = 50 kW

Im Folgenden sind Ergebnisse der Berechnung graphisch dargestellt. Die Auswertungen gelten für den Betrachtungszeitraum eines Jahres, basierend auf den vorliegenden Lastgangdaten. Gleiche Parameter sind sowohl für den Fall der wärmegeführten Steuerung als auch für den Fall der beidseitig geführten Steuerung dargestellt und durch den Zusatz „Waer.“ oder „Beid.“ gekennzeichnet.

In Abbildung 11 ist auf der linken Achse die Primärenergieeinsparung bezogen auf ein System ohne Pufferspeicher und die Steuerungsvariante mit dem höheren Primärenergiebedarf, auf der rechten Achse die Vollbenutzungstunden aufgetragen. Die horizontale Achse entspricht der Pufferspeichergröße. Zu sehen ist eine zunehmende Primärenergieeinsparung sowie Vollbenutzungsstundenanzahl bei zunehmender Pufferspeichergröße.

Abbildung 12 zeigt die vom BHKW zur Verfügung gestellte und selbstgenutzte Wärme und Strom. Zu beachten ist, dass die erzeugte Wärme auch gänzlich selbst genutzt wird, ein Teil des erzeugten Stromes jedoch auch eingespeist werden kann und somit hier im Diagramm

nicht zu sehen ist. Hier ist ebenfalls ein Anstieg der zur Verfügung gestellten Energiemengen bei höheren Pufferspeichern zu sehen. Jedoch auch eine insgesamt höhere Erzeugung durch die wärmegeführte Variante.



Auswertung Schlachthof

Abbildung 11 Primärenergie und Vollbenutzungsdauer

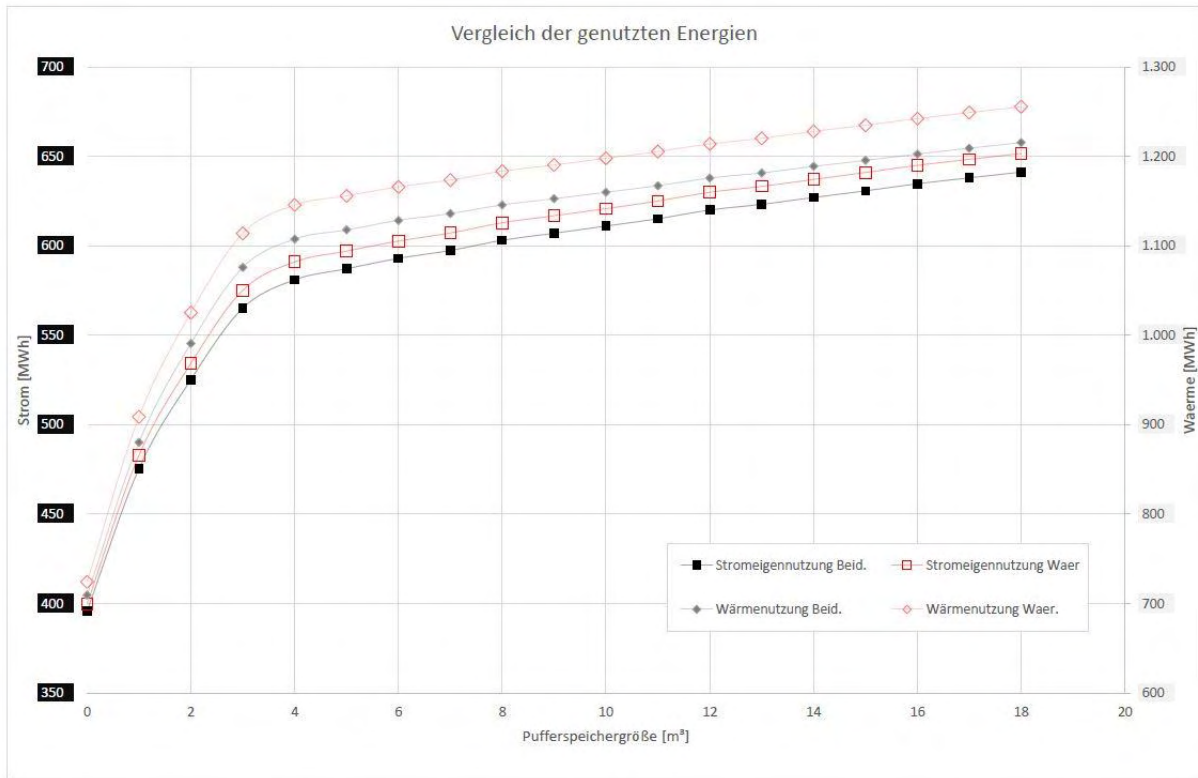


Abbildung 12 Genutzte Energien

Auswertung Schlachthof

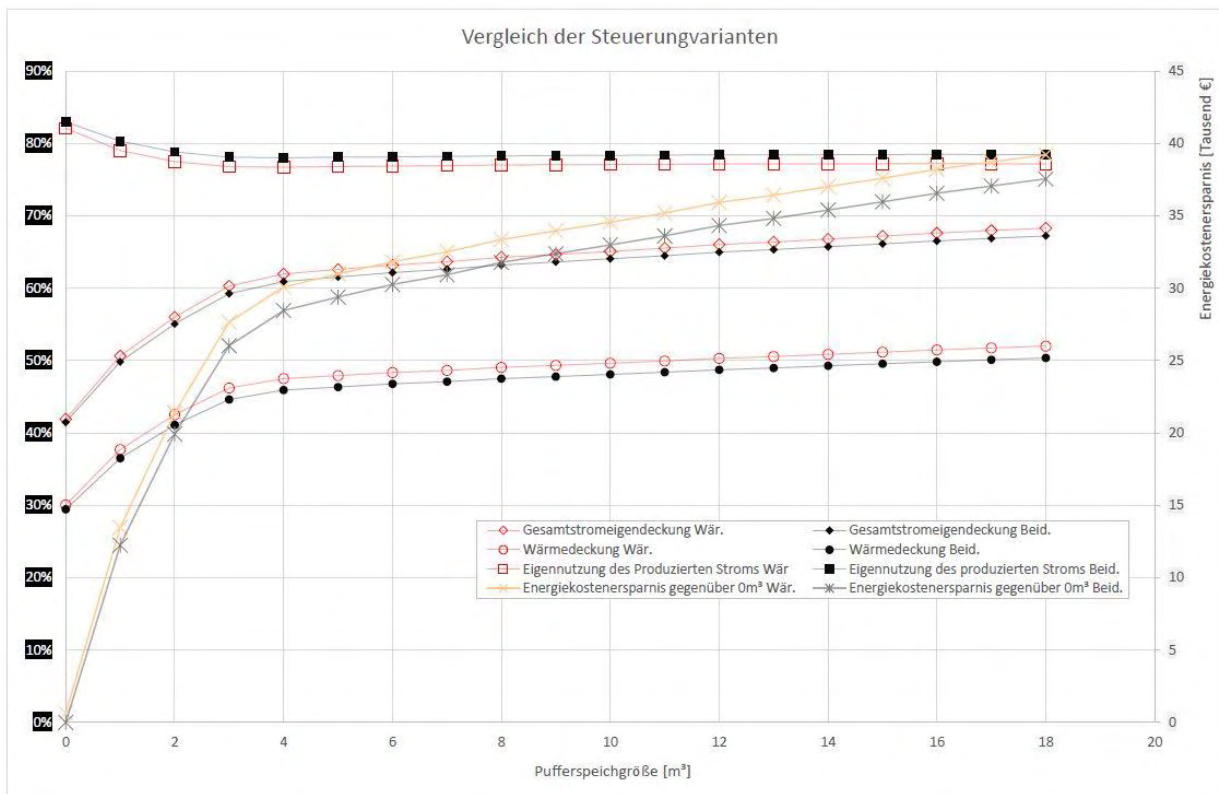


Abbildung 13 Kosteneinsparungen und Energiebedarfsdeckung

Auswertung Schlachthof

Abbildung 13 zeigt die Kostenersparnis bezogen auf ein System ohne Speicher und die Steuerungsvariante mit den höheren Energiekosten, sowie Energiebedarfsdeckungen bei zunehmenden Pufferspeichergößen. Werte für die Kostenersparnis sind auf der rechten Achse abzulesen. Alle anderen Parameter beziehen sich auf die linke Achse und sind in prozentualer Form dargestellt. Mit Gesamtstromeigendeckung und Wärmedeckung sind die Anteile am Gesamtenergiebedarf gemeint, welche durch das BHKW gedeckt werden. Die „Eigennutzung des Produzierten Stroms“ stellt den Anteil des im Unternehmen erzeugten und genutzten Stroms am gesamten durch das BHKW erzeugten Strom dar. Eine deutliche Zunahme der Gesamtstromeigendeckung als auch der Wärmedeckung ist mit zunehmender Pufferspeichergöße zu erkennen. Eine Kostenersparnis in Abhängigkeit der Pufferspeicherkapazität wird ebenfalls sichtbar. Die Veränderung der Eigennutzung des Produzierten Stroms ist sehr gering. Der Abfall der Eigennutzungsrate ist durch die höhere Laufzeit und einen niedrigen Schwellwert zu erklären. Das BHKW läuft häufiger und somit auch häufiger zu Zeiten in denen etwas mehr Strom als benötigt erzeugt wird.

In diesem Projekt ist eine sehr starke Veränderung der Parameter bis zu einer Pufferspeichergöße von 4 m<sup>3</sup> zu erkennen. Eine Erhöhung der Volllaststunden von 4000 auf über 6000, Primärenergieeinsparungen von 350 MWh sowie eine Energiekostenreduktion von annähernd 30000 € können bei diesem Projekt durch den Einsatz von einem 4 m<sup>3</sup> Pufferspeicher erzielt werden. Grund hierfür sind die Erzeugung und Eigennutzung von zusätzlichen 200 MWh Strom und 400 MWh Wärme durch das BHKW. Veränderungen durch noch größere Speicher sind weniger stark. Eine rein wärmegeführte Variante ist in allen Bereichen leicht überlegen. Insgesamt gleichen sich die Ergebnisse jedoch stark.

### 7.3 BEISPIELHAFTES PROJEKT WÄSCHEREI

	Maximale Leistung	Minimale Leistung	Ø Leistung	Werte des oberen Drittels $\geq$	Werte des unteren Drittels $\leq$	Gesamtbedarf
	[kW]					[kWh]
Wärmebedarf	2164	0	532	551	0	4673786
Strombedarf	192,9	0,9	56	46,2	3	489796

Tabelle 4 Lastgangzusammenfassung Wäscherei

Tabelle 4 verschafft einen Überblick über die Lastgänge des Projektes.

Zwei typische Tagesverläufe sind im Folgenden zu sehen. Je ein Winter- und ein Sommertag.

Wintertag

Sommertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]	Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	3,1	0,0	00:00	3,1	0,0
01:00	3,2	0,0	01:00	3,1	0,0
02:00	3,0	0,0	02:00	3,1	0,0
03:00	3,0	0,0	03:00	2,9	0,0
04:00	3,0	0,0	04:00	3,0	0,0
05:00	3,1	0,0	05:00	2,3	0,0
06:00	12,1	1292,0	06:00	12,5	1172,0
07:00	109,6	1723,0	07:00	98,4	1799,0
08:00	169,8	1735,0	08:00	179,4	1869,0
09:00	149,9	1553,0	09:00	162,7	1439,0
10:00	180,1	1791,0	10:00	168,6	1764,0
11:00	178,5	1735,0	11:00	169,0	1753,0
12:00	151,3	1156,0	12:00	169,7	1219,0
13:00	136,6	1530,0	13:00	139,0	1776,0
14:00	168,0	1179,0	14:00	174,9	1497,0
15:00	98,2	79,0	15:00	167,6	1486,0
16:00	26,5	0,0	16:00	162,0	1416,0
17:00	11,3	0,0	17:00	138,4	244,0
18:00	12,8	0,0	18:00	28,6	0,0
19:00	8,4	0,0	19:00	4,4	0,0
20:00	3,4	0,0	20:00	2,8	0,0
21:00	3,4	0,0	21:00	1,9	0,0
22:00	3,5	0,0	22:00	1,9	0,0
23:00	3,2	0,0	23:00	3,0	0,0

Der 9-stündige Betrieb der Wäscherei ist gut am Lastgang zu erkennen. Während der Nachtstunden ist kein Wärmebedarf mehr vorhanden. Wochenends wird nicht gearbeitet.

Die Auswertung erfolgte mit einem besonders kleinen BHKW. Die Idee ist die Nutzung des BHKWs zur Deckung der Grundlast und Speicherung der Wärme über Nacht. Zum Arbeitsbeginn kann der Pufferspeicher vollständig entleert werden. Dieser Fall ist günstig für die eine beidseitig geregelte Anlage.

Die Auslegung basiert auf folgenden BHKW Daten

- $P_{el}$  6 kW
- $P_{th}$  13 kW
- Modulierbarkeit 0,5
- $P_{aufnahme}$  21 kW
- Schwellwert<sub>elektrisch</sub> 2 kW

In diesem Projekt ist eine sehr starke Veränderung der Parameter bis zu einer Pufferspeichergröße von 8 m<sup>3</sup> zu erkennen (siehe Abbildung 14). Die Veränderungen der Parameter sind in jedem Fall von 0 bis 2 m<sup>3</sup> am höchsten, im Bereich von 2 bis 8 m<sup>3</sup> in den

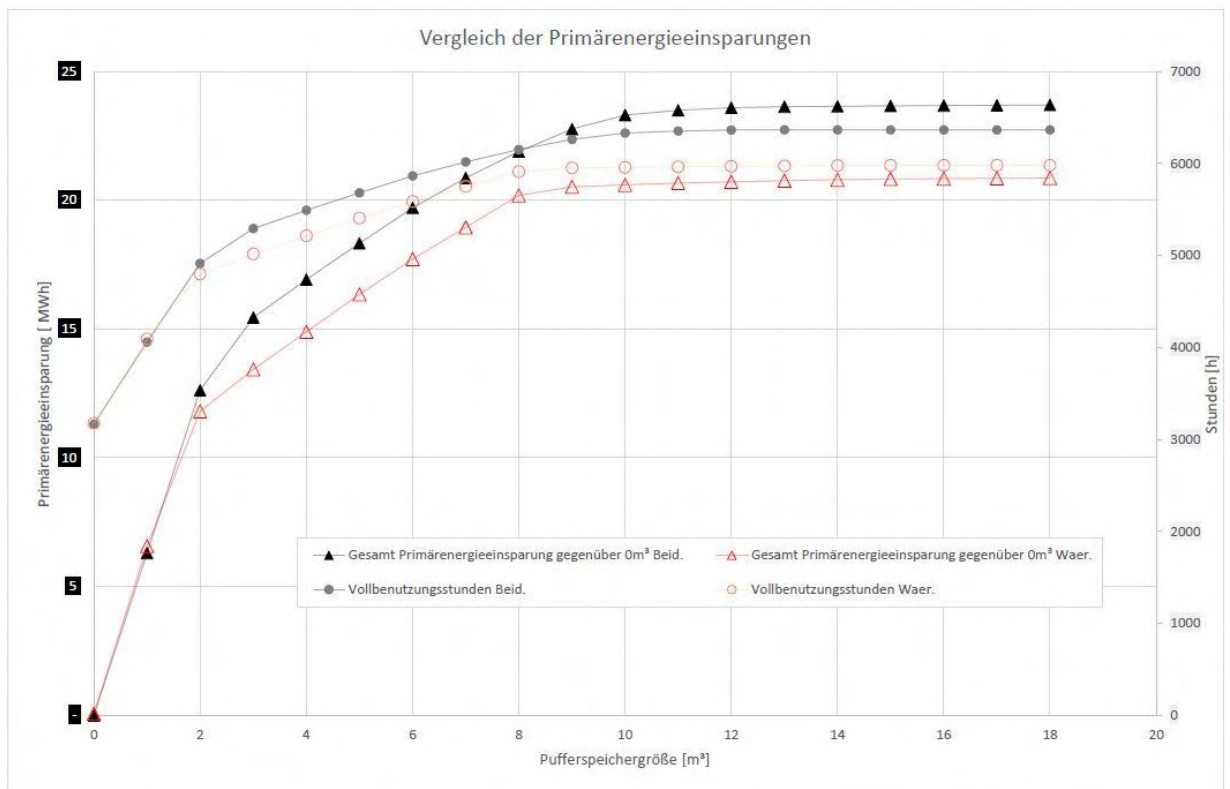


Abbildung 14 Primärenergie und Vollbenutzungsdauer



wärmeseitig geregelten Fällen und von 2 bis 10 m<sup>3</sup> in den beidseitig geregelten Fällen noch immer hoch. So können mit einem 8 m<sup>3</sup> Speicher, verglichen mit 0 m<sup>3</sup>, fast die doppelten Strom- und Wärmemengen produziert und genutzt werden (siehe Abbildung 15).

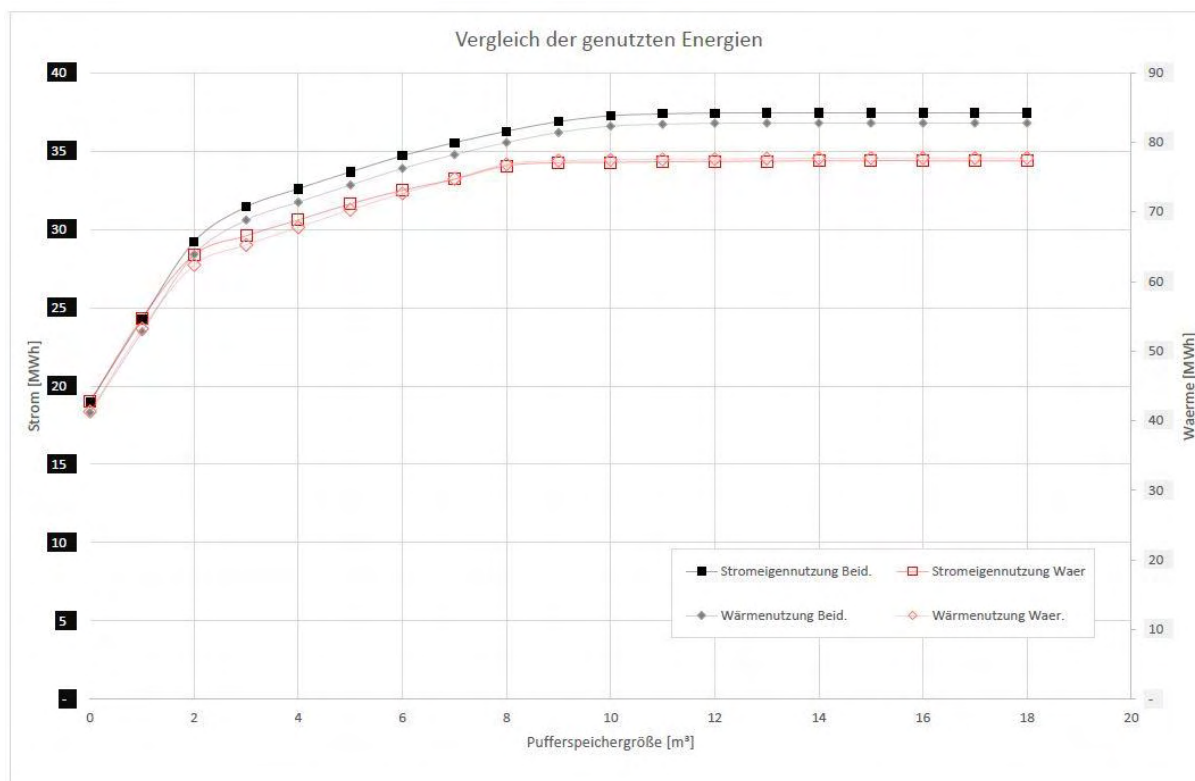


Abbildung 15 Genutzte Energien

Auswertung Waescherei

Die beidseitige Regelung zeigt ab 2 m<sup>3</sup> Speichergröße leicht bessere Ergebnisse. Auf der Kostenseite (Abbildung 16) sind die Einsparungen nur um ca. 300 € höher als im wärmeseitig geregelten Fall. Hinsichtlich der Primärenergie werden durch die beidseitige Regelung um 3 MWh höhere Einsparungen verglichen mit der wärmeseitigen Regelung erzielt.

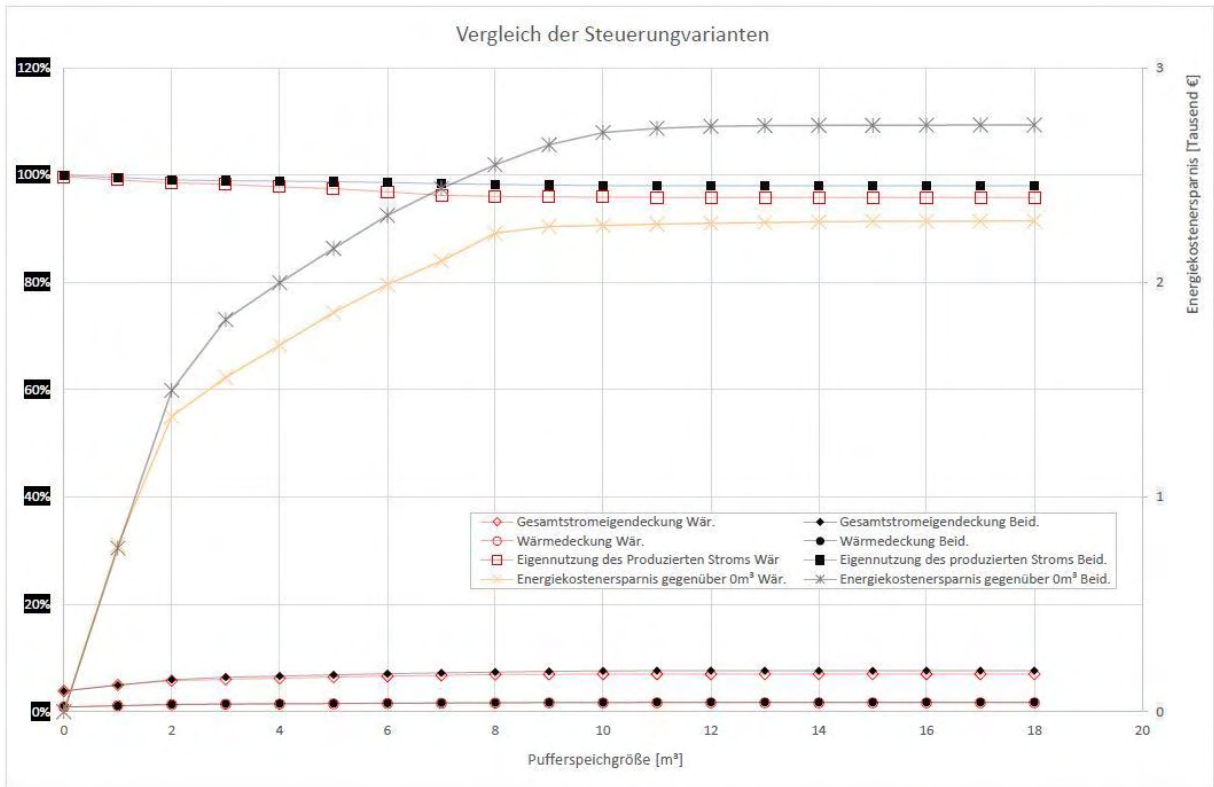


Abbildung 16 Kosteneinsparungen und Energiebedarfsdeckung

Auswertung Waescherei

## 7.4 BHKWs HÖHERER LEISTUNGSKLASSEN

Der Einsatz von Pufferspeichern eröffnet gegebenenfalls die Möglichkeit zum Einsatz von BHKWs höherer Leistungsklassen. Anhand des folgenden Beispiels soll dies gezeigt werden.

Das in Abbildung 17 dargestellte Projekt (Papier) ist im Anhang genauer beschrieben. Es handelt sich um einen Fall, welcher einen hohen Strom- und Wärmebedarf an 5 Tagen in der Woche hat, am Wochenende einen sehr geringen Strom- aber hohen Wärmebedarf. Hier liegt die Idee nahe, unter der Woche mit einem BHKW mit hoher Leistung den Strombedarf zu einem großen Teil zu decken und eine hohe Menge an Wärme zu produzieren, zwischen

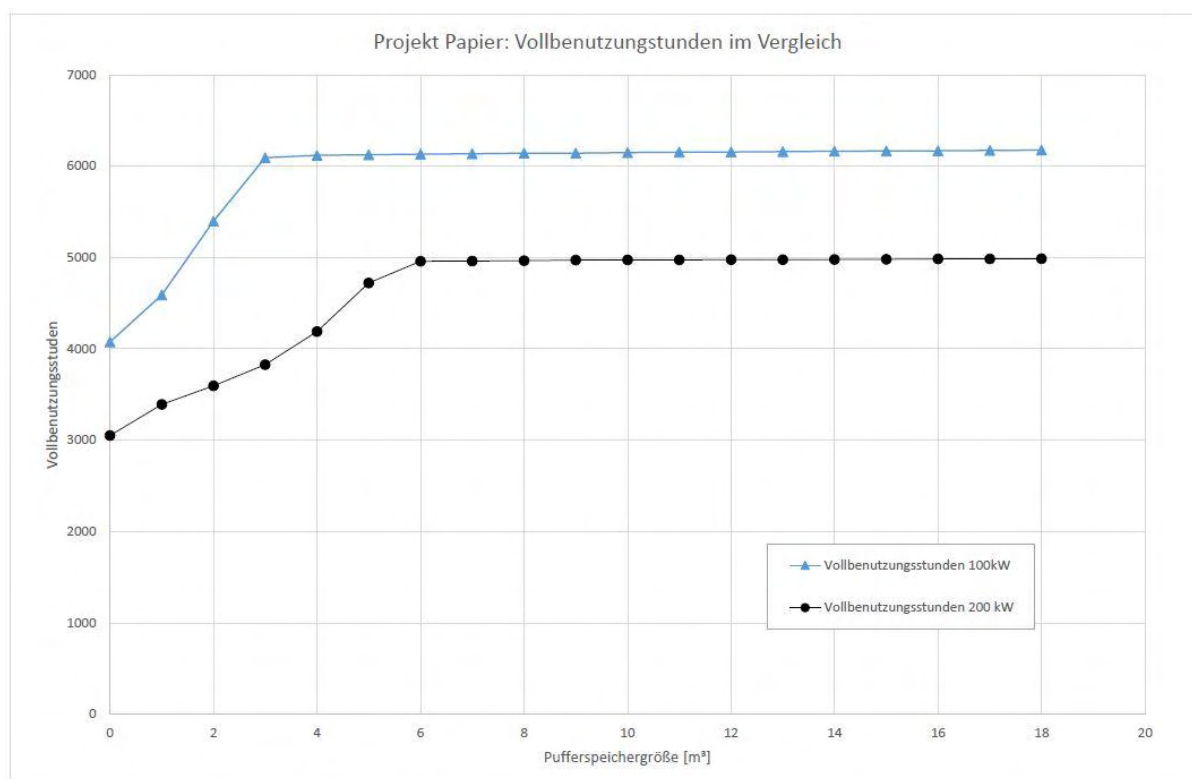


Abbildung 17 Vollbenutzungsstunden BHKW 100kW und BHKW 200kW im Vergleich

zu speichern und Wochenends zu nutzen. In diesem Fall ist dies ein BHKW mit 200 kW<sub>elektrisch</sub>.

Im Beispiel sinkt die Anzahl der Vollaststunden verglichen mit einer Anlage, welche eine geringere Leistung aufweist (in diesem Fall 100 kW<sub>elektrisch</sub>) und somit häufiger am Wochenende laufen würde. Für beide Fälle erkennt man den Vorteil eines Pufferspeichers bezogen auf die Vollbenutzungsdauer. Bei dem 100 kW<sub>elektrisch</sub> BHKW sind starke Änderungen der Vollbenutzungsdauer bis zu 3 m³ und bei dem 200 kW<sub>elektrisch</sub> BHKW bis 6 m³ sichtbar.

Die Deckung des Energiebedarfes, sowohl wärme- als auch stromseitig, durch das 200 kW<sub>elektrisch</sub> BHKW ist deutlich höher verglichen mit dem 100 kW<sub>elektrisch</sub> BHKW. Der Anteil der Deckung des Gesamtwärmebedarfes ist hier um ca. 30 % erhöht, der Anteil der Deckung des Gesamtstrombedarfes um ca. 10 % erhöht (bei Nutzung eines 6 m<sup>3</sup> Pufferspeichers, siehe

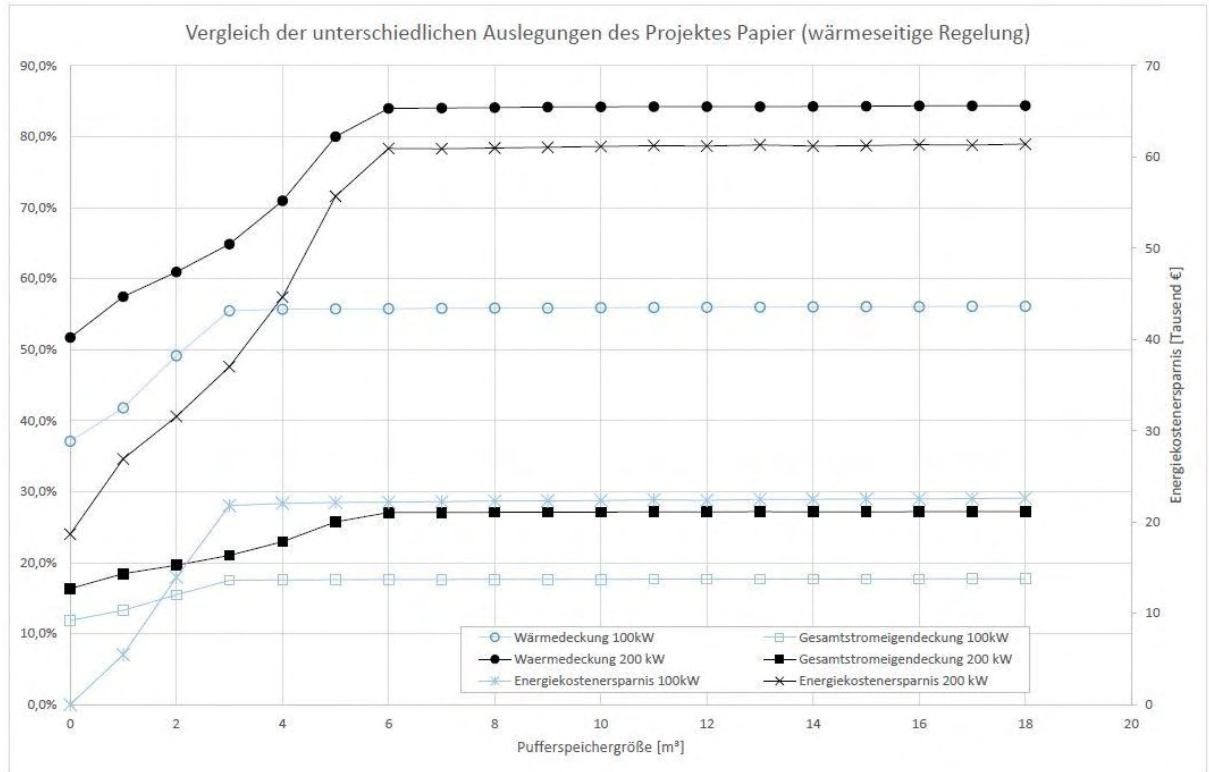


Abbildung 18 Vergleich der Energiebedarfsdeckungsgrade bei unterschiedlicher BHKW Leistung

Abbildung 18). Hierdurch ergibt sich eine Kostenersparnis, welche um etwa 40000 € höher ist als die Ersparnis durch ein 100 kW<sub>elektrisch</sub> BHKW. Es ist zu beachten, dass in diese Kostenrechnung erhöhte Energiekosten beim Anfahren des Kraftwerkes (findet bei dem 200 kW<sub>elektrisch</sub> BHKW häufiger statt als bei dem 100 kW<sub>elektrisch</sub> BHKW) sowie eventuell erhöhter Verschleiß nicht miteinbezogen sind. Ob sich die Investition in ein leistungsstärkeres BHKW, welches meist höhere Investitionskosten verursacht als ein leistungsschwächeres BHKW, tatsächlich lohnt ist letztlich Projektbezogen zu klären. Infrage kommt diese Möglichkeit allerdings nur in Kombination mit entsprechend großen Pufferspeichern. Im hier diskutierten Fall wären dies 6 m<sup>3</sup>.

## 7.5 GENERELLE AUSSAGEN

Die Auswertungen (zu sehen im Anhang) zeigen einen deutlichen Einfluss der Speicherkapazität auf die Volllaststundenzahl des BHKWs, den Gesamtprimärenergiebedarf, die Gesamtenergiekosten und die Energiebedarfseigendeckung.

Nachfolgend in Tabelle 5 ist die Art des Einflusses zunehmender Pufferspeicherkapazitäten auf die zuvor genannten Parameter zu sehen.

*Tabelle 5 Einfluss des Pufferspeichers auf das BHKW*

Parameter	Erhöhung des Parameters	Senkung des Parameters
Volllaststunden	x	
Gesamtprimärenergiebedarf		x
Gesamtstromeigendeckung	x	
Wärmedeckung	x	
Gesamt Energiekosten		x

Meist gibt es bei den betrachteten Fällen eine Pufferspeichergröße, ab der bei weiterer Zunahme der Pufferspeicherkapazität nur noch eine sehr schwache Veränderung der Parameter zu sehen ist. Für die unterschiedlichen Regelungen im gleichen Projekt kann dieser Punkt bei verschiedenen Pufferspeichergrößen liegen. Schon geringe Pufferspeichergrößen haben häufig einen deutlicheren Einfluss auf beidseitig geregelte BHKWs als auf wärmeseitig geregelte.

Die Anwendung des Tools zeigt deutlich, dass die Ergebnisse stark variieren. Die Kapazität des zu wählenden Pufferspeichers ist von der Art des Lastgangs und der BHKW-Leistung abhängig. Bei unterschiedlichen Fällen ändert sich der optimale Kapazitätsbereich des Speichers erheblich, wie in 7.2 und 7.3 zu sehen ist.

Ebenfalls ist die zu wählende Regelungsart abhängig von dem jeweiligen Lastgang, sowie von der BHKW-Leistung.

Bei einer installierten Leistung und Regelungsart wird durch eine Zunahme der BHKW-Laufzeit die Effizienz gesteigert und Kosten gesenkt. Eine Erhöhung der Pufferspeicherkapazität hat eine direkte Erhöhung der Volllaststunden zur Folge.

Teilweise bedeutet die in 5.2 beschriebene, beidseitige Steuerung eine Primärenergieeinsparung in der Gesamtenergiebilanz der Unternehmen. Jedoch ist dies nicht gleichbedeutend mit einer Kostenersparnis. Trotz eines insgesamt höheren Primärenergieaufwands kann die wärmegeführte Steuerung kostengünstiger sein. Die Kostenunterschiede zwischen der beidseitigen Steuerung und der Wärmeseitigen Steuerung sind insgesamt jedoch gering. Sie bewegen sich zwischen Werten welche kleiner als 1 % der Energiekosten bei hohen Energieverbräuchen und 2,5 % bei geringen Energieverbräuchen. Es ist fraglich ob sich bei den momentanen Energiepreisniveaus der Mehraufwand für die beidseitige Steuerung lohnt.

## 8 FAZIT

---

Durch die Nutzung passender Pufferspeicher kann der Anteil an der Deckung des Strombedarfes durch Eigenstromerzeugung erheblich erhöht werden. Selbiges gilt für den Wärmebedarf. Die benötigte Pufferspeicherkapazität ist stark abhängig von der Art des Lastgangs und der BHKW-Leistung im betrachteten Fall. Der Einsatz eines Pufferspeichers ist allerdings fast immer zu empfehlen.

Der Anteil der Eigennutzung des Stroms ist abhängig von der gewählten Regelung, nicht vom Speicher. Mittels der in 5.2 beschriebenen Regelung werden sehr hohe Stromeigennutzungsraten erzielt. Diese liegen häufig nahe an 100 %.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene beidseitige Steuerung (siehe 5.2) kann eine Primärenergieeinsparung bedeuten, jedoch nicht zwangsläufig eine Kostenreduktion. Zum Teil ist der Betrieb des BHKWs mit rein wärmeseitiger Regelung günstiger. Sie bedeutet häufig eine insgesamt höhere Energieabgabe durch das BHKW als die beidseitige Steuerung. Dies führt zu einem höheren dezentralen Strom- und Wärmeerzeugungsgrad.

Eine pauschale Aussage ist jedoch kaum zu treffen, die genaue Betrachtung der Projekte ist nötig um verlässliche Angaben zur Pufferspeicherkapazität und Regelungsart machen zu können. Der zu empfehlende Pufferspeicher ist jedoch deutlich weniger abhängig von den Energiepreisen als die Wahl der Steuerung.

Dies liegt daran, dass die Wahl der Steuerung wiederum abhängig von dem Fokus der Auslegung (maximale Primärenergie bzw. CO<sub>2</sub> Einsparung oder maximale Kostenersparnis), den tatsächlichen Energiepreisen, etwaigen Boni sowie Vergütungen für eingespeisten Strom ist. Momentan erscheint der Mehraufwand für die beidseitige Steuerung (erhöhtes Investitionsvolumen) nicht lohnenswert.

Besonders ab 2020 oder nach Ablauf der in 3.3 erwähnten Förderungsdauer von 10 Jahren bzw. 30000 Volllaststunden und somit dem voraussichtlichen Verfall des KWK-Zuschlages ist die zu bevorzugende Art der Steuerung zu prüfen.

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

---

- [1] Y.-M. Jung, Energieeffizienzpolitik in Deutschland und Südkorea, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2009.
- [2] Umweltbundesamt, „Kraft-Wärme-Kopplung,“ 17 07 2013. [Online]. Available: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellungverbrauch/>.
- [3] KWK-Gesetz, *Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 19. März 2002 (BGBl. I S. 1092)*, das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 77 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist.
- [4] Bundesregierung, „Drucksache 17/11775,“ H.Heenemann GmbH & Co, Berlin, 2012.
- [5] G. Schaumann und K. W. Schmitz, Kraft-Wärme-Kopplung, 4. Hrsg., Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.
- [6] Umweltbundesamt, „Stromspeicher,“ 24 10 2013. [Online]. Available: <http://www.umweltbundesamt.de/stromspeicher>.
- [7] K. -H. Grote und J. Feldhusen, Dubbel, 22. Hrsg., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [8] BINE Informationsdienst, „basisEnergie 19,“ *basisEnergieinfo*, Dezember 2005.
- [9] H. Herwig und A. Moschallski, Wärmeübertragung, 1. Hrsg., Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2006.
- [10] G. Schaumann und K. W. Schmitz, Kraft-Wärme-Kopplung, 4. Hrsg., Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, p. 6.
- [11] Zahoransky et al, Energietechnik, 5. Hrsg., Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010.
- [12] Bosch Thermotechnik GmbH, *Planungsunterlage Loganova BHKW-Module*, Wetzlar: Buderus Deutschland, 2011.
- [13] P. Konstantin, Praxisbuch Energiewirtschaft, 2. Hrsg., Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2009.
- [14] Wolf GmbH und Kuntschar+Schlüter, *Planungsunterlage Blockheizkraftwerk BHKW*, 2013.
- [15] ASUE und E. Stadt Frankfurt am Main, „BHKW-Kenndaten 2011 Module Anbieter Kosten,“ energieDRUCK, Essen, 2011.



[16] B. Oschatz und B. Mailach, „ITG Dresden ASUE Heizkostenvergleich Neubau 2007,“  
Dresden, 2007.

## 10 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

ABBILDUNG 1 FUNKTIONSWEISE SCHICHTENSPEICHER QUELLE: ZAHORANSKY ET AL.. (2010).ENERGIETECHNIK 5.AUFLAGE, VIEWEG+TEUBNER VERLAG, BILD 17.11	11
ABBILDUNG 2 REGELFÄLLE	21
ABBILDUNG 3 FLUSSDIAGRAMM DES CODES 1	25
ABBILDUNG 4 FLUSSDIAGRAMM DES CODES 2	26
ABBILDUNG 5 FLUSSDIAGRAMM DES CODES 3	27
ABBILDUNG 6 GRAPHISCHE AUFARBEITUNG DER ERGEBNISSE DER ÜBERPRÜFUNG	34
ABBILDUNG 7 WÄRMESEITIGE REGELUNG SPEICHERGRÖÙE = 1 M <sup>3</sup>	37
ABBILDUNG 8 WÄRMESEITIGE REGELUNG SPEICHERGRÖÙE = 6 M <sup>3</sup>	38
ABBILDUNG 9 BEIDSEITIGE REGELUNG SPEICHERGRÖÙE = 1 M <sup>3</sup>	39
ABBILDUNG 10 BEIDSEITIGE REGELUNG SPEICHERGRÖÙE = 6 M <sup>3</sup>	40
ABBILDUNG 11 PRIMÄRENERGIE UND VOLLBENUTZUNGSDAUER	43
ABBILDUNG 12 GENUTZTE ENERGIEN	44
ABBILDUNG 13 KOSTENEINSPARUNGEN UND ENERGIEBEDARFSDECKUNG	44
ABBILDUNG 14 PRIMÄRENERGIE UND VOLLBENUTZUNGSDAUER	47
ABBILDUNG 15 GENUTZTE ENERGIEN	48
ABBILDUNG 16 KOSTENEINSPARUNGEN UND ENERGIEBEDARFSDECKUNG	49
ABBILDUNG 17 VOLLBENUTZUNGSSTUNDEN BHKW 100KW UND BHKW 200KW IM VERGLEICH	50
ABBILDUNG 18 VERGLEICH DER ENERGIEBEDARFSDECKUNGSGRAD E BEI UNTERSCHIEDLICHER BHKW LEISTUNG	51

## 11 TABELLENVERZEICHNIS

---

TABELLE 1 MODELLE AM MARKT	16
TABELLE 2 ZUSTÄNDE DER BEIDSEITIGEN REGELUNG	20
TABELLE 3 LASTGANGZUSAMMENFASSUNG SCHLACHTHOF	41
TABELLE 4 LASTGANGZUSAMMENFASSUNG WÄSCHEREI	46
TABELLE 5 EINFLUSS DES PUFFERSPEICHERS AUF DAS BHKW	52

# ANHANG

---

## PROJEKTAUSWERTUNGEN

Es folgen die Ergebnisse der Auswertung welche projektbezogen dargestellt werden.

Eine Darstellung der entsprechenden Lastgänge in gedruckter Form ist in keiner sinnvollen Weise möglich.

## INHALT

---

ANHANG.....	0
PROJEKTAUSWERTUNGEN .....	0
Projekt Schlachthof .....	1
Projekt Wäscherei .....	3
Das Projekt Hotel 2 .....	5
Das Projekt Hotel 1 .....	11
Das Projekt Bäckerei.....	16
Das Projekt Metallbau .....	21
Das Projekt Papier .....	26
WÄRMEVERLUSTE IM PUFFERSPEICHER .....	35
ERGEBNISSE DER ÜBERPRÜFUNG DES TOOLS:.....	37
Tag1 – Winter, Montag, Produktionsstätte, 3 Schichtbetrieb .....	37
Tag 2 – Winter, Hotel.....	45
Tag 3 – Sommer, Hotel .....	53
Tag 4 – Sommer, Mittwoch, Produktionsstätte, 1 Schichtbetrieb .....	61

## Projekt Schlachthof

Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waerme-prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Vollbenutzungss-tunden [h]	Gesamtstrom-eigen-deckung	Eigen-nutzung des produzierten stroms	Waermebe-darf-deckung [kWh]	Waerme-deckung [%]
0	81161,8	558026,2	-1700952,6	0,0	709593,0	477071,0	4009,0	41,5%	83,0%	709593,0	29,4%
1	116399,6	478429,0	-1530197,8	50,1	880398,0	591906,0	4974,0	49,8%	80,3%	880347,9	36,5%
2	141005,0	428659,4	-1419647,5	124,9	991023,0	666281,0	5599,0	55,1%	78,8%	990898,1	41,1%
3	158279,6	388814,0	-1334838,7	276,1	1075983,0	723401,0	6079,0	59,2%	78,1%	1075706,9	44,6%
4	163663,0	372896,4	-1303313,8	434,2	1107666,0	744702,0	6258,0	60,9%	78,0%	1107231,8	45,9%
5	164391,0	366722,4	-1293179,2	565,6	1117932,0	751604,0	6316,0	61,6%	78,1%	1117366,4	46,4%
6	165713,0	360904,4	-1282672,9	679,3	1128552,0	758744,0	6376,0	62,2%	78,2%	1127872,7	46,8%
7	166396,4	356470,8	-1275150,5	767,9	1136163,0	763861,0	6419,0	62,6%	78,2%	1135395,1	47,1%
8	167268,2	350797,6	-1265518,7	871,1	1145898,0	770406,0	6474,0	63,2%	78,3%	1145026,9	47,5%
9	167954,8	346843,2	-1258696,0	951,3	1152801,0	775047,0	6513,0	63,6%	78,3%	1151849,7	47,8%
10	168818,2	342827,6	-1251511,9	1024,3	1160058,0	779926,0	6554,0	64,1%	78,4%	1159033,7	48,1%
11	169593,0	338723,4	-1244319,6	1089,0	1167315,0	784805,0	6595,0	64,5%	78,4%	1166226,0	48,4%
12	170449,4	333867,8	-1235903,0	1168,4	1175811,0	790517,0	6643,0	65,0%	78,4%	1174642,6	48,7%
13	171192,2	330683,6	-1230124,0	1230,3	1181652,0	794444,0	6676,0	65,3%	78,5%	1180421,7	49,0%
14	172249,8	326862,2	-1222920,7	1284,1	1188909,0	799323,0	6717,0	65,7%	78,5%	1187624,9	49,3%
15	173034,4	323124,8	-1216250,0	1339,4	1195635,0	803845,0	6755,0	66,1%	78,5%	1194295,6	49,5%
16	173877,2	319207,6	-1209227,9	1397,2	1202715,0	808605,0	6795,0	66,5%	78,5%	1201317,8	49,8%
17	174956,2	315883,6	-1202731,3	1449,7	1209264,0	813008,0	6832,0	66,9%	78,5%	1207814,3	50,1%
18	175910,8	312673,2	-1196574,3	1487,7	1215459,0	817173,0	6867,0	67,2%	78,5%	1213971,3	50,4%

Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener-gie BHKW	Gesamt Primärener-giebedarf	Energiekosten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever-gütung	Wartungskos-ten BHKW	Wartungskos-ten Kessel [€/a]
1318961,0	4258522,4	232177	65948,1	85047,6	100444,7	21945,3	3043,6	5625,52234	100
1636446,0	4106979,9	219936	81822,3	76509,9	86117,2	27227,7	4365,0	6979,63286	100
1842071,0	4008872,8	212265	92103,6	70982,4	77158,7	30648,9	5287,7	7856,64744	100
1999991,0	3933620,4	206146	99999,6	66741,9	69986,5	33276,4	5935,5	8530,19464	100
2058882,0	3905659,2	203719	102944,1	65165,7	67121,4	34256,3	6137,4	8781,37162	100
2077964,0	3896679,3	202792	103898,2	64659,0	66010,0	34573,8	6164,7	8862,75857	100
2097704,0	3887367,6	201912	104885,2	64133,6	64962,8	34902,2	6214,2	8946,95197	100
2111851,0	3880701,3	201245	105592,6	63757,5	64164,7	35137,6	6239,9	9007,29058	100
2129946,0	3872164,5	200390	106497,3	63275,9	63143,6	35438,7	6272,6	9084,46786	100
2142777,0	3866118,2	199794	107138,9	62934,8	62431,8	35652,2	6298,3	9139,19357	100
2156266,0	3859750,4	199187	107813,3	62575,6	61709,0	35876,6	6330,7	9196,72573	100
2169755,0	3853374,3	198567	108487,8	62216,0	60970,2	36101,0	6359,7	9254,25788	100
2185547,0	3845913,4	197835	109277,4	61795,2	60096,2	36363,8	6391,9	9321,6126	100
2196404,0	3840791,3	197353	109820,2	61506,2	59523,0	36544,4	6419,7	9367,91897	100
2209893,0	3834404,4	196773	110494,7	61146,0	58835,2	36768,9	6459,4	9425,45113	100
2222395,0	3828490,2	196208	111119,8	60812,5	58162,5	36976,9	6488,8	9478,77362	100
2235555,0	3822264,4	195615	111777,8	60461,4	57457,4	37195,8	6520,4	9534,90255	100
2247728,0	3816504,5	195110	112386,4	60136,6	56859,0	37398,4	6560,9	9586,82181	100
2259243,0	3811044,3	194621	112962,2	59828,7	56281,2	37590,0	6596,7	9635,93463	100

Abbildung 1 Ergebnisse der Auswertung -beidseitige Regelung



Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waerme-prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll-benutzungs-stunden [h]	Gesamt-strom-eigen-deckung	Eigen-nutzung des produzierten stroms	Waermebed-arf-deckung [kWh]	Waerme-deckung [%]
0	87130,0	554117,4	-1686261,6	0,0	724284,0	486948,0	4092,0	41,9%	82,1%	724284,0	30,0%
1	128071,2	470941,6	-1501748,4	54,8	908895,0	611065,0	5135,0	50,6%	79,0%	908797,2	37,7%
2	155051,6	419620,0	-1385377,5	135,0	1025361,0	689367,0	5793,0	56,0%	77,5%	1025168,1	42,5%
3	173831,0	378780,4	-1296892,9	292,3	1114038,0	748986,0	6294,0	60,3%	76,8%	1113652,7	46,2%
4	179236,6	362885,0	-1265370,9	457,9	1145721,0	770287,0	6473,0	62,0%	76,7%	1145174,7	47,5%
5	180084,8	356831,2	-1255245,3	598,6	1155987,0	777189,0	6531,0	62,6%	76,8%	1155300,3	47,9%
6	181274,4	351237,8	-1245456,2	721,7	1166076,0	783972,0	6588,0	63,2%	76,9%	1165089,4	48,3%
7	181863,6	346710,0	-1237914,6	821,7	1173687,0	789089,0	6631,0	63,7%	77,0%	1172631,1	48,6%
8	182796,0	340978,4	-1228113,1	932,1	1183599,0	795753,0	6687,0	64,3%	77,0%	1182432,5	49,1%
9	183518,0	337059,4	-1221296,1	1018,3	1190502,0	800394,0	6726,0	64,7%	77,1%	1189249,6	49,3%
10	184547,0	333090,4	-1214118,1	1097,2	1197936,0	805392,0	6768,0	65,1%	77,1%	1196427,5	49,6%
11	185379,0	328805,4	-1206579,3	1169,1	1205547,0	810509,0	6811,0	65,5%	77,1%	1203966,3	49,9%
12	186217,8	323932,2	-1198168,0	1253,7	1214043,0	816221,0	6859,0	66,0%	77,2%	1212377,6	50,3%
13	187113,4	320662,8	-1192039,6	1320,1	1220238,0	820386,0	6894,0	66,4%	77,2%	1218506,0	50,5%
14	188474,8	316788,2	-1184312,3	1380,7	1228026,0	825622,0	6938,0	66,8%	77,2%	1226233,3	50,9%
15	189219,0	312891,4	-1177468,3	1439,6	1234929,0	830263,0	6977,0	67,2%	77,2%	1233077,3	51,2%
16	190219,6	308894,0	-1170096,1	1501,3	1242363,0	835261,0	7019,0	67,6%	77,2%	1240449,5	51,5%
17	191374,2	305526,6	-1163425,8	1556,9	1249089,0	839783,0	7057,0	68,0%	77,2%	1247119,8	51,7%
18	192524,0	302273,4	-1156920,0	1600,0	1255638,0	844186,0	7094,0	68,3%	77,2%	1253625,6	52,0%

Auslegung bei rein wärmeisiger Regelung

Primärenergie BHKW	Gesamt Primärenergiebedarf	Energiekosten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisevergütung	Wartungskosten BHKW [€]	Wartungskosten Kessel [€/a]
1346268,0	4245483,9	231542,6	67313,4	84313,1	99741,1	22399,6	3267,4	5741,98988	100
1689415,0	4081735,9	218721,6	84470,8	75087,4	84769,5	28109,0	4802,7	7205,55182	100
1905897,0	3978465,2	210798,9	95294,9	69268,9	75531,6	31710,9	5814,4	8128,87277	100
2070726,0	3899955,0	204521,3	103536,3	64844,6	68180,5	34453,4	6518,7	8831,88766	100
2129617,0	3871996,8	202097,2	106480,9	63268,5	65319,3	35433,2	6721,4	9083,06464	100
2148699,0	3863025,9	201187,4	107435,0	62762,3	64229,6	35750,7	6753,2	9164,45159	100
2167452,0	3854371,6	200352,1	108372,6	62272,8	63222,8	36062,7	6797,8	9244,43532	100
2181599,0	3847686,0	199670,3	109080,0	61895,7	62407,8	36298,1	6819,9	9304,77392	100
2200023,0	3838999,5	198806,8	110001,2	61405,7	61376,1	36604,6	6854,9	9383,35443	100
2212854,0	3832958,9	198216,2	110642,7	61064,8	60670,7	36818,1	6881,9	9438,08014	100
2226672,0	3826617,1	197624,2	111333,6	60705,9	59956,3	37048,0	6920,5	9497,01552	100
2240819,0	3819934,4	196977,1	112041,0	60329,0	59185,0	37283,4	6951,7	9557,35412	100
2256611,0	3812478,8	196242,1	112830,6	59908,4	58307,8	37546,2	6983,2	9624,70884	100
2268126,0	3807047,1	195746,9	113406,3	59602,0	57719,3	37737,8	7016,8	9673,82166	100
2282602,0	3800195,9	195156,7	114130,1	59215,6	57021,9	37978,6	7067,8	9735,56349	100
2295433,0	3794128,3	194568,0	114771,7	58873,4	56320,5	38192,1	7095,7	9790,2892	100
2309251,0	3787592,3	193962,3	115462,6	58504,8	55600,9	38422,0	7133,2	9849,22458	100
2321753,0	3781678,5	193449,7	116087,7	58171,3	54994,8	38630,0	7176,5	9902,54706	100
2333926,0	3775909,4	192953,8	116696,3	57846,0	54409,2	38832,6	7219,7	9954,46633	100

Abbildung 2 Ergebnisse Auswertung- wärmeisig Regelung

## Projekt Wäscherei

Speicher grösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungss- tunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	6,2	470800,9	-4632615,5	0,0	41170,5	19001,8	3167,0	3,9%	100,0%	41170,5	0,9%
1	102,5	465543,7	-4621484,1	426,8	52769,9	24355,3	4059,2	5,0%	99,6%	52301,9	1,1%
2	271,2	460586,3	-4610537,1	561,2	63876,3	29481,4	4913,6	6,0%	99,1%	63248,9	1,4%
3	331,4	458370,9	-4605658,9	613,5	68806,9	31757,0	5292,8	6,4%	99,0%	68127,1	1,5%
4	364,8	457210,6	-4603108,2	649,1	71393,2	32950,7	5491,8	6,7%	98,9%	70677,8	1,5%
5	422,3	456133,8	-4600673,1	671,6	73850,8	34085,0	5680,8	6,9%	98,8%	73112,9	1,6%
6	492,2	455106,3	-4598304,7	680,9	76228,5	35182,4	5863,7	7,1%	98,6%	75481,3	1,6%
7	574,9	454269,8	-4596310,4	678,1	78220,1	36101,6	6016,9	7,3%	98,4%	77475,6	1,7%
8	642,2	453539,3	-4594569,9	666,3	79948,8	36899,4	6149,9	7,4%	98,3%	79216,1	1,7%
9	703,5	452926,1	-4593090,0	647,7	81410,1	37573,9	6262,3	7,5%	98,1%	80696,0	1,7%
10	746,1	452553,6	-4592168,3	625,4	82309,5	37989,0	6331,5	7,6%	98,0%	81617,7	1,7%
11	753,3	452430,2	-4591863,1	603,3	82592,6	38119,7	6353,3	7,6%	98,0%	81922,9	1,8%
12	756,4	452375,7	-4591718,0	582,9	82717,4	38177,3	6362,9	7,6%	98,0%	82068,0	1,8%
13	758,0	452359,3	-4591660,3	564,3	82756,4	38195,3	6365,9	7,6%	98,0%	82125,7	1,8%
14	758,0	452359,3	-4591643,6	547,5	82756,4	38195,3	6365,9	7,6%	98,0%	82142,4	1,8%
15	758,0	452359,3	-4591628,4	532,4	82756,4	38195,3	6365,9	7,6%	98,0%	82157,6	1,8%
16	758,0	452359,3	-4591614,6	518,6	82756,4	38195,3	6365,9	7,6%	98,0%	82171,4	1,8%
17	758,0	452359,3	-4591601,9	505,9	82756,4	38195,3	6365,9	7,6%	98,0%	82184,1	1,8%
18	758,0	452359,3	-4591590,3	494,2	82756,4	38195,3	6365,9	7,6%	98,0%	82195,7	1,8%

### Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekoste- n [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
66506,3	5921965,1	319113	3325,3	231630,8	84744,2	1028,0	0,2	341,434236	100
85243,7	5915665,8	318350	4262,2	231074,2	83797,9	1317,6	3,8	437,629666	100
103184,8	5909345,6	317616	5159,2	230526,9	82905,5	1594,9	10,2	529,737029	100
111149,6	5906521,4	317287	5557,5	230282,9	82506,8	1718,1	12,4	570,627389	100
115327,4	5905048,1	317115	5766,4	230155,4	82297,9	1782,6	13,7	592,075638	100
119297,5	5903636,8	316955	5964,9	230033,7	82104,1	1844,0	15,8	612,457422	100
123138,3	5902258,9	316802	6156,9	229915,2	81919,1	1903,4	18,5	632,175854	100
126355,6	5901094,3	316676	6317,8	229815,5	81768,6	1953,1	21,6	648,692808	100
129148,1	5900073,9	316566	6457,4	229728,5	81637,1	1996,3	24,1	663,02893	100
131508,6	5899202,8	316473	6575,4	229654,5	81526,7	2032,7	26,4	675,147751	100
132961,5	5898655,8	316416	6648,1	229608,4	81459,7	2055,2	28,0	682,606616	100
133418,8	5898468,6	316396	6670,9	229593,2	81437,4	2062,3	28,2	684,954205	100
133620,4	5898375,4	316387	6681,0	229585,9	81427,6	2065,4	28,4	685,989192	100
133683,4	5898334,0	316383	6684,2	229583,0	81424,7	2066,4	28,4	686,312626	100
133683,4	5898317,2	316383	6684,2	229582,2	81424,7	2066,4	28,4	686,312626	100
133683,4	5898302,0	316382	6684,2	229581,4	81424,7	2066,4	28,4	686,312626	100
133683,4	5898288,2	316381	6684,2	229580,7	81424,7	2066,4	28,4	686,312626	100
133683,4	5898275,6	316380	6684,2	229580,1	81424,7	2066,4	28,4	686,312626	100
133683,4	5898263,9	316380	6684,2	229579,5	81424,7	2066,4	28,4	686,312626	100

Abbildung 3 Ergebnisse der Auswertung -beidseitige Regelung



Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungs- stunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produzierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	58,1	470800,9	-4632503,0	0,0	41283,0	19053,7	3175,6	3,9%	99,7%	41283,0	0,9%
1	217,9	465455,7	-4621029,0	408,4	53210,5	24558,7	4093,1	5,0%	99,1%	52757,0	1,1%
2	419,1	461429,9	-4611974,7	505,9	62369,0	28785,7	4797,6	5,8%	98,5%	61811,3	1,3%
3	517,1	460207,9	-4609161,9	553,1	65229,0	30105,7	5017,6	6,0%	98,3%	64624,1	1,4%
4	689,1	459200,9	-4606635,9	581,6	67783,5	31284,7	5214,1	6,2%	97,8%	67150,1	1,4%
5	825,9	458179,7	-4604140,4	595,0	70292,5	32442,7	5407,1	6,5%	97,5%	69645,6	1,5%
6	1044,7	457312,5	-4601788,2	595,8	72645,5	33528,7	5588,1	6,6%	96,9%	71997,8	1,5%
7	1299,0	456597,9	-4599679,2	586,3	74745,0	34497,7	5749,6	6,8%	96,2%	74106,8	1,6%
8	1408,1	455744,0	-4597574,1	567,8	76831,5	35460,7	5910,1	7,0%	96,0%	76211,9	1,6%
9	1455,3	455545,1	-4597017,7	544,3	77364,5	35706,7	5951,1	7,0%	95,9%	76768,3	1,6%
10	1472,8	455520,7	-4596905,6	523,3	77455,5	35748,7	5958,1	7,0%	95,9%	76880,4	1,6%
11	1480,9	455486,7	-4596795,9	504,6	77546,5	35790,7	5965,1	7,0%	95,9%	76990,1	1,6%
12	1487,1	455465,9	-4596720,6	487,8	77605,0	35817,7	5969,6	7,0%	95,8%	77065,4	1,6%
13	1489,0	455446,8	-4596660,0	472,6	77650,5	35838,7	5973,1	7,0%	95,8%	77126,0	1,7%
14	1493,5	455430,3	-4596600,7	458,8	77696,0	35859,7	5976,6	7,0%	95,8%	77185,3	1,7%
15	1495,0	455419,8	-4596562,0	446,1	77722,0	35871,7	5978,6	7,0%	95,8%	77224,0	1,7%
16	1495,0	455419,8	-4596550,4	434,5	77722,0	35871,7	5978,6	7,0%	95,8%	77235,6	1,7%
17	1495,0	455419,8	-4596539,8	423,9	77722,0	35871,7	5978,6	7,0%	95,8%	77246,2	1,7%
18	1495,0	455419,8	-4596530,1	414,2	77722,0	35871,7	5978,6	7,0%	95,8%	77255,9	1,7%

Auslegung bei rein wärmeseitiger Regelung

Primärenergie BHKW	Gesamt Primärenergie ebedarf	Energiekosten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisevergütung	Wartungskosten BHKW [€]	Wartungskosten Kessel [€/a]
66687,9	5921899,5	319113,1	3334,4	231625,2	84744,2	1030,8	2,2	342,366907	100
85955,4	5915394,3	318335,7	4297,8	231051,5	83782,0	1328,6	8,2	441,283683	100
100749,9	5910155,3	317737,8	5037,5	230598,7	83057,4	1557,3	15,7	517,236674	100
105369,9	5908533,9	317556,9	5268,5	230458,1	82837,4	1628,7	19,4	540,955138	100
109496,4	5907072,1	317406,6	5474,8	230331,8	82656,2	1692,5	25,8	562,140039	100
113549,4	5905621,8	317253,7	5677,5	230207,0	82472,3	1755,1	31,0	582,947601	100
117350,4	5904249,8	317122,6	5867,5	230089,4	82316,3	1813,9	39,2	602,461428	100
120741,9	5903015,4	317013,5	6037,1	229984,0	82187,6	1866,3	48,7	619,872937	100
124112,4	5901779,6	316884,2	6205,6	229878,7	82033,9	1918,4	52,8	637,176635	100
124973,4	5901445,1	316853,0	6248,7	229850,9	81998,1	1931,7	54,6	641,596894	100
125120,4	5901371,0	316848,1	6256,0	229845,3	81993,7	1934,0	55,2	642,351572	100
125267,4	5901299,2	316842,1	6263,4	229839,8	81987,6	1936,3	55,5	643,106251	100
125361,9	5901248,3	316838,1	6268,1	229836,0	81983,9	1937,7	55,8	643,591401	100
125435,4	5901206,6	316834,4	6271,8	229833,0	81980,4	1938,9	55,8	643,96874	100
125508,9	5901166,2	316831,3	6275,4	229830,0	81977,4	1940,0	56,0	644,346079	100
125550,9	5901138,4	316829,0	6277,5	229828,1	81975,6	1940,7	56,1	644,561702	100
125550,9	5901126,8	316828,5	6277,5	229827,5	81975,6	1940,7	56,1	644,561702	100
125550,9	5901116,2	316827,9	6277,5	229827,0	81975,6	1940,7	56,1	644,561702	100
125550,9	5901106,5	316827,5	6277,5	229826,5	81975,6	1940,7	56,1	644,561702	100

Abbildung 4 Ergebnisse Auswertung- wärmeseitig Regelung

## Das Projekt Hotel 2

	Maximale Leistung	Minimale Leistung	Ø Leistung	Werte des oberen Drittels $\geq$	Werte des unteren Drittels $\leq$	Gesamtbedarf
	[kW]					[kWh]
Wärmebedarf	199,1	8,6	86,3	132,5	29,2	755580
Strombedarf	113,1	0	54,2	64,3	44,7	474422

Zwei typische Tagesverläufe sind im Folgenden zu sehen. Je ein Winter- und ein Sommertag. Ein leicht erhöhter Strombedarf ist häufig ab dem Morgen zu verzeichnen. Es gibt keine deutlichen Änderungen am Wochenende. Der Energiebedarf schwankt insgesamt nur leicht. Im Sommer wird der Heizbedarf geringer.

### Wintertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	49,6	171,0
01:00	43,0	172,6
02:00	31,0	177,1
03:00	27,8	180,0
04:00	27,0	181,8
05:00	28,2	183,6
06:00	27,9	184,4
07:00	45,8	185,1
08:00	48,7	186,0
09:00	52,0	186,4
10:00	46,8	184,7
11:00	68,2	181,9
12:00	62,1	178,9
13:00	50,9	176,0
14:00	74,0	172,5
15:00	49,4	168,7
16:00	53,4	166,8
17:00	45,3	168,4
18:00	59,2	170,6
19:00	61,0	172,8
20:00	65,8	174,5
21:00	57,7	176,0
22:00	67,6	177,1
23:00	41,2	178,2

### Sommertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	45,2	21,9
01:00	40,7	24,4
02:00	39,6	26,6
03:00	32,8	27,4
04:00	22,8	28,8
05:00	24,0	30,5
06:00	24,0	30,9
07:00	52,0	29,7
08:00	58,9	26,7
09:00	67,7	22,5
10:00	57,3	18,6
11:00	66,9	15,9
12:00	69,0	13,8
13:00	79,6	12,3
14:00	77,1	11,6
15:00	75,3	11,2
16:00	75,6	10,9
17:00	57,3	10,9
18:00	73,9	11,1
19:00	70,4	11,8
20:00	71,8	13,0
21:00	69,9	15,0
22:00	69,6	17,4
23:00	52,1	19,8

Die Auswertung erfolgte mit folgenden BHKW

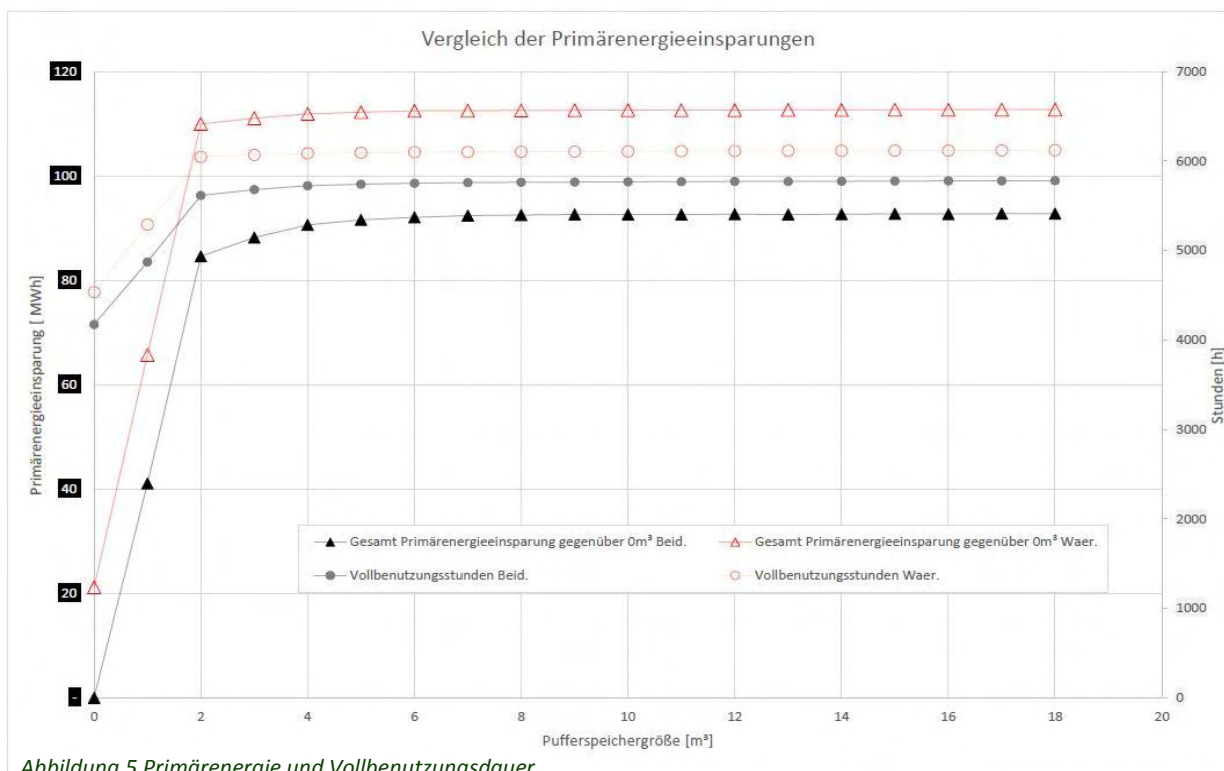
## Daten

- $P_{el}$  45 kW
- $P_{th}$  75 kW
- Modulierbarkeit 1
- $P_{aufnahme}$  133 kW
- Schwellwert<sub>elektrisch</sub> 25 kW

Im Folgenden sind Ergebnisse der Berechnung graphisch dargestellt. Die Auswertungen gelten für den Betrachtungszeitraum eines Jahres, basierend auf den vorliegenden Lastgangdaten. Gleiche Parameter sind sowohl für den Fall der wärmegeführten Steuerung als auch den Fall der beidseitig geführten Steuerung dargestellt und durch den Zusatz „Waer.“ oder „Beid.“ gekennzeichnet.

In Abbildung 1 ist auf der linken Achse die Primärenergieeinsparung bezogen auf ein System ohne Pufferspeicher, auf der rechten Achse die Vollbenutzungstunden aufgetragen. Die horizontale Achse entspricht der Pufferspeichergröße. Zu sehen ist eine zunehmende Primärenergieeinsparung sowie Vollbenutzungstundenanzahl bei zunehmender Pufferspeichergröße.

Abbildung 2 zeigt die vom BHKW zur Verfügung gestellte und selbstgenutzte Wärme und Strom. Zu beachten ist, dass die erzeugte Wärme auch gänzlich selbst genutzt wird, ein Teil des erzeugten Stromes jedoch auch eingespeist werden kann und somit hier im Diagramm nicht zu sehen ist. Hier ist ebenfalls ein Anstieg der zur Verfügung gestellten Energiemengen bei höheren Pufferspeichern zu sehen. Jedoch auch eine insgesamt höhere Erzeugung durch die wärmegeführte Variante.





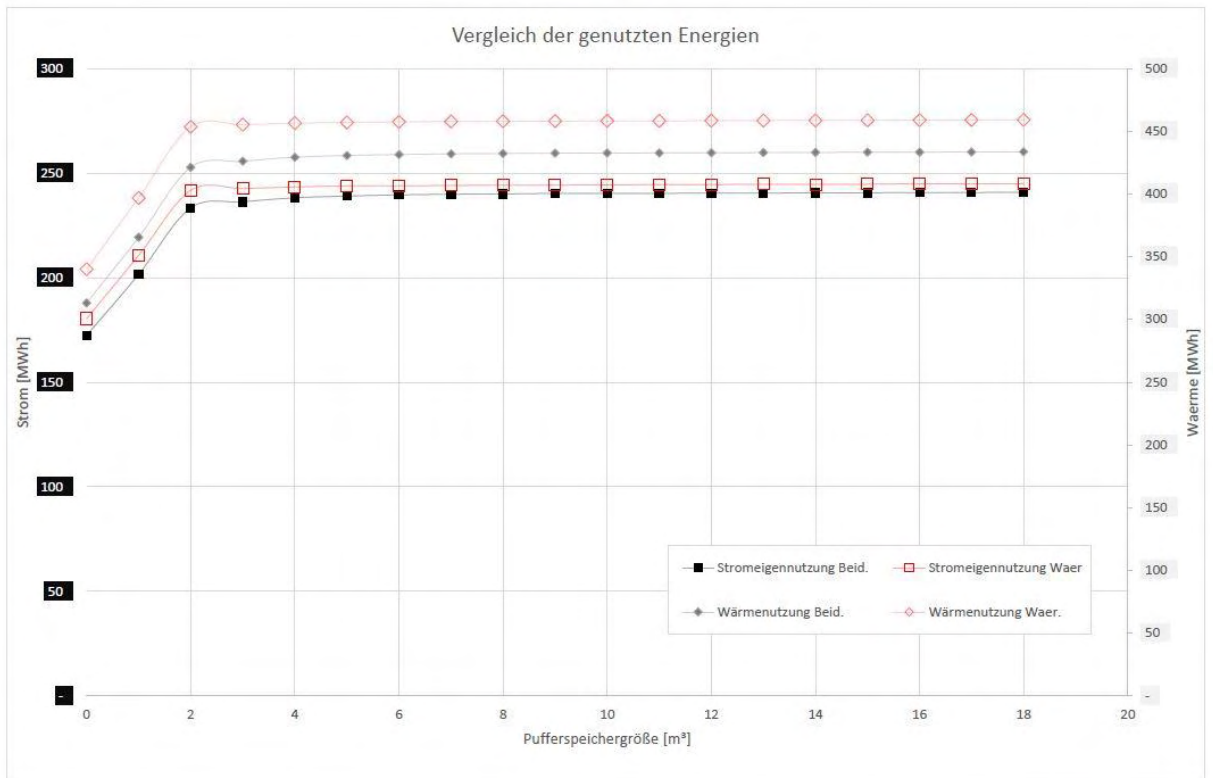


Abbildung 6 Genutzte Energien

Auswertung Hotel 2

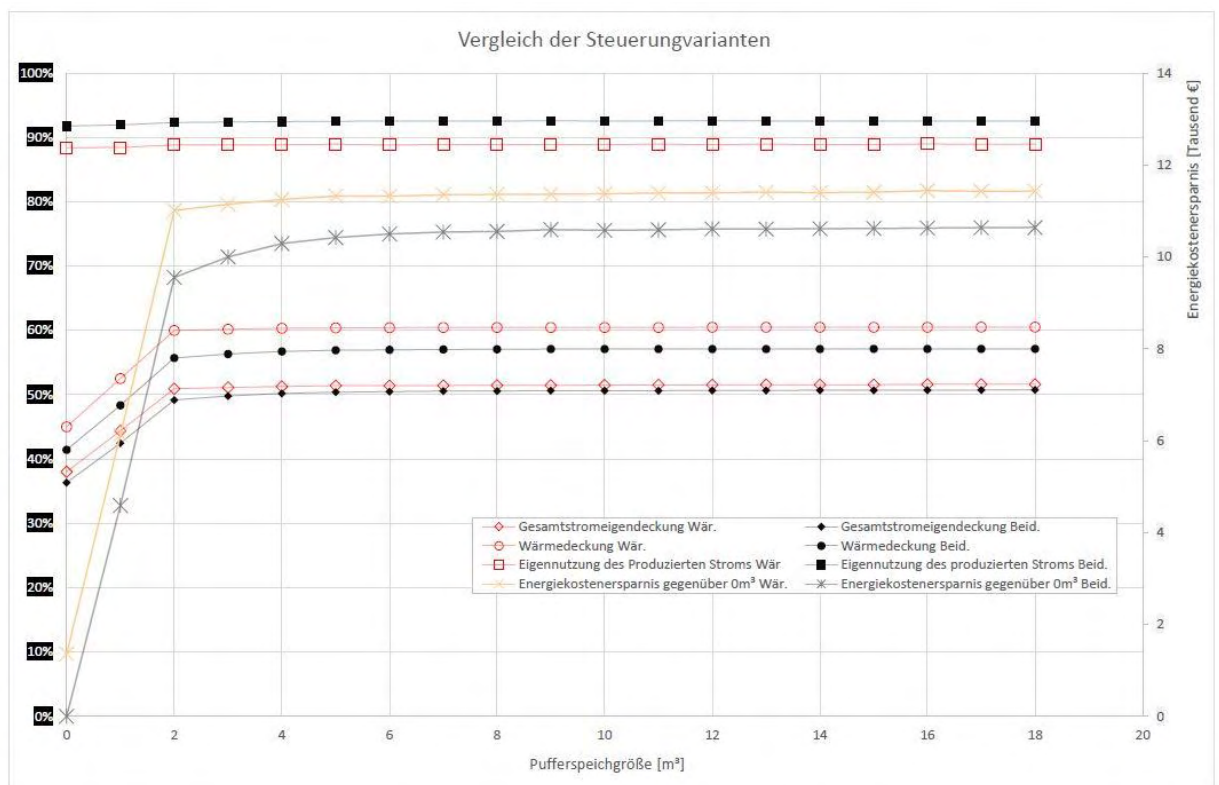


Abbildung 7 Kosteneinsparungen und Energiebedarfdeckung

Auswertung Hotel 2

Abbildung 3 zeigt die Kostenersparnis bezogen auf ein System ohne Speicher sowie Energiebedarfsdeckungen bei zunehmenden Pufferspeichergrößen. Werte für die Kostenersparnis sind auf der rechten Achse abzulesen. Alle anderen Parameter beziehen sich auf die linke Achse und sind in prozentualer Form dargestellt. Mit Gesamtstromeigendeckung und Wärmedeckung sind die Anteile am Gesamtenergiebedarf gemeint, welche durch das BHKW gedeckt werden. Die „Eigennutzung des Produzierten Stroms“ stellt den Anteil des im Unternehmen erzeugten und genutzten Stroms, am gesamten durch das BHKW erzeugten Strom dar. Eine deutliche Zunahme der Gesamtstromeigendeckung als auch Wärmedeckung ist mit zunehmender Pufferspeichergröße zu erkennen. Eine Kostenersparnis in Abhängigkeit der Pufferspeicherkapazität wird ebenfalls sichtbar. Die Veränderung der Eigennutzung des Produzierten Stroms ist sehr gering.

In diesem Projekt ist eine sehr starke Veränderung der Parameter bis zu einer Pufferspeichergröße von 2 m<sup>3</sup> zu erkennen. Eine Erhöhung der Volllaststunden von 4000 auf knapp 6000, Primärenergieeinsparungen von 90 MWh sowie eine Energiekostenreduktion von ca. 9500 € können bei diesem Projekt durch den Einsatz von einem 2 m<sup>3</sup> Pufferspeicher erzielt werden. Grund hierfür sind die Erzeugung und Eigennutzung von zusätzlichen 60 MWh Strom und 120 MWh Wärme durch das BHKW. Veränderungen durch noch größere Speicher sind weniger stark. Eine rein wärmegeführte Variante stellt in diesem Fall mehr Wärme und Strom zu Verfügung. Durch die höhere Eigennutzung des produzierten Stromes ergeben sich ab Pufferspeichergrößen, welche größer als 2 m<sup>3</sup> sind, leichte Vorteile auf Seiten der Primärenergieeinsparung und Energiekosteneinsparung durch die beidseitige Steuerung.

Speicher groesse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungs- stunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	15468,2	302060,3	-442530,4	0,0	313050,0	187830,0	4174,0	36,3%	91,8%	313050,0	41,4%
1	17676,9	272859,0	-390225,4	45,0	365400,0	219240,0	4872,0	42,5%	91,9%	365355,0	48,4%
2	19430,0	241132,0	-334684,3	303,9	421200,0	252720,0	5616,0	49,2%	92,3%	420896,1	55,7%
3	19395,9	238218,0	-330053,7	473,3	426000,0	255600,0	5680,0	49,8%	92,4%	425526,7	56,3%
4	19401,1	236288,2	-326967,3	611,9	429225,0	257535,0	5723,0	50,2%	92,5%	428613,1	56,7%
5	19409,6	235441,7	-325670,2	739,8	430650,0	258390,0	5742,0	50,4%	92,5%	429910,2	56,9%
6	19311,7	234893,8	-325029,9	849,5	431400,0	258840,0	5752,0	50,5%	92,5%	430550,5	57,0%
7	19302,5	234569,5	-324606,0	950,6	431925,0	259155,0	5759,0	50,6%	92,6%	430974,4	57,0%
8	19377,9	234465,0	-324406,9	1051,5	432225,0	259335,0	5763,0	50,6%	92,5%	431173,5	57,1%
9	19223,9	234176,0	-324269,1	1138,7	432450,0	259470,0	5766,0	50,6%	92,6%	431311,3	57,1%
10	19383,9	234246,0	-324207,1	1226,7	432600,0	259560,0	5768,0	50,6%	92,5%	431373,3	57,1%
11	19366,9	234184,0	-324213,8	1308,4	432675,0	259605,0	5769,0	50,6%	92,5%	431366,6	57,1%
12	19282,1	234009,1	-324144,8	1389,4	432825,0	259695,0	5771,0	50,7%	92,6%	431435,6	57,1%
13	19334,8	234016,9	-324142,4	1462,0	432900,0	259740,0	5772,0	50,7%	92,6%	431438,0	57,1%
14	19348,4	233940,5	-324069,3	1538,8	433050,0	259830,0	5774,0	50,7%	92,6%	431511,2	57,1%
15	19382,3	233884,3	-323991,6	1611,2	433200,0	259920,0	5776,0	50,7%	92,5%	431588,8	57,1%
16	19330,2	233787,3	-323982,9	1677,5	433275,0	259965,0	5777,0	50,7%	92,6%	431597,5	57,1%
17	19372,6	233739,6	-323899,5	1744,1	433425,0	260055,0	5779,0	50,7%	92,6%	431680,9	57,1%
18	19343,1	233665,1	-323889,0	1808,6	433500,0	260100,0	5780,0	50,7%	92,6%	431691,4	57,1%

Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekos- ten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
555142,0	1742067,4	96153	27757,1	22126,5	54370,8	10161,6	580,1	2540,35231	100
647976,0	1701012,0	91566	32398,8	19511,3	49114,6	11860,9	662,9	2965,16446	100
746928,0	1657461,9	86602	37346,4	16734,2	43403,8	13672,2	728,6	3417,97283	100
755440,0	1653862,8	86156	37772,0	16502,7	42879,2	13828,0	727,3	3456,92409	100
761159,0	1651469,4	85861	38058,0	16348,4	42531,9	13932,6	727,5	3483,09446	100
763686,0	1650478,5	85735	38184,3	16283,5	42379,5	13978,9	727,9	3494,65812	100
765016,0	1649999,4	85656	38250,8	16251,5	42280,9	14003,2	724,2	3500,74425	100
765947,0	1649688,3	85611	38297,4	16230,3	42222,5	14020,3	723,8	3505,00455	100
766479,0	1649553,6	85599	38324,0	16220,3	42203,7	14030,0	726,7	3507,439	100
766878,0	1649464,2	85560	38343,9	16213,5	42151,7	14037,3	720,9	3509,26484	100
767144,0	1649434,5	85573	38357,2	16210,4	42164,3	14042,2	726,9	3510,48207	100
767277,0	1649457,2	85568	38363,9	16210,7	42153,1	14044,6	726,3	3511,09068	100
767543,0	1649420,5	85546	38377,2	16207,2	42121,6	14049,5	723,1	3512,30791	100
767676,0	1649434,2	85550	38383,8	16207,1	42123,0	14051,9	725,1	3512,91652	100
767942,0	1649393,3	85542	38397,1	16203,5	42109,3	14056,8	725,6	3514,13375	100
768208,0	1649347,9	85536	38410,4	16199,6	42099,2	14061,7	726,8	3515,35097	100
768341,0	1649355,3	85525	38417,1	16199,1	42081,7	14064,1	724,9	3515,95959	100
768607,0	1649304,1	85520	38430,4	16195,0	42073,1	14069,0	726,5	3517,17681	100
768740,0	1649309,7	85512	38437,0	16194,5	42059,7	14071,4	725,4	3517,78543	100

Abbildung 8 Ergebnisse Auswertung - beidseitig geregelt



Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungs- stunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	23659,3	294051,4	-415530,4	0,0	340050,0	204030,0	4534,0	38,0%	88,4%	340050,0	45,0%
1	27517,6	263844,7	-358805,2	49,7	396825,0	238095,0	5291,0	44,4%	88,4%	396775,3	52,5%
2	30434,8	232741,8	-302386,6	331,2	453525,0	272115,0	6047,0	50,9%	88,8%	453193,8	60,0%
3	30534,6	231851,7	-300915,7	510,3	455175,0	273105,0	6069,0	51,1%	88,8%	454664,7	60,2%
4	30520,4	231117,5	-299863,1	657,7	456375,0	273825,0	6085,0	51,3%	88,9%	455717,3	60,3%
5	30341,2	230578,3	-299388,2	782,8	456975,0	274185,0	6093,0	51,4%	88,9%	456192,2	60,4%
6	30626,5	230593,6	-299053,0	897,6	457425,0	274455,0	6099,0	51,4%	88,8%	456527,4	60,4%
7	30525,4	230357,5	-298933,9	1003,5	457650,0	274590,0	6102,0	51,4%	88,9%	456646,5	60,4%
8	30538,0	230280,0	-298877,9	1097,5	457800,0	274680,0	6104,0	51,5%	88,9%	456702,5	60,4%
9	30553,6	230205,7	-298820,4	1190,0	457950,0	274770,0	6106,0	51,5%	88,9%	456760,0	60,5%
10	30575,8	230137,9	-298755,9	1275,5	458100,0	274860,0	6108,0	51,5%	88,9%	456824,5	60,5%
11	30467,7	229984,8	-298761,9	1356,5	458175,0	274905,0	6109,0	51,5%	88,9%	456818,5	60,5%
12	30523,7	229950,8	-298695,4	1439,9	458325,0	274995,0	6111,0	51,5%	88,9%	456885,1	60,5%
13	30490,5	229827,6	-298622,1	1516,7	458475,0	275085,0	6113,0	51,6%	88,9%	456958,3	60,5%
14	30567,7	229859,7	-298620,2	1589,8	458550,0	275130,0	6114,0	51,5%	88,9%	456960,2	60,5%
15	30575,8	229777,8	-298542,7	1662,3	458700,0	275220,0	6116,0	51,6%	88,9%	457037,7	60,5%
16	30367,0	229524,0	-298536,5	1731,1	458775,0	275265,0	6117,0	51,6%	89,0%	457043,9	60,5%
17	30524,6	229591,7	-298455,1	1799,7	458925,0	275355,0	6119,0	51,6%	88,9%	457125,3	60,5%
18	30547,5	229569,6	-298445,3	1864,9	459000,0	275400,0	6120,0	51,6%	88,9%	457135,1	60,5%

Auslegung bei rein wärmeseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekos- ten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW [€]	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
603022,0	1720869,5	94791,1	30151,1	20776,5	52929,2	11038,0	887,2	2759,45314	100
703703,0	1676344,7	90024,8	35185,2	17940,3	47492,0	12880,9	1031,9	3220,17348	100
804251,0	1632110,5	85143,0	40212,6	15119,3	41893,5	14721,4	1141,3	3680,28521	100
807177,0	1630994,2	85011,6	40358,9	15045,8	41733,3	14775,0	1145,0	3693,6747	100
809305,0	1630199,5	84904,5	40465,3	14993,2	41601,1	14813,9	1144,5	3703,41251	100
810369,0	1629853,5	84829,0	40518,5	14969,4	41504,1	14833,4	1137,8	3708,28142	100
811167,0	1629615,0	84833,3	40558,4	14952,7	41506,8	14848,0	1148,5	3711,9331	100
811566,0	1629544,3	84803,1	40578,3	14946,7	41464,3	14855,3	1144,7	3713,75894	100
811832,0	1629520,5	84795,5	40591,6	14943,9	41450,4	14860,2	1145,2	3714,97617	100
812098,0	1629495,2	84788,3	40604,9	14941,0	41437,0	14865,1	1145,8	3716,1934	100
812364,0	1629462,9	84781,7	40618,2	14937,8	41424,8	14869,9	1146,6	3717,41062	100
812497,0	1629485,1	84763,3	40624,9	14938,1	41397,3	14872,4	1142,5	3718,01924	100
812763,0	1629450,8	84761,4	40638,2	14934,8	41391,1	14877,2	1144,6	3719,23646	100
813029,0	1629409,7	84746,5	40651,5	14931,1	41369,0	14882,1	1143,4	3720,45369	100
813162,0	1629423,9	84754,1	40658,1	14931,0	41374,8	14884,5	1146,3	3721,0623	100
813428,0	1629378,7	84744,8	40671,4	14927,1	41360,0	14889,4	1146,6	3722,27953	100
813561,0	1629388,6	84711,5	40678,1	14926,8	41314,3	14891,8	1138,8	3722,88814	100
813827,0	1629339,5	84723,3	40691,4	14922,8	41326,5	14896,7	1144,7	3724,10537	100
813960,0	1629345,8	84722,8	40698,0	14922,3	41322,5	14899,1	1145,5	3724,71398	100

Abbildung 9 Ergebnisse Auswertung- wärmeseitig geregelt

## Das Projekt Hotel 1

	Maximale Leistung	Minimale Leistung	Ø Leistung	Werte des oberen Drittels $\geq$	Werte des unteren Drittels $\leq$	Gesamtbedarf
	[kW]					[kWh]
Wärmebedarf	138,3	7	49,6	67,2	33,9	434839
Strombedarf	66,5	8,6	29,6	34,5	25,1	258979

Zwei typische Tagesverläufe sind im Folgenden zu sehen. Je ein Winter- und ein Sommertag. Der Strombedarf ist nicht konstant, liegt jedoch meist zwischen 20 und 40 kW. Es gibt keine starken wärmeseitigen Schwankungen auf den Tag gesehen, jedoch ist eine Jahreszeitliche Abhängigkeit vorhanden. Im Sommer ist der Heizbedarf deutlich geringer fällt jedoch nicht unter das Grundlastniveau.

### Wintertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	29,1	80,4
01:00	19,2	79,5
02:00	20,4	76,7
03:00	12,6	74,0
04:00	11,1	73,6
05:00	11,4	73,6
06:00	15,4	73,1
07:00	26,2	73,1
08:00	23,7	70,4
09:00	38,2	68,5
10:00	42,0	70,8
11:00	22,7	65,3
12:00	19,7	66,7
13:00	20,3	64,4
14:00	20,0	60,3
15:00	27,7	58,1
16:00	39,4	60,3
17:00	36,5	59,0
18:00	35,3	65,3
19:00	35,7	76,3
20:00	37,0	80,4
21:00	38,4	83,1
22:00	27,3	72,6
23:00	23,3	70,8

### Sommertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	26,0	7,0
01:00	19,6	7,0
02:00	15,6	7,0
03:00	14,2	31,6
04:00	12,8	30,7
05:00	19,4	32,1
06:00	18,8	33,4
07:00	22,5	31,1
08:00	19,7	7,0
09:00	24,2	7,0
10:00	28,5	7,0
11:00	26,9	7,0
12:00	22,4	7,0
13:00	22,4	7,0
14:00	29,6	7,0
15:00	39,3	7,0
16:00	32,7	7,0
17:00	33,4	7,0
18:00	30,0	7,0
19:00	33,7	7,0
20:00	45,1	7,0
21:00	40,9	7,0
22:00	39,0	7,0
23:00	28,2	7,0

Die Auswertung erfolgte mit folgenden BHKW

## Daten

- $P_{el}$  35 kW
- $P_{th}$  60 kW
- Modulierbarkeit 1
- $P_{aufnahme}$  105 kW
- Schwellwert<sub>elektrisch</sub> 20 kW

Hier sind deutliche Laufzeitenerhöhungen des BHKWs bis 2 m<sup>3</sup> zu sehen. Pufferspeicher mit größerem Volumen als 2 m<sup>3</sup> haben nur noch einen sehr geringen Einfluss auf die Laufzeit. Insgesamt ähnelt die Art der Ergebnisse denen des Hotels 2.

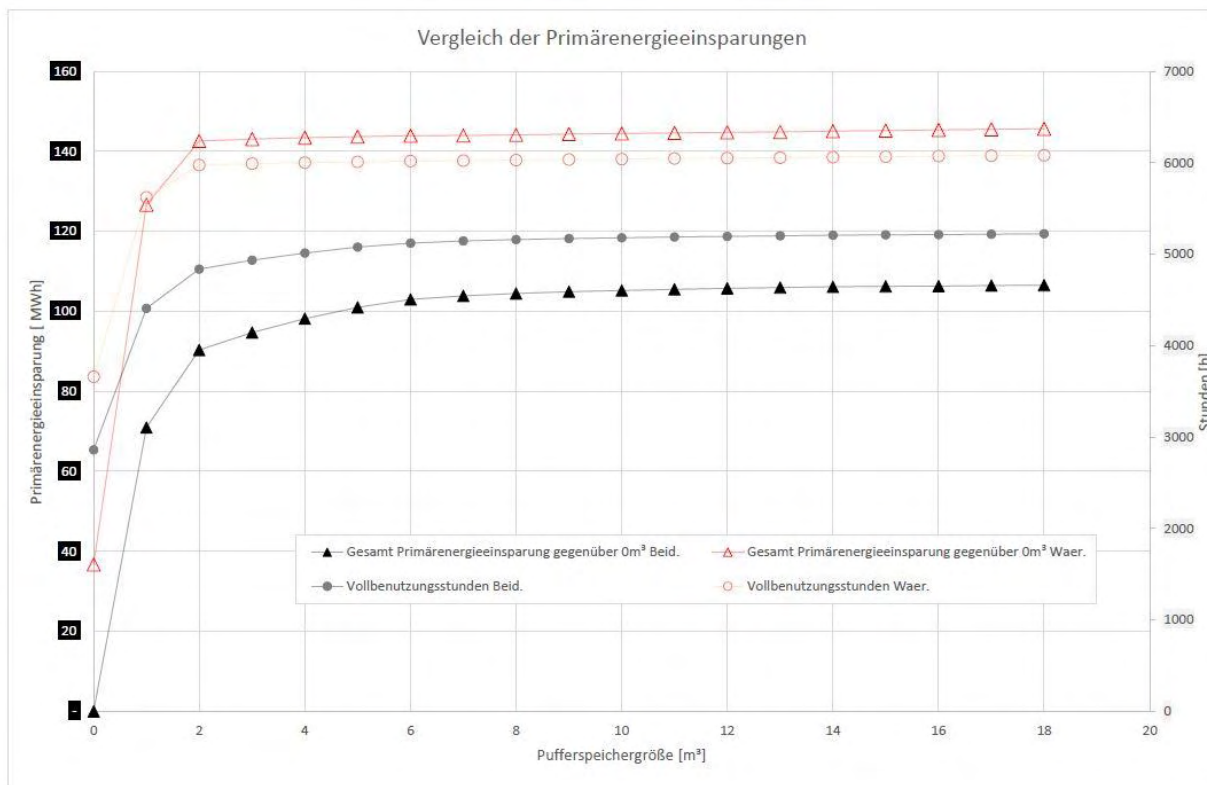


Abbildung 10 Primärenergie und Vollbenutzungsdauer

Auswertung Hotel 1

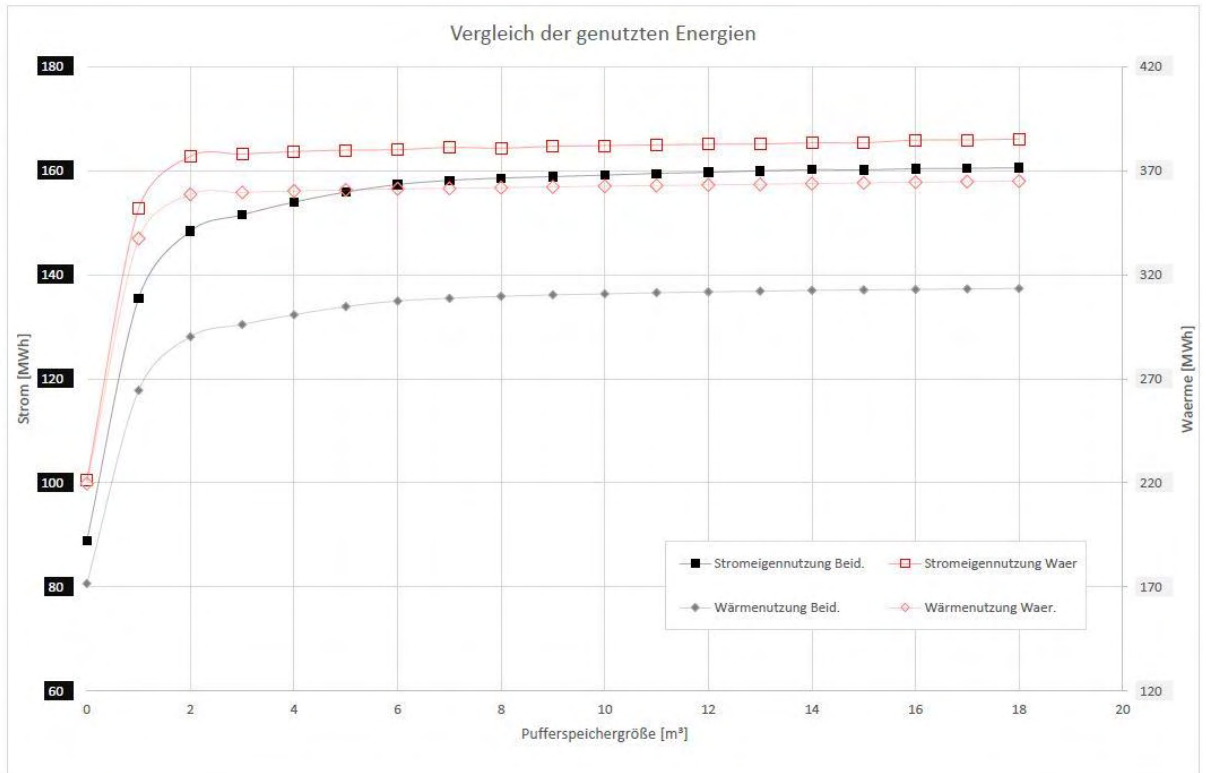


Abbildung 11 Genutzte Energien

Auswertung Hotel 1

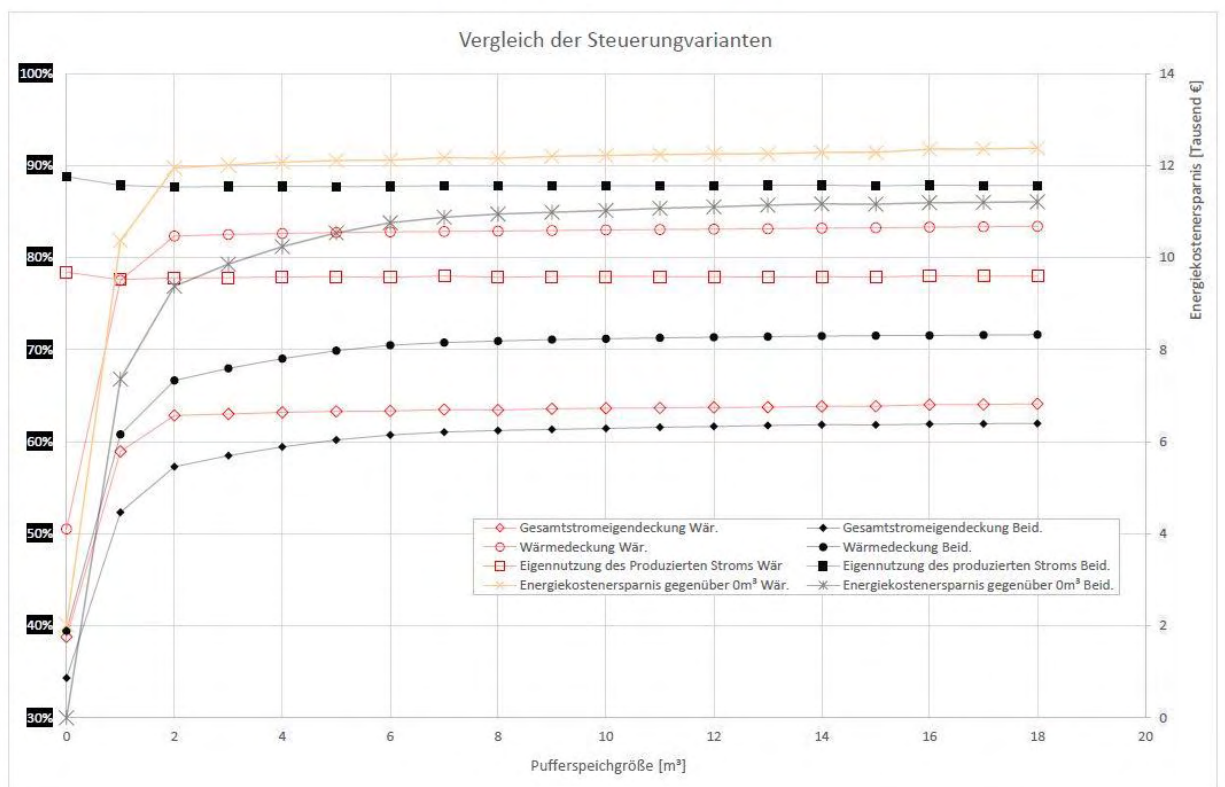


Abbildung 12 Kosteneinsparungen und Energiebedarfdeckung

Auswertung Hotel 1



Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungss- tunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	11219,6	170099,1	-263239,1	0,0	171600,0	100100,0	2860,0	34,3%	88,8%	171600,0	39,5%
1	18755,0	123489,6	-170496,1	77,0	264420,0	154245,0	4407,0	52,3%	87,8%	264343,0	60,8%
2	20903,1	110622,6	-145035,9	356,8	290160,0	169260,0	4836,0	57,3%	87,7%	289803,2	66,6%
3	21212,2	107501,8	-139313,7	514,6	296040,0	172690,0	4934,0	58,5%	87,7%	295525,4	68,0%
4	21506,2	105065,7	-134765,4	646,4	300720,0	175420,0	5012,0	59,4%	87,7%	300073,6	69,0%
5	21848,6	103133,2	-130984,3	765,2	304620,0	177695,0	5077,0	60,2%	87,7%	303854,8	69,9%
6	21985,6	101695,2	-128392,1	873,0	307320,0	179270,0	5122,0	60,7%	87,7%	306447,0	70,5%
7	21941,8	100881,4	-127175,3	976,2	308640,0	180040,0	5144,0	61,0%	87,8%	307663,8	70,8%
8	22021,4	100436,0	-126381,2	1082,1	309540,0	180565,0	5159,0	61,2%	87,8%	308457,9	70,9%
9	22160,5	100155,0	-125761,6	1182,5	310260,0	180985,0	5171,0	61,3%	87,8%	309077,5	71,1%
10	22154,8	99869,4	-125369,6	1270,5	310740,0	181265,0	5179,0	61,4%	87,8%	309469,5	71,2%
11	22143,1	99542,6	-124919,5	1360,4	311280,0	181580,0	5188,0	61,6%	87,8%	309919,6	71,3%
12	22174,6	99329,2	-124583,9	1444,8	311700,0	181825,0	5195,0	61,6%	87,8%	310255,2	71,3%
13	22103,0	99047,6	-124304,8	1525,7	312060,0	182035,0	5201,0	61,8%	87,9%	310534,3	71,4%
14	22103,2	98837,7	-124028,3	1609,2	312420,0	182245,0	5207,0	61,8%	87,9%	310810,8	71,5%
15	22259,8	98854,4	-123863,1	1684,0	312660,0	182385,0	5211,0	61,8%	87,8%	310976,0	71,5%
16	22149,5	98639,1	-123760,4	1761,3	312840,0	182490,0	5214,0	61,9%	87,9%	311078,7	71,5%
17	22244,8	98559,3	-123534,7	1835,6	313140,0	182665,0	5219,0	61,9%	87,8%	311304,4	71,6%
18	22254,8	98464,4	-123417,2	1898,1	313320,0	182770,0	5222,0	62,0%	87,8%	311421,9	71,6%

Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekoste- n [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
300300,0	976213,3	54461	15015,0	13162,0	30617,8	5415,4	420,7	1402,7	100
462735,0	905268,9	47103	23136,8	8524,8	22228,1	8344,7	703,3	2161,4	100
507780,0	885853,7	45084	25389,0	7251,8	19912,1	9157,0	783,9	2371,8	100
518070,0	881512,4	44601	25903,5	6965,7	19350,3	9342,5	795,5	2419,8	100
526260,0	878063,3	44224	26313,0	6738,3	18911,8	9490,2	806,5	2458,1	100
533085,0	875198,0	43925	26654,3	6549,2	18564,0	9613,3	819,3	2490,0	100
537810,0	873239,9	43704	26890,5	6419,6	18305,1	9698,5	824,5	2512,0	100
540120,0	872333,1	43583	27006,0	6358,8	18158,7	9740,2	822,8	2522,8	100
541695,0	871750,4	43518	27084,8	6319,1	18078,5	9768,6	825,8	2530,2	100
542955,0	871299,9	43477	27147,8	6288,1	18027,9	9791,3	831,0	2536,1	100
543795,0	871020,6	43437	27189,8	6268,5	17976,5	9806,4	830,8	2540,0	100
544740,0	870697,3	43391	27237,0	6246,0	17917,7	9823,5	830,4	2544,4	100
545475,0	870460,4	43362	27273,8	6229,2	17879,2	9836,7	831,5	2547,8	100
546105,0	870265,8	43323	27305,3	6215,2	17828,6	9848,1	828,9	2550,8	100
546735,0	870073,8	43294	27336,8	6201,4	17790,8	9859,5	828,9	2553,7	100
547155,0	869965,0	43299	27357,8	6193,2	17793,8	9867,0	834,7	2555,7	100
547470,0	869904,6	43270	27373,5	6188,0	17755,0	9872,7	830,6	2557,2	100
547995,0	869749,3	43260	27399,8	6176,7	17740,7	9882,2	834,2	2559,6	100
548310,0	869674,1	43249	27415,5	6170,9	17723,6	9887,9	834,6	2561,1	100

Abbildung 13 Ergebnisse Auswertung - beidseitig geregelt



Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waerme-prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Vollbenutzungsstunden [h]	Gesamtstrom-eigen-deckung	Eigen-nutzung des produzierten Stroms	Waermebe-darf-deckung [kWh]	Waerme-deckung [%]
0	27655,8	158535,4	-215239,1	0,0	219600,0	128100,0	3660,0	38,8%	78,4%	219600,0	50,5%
1	44081,4	106325,9	-97685,2	106,1	337260,0	196735,0	5621,0	58,9%	77,6%	337153,9	77,5%
2	46402,6	96257,1	-76788,0	449,0	358500,0	209125,0	5975,0	62,8%	77,8%	358051,0	82,3%
3	46527,4	95821,9	-76038,8	659,7	359460,0	209685,0	5991,0	63,0%	77,8%	358800,3	82,5%
4	46442,7	95352,3	-75555,3	836,3	360120,0	210070,0	6002,0	63,2%	77,9%	359283,7	82,6%
5	46479,5	95074,0	-75164,6	985,5	360660,0	210385,0	6011,0	63,3%	77,9%	359674,5	82,7%
6	46672,5	94987,0	-74818,4	1119,4	361140,0	210665,0	6019,0	63,3%	77,8%	360020,6	82,8%
7	46387,0	94561,5	-74698,0	1238,9	361380,0	210805,0	6023,0	63,5%	78,0%	360141,1	82,8%
8	46719,7	94684,3	-74451,4	1352,3	361740,0	211015,0	6029,0	63,4%	77,9%	360387,7	82,9%
9	46601,6	94356,1	-74200,6	1461,5	362100,0	211225,0	6035,0	63,6%	77,9%	360638,5	82,9%
10	46660,5	94205,0	-73943,9	1564,8	362460,0	211435,0	6041,0	63,6%	77,9%	360895,2	83,0%
11	46681,6	94051,2	-73741,1	1662,1	362760,0	211610,0	6046,0	63,7%	77,9%	361097,9	83,0%
12	46755,8	93950,4	-73538,2	1759,2	363060,0	211785,0	6051,0	63,7%	77,9%	361300,8	83,1%
13	46878,5	93898,1	-73329,9	1850,8	363360,0	211960,0	6056,0	63,7%	77,9%	361509,2	83,1%
14	46861,8	93671,4	-73061,0	1942,0	363720,0	212170,0	6062,0	63,8%	77,9%	361778,0	83,2%
15	47004,8	93639,3	-72847,4	2028,3	364020,0	212345,0	6067,0	63,8%	77,9%	361991,7	83,2%
16	46696,6	93156,2	-72633,1	2114,0	364320,0	212520,0	6072,0	64,0%	78,0%	362206,0	83,3%
17	46837,4	93122,0	-72416,5	2197,5	364620,0	212695,0	6077,0	64,0%	78,0%	362422,5	83,3%
18	46851,5	92961,1	-72196,3	2277,2	364920,0	212870,0	6082,0	64,1%	78,0%	362642,8	83,4%

**Auslegung bei rein wärmeseitiger Regelung**

Primärenergie BHKW	Gesamt Primärenergiebedarf	Energiekosten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisegütung	Wartungskosten BHKW [€]	Wartungskosten Kessel [€/a]
384300,0	939486,0	52441,0	19215,0	10762,0	28536,4	6930,2	1037,1	1795,0	100
590205,0	849564,4	44093,5	29510,3	4884,3	19138,7	10643,4	1653,1	2756,8	100
627375,0	833655,4	42511,1	31368,8	3839,4	17326,3	11313,7	1740,1	2930,4	100
629055,0	833131,6	42452,1	31452,8	3801,9	17247,9	11344,0	1744,8	2938,2	100
630210,0	832803,2	42388,9	31510,5	3777,8	17163,4	11364,8	1741,6	2943,6	100
631155,0	832539,2	42352,5	31557,8	3758,2	17113,3	11381,8	1743,0	2948,0	100
631995,0	832305,8	42343,1	31599,8	3740,9	17097,7	11397,0	1750,2	2952,0	100
632415,0	832241,7	42286,6	31620,8	3734,9	17021,1	11404,6	1739,5	2953,9	100
633045,0	832079,7	42307,0	31652,3	3722,6	17043,2	11415,9	1752,0	2956,9	100
633675,0	831913,4	42262,9	31683,8	3710,0	16984,1	11427,3	1747,6	2959,8	100
634305,0	831741,2	42243,7	31715,3	3697,2	16956,9	11438,6	1749,8	2962,8	100
634830,0	831609,0	42224,3	31741,5	3687,1	16929,2	11448,1	1750,6	2965,2	100
635355,0	831476,5	42212,5	31767,8	3676,9	16911,1	11457,6	1753,3	2967,7	100
635880,0	831338,6	42207,3	31794,0	3666,5	16901,7	11467,0	1757,9	2970,1	100
636510,0	831154,3	42176,7	31825,5	3653,1	16860,9	11478,4	1757,3	2973,1	100
637035,0	831011,2	42174,2	31851,8	3642,4	16855,1	11487,9	1762,7	2975,5	100
637560,0	830867,3	42107,3	31878,0	3631,7	16768,1	11497,3	1751,1	2978,0	100
638085,0	830721,2	42104,2	31904,3	3620,8	16762,0	11506,8	1756,4	2980,4	100
638610,0	830571,4	42083,0	31930,5	3609,8	16733,0	11516,3	1756,9	2982,9	100

Abbildung 14 Ergebnisse Auswertung- wärmeseitig geregelt

## Das Projekt Bäckerei

	Maximale Leistung	Minimale Leistung	Ø Leistung	Werte des oberen Drittels $\geq$	Werte des unteren Drittels $\leq$	Gesamtbedarf
	[kW]					[kWh]
Wärmebedarf	71,5	14,3	48,6	66,9	33,5	425837
Strombedarf	50,5	0	20,9	27,0	12,9	182974

Zwei typische Tagesverläufe sind im Folgenden zu sehen. Je ein Winter- und ein Sommertag. Die Arbeitszeiten über Nacht bis zur Mittagszeit ist gut zu erkennen. Es gibt keine starken wärmeseitigen Schwankungen auf den Tag gesehen, jedoch ist eine Jahreszeitliche Abhängigkeit vorhanden.

### Wintertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	22,3	67,2
01:00	29,4	70,8
02:00	25,1	70,9
03:00	30,4	70,9
04:00	34,9	71,0
05:00	41,3	71,0
06:00	37,1	71,0
07:00	29,2	71,0
08:00	27,0	71,0
09:00	21,2	71,0
10:00	26,6	71,0
11:00	22,4	71,0
12:00	16,9	70,9
13:00	16,2	70,9
14:00	13,6	70,8
15:00	11,1	70,8
16:00	12,3	70,8
17:00	9,7	70,8
18:00	7,8	70,8
19:00	7,8	70,8
20:00	5,9	70,9
21:00	5,3	70,9
22:00	9,0	70,9
23:00	12,8	70,9

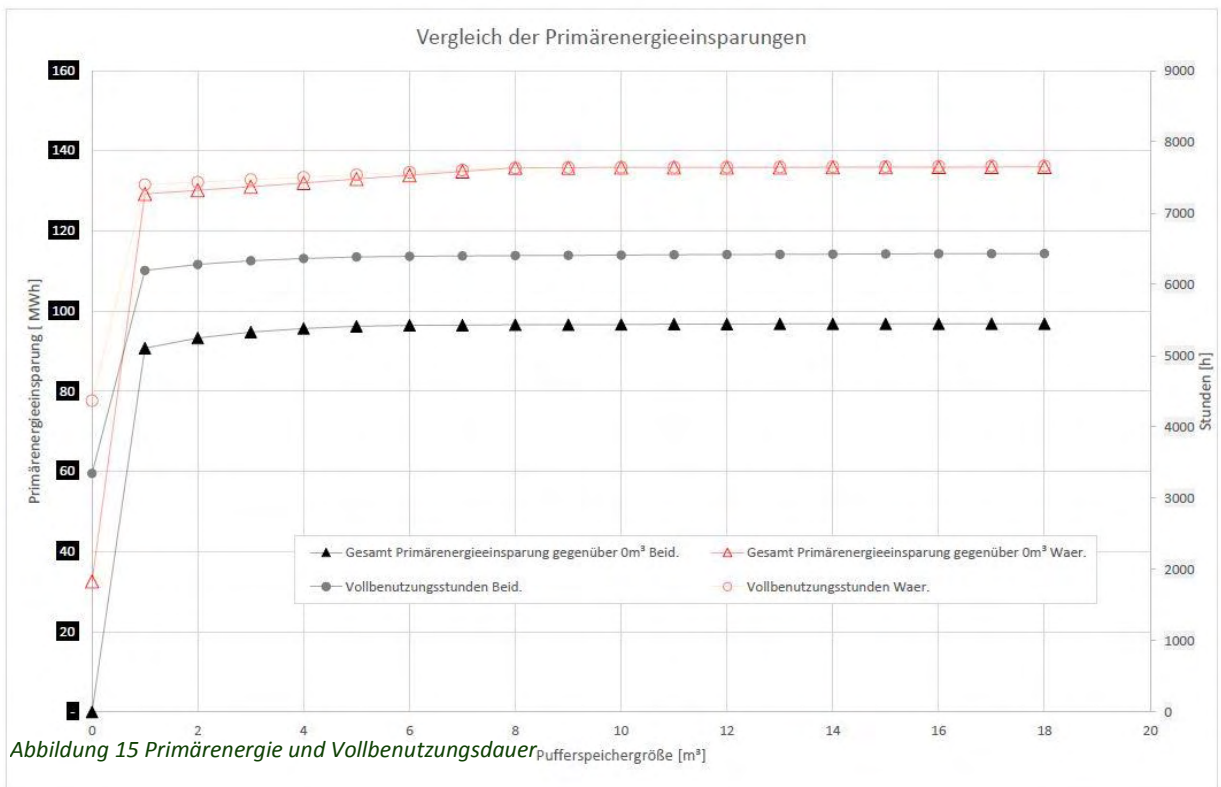
### Sommertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	36,0	34,9
01:00	47,8	14,9
02:00	44,3	14,9
03:00	40,9	14,9
04:00	38,9	14,9
05:00	35,0	14,9
06:00	24,9	14,9
07:00	23,4	14,9
08:00	13,6	14,8
09:00	12,4	14,8
10:00	10,5	14,8
11:00	12,0	14,7
12:00	12,2	14,7
13:00	11,3	14,7
14:00	13,2	14,7
15:00	12,5	14,7
16:00	11,1	14,7
17:00	11,5	14,7
18:00	11,7	14,7
19:00	8,8	14,7
20:00	9,0	14,8
21:00	9,8	14,8
22:00	8,4	14,8
23:00	18,7	14,9

Die Auswertung erfolgte mit folgenden BHKW Daten

- $P_{el}$  25 kW
- $P_{th}$  44 kW
- Modulierbarkeit 1
- $P_{aufnahme}$  77 kW
- Schwellwert<sub>elektrisch</sub> 10 kW

Es besteht bei diesem Projekt zwar ein Pufferspeicherbedarf, jedoch ist nur eine sehr geringe Pufferspeicherkapazität notwendig.



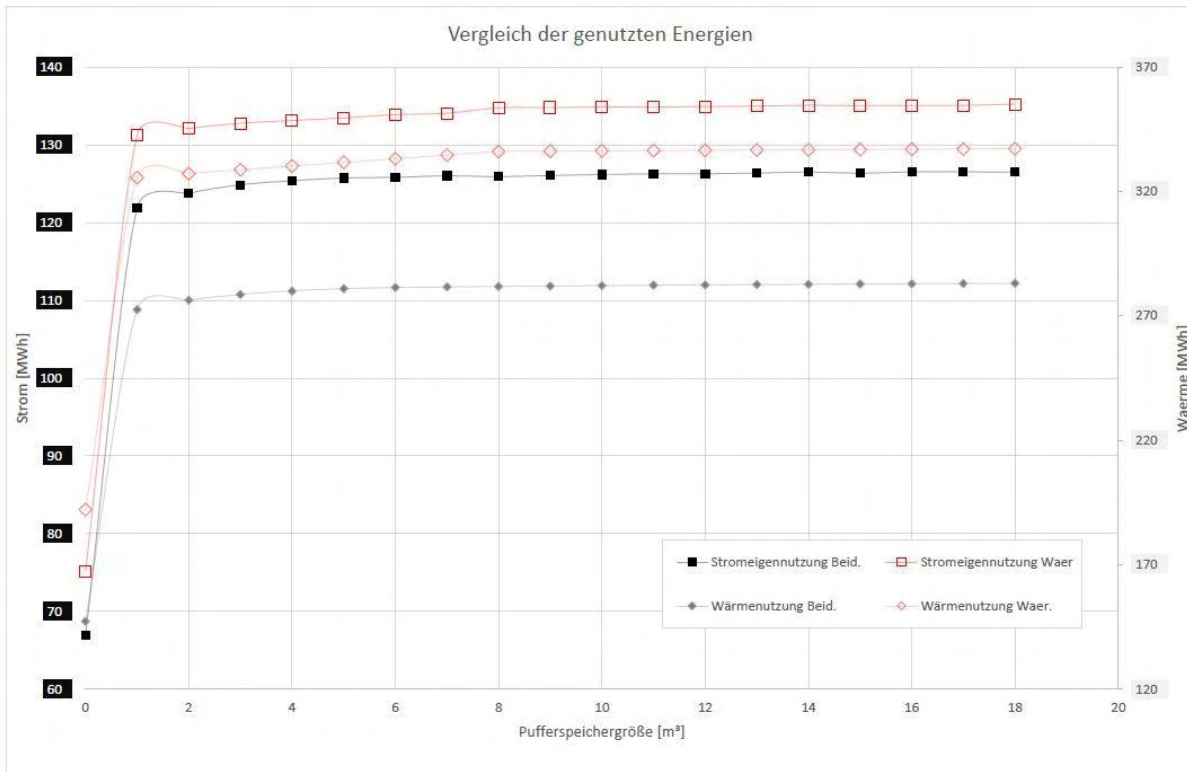


Abbildung 16 Genutzte Energien

Auswertung Bäckerei

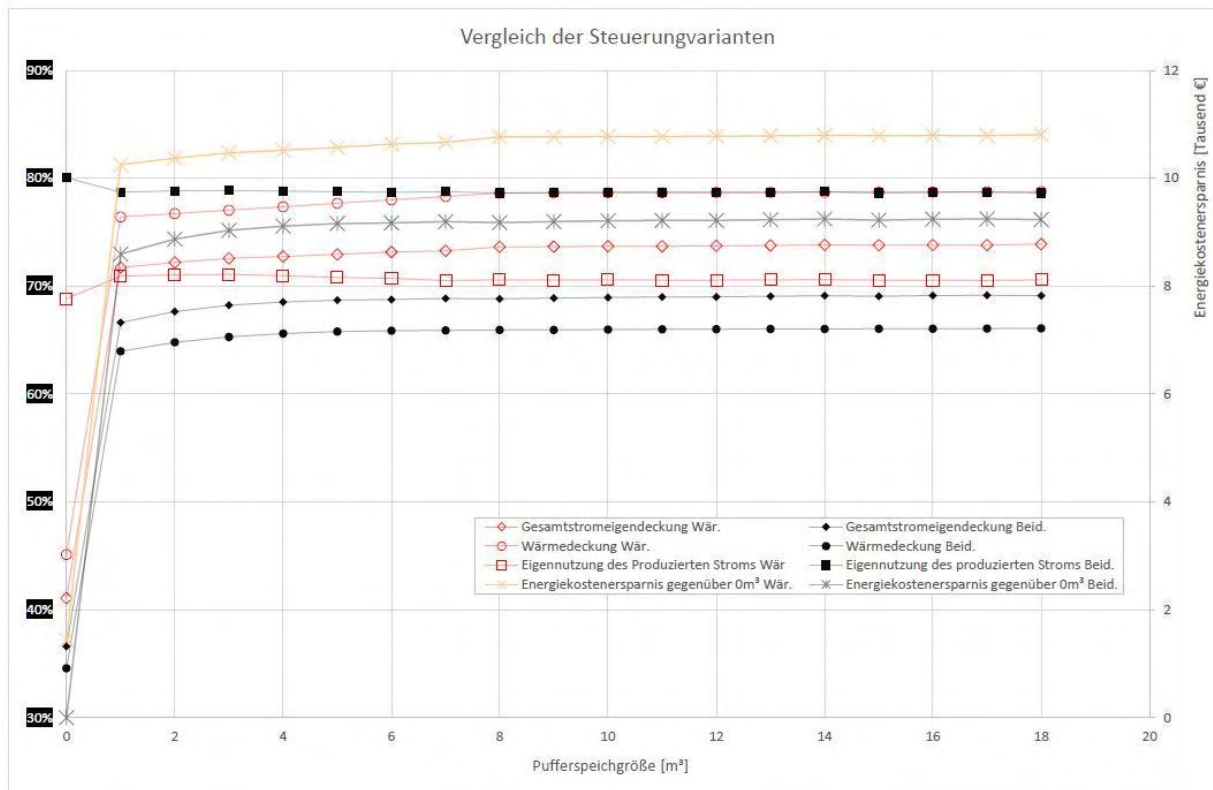


Abbildung 17 Kosteneinsparungen und Energiebedardeckung

Auswertung Bäckerei



Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waerme-prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Vollbenutzungss-tunden [h]	Gesamt-strom-eigen-deckung	Eigen-nutzung des produ-zierten stroms	Waermebed-arf-deckung [kWh]	Waerme-deckung [%]
0	16701,6	116000,2	-278569,3	0,0	147268,0	83675,0	3347,0	36,6%	80,0%	147268,0	34,6%
1	32971,5	61070,2	-153439,1	181,8	272580,0	154875,0	6195,0	66,6%	78,7%	272398,2	64,0%
2	33247,8	59221,5	-149904,9	387,6	276320,0	157000,0	6280,0	67,6%	78,8%	275932,4	64,8%
3	33455,1	58128,8	-147774,3	544,9	278608,0	158300,0	6332,0	68,2%	78,9%	278063,1	65,3%
4	33727,0	57600,7	-146497,3	676,0	280016,0	159100,0	6364,0	68,5%	78,8%	279340,0	65,6%
5	33904,3	57253,0	-145684,4	787,1	280940,0	159625,0	6385,0	68,7%	78,8%	280152,9	65,8%
6	34063,1	57161,8	-145342,9	885,6	281380,0	159875,0	6395,0	68,8%	78,7%	280494,4	65,9%
7	33997,2	56970,9	-145208,0	970,6	281600,0	160000,0	6400,0	68,9%	78,8%	280629,4	65,9%
8	34219,4	57068,0	-145071,7	1054,4	281820,0	160125,0	6405,0	68,8%	78,6%	280765,6	65,9%
9	34153,1	56926,8	-145016,5	1131,2	281952,0	160200,0	6408,0	68,9%	78,7%	280820,8	65,9%
10	34133,1	56806,8	-144912,0	1202,7	282128,0	160300,0	6412,0	69,0%	78,7%	280925,3	66,0%
11	34147,2	56720,9	-144809,9	1276,6	282304,0	160400,0	6416,0	69,0%	78,7%	281027,4	66,0%
12	34200,5	56699,2	-144746,2	1344,8	282436,0	160475,0	6419,0	69,0%	78,7%	281091,2	66,0%
13	34186,1	56609,7	-144680,5	1411,1	282568,0	160550,0	6422,0	69,1%	78,7%	281156,9	66,0%
14	34123,6	56497,3	-144654,4	1473,1	282656,0	160600,0	6424,0	69,1%	78,8%	281182,9	66,0%
15	34321,9	56620,5	-144586,9	1537,6	282788,0	160675,0	6427,0	69,1%	78,6%	281250,4	66,0%
16	34226,6	56475,2	-144558,3	1597,0	282876,0	160725,0	6429,0	69,1%	78,7%	281279,0	66,1%
17	34258,8	56457,5	-144527,8	1654,5	282964,0	160775,0	6431,0	69,1%	78,7%	281309,5	66,1%
18	34373,8	56497,5	-144453,8	1712,5	283096,0	160850,0	6434,0	69,1%	78,6%	281383,5	66,1%

Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener-gie BHKW	Gesamt Primärener-giebedarf	Energiekos-te [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzli-ches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever-gütung	Wartungskos-ten BHKW	Wartungskos-ten Kessel [€/a]
257719,0	794207,0	43871	12886,0	13928,5	20880,0	4526,8	626,3	1229,47057	100
477015,0	703437,7	35276	23850,8	7672,0	10992,6	8378,7	1236,4	2275,64093	100
483560,0	700929,0	34999	24178,0	7495,2	10659,9	8493,7	1246,8	2306,86441	100
487564,0	699425,7	34837	24378,2	7388,7	10463,2	8564,0	1254,6	2325,96584	100
490028,0	698534,9	34760	24501,4	7324,9	10368,1	8607,3	1264,8	2337,72056	100
491645,0	697975,3	34710	24582,3	7284,2	10305,5	8635,7	1271,4	2345,4346	100
492415,0	697754,4	34700	24620,8	7267,1	10289,1	8649,2	1277,4	2349,10795	100
492800,0	697679,9	34675	24640,0	7260,4	10254,8	8656,0	1274,9	2350,94462	100
493185,0	697603,9	34692	24659,3	7253,6	10272,2	8662,8	1283,2	2352,7813	100
493416,0	697584,9	34675	24670,8	7250,8	10246,8	8666,8	1280,7	2353,8833	100
493724,0	697528,7	34660	24686,2	7245,6	10225,2	8672,2	1280,0	2355,35264	100
494032,0	697474,8	34651	24701,6	7240,5	10209,8	8677,6	1280,5	2356,82198	100
494263,0	697447,3	34650	24713,2	7237,3	10205,9	8681,7	1282,5	2357,92399	100
494494,0	697417,8	34640	24724,7	7234,0	10189,8	8685,8	1282,0	2359,02599	100
494648,0	697415,9	34626	24732,4	7232,7	10169,5	8688,5	1279,6	2359,76066	100
494879,0	697384,6	34646	24744,0	7229,3	10191,7	8692,5	1287,1	2360,86267	100
495033,0	697380,1	34628	24751,7	7227,9	10165,5	8695,2	1283,5	2361,59734	100
495187,0	697373,7	34628	24759,4	7226,4	10162,3	8697,9	1284,7	2362,33201	100
495418,0	697335,9	34636	24770,9	7222,7	10169,6	8702,0	1289,0	2363,43402	100

Abbildung 18 Ergebnisse Auswertung - beidseitig geregelt

Speichergrösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waermeverluefte [kWh]	Waerme-prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Vollbenutzungsstunden [h]	Gesamtstrom-eigen-deckung	Eigen-nutzung des produzierten stroms	Waermebed-arf-deckung [kWh]	Waerme-deckung [%]
0	34020,9	107819,6	-233689,3	0,0	192148,0	109175,0	4367,0	41,1%	68,8%	192148,0	45,1%
1	53786,1	51759,8	-100437,2	199,9	325600,0	185000,0	7400,0	71,7%	70,9%	325400,1	76,4%
2	53809,6	50883,2	-99090,6	437,3	327184,0	185900,0	7436,0	72,2%	71,1%	326746,7	76,7%
3	53985,5	50209,2	-97770,9	613,5	328680,0	186750,0	7470,0	72,6%	71,1%	328066,5	77,0%
4	54487,1	49860,8	-96421,1	759,8	330176,0	187600,0	7504,0	72,7%	71,0%	329416,2	77,4%
5	55000,5	49524,2	-95053,2	887,9	331672,0	188450,0	7538,0	72,9%	70,8%	330784,1	77,7%
6	55409,2	49107,9	-93718,0	1004,7	333124,0	189275,0	7571,0	73,2%	70,7%	332119,3	78,0%
7	56046,3	48919,9	-92372,4	1111,1	334576,0	190100,0	7604,0	73,3%	70,5%	333464,9	78,3%
8	56172,7	48221,3	-91020,2	1210,9	336028,0	190925,0	7637,0	73,6%	70,6%	334817,1	78,6%
9	56223,6	48197,3	-90960,2	1282,9	336160,0	191000,0	7640,0	73,7%	70,6%	334877,1	78,6%
10	56227,3	48125,9	-90898,3	1353,0	336292,0	191075,0	7643,0	73,7%	70,6%	334939,0	78,7%
11	56282,6	48131,3	-90877,3	1420,0	336380,0	191125,0	7645,0	73,7%	70,6%	334960,0	78,7%
12	56295,6	48069,2	-90810,2	1484,9	336512,0	191200,0	7648,0	73,7%	70,6%	335027,1	78,7%
13	56274,9	47998,6	-90784,6	1547,3	336600,0	191250,0	7650,0	73,8%	70,6%	335052,7	78,7%
14	56262,4	47911,1	-90714,0	1608,6	336732,0	191325,0	7653,0	73,8%	70,6%	335123,4	78,7%
15	56341,9	47940,5	-90686,2	1668,8	336820,0	191375,0	7655,0	73,8%	70,6%	335151,2	78,7%
16	56389,9	47913,6	-90612,5	1727,2	336952,0	191450,0	7658,0	73,8%	70,5%	335224,8	78,7%
17	56443,6	47917,3	-90580,4	1783,0	337040,0	191500,0	7660,0	73,8%	70,5%	335257,0	78,7%
18	56361,2	47759,8	-90504,2	1838,9	337172,0	191575,0	7663,0	73,9%	70,6%	335333,1	78,7%

Auslegung bei rein wärmeseitiger Regelung

Primärenergie BHKW	Gesamt Primärenergiebedarf	Energiekosten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisevergütung	Wartungskosten BHKW [€]	Wartungskosten Kessel [€/a]
336259,0	761633,2	42426,9	16813,0	11684,5	19407,5	5906,4	1275,8	1604,15237	100
569800,0	664974,1	33621,4	28490,0	5021,9	9316,8	10008,5	2017,0	2718,27972	100
572572,0	664061,8	33498,6	28628,6	4954,5	9159,0	10057,2	2017,9	2731,50378	100
575190,0	663152,2	33402,1	28759,5	4888,5	9037,7	10103,2	2024,5	2743,99318	100
577808,0	662212,7	33350,5	28890,4	4821,1	8974,9	10149,2	2043,3	2756,48257	100
580426,0	661255,0	33299,6	29021,3	4752,7	8914,4	10195,1	2062,5	2768,97196	100
582967,0	660317,9	33237,1	29148,4	4685,9	8839,4	10239,8	2077,8	2781,09402	100
585508,0	659370,5	33206,7	29275,4	4618,6	8805,6	10284,4	2101,7	2793,21608	100
588049,0	658416,5	33103,1	29402,5	4551,0	8679,8	10329,0	2106,5	2805,33814	100
588280,0	658392,7	33102,5	29414,0	4548,0	8675,5	10333,1	2108,4	2806,44014	100
588511,0	658366,9	33095,0	29425,6	4544,9	8662,7	10337,2	2108,5	2807,54215	100
588665,0	658370,0	33098,6	29433,3	4543,9	8663,6	10339,9	2110,6	2808,27682	100
588896,0	658339,1	33092,1	29444,8	4540,5	8652,5	10343,9	2111,1	2809,37882	100
589050,0	658337,6	33084,6	29452,5	4539,2	8639,7	10346,6	2110,3	2810,11349	100
589281,0	658303,2	33074,4	29464,1	4535,7	8624,0	10350,7	2109,8	2811,2155	100
589435,0	658299,5	33081,1	29471,8	4534,3	8629,3	10353,4	2112,8	2811,95017	100
589666,0	658262,1	33079,4	29483,3	4530,6	8624,4	10357,4	2114,6	2813,05218	100
589820,0	658254,1	33082,1	29491,0	4529,0	8625,1	10360,2	2116,6	2813,78685	100
590051,0	658214,1	33061,7	29502,6	4525,2	8596,8	10364,2	2113,5	2814,88885	100

Abbildung 19 Ergebnisse Auswertung- wärmeseitig geregelt

## Das Projekt Metallbau

	Maximale Leistung	Minimale Leistung	Ø Leistung	Werte des oberen Drittels $\geq$	Werte des unteren Drittels $\leq$	Gesamtbedarf
	[kW]					[kWh]
Wärmebedarf	87,6	0,2	48,6	41,9	4	236623
Strombedarf	63,1	1,6	20,9	29,9	6,4	186711

Die Arbeitszeiten von 6:00-18:00 sind zu erkennen, der Strombedarf steigt während dieser Zeit an. Während des Sommers sinkt der Wärmebedarf erheblich.

### Wintertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	6,0	67,3
01:00	5,9	69,6
02:00	5,9	71,2
03:00	5,7	72,0
04:00	7,2	72,2
05:00	9,7	72,7
06:00	32,8	73,2
07:00	46,1	73,6
08:00	55,1	74,2
09:00	49,8	73,7
10:00	45,6	71,8
11:00	51,3	68,0
12:00	52,3	65,6
13:00	50,8	62,8
14:00	43,6	61,1
15:00	33,4	60,7
16:00	29,0	62,0
17:00	21,3	64,3
18:00	21,5	65,9
19:00	12,7	68,1
20:00	5,9	69,5
21:00	5,6	70,3
22:00	5,6	70,6
23:00	5,6	71,8

### Sommertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00	13,0	3,4
01:00	11,8	4,3
02:00	11,8	5,3
03:00	11,8	6,1
04:00	13,5	6,8
05:00	16,3	6,6
06:00	36,7	5,6
07:00	53,0	4,2
08:00	54,2	3,0
09:00	53,3	2,0
10:00	52,4	1,5
11:00	47,8	1,1
12:00	45,0	0,9
13:00	30,1	0,7
14:00	21,0	0,7
15:00	19,7	0,6
16:00	20,9	0,6
17:00	21,3	0,6
18:00	8,9	0,7
19:00	5,1	0,9
20:00	5,0	1,1
21:00	5,1	1,5
22:00	5,0	2,0
23:00	5,1	2,6

Die Auswertung erfolgte mit folgenden BHKW

## Daten

- $P_{el}$  30 kW
- $P_{th}$  52 kW
- Modulierbarkeit 1
- $P_{aufnahme}$  91 kW
- Schwellwert<sub>elektrisch</sub> 15 kW

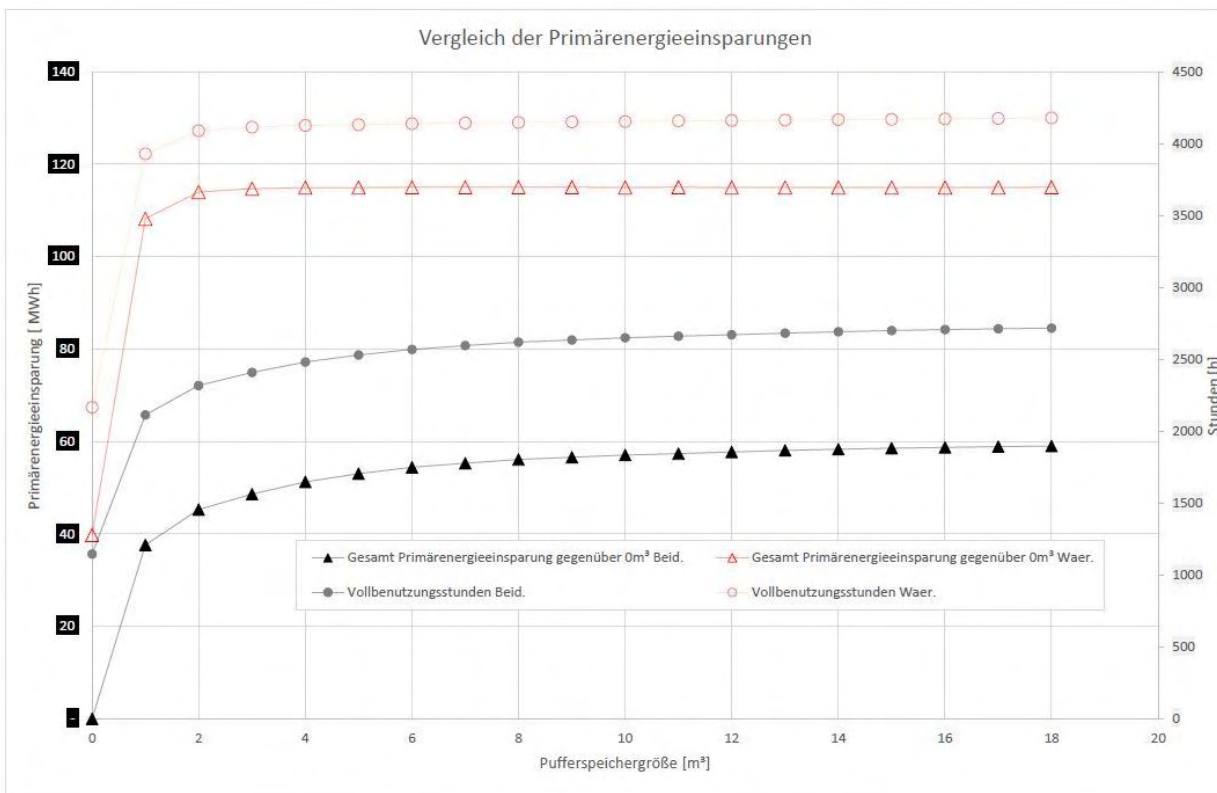


Abbildung 20 Primärenergie und Vollbenutzungsdauer

Auswertung Metallbau



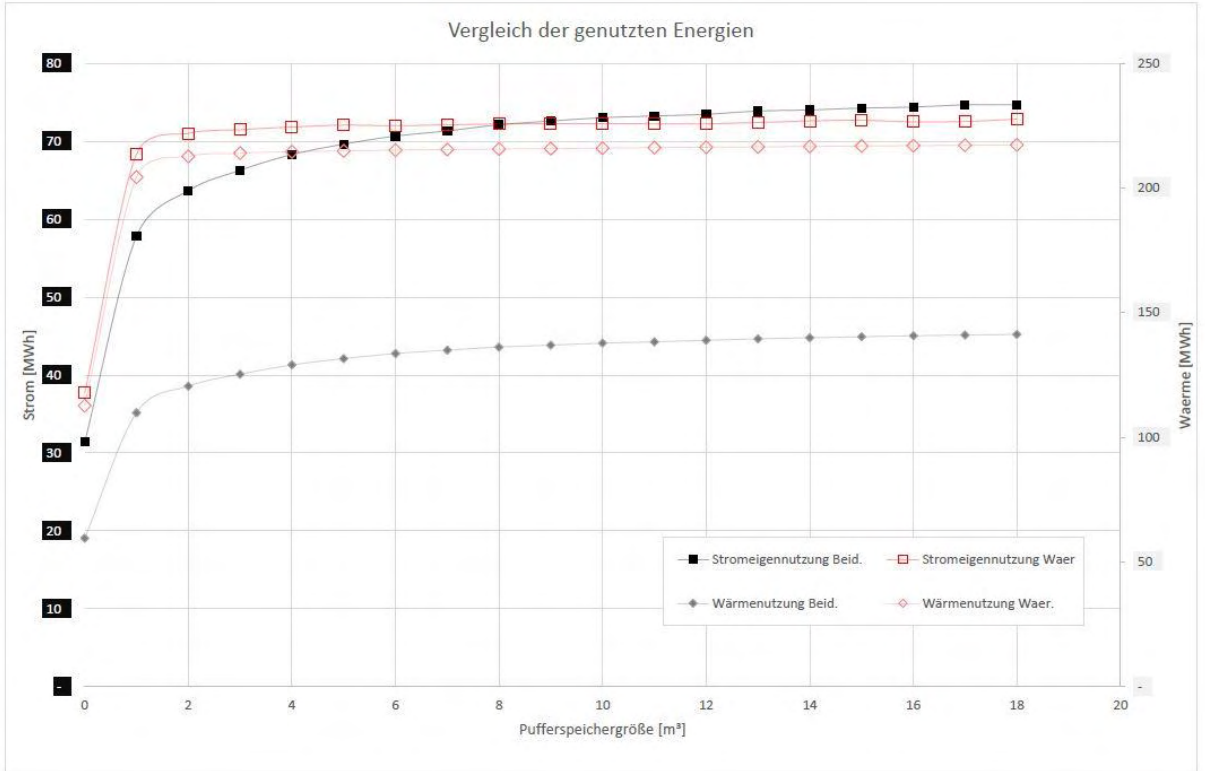


Abbildung 21 Genutzte Energien

Auswertung Metallbau

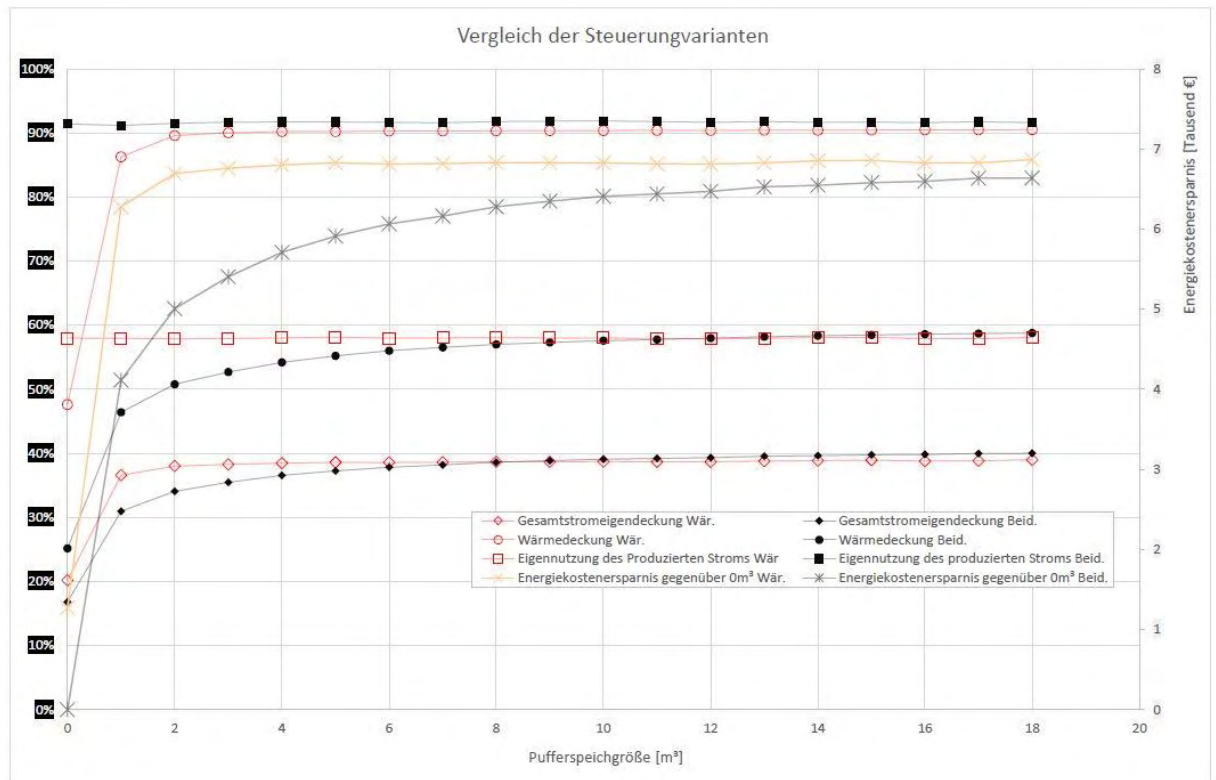


Abbildung 22 Kosteneinsparungen und Energiebedarfdeckung

Auswertung Metallbau

Speicher groesse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungss- tunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	2947,6	155309,0	-177083,4	0,0	59540,0	34350,0	1145,0	16,8%	91,4%	59540,0	25,2%
1	5593,5	128914,9	-126829,5	82,1	109876,0	63390,0	2113,0	31,0%	91,2%	109793,9	46,4%
2	5907,9	123079,3	-116468,0	380,6	120536,0	69540,0	2318,0	34,1%	91,5%	120155,4	50,8%
3	6002,4	120443,8	-111932,0	576,6	125268,0	72270,0	2409,0	35,5%	91,7%	124691,4	52,7%
4	6152,0	118433,4	-108358,6	747,1	129012,0	74430,0	2481,0	36,6%	91,7%	128264,9	54,2%
5	6282,5	117093,9	-105955,7	892,2	131560,0	75900,0	2530,0	37,3%	91,7%	130667,8	55,2%
6	6422,1	116063,5	-104057,5	1022,1	133588,0	77070,0	2569,0	37,8%	91,7%	132565,9	56,0%
7	6534,9	115396,3	-102833,0	1149,6	134940,0	77850,0	2595,0	38,2%	91,6%	133790,4	56,5%
8	6464,4	114605,8	-101709,2	1273,8	136188,0	78570,0	2619,0	38,6%	91,8%	134914,2	57,0%
9	6431,6	114123,0	-101035,4	1380,0	136968,0	79020,0	2634,0	38,9%	91,9%	135588,0	57,3%
10	6461,1	113702,5	-100364,0	1488,5	137748,0	79470,0	2649,0	39,1%	91,9%	136259,5	57,6%
11	6566,7	113478,1	-99890,9	1587,5	138320,0	79800,0	2660,0	39,2%	91,8%	136732,5	57,8%
12	6678,3	113259,7	-99409,8	1678,4	138892,0	80130,0	2671,0	39,3%	91,7%	137213,6	58,0%
13	6598,2	112849,5	-98935,2	1775,8	139464,0	80460,0	2682,0	39,6%	91,8%	137688,2	58,2%
14	6719,8	112701,2	-98550,2	1858,7	139932,0	80730,0	2691,0	39,6%	91,7%	138073,3	58,4%
15	6726,5	112467,9	-98221,8	1946,4	140348,0	80970,0	2699,0	39,8%	91,7%	138401,6	58,5%
16	6800,8	112332,2	-97946,7	2035,3	140712,0	81180,0	2706,0	39,8%	91,6%	138676,7	58,6%
17	6703,0	112054,4	-97709,4	2110,0	141024,0	81360,0	2712,0	40,0%	91,8%	138914,0	58,7%
18	6816,7	112018,1	-97529,1	2189,7	141284,0	81510,0	2717,0	40,0%	91,6%	139094,3	58,8%

Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekos- ten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
104195,0	677022,3	40643	5209,8	8854,2	27955,6	1858,3	110,5	491,908812	100
192283,0	639427,8	36529	9614,2	6341,5	23204,7	3429,4	209,8	907,775825	100
210938,0	631747,3	35637	10546,9	5823,4	22154,3	3762,1	221,5	995,846835	100
219219,0	628401,4	35237	10961,0	5596,6	21679,9	3909,8	225,1	1034,94177	100
225771,0	625769,6	34933	11288,6	5417,9	21318,0	4026,7	230,7	1065,87403	100
230230,0	624007,5	34731	11511,5	5297,8	21076,9	4106,2	235,6	1086,92515	100
233779,0	622619,4	34577	11689,0	5202,9	20891,4	4169,5	240,8	1103,68012	100
236145,0	621734,9	34478	11807,3	5141,7	20771,3	4211,7	245,1	1114,8501	100
238329,0	620924,9	34363	11916,5	5085,5	20629,0	4250,6	242,4	1125,16085	100
239694,0	620447,3	34294	11984,7	5051,8	20542,1	4275,0	241,2	1131,60507	100
241059,0	619972,0	34234	12053,0	5018,2	20466,5	4299,3	242,3	1138,04929	100
242060,0	619642,8	34203	12103,0	4994,5	20426,1	4317,2	246,3	1142,77506	100
243061,0	619305,6	34172	12153,1	4970,5	20386,8	4335,0	250,4	1147,50082	100
244062,0	618974,8	34115	12203,1	4946,8	20312,9	4352,9	247,4	1152,22658	100
244881,0	618707,5	34094	12244,1	4927,5	20286,2	4367,5	252,0	1156,09311	100
245609,0	618483,7	34063	12280,5	4911,1	20244,2	4380,5	252,2	1159,53003	100
246246,0	618300,2	34045	12312,3	4897,3	20219,8	4391,8	255,0	1162,53733	100
246792,0	618141,4	34007	12339,6	4885,5	20169,8	4401,6	251,4	1165,11502	100
247247,0	618026,5	34004	12362,4	4876,5	20163,3	4409,7	255,6	1167,26309	100

Abbildung 23 Ergebnisse Auswertung - beidseitig geregelt



Speicher grösse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungs- stunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	27291,3	149022,6	-123991,4	0,0	112632,0	64980,0	2166,0	20,2%	58,0%	112632,0	47,6%
1	49540,4	118381,8	-32472,3	156,9	204308,0	117870,0	3929,0	36,6%	58,0%	204151,1	86,3%
2	51678,6	115720,0	-24616,3	620,9	212628,0	122670,0	4089,0	38,0%	57,9%	212007,1	89,6%
3	51945,0	115236,4	-23584,7	889,3	213928,0	123420,0	4114,0	38,3%	57,9%	213038,7	90,0%
4	51969,3	114900,7	-23187,1	1115,7	214552,0	123780,0	4126,0	38,5%	58,0%	213436,3	90,2%
5	51876,1	114657,5	-23124,7	1313,3	214812,0	123930,0	4131,0	38,6%	58,1%	213498,7	90,2%
6	52158,3	114729,7	-22945,3	1497,8	215176,0	124140,0	4138,0	38,6%	58,0%	213678,2	90,3%
7	52165,2	114616,6	-22905,1	1665,7	215384,0	124260,0	4142,0	38,6%	58,0%	213718,3	90,3%
8	52164,6	114496,0	-22855,7	1824,3	215592,0	124380,0	4146,0	38,7%	58,1%	213767,7	90,3%
9	52255,6	114467,0	-22799,1	1975,7	215800,0	124500,0	4150,0	38,7%	58,0%	213824,3	90,4%
10	52322,7	114444,1	-22780,2	2112,7	215956,0	124590,0	4153,0	38,7%	58,0%	213843,3	90,4%
11	52482,5	114483,9	-22710,6	2251,2	216164,0	124710,0	4157,0	38,7%	57,9%	213912,8	90,4%
12	52567,6	114479,0	-22682,9	2379,4	216320,0	124800,0	4160,0	38,7%	57,9%	213940,6	90,4%
13	52494,0	114315,4	-22649,8	2502,3	216476,0	124890,0	4163,0	38,8%	58,0%	213973,7	90,4%
14	52381,1	114112,5	-22616,4	2625,0	216632,0	124980,0	4166,0	38,9%	58,1%	214007,0	90,4%
15	52396,9	114038,3	-22574,5	2739,1	216788,0	125070,0	4169,0	38,9%	58,1%	214048,9	90,5%
16	52680,3	114231,7	-22530,9	2851,5	216944,0	125160,0	4172,0	38,8%	57,9%	214092,5	90,5%
17	52720,3	114181,7	-22485,0	2961,6	217100,0	125250,0	4175,0	38,8%	57,9%	214138,4	90,5%
18	52518,5	113889,9	-22437,7	3070,3	217256,0	125340,0	4178,0	39,0%	58,1%	214185,7	90,5%

Auslegung bei rein wärmeseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekos- ten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW [€]	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
197106,0	637282,9	39370,7	9855,3	6199,6	26824,1	3515,4	1023,4	930,545403	100
357539,0	568820,1	34362,7	17877,0	1623,6	21308,7	6376,8	1857,8	1687,95609	100
372099,0	563056,6	33947,7	18605,0	1230,8	20829,6	6636,4	1937,9	1756,69444	100
374374,0	562351,9	33883,0	18718,7	1179,2	20742,6	6677,0	1947,9	1767,4348	100
375466,0	562111,3	33842,0	18773,3	1159,4	20682,1	6696,5	1948,8	1772,59018	100
375921,0	562114,3	33815,4	18796,1	1156,2	20638,4	6704,6	1945,4	1774,73825	100
376558,0	562026,4	33832,3	18827,9	1147,3	20651,3	6716,0	1955,9	1777,74556	100
376922,0	562038,5	33823,1	18846,1	1145,3	20631,0	6722,5	1956,2	1779,46402	100
377286,0	562041,4	33812,4	18864,3	1142,8	20609,3	6729,0	1956,2	1781,18247	100
377650,0	562037,2	33814,4	18882,5	1140,0	20604,1	6735,5	1959,6	1782,90093	100
377923,0	562057,4	33816,9	18896,2	1139,0	20599,9	6740,3	1962,1	1784,18978	100
378287,0	562040,2	33828,0	18914,4	1135,5	20607,1	6746,8	1968,1	1785,90824	100
378560,0	562051,7	33832,6	18928,0	1134,1	20606,2	6751,7	1971,3	1787,19708	100
378833,0	562057,8	33814,3	18941,7	1132,5	20576,8	6756,5	1968,5	1788,48592	100
379106,0	562063,7	33790,4	18955,3	1130,8	20540,3	6761,4	1964,3	1789,77477	100
379379,0	562061,1	33784,5	18969,0	1128,7	20526,9	6766,3	1964,9	1791,06361	100
379652,0	562056,7	33816,5	18982,6	1126,5	20561,7	6771,2	1975,5	1792,35246	100
379925,0	562050,0	33813,8	18996,3	1124,2	20552,7	6776,0	1977,0	1793,6413	100
380198,0	562042,0	33776,6	19009,9	1121,9	20500,2	6780,9	1969,4	1794,93014	100

Abbildung 24 Ergebnisse Auswertung- wärmeseitig geregelt

## Das Projekt Papier

	Maximale Leistung	Minimale Leistung	Ø Leistung	Werte des oberen Drittels $\geq$	Werte des unteren Drittels $\leq$	Gesamtbedarf
	[kW]					[kWh]
Wärmebedarf	671,7	0	189,4	293,0	69,5	1658160
Strombedarf	667,5	4,0	296,6	428,5	273,0	2596123

Dies ist ein Drei-Schicht-Betrieb mit einer 5-Tage Arbeitswoche. Der Strombedarf sinkt während des Wochenendes erheblich auf Leistungen meist deutlich unter 100 kW.

### Wintertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00:00	379,5	294,0
01:00:00	372,5	305,0
02:00:00	379,5	314,0
03:00:00	376,5	294,0
04:00:00	392,5	314,0
05:00:00	386,5	285,0
06:00:00	407,5	304,0
07:00:00	464,0	305,0
08:00:00	511,5	304,0
09:00:00	538,0	304,0
10:00:00	517,5	285,0
11:00:00	529,0	304,0
12:00:00	538,0	305,0
13:00:00	517,5	284,0
14:00:00	495,5	275,0
15:00:00	426,5	304,0
16:00:00	445,5	295,0
17:00:00	455,0	275,0
18:00:00	432,0	294,0
19:00:00	418,0	265,0
20:00:00	438,5	304,0
21:00:00	429,5	285,0
22:00:00	428,5	265,0
23:00:00	353,0	275,0

### Sommertag

Zeit	Stromlastgang [kW]	Wärmelastgang [kW]
00:00:00	385,0	49,0
01:00:00	384,5	49,0
02:00:00	392,5	29,4
03:00:00	376,5	68,6
04:00:00	365,0	78,3
05:00:00	349,5	78,3
06:00:00	366,0	78,3
07:00:00	456,0	49,0
08:00:00	467,5	49,0
09:00:00	469,0	29,4
10:00:00	472,5	49,0
11:00:00	484,0	29,4
12:00:00	517,0	49,0
13:00:00	521,5	39,2
14:00:00	489,0	19,6
15:00:00	403,5	39,2
16:00:00	409,0	29,4
17:00:00	406,5	39,2
18:00:00	398,0	49,0
19:00:00	394,0	29,4
20:00:00	393,0	39,2
21:00:00	401,5	39,2
22:00:00	396,0	39,2
23:00:00	381,5	29,4

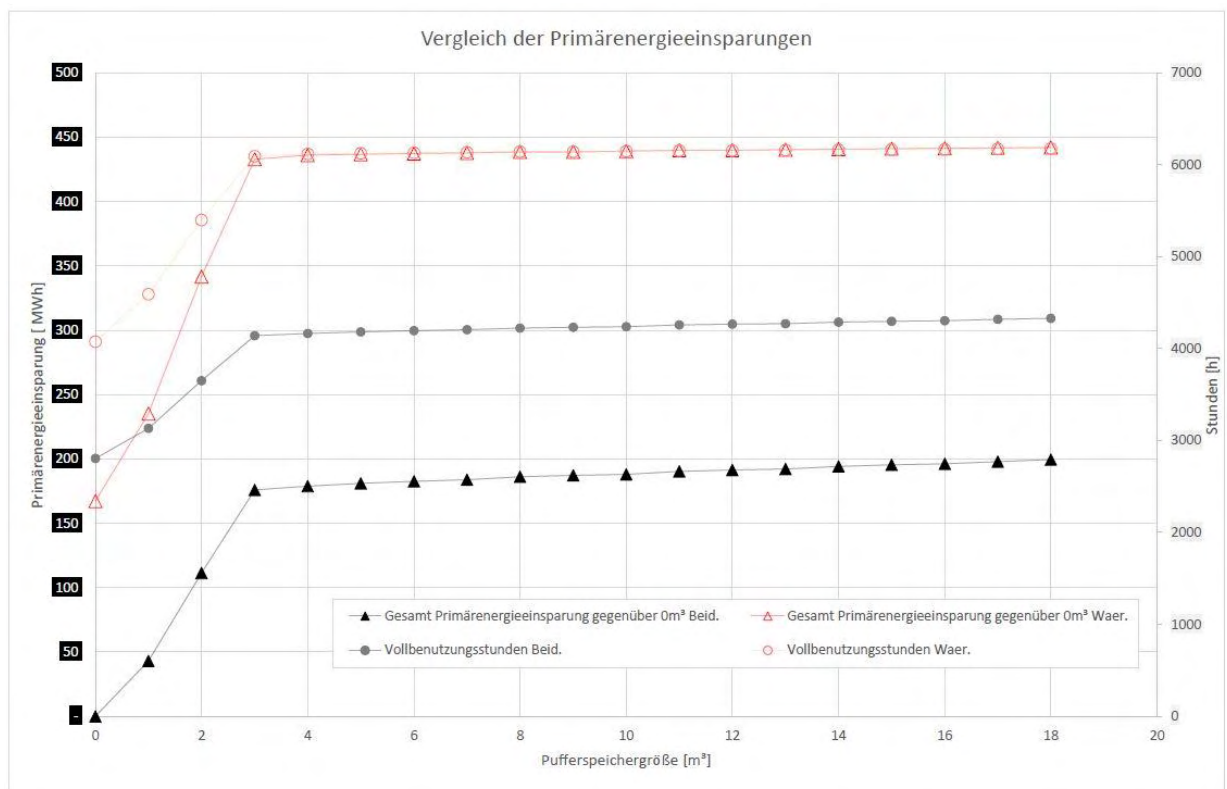
Die Auswertung erfolgte mit 2 unterschiedlichen BHKWs. Nachfolgend sind die BHKW Daten gelistet

- $P_{el}$  100 kW
- $P_{th}$  151 kW
- Modulierbarkeit 1
- $P_{aufnahme}$  279 kW
- Schwellwert<sub>elektrisch</sub> 80 kW

und

- $P_{el}$  200 kW
- $P_{th}$  281 kW
- Modulierbarkeit 1
- $P_{aufnahme}$  534 kW
- Schwellwert<sub>elektrisch</sub> 80 kW

Im Folgenden die Ergebnisse für 100 kW<sub>elektrisch</sub>



Auswertung Papier 100kW

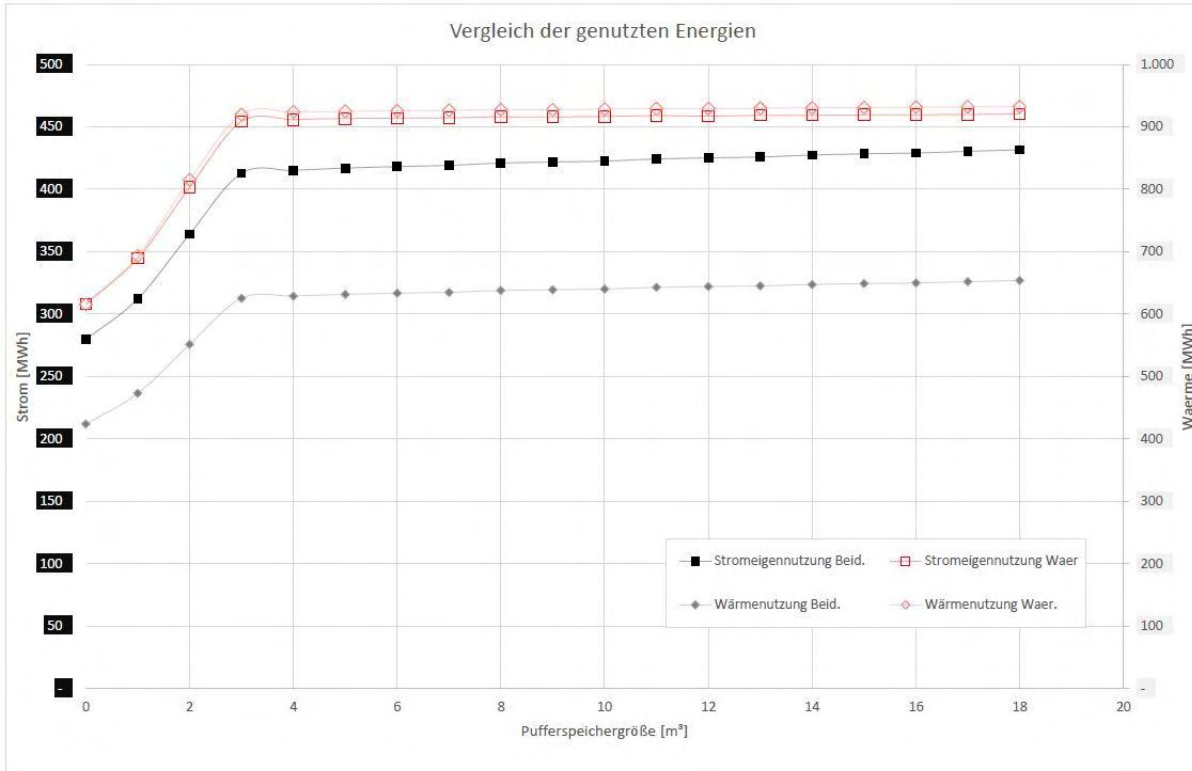


Abbildung 26 Genutzte Energien

Auswertung Papier 100kW

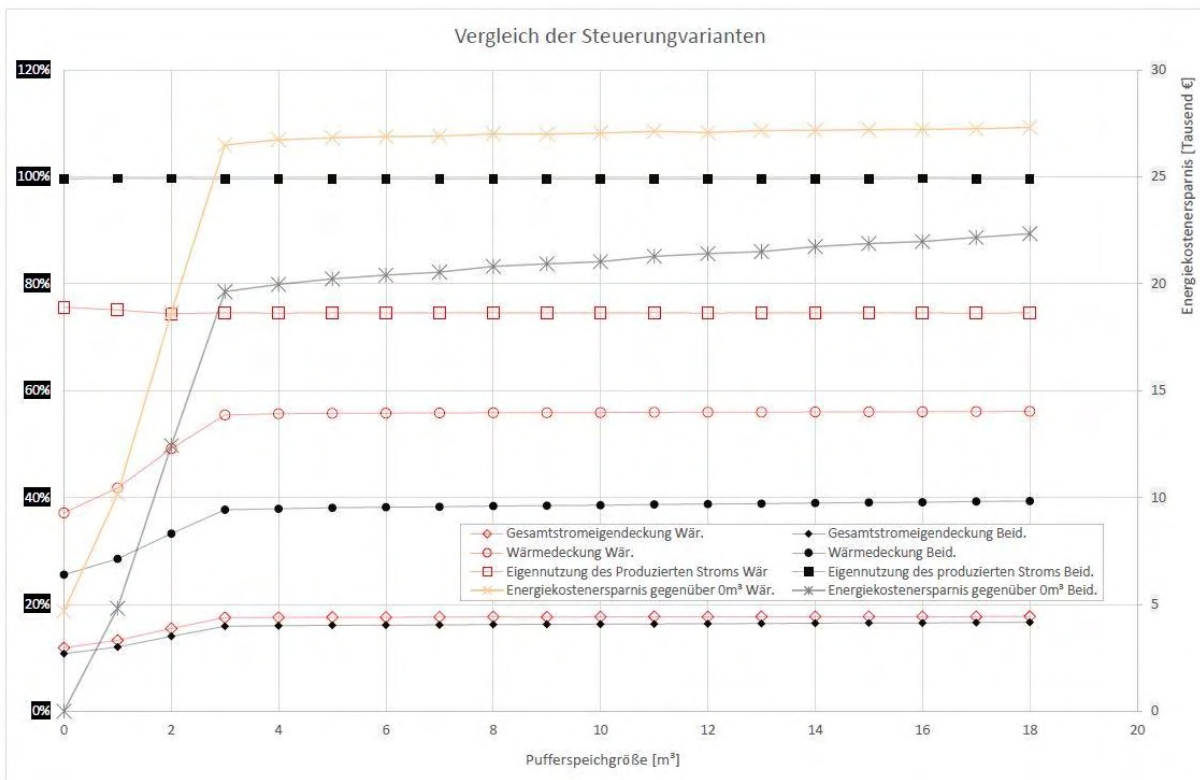


Abbildung 27 Kosteneinsparungen und Energiebedarfdeckung

Auswertung Papier 100kW



Speicher groesse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungss- stunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	888,5	2316511,0	-1234604,5	0,0	423555,0	280500,0	2805,0	10,8%	99,7%	423555,0	25,5%
1	952,5	2283875,0	-1185245,6	18,1	472932,0	313200,0	3132,0	12,0%	99,7%	472913,9	28,5%
2	1090,0	2232112,5	-1106944,0	85,6	551301,0	365100,0	3651,0	14,0%	99,7%	551215,4	33,2%
3	1359,0	2183281,5	-1032959,1	241,6	625442,0	414200,0	4142,0	15,9%	99,7%	625200,4	37,7%
4	1317,0	2180939,5	-1029626,1	381,6	628915,0	416500,0	4165,0	16,0%	99,7%	628533,4	37,9%
5	1303,5	2179126,0	-1027016,8	490,3	631633,0	418300,0	4183,0	16,1%	99,7%	631142,7	38,1%
6	1298,0	2177920,5	-1025311,9	597,4	633445,0	419500,0	4195,0	16,1%	99,7%	632847,6	38,2%
7	1313,0	2176935,5	-1023891,1	686,6	634955,0	420500,0	4205,0	16,1%	99,7%	634268,4	38,3%
8	1375,0	2175097,5	-1021103,7	768,3	637824,0	422400,0	4224,0	16,2%	99,7%	637055,7	38,4%
9	1342,5	2174265,0	-1019970,2	842,7	639032,0	423200,0	4232,0	16,2%	99,7%	638189,3	38,5%
10	1313,0	2173535,5	-1018991,4	921,0	640089,0	423900,0	4239,0	16,3%	99,7%	639168,0	38,5%
11	1375,0	2171797,5	-1016345,9	993,4	642807,0	425700,0	4257,0	16,3%	99,7%	641813,6	38,7%
12	1380,5	2170903,0	-1015050,8	1057,4	644166,0	426600,0	4266,0	16,4%	99,7%	643108,6	38,8%
13	1313,0	2170235,5	-1014213,3	1125,9	645072,0	427200,0	4272,0	16,4%	99,7%	643946,1	38,8%
14	1363,0	2168685,5	-1011866,0	1194,6	647488,0	428800,0	4288,0	16,5%	99,7%	646293,4	39,0%
15	1341,5	2167664,0	-1010415,1	1253,6	648998,0	429800,0	4298,0	16,5%	99,7%	647744,4	39,1%
16	1317,0	2167039,5	-1009565,8	1310,3	649904,0	430400,0	4304,0	16,5%	99,7%	648593,7	39,1%
17	1359,0	2165681,5	-1007516,1	1374,7	652018,0	431800,0	4318,0	16,6%	99,7%	650643,3	39,2%
18	1341,5	2164464,0	-1005756,3	1426,9	653830,0	433000,0	4330,0	16,6%	99,7%	652403,1	39,3%

Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekoste- n [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
782595,0	8031803,4	509087	39129,8	61730,2	416972,0	12201,8	33,3	3389,72779	100
873828,0	7988742,4	504276	43691,4	59262,3	411097,5	13624,2	35,7	3784,89391	100
1018629,0	7920436,7	496648	50931,5	55347,2	401780,3	15881,9	40,9	4412,08419	100
1155618,0	7855908,2	489456	57780,9	51648,0	392990,7	18017,7	51,0	5005,43761	100
1162035,0	7853018,2	489118	58101,8	51481,3	392569,1	18117,8	49,4	5033,23217	100
1167057,0	7850755,6	488856	58352,9	51350,8	392242,7	18196,1	48,9	5054,98443	100
1170405,0	7849281,8	488684	58520,3	51265,6	392025,7	18248,3	48,7	5069,48594	100
1173195,0	7848053,6	488543	58659,8	51194,6	391848,4	18291,8	49,2	5081,57053	100
1178496,0	7845632,2	488276	58924,8	51055,2	391517,6	18374,4	51,6	5104,53126	100
1180728,0	7844652,7	488157	59036,4	50998,5	391367,7	18409,2	50,3	5114,19893	100
1182681,0	7843808,8	488054	59134,1	50949,6	391236,4	18439,7	49,2	5122,65814	100
1187703,0	7841509,9	487801	59385,2	50817,3	390923,6	18518,0	51,6	5144,41041	100
1190214,0	7840388,2	487672	59510,7	50752,5	390762,5	18557,1	51,8	5155,28654	100
1191888,0	7839666,3	487578	59594,4	50710,7	390642,4	18583,2	49,2	5162,53729	100
1196352,0	7837627,1	487352	59817,6	50593,3	390363,4	18652,8	51,1	5181,87264	100
1199142,0	7836368,7	487205	59957,1	50520,8	390179,5	18696,3	50,3	5193,95723	100
1200816,0	7835635,0	487116	60040,8	50478,3	390067,1	18722,4	49,4	5201,20798	100
1204722,0	7833855,0	486918	60236,1	50375,8	389822,7	18783,3	51,0	5218,12641	100
1208070,0	7832326,3	486742	60403,5	50287,8	389603,5	18835,5	50,3	5232,62792	100

Abbildung 28 Ergebnisse Auswertung - beidseitig geregelt

Speicher groesse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungs- stunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	99395,0	2288017,5	-1042834,5	0,0	615325,0	407500,0	4075,0	11,9%	75,6%	615325,0	37,1%
1	114404,5	2251427,0	-964947,9	29,5	693241,0	459100,0	4591,0	13,3%	75,1%	693211,5	41,8%
2	138298,0	2194520,5	-843042,7	132,2	815249,0	539900,0	5399,0	15,5%	74,4%	815116,8	49,2%
3	154972,5	2141795,0	-738487,7	371,2	920043,0	609300,0	6093,0	17,5%	74,6%	919671,8	55,5%
4	155928,0	2140150,5	-734738,4	547,9	923969,0	611900,0	6119,0	17,6%	74,5%	923421,1	55,7%
5	155801,5	2139424,0	-733989,3	704,9	924875,0	612500,0	6125,0	17,6%	74,6%	924170,1	55,7%
6	156032,5	2139055,0	-733231,9	853,4	925781,0	613100,0	6131,0	17,6%	74,6%	924927,6	55,8%
7	156289,0	2138811,5	-732609,5	986,0	926536,0	613600,0	6136,0	17,6%	74,5%	925550,0	55,8%
8	156159,0	2138081,5	-731833,6	1116,1	927442,0	614200,0	6142,0	17,6%	74,6%	926325,9	55,9%
9	156304,5	2138127,0	-731788,4	1222,0	927593,0	614300,0	6143,0	17,6%	74,6%	926371,0	55,9%
10	156521,0	2137743,5	-730988,2	1327,7	928499,0	614900,0	6149,0	17,7%	74,5%	927171,3	55,9%
11	156400,5	2137123,0	-730337,3	1431,8	929254,0	615400,0	6154,0	17,7%	74,6%	927822,2	56,0%
12	156898,0	2137520,5	-730277,0	1522,5	929405,0	615500,0	6155,0	17,7%	74,5%	927882,5	56,0%
13	156612,5	2136835,0	-729772,7	1622,2	930009,0	615900,0	6159,0	17,7%	74,6%	928386,8	56,0%
14	156952,0	2136774,5	-729262,4	1715,9	930613,0	616300,0	6163,0	17,7%	74,5%	928897,1	56,0%
15	157002,0	2136524,5	-728894,4	1800,9	931066,0	616600,0	6166,0	17,7%	74,5%	929265,1	56,0%
16	157161,5	2136384,0	-728525,0	1884,6	931519,0	616900,0	6169,0	17,7%	74,5%	929634,4	56,1%
17	157356,0	2136178,5	-728002,6	1966,2	932123,0	617300,0	6173,0	17,7%	74,5%	930156,8	56,1%
18	157225,5	2135748,0	-727626,5	2043,1	932576,0	617600,0	6176,0	17,7%	74,5%	930532,9	56,1%

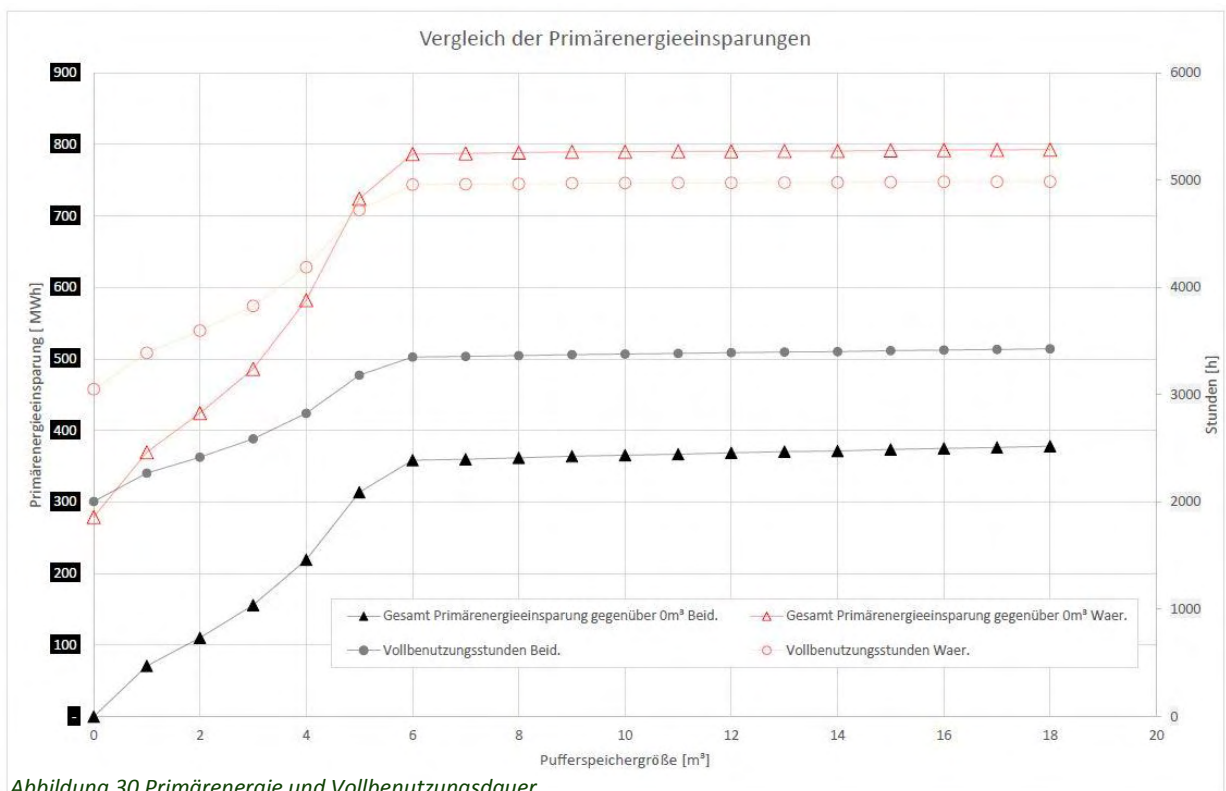
Auslegung bei rein wärmeseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekos- ten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW [€]	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
1136925,0	7864493,2	504402,0	56846,3	52141,7	411843,2	17726,3	3727,3	4924,47085	100
1280889,0	7796544,7	498935,7	64044,5	48247,4	405256,9	19970,9	4290,2	5548,03575	100
1506321,0	7690201,4	490434,5	75316,1	42152,1	395013,7	23485,7	5186,2	6524,4707	100
1699947,0	7599012,6	482592,0	84997,4	36924,4	385523,1	26504,6	5811,5	7363,14132	100
1707201,0	7595764,1	482353,7	85360,1	36736,9	385227,1	26617,7	5847,3	7394,56126	100
1708875,0	7595130,6	482255,0	85443,8	36699,5	385096,3	26643,8	5842,6	7401,81201	100
1710549,0	7594488,7	482206,9	85527,5	36661,6	385029,9	26669,9	5851,2	7409,06277	100
1711944,0	7593962,6	482176,4	85597,2	36630,5	384986,1	26691,6	5860,8	7415,10506	100
1713618,0	7593302,2	482075,9	85680,9	36591,7	384854,7	26717,7	5856,0	7422,35582	100
1713897,0	7593276,3	482087,2	85694,9	36589,4	384862,9	26722,1	5861,4	7423,56428	100
1715571,0	7592591,7	482034,9	85778,6	36549,4	384793,8	26748,2	5869,5	7430,81503	100
1716966,0	7592037,1	481949,2	85848,3	36516,9	384682,1	26769,9	5865,0	7436,85733	100
1717245,0	7591996,0	482009,9	85862,3	36513,8	384753,7	26774,3	5883,7	7438,06579	100
1718361,0	7591568,7	481915,3	85918,1	36488,6	384630,3	26791,7	5873,0	7442,89962	100
1719477,0	7591135,5	481909,4	85973,9	36463,1	384619,4	26809,1	5885,7	7447,73346	100
1720314,0	7590825,3	481876,5	86015,7	36444,7	384574,4	26822,1	5887,6	7451,35884	100
1721151,0	7590513,7	481859,2	86057,6	36426,3	384549,1	26835,2	5893,6	7454,98421	100
1722267,0	7590068,3	481832,0	86113,4	36400,1	384512,1	26852,6	5900,9	7459,81805	100
1723104,0	7589750,0	481773,1	86155,2	36381,3	384434,6	26865,6	5896,0	7463,44343	100

Abbildung 29 Ergebnisse Auswertung- wärmeseitig geregelt



Nachfolgend zu sehen ist die Auswertung mit 200 kW<sub>elektrisch</sub>.



Auswertung Papier 200kW

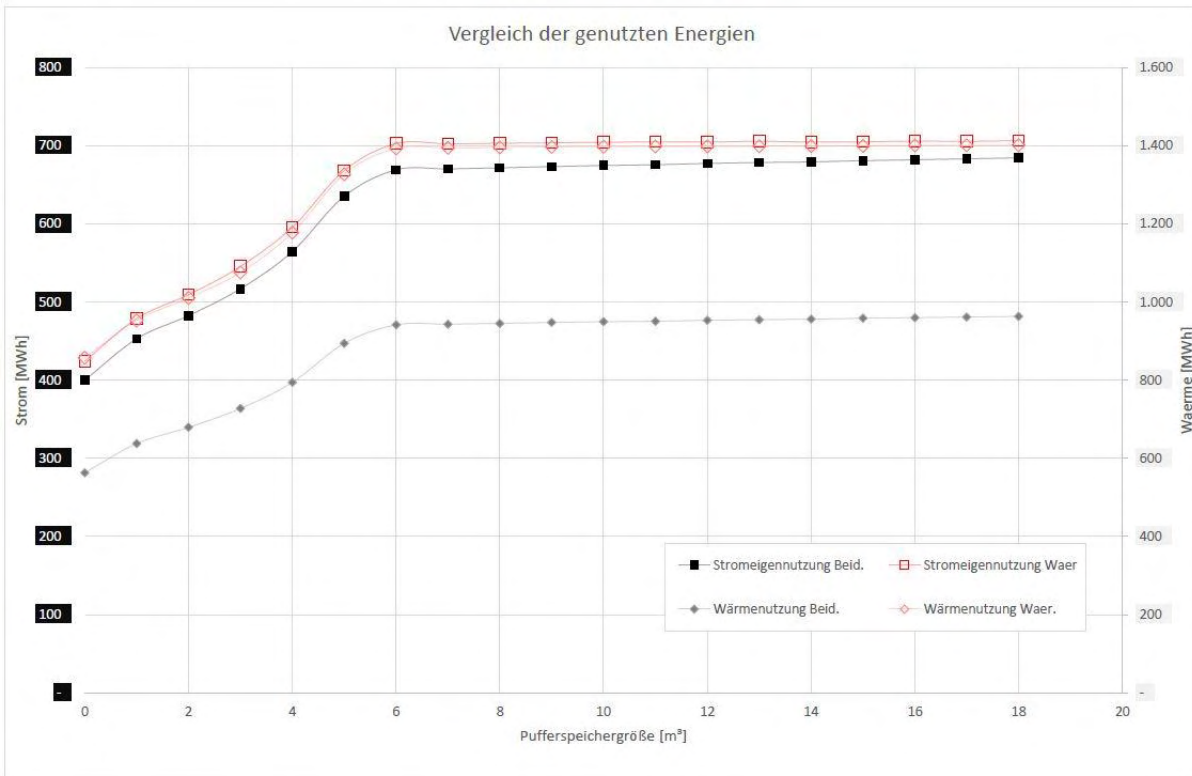


Abbildung 31 Genutzte Energien

Auswertung Papier 200kW

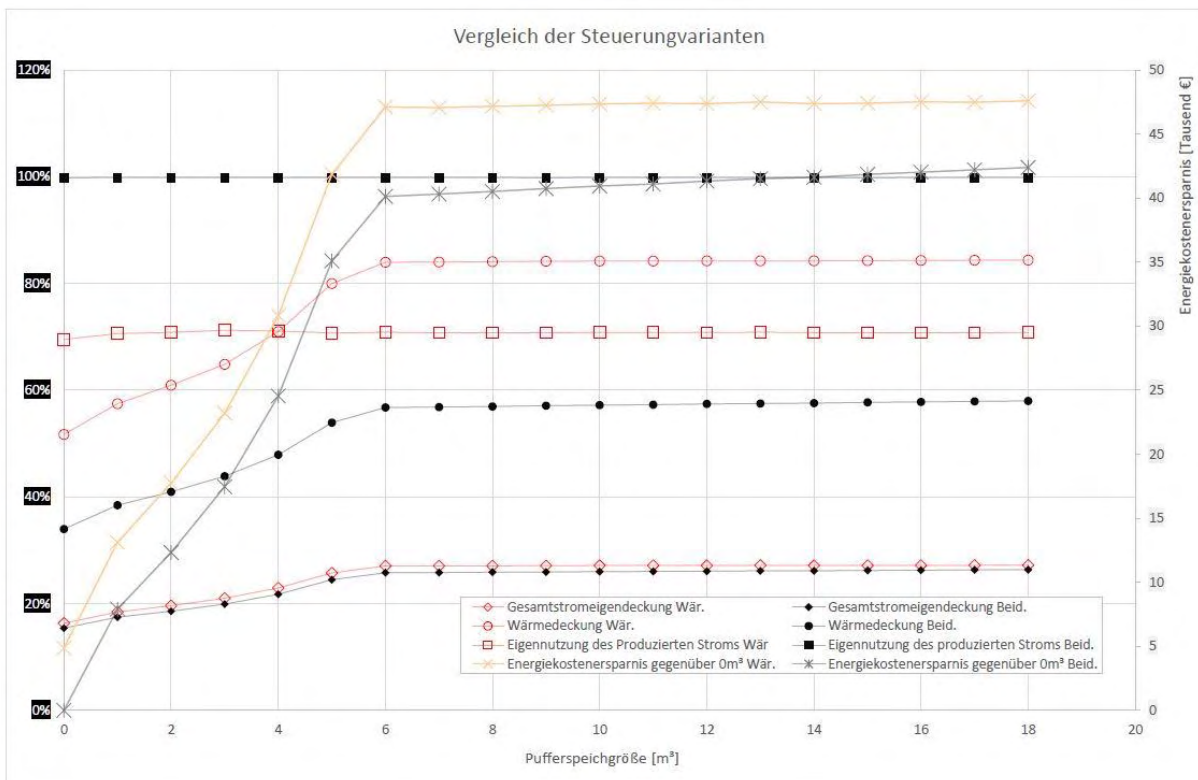


Abbildung 32 Kosteneinsparungen und Energiebedarfdeckung

Auswertung Papier 200kW

Speicher groesse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungss- tunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produ- zierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	783,0	2196105,5	-1095035,5	0,0	563124,0	400800,0	2004,0	15,4%	99,8%	563124,0	34,0%
1	794,0	2143116,5	-1020585,1	14,6	637589,0	453800,0	2269,0	17,4%	99,8%	637574,4	38,5%
2	830,0	2113552,5	-979014,7	32,3	679177,0	483400,0	2417,0	18,6%	99,8%	679144,7	41,0%
3	816,5	2079139,0	-930709,7	59,2	727509,0	517800,0	2589,0	19,9%	99,8%	727449,8	43,9%
4	889,5	2031612,0	-863892,3	119,8	794387,0	565400,0	2827,0	21,7%	99,8%	794267,2	47,9%
5	1116,5	1960839,0	-764317,7	300,3	894142,0	636400,0	3182,0	24,5%	99,8%	893841,7	53,9%
6	1138,0	1927060,5	-717027,9	499,4	941631,0	670200,0	3351,0	25,8%	99,8%	941131,6	56,8%
7	1093,0	1925815,5	-715453,3	610,8	943317,0	671400,0	3357,0	25,8%	99,8%	942706,2	56,9%
8	1137,5	1924460,0	-713590,6	715,2	945284,0	672800,0	3364,0	25,9%	99,8%	944568,8	57,0%
9	1343,0	1922865,5	-711162,3	815,8	947813,0	674600,0	3373,0	25,9%	99,8%	946997,2	57,1%
10	1130,0	1921452,5	-709590,6	930,1	949499,0	675800,0	3379,0	26,0%	99,8%	948568,9	57,2%
11	1141,0	1920463,5	-708282,8	1027,3	950904,0	676800,0	3384,0	26,0%	99,8%	949876,7	57,3%
12	1118,0	1918840,5	-706125,0	1117,6	953152,0	678400,0	3392,0	26,1%	99,8%	952034,4	57,4%
13	1086,5	1917609,0	-704516,2	1194,7	954838,0	679600,0	3398,0	26,1%	99,8%	953643,3	57,5%
14	1135,0	1916857,5	-703462,7	1265,3	955962,0	680400,0	3402,0	26,2%	99,8%	954696,7	57,6%
15	1343,0	1915265,5	-701010,0	1341,5	958491,0	682200,0	3411,0	26,2%	99,8%	957149,5	57,7%
16	1188,0	1914110,5	-699694,3	1430,9	959896,0	683200,0	3416,0	26,3%	99,8%	958465,1	57,8%
17	1141,0	1912863,5	-698089,9	1512,4	961582,0	684400,0	3422,0	26,3%	99,8%	960069,6	57,9%
18	1118,0	1911640,5	-696473,4	1582,0	963268,0	685600,0	3428,0	26,4%	99,8%	961686,0	58,0%

Auslegung bei beidseitiger Regelung

Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekos- ten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
1070136,0	7867307,8	490586	53506,8	54751,8	395299,0	17434,8	29,4	4392,52702	100
1211646,0	7796705,1	482676	60582,3	51029,3	385761,0	19740,3	29,8	4973,37515	100
1290678,0	7757283,6	478263	64533,9	48950,7	380439,5	21027,9	31,1	5297,77335	100
1382526,0	7711476,0	473127	69126,3	46535,5	374245,0	22524,3	30,6	5674,77667	100
1509618,0	7648114,2	466034	75480,9	43194,6	365690,2	24594,9	33,4	6196,44405	100
1699188,0	7553694,0	455476	84959,4	38215,9	352951,0	27683,4	41,9	6974,56136	100
1789434,0	7508858,0	450443	89471,7	35851,4	346870,9	29153,7	42,7	7344,98904	100
1792638,0	7507370,5	450263	89631,9	35772,7	346646,8	29205,9	41,0	7358,14032	100
1796376,0	7505609,5	450065	89818,8	35679,5	346402,8	29266,8	42,7	7373,48347	100
1801182,0	7503311,8	449831	90059,1	35558,1	346115,8	29345,1	50,4	7393,21039	100
1804386,0	7501827,3	449627	90219,3	35479,5	345861,5	29397,3	42,4	7406,36167	100
1807056,0	7500592,0	449484	90352,8	35414,1	345683,4	29440,8	42,8	7417,32107	100
1811328,0	7498550,5	449246	90566,4	35306,3	345391,3	29510,4	41,9	7434,85611	100
1814532,0	7497028,7	449067	90726,6	35225,8	345169,6	29562,6	40,7	7448,00739	100
1816668,0	7496033,3	448958	90833,4	35173,1	345034,4	29597,4	42,6	7456,77491	100
1821474,0	7493711,3	448722	91073,7	35050,5	344747,8	29675,7	50,4	7476,50182	100
1824144,0	7492468,2	448556	91207,2	34984,7	344539,9	29719,2	44,6	7487,46122	100
1827348,0	7490950,9	448374	91367,4	34904,5	344315,4	29771,4	42,8	7500,6125	100
1830552,0	7489421,5	448195	91527,6	34823,7	344095,3	29823,6	41,9	7513,76378	100

Abbildung 33 Ergebnisse Auswertung - beidseitig geregelt



Speicher groesse [m³]	Einspeisung Strom [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug-log [kWh]	Waerme- verluste [kWh]	Waerme- prod [kWh]	Stromprod [kWh]	Voll- benutzungs- stunden [h]	Gesamt- strom- eigen- deckung	Eigen- nutzung des produzierten stroms	Waermebed- arf-deckung [kWh]	Waerme- deckung [%]
0	186075,5	2171998,0	-800828,5	0,0	857331,0	610200,0	3051,0	16,3%	69,5%	857331,0	51,7%
1	199372,5	2117295,0	-705307,4	19,0	952871,0	678200,0	3391,0	18,4%	70,6%	952852,0	57,5%
2	209812,0	2086734,5	-647726,0	42,6	1010476,0	719200,0	3596,0	19,6%	70,8%	1010433,4	60,9%
3	220105,0	2050627,5	-582570,7	79,2	1075668,0	765600,0	3828,0	21,0%	71,3%	1075588,8	64,9%
4	242220,0	2000542,5	-481219,4	168,9	1177109,0	837800,0	4189,0	22,9%	71,1%	1176940,1	71,0%
5	276298,0	1928020,5	-331705,8	428,3	1326882,0	944400,0	4722,0	25,7%	70,7%	1326453,7	80,0%
6	288852,0	1893374,5	-265645,9	684,4	1393198,0	991600,0	4958,0	27,1%	70,9%	1392513,6	84,0%
7	289948,0	1893670,5	-264704,5	867,1	1394322,0	992400,0	4962,0	27,1%	70,8%	1393454,9	84,0%
8	290061,5	1892984,0	-263745,6	1032,1	1395446,0	993200,0	4966,0	27,1%	70,8%	1394413,9	84,1%
9	290495,5	1892418,0	-262481,4	1172,9	1396851,0	994200,0	4971,0	27,1%	70,8%	1395678,1	84,2%
10	290149,5	1891672,0	-262064,6	1318,1	1397413,0	994600,0	4973,0	27,1%	70,8%	1396094,9	84,2%
11	290052,0	1891174,5	-261623,5	1439,0	1397975,0	995000,0	4975,0	27,2%	70,8%	1396536,0	84,2%
12	290438,0	1891360,5	-261467,2	1563,7	1398256,0	995200,0	4976,0	27,1%	70,8%	1396692,3	84,2%
13	289760,0	1890482,5	-261307,1	1684,6	1398537,0	995400,0	4977,0	27,2%	70,9%	1396852,4	84,2%
14	290813,5	1891336,0	-261126,6	1785,1	1398818,0	995600,0	4978,0	27,1%	70,8%	1397032,9	84,3%
15	291120,5	1891043,0	-260391,7	1893,2	1399661,0	996200,0	4981,0	27,2%	70,8%	1397767,8	84,3%
16	290990,0	1890312,5	-259660,6	2005,1	1400504,0	996800,0	4984,0	27,2%	70,8%	1398498,9	84,3%
17	291367,0	1890489,5	-259488,4	2113,9	1400785,0	997000,0	4985,0	27,2%	70,8%	1398671,1	84,4%
18	290989,0	1889711,5	-259013,1	2200,6	1401347,0	997400,0	4987,0	27,2%	70,8%	1399146,4	84,4%

Auslegung bei rein wärmeseitiger Regelung

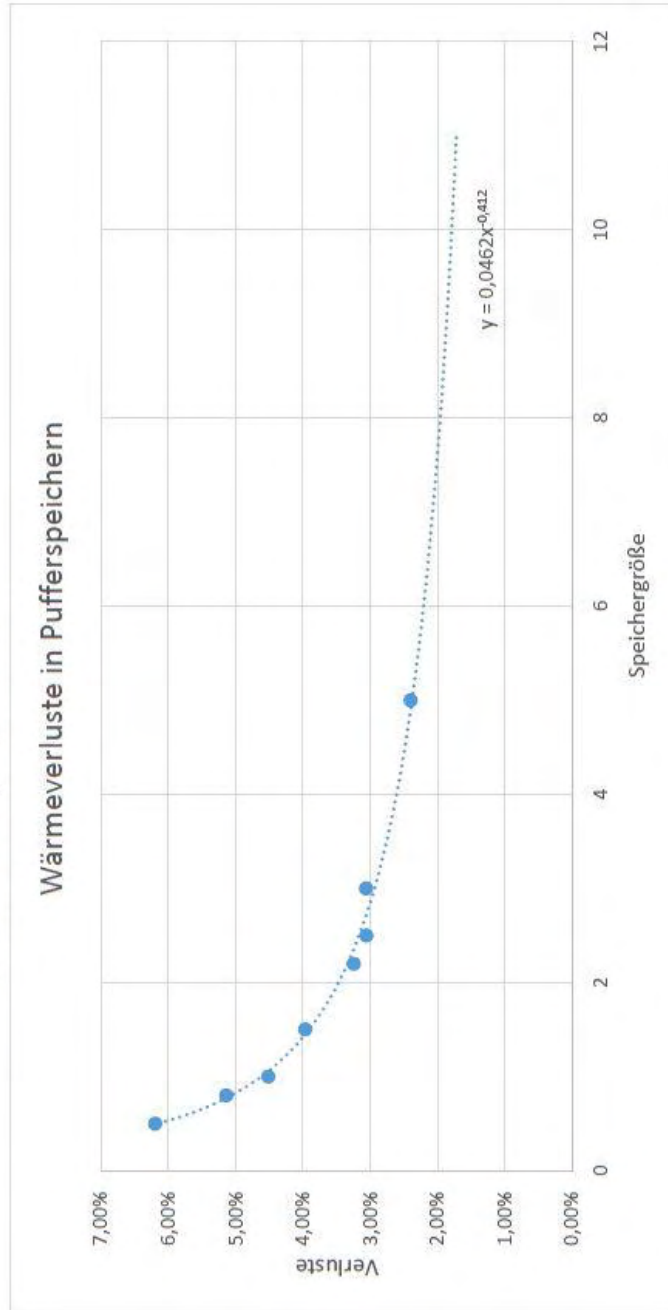
Primärener- gie BHKW	Gesamt Primärener- giebedarf	Energiekos- ten [€]	Kosten Energie BHKW	Kosten zusätzliches Heizen	Kosten Strombezug	KWK Zuschlag	Einspeisever- gütung	Wartungskos- ten BHKW [€]	Wartungskos- ten Kessel [€/a]
1629234,0	7588302,7	485728,7	81461,7	40041,4	390959,6	26543,7	6977,8	6687,42511	100
1810794,0	7497718,3	477472,7	90539,7	35265,4	381113,1	29501,7	7476,5	7432,66423	100
1920264,0	7443113,4	472840,6	96013,2	32386,3	375612,2	31285,2	7868,0	7881,99958	100
2044152,0	7381326,6	467382,1	102207,6	29128,5	369113,0	33303,6	8253,9	8390,51568	100
2236926,0	7285216,8	459759,2	111846,3	24061,0	360097,7	36444,3	9083,3	9181,78427	100
2521548,0	7143442,1	448713,9	126077,4	16585,3	347043,7	41081,4	10361,2	10350,0562	100
2647572,0	7080808,8	443469,1	132378,6	13282,3	340807,4	43134,6	10832,0	10867,3398	100
2649708,0	7079925,5	443515,0	132485,4	13235,2	340860,7	43169,4	10873,1	10876,1073	100
2651844,0	7079024,6	443420,0	132592,2	13187,3	340737,1	43204,2	10877,3	10884,8748	100
2654514,0	7077833,0	443339,6	132725,7	13124,1	340635,2	43247,7	10893,6	10895,8342	100
2655582,0	7077445,3	443237,8	132779,1	13103,2	340501,0	43265,1	10880,6	10900,218	100
2656650,0	7077033,2	443170,2	132832,5	13081,2	340411,4	43282,5	10877,0	10904,6017	100
2657184,0	7076891,4	443201,6	132859,2	13073,4	340444,9	43291,2	10891,4	10906,7936	100
2657718,0	7076745,9	443081,2	132885,9	13065,4	340286,9	43299,9	10866,0	10908,9855	100
2658252,0	7076579,9	443206,5	132912,6	13056,3	340440,5	43308,6	10905,5	10911,1774	100
2659854,0	7075888,6	443166,1	132992,7	13019,6	340387,7	43334,7	10917,0	10917,753	100
2661456,0	7075201,0	443063,5	133072,8	12983,0	340256,3	43360,8	10912,1	10924,3287	100
2661990,0	7075043,3	443092,8	133099,5	12974,4	340288,1	43369,5	10926,3	10926,5205	100
2663058,0	7074597,1	442983,5	133152,9	12950,7	340148,1	43386,9	10912,1	10930,9043	100

Abbildung 34 Ergebnisse Auswertung- wärmeseitig geregelt

## WÄRMEVERLUSTE IM PUFFERSPEICHER

Pufferspeicher [m³]	0,5	0,8	1	1,5	2,2	2,5	3	5
Verluste [kWh/24h]	1,62	2,15	2,36	3,11	3,73	3,99	4,8	6,27
Gesamtspeicher [kWh]	26,14	41,82	52,27	78,41	115,00	130,68	156,82	261,36
Prozent Verlust	6,20%	5,14%	4,51%	3,97%	3,24%	3,05%	3,06%	2,40%

Werte aus Solarbayer Speichertechnik







## ERGEBNISSE DER ÜBERPRÜFUNG DES TOOLS:

Tag<sub>1</sub> – Winter, Montag, Produktionsstätte, 3 Schichtbetrieb

Eigene Berechnung

Pufferspeicher 1 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Annahme: BHKW DATEN

P <sub>elektrisch</sub>	150 kWh
P <sub>thermisch</sub>	300 kWh
Aufnahme	500 kWh
modulierbarkeit	1
Schwellwert	100

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher	Wärmespei	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastg ang [kWh]	Wärmelas tgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllstatus Füllung [kWh]	cher Verluste [kWh]	Eigennutz ung	Einspeisu ng	Bezug	Eigenn utzung	Bezug
00:00	40	324	150	300	0,00		40	110,0	0	300,0	24,0
01:00	40,5	334	150	300	0,00	0,000	40,5	109,5	0	300,0	34,0
02:00	40,5	363	150	300	0,00	0,000	40,5	109,5	0	300,0	63,0
03:00	41	363	150	300	0,00	0,000	41	109,0	0	300,0	63,0
04:00	40,5	334	150	300	0,00	0,000	40,5	109,5	0	300,0	34,0
05:00	41	363	150	300	0,00	0,000	41	109,0	0	300,0	63,0
06:00	63	344	150	300	0,00	0,000	63	87,0	0	300,0	44,0
07:00	323,5	343	150	300	0,00	0,000	150	0,0	173,5	300,0	43,0
08:00	450,5	305	150	300	0,00	0,000	150	0,0	300,5	300,0	5,0
09:00	503,5	294	150	300	6,00	0,000	150	0,0	353,5	294,0	0,0
10:00	513,5	334	150	300	0,00	0,012	150	0,0	363,5	306,0	28,0
11:00	515	294	150	300	6,00	0,000	150	0,0	365	294,0	0,0
12:00	498	305	150	300	0,99	0,012	150	0,0	348	305,0	0,0
13:00	499,5	294	150	300	6,99	0,002	150	0,0	349,5	294,0	0,0
14:00	422,5	275	150	300	31,97	0,013	150	0,0	272,5	275,0	0,0

15:00	388,5	304	150	300	27,91	0,062	150	0,0	238,5	304,0	0,0
16:00	414	275	0	0	0,00	0,054	0	0,0	414	27,9	247,1
17:00	428,5	305	150	300	0,00	0,000	150	0,0	278,5	300,0	5,0
18:00	433	284	150	300	16,00	0,000	150	0,0	283	284,0	0,0
19:00	442	295	150	300	20,97	0,031	150	0,0	292	295,0	0,0
20:00	445,5	284	150	300	36,93	0,040	150	0,0	295,5	284,0	0,0
21:00	441	305	150	300	31,86	0,071	150	0,0	291	305,0	0,0
22:00	398	284	0	0	0,00	0,061	0	0,0	398	31,9	252,1
23:00	349,5	285	150	300	15,00	0,000	150	0,0	199,5	285,0	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>7772,5</b>	<b>7490</b>	<b>3300</b>	<b>6600</b>		<b>0,357</b>	<b>2556,5</b>	<b>743,5</b>	<b>5216</b>	<b>6584,8</b>	<b>905,2</b>

Strom

Eigennutzungsrate 0,77

Strom Eigendeckung 0,33

Wärme Eigendeckung 0,88

Pufferspeicher 10 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus Füllung [kWh]	Verluste [kWh]	Stromseite [kWh]		Wärmeseite [kWh]		
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]			Eigennutzung	Einspeisung	Bezug	Eigennutzung	Bezug
00:00	40	324	150	300	0,00		40	110	0,0	300	24,0

01:00	40,5	334	150	300	0,00	0,000	40,5	109,5	0,0	300	34,0
02:00	40,5	363	150	300	0,00	0,000	40,5	109,5	0,0	300	63,0
03:00	41	363	150	300	0,00	0,000	41	109	0,0	300	63,0
04:00	40,5	334	150	300	0,00	0,000	40,5	109,5	0,0	300	34,0
05:00	41	363	150	300	0,00	0,000	41	109	0,0	300	63,0
06:00	63	344	150	300	0,00	0,000	63	87	0,0	300	44,0
07:00	323,5	343	150	300	0,00	0,000	150	0	173,5	300	43,0
08:00	450,5	305	150	300	0,00	0,000	150	0	300,5	300	5,0
09:00	503,5	294	150	300	6,00	0,000	150	0	353,5	294	0,0
10:00	513,5	334	150	300	0,00	0,004	150	0	363,5	306	28,0
11:00	515	294	150	300	6,00	0,000	150	0	365,0	294	0,0
12:00	498	305	150	300	1,00	0,004	150	0	348,0	305	0,0
13:00	499,5	294	150	300	6,99	0,001	150	0	349,5	294	0,0
14:00	422,5	275	150	300	31,99	0,005	150	0	272,5	275	0,0
15:00	388,5	304	150	300	27,97	0,024	150	0	238,5	304	0,0
16:00	414	275	150	300	52,94	0,021	150	0	264,0	275	0,0
17:00	428,5	305	150	300	47,91	0,039	150	0	278,5	305	0,0
18:00	433	284	150	300	63,87	0,036	150	0	283,0	284	0,0
19:00	442	295	150	300	68,82	0,048	150	0	292,0	295	0,0
20:00	445,5	284	150	300	84,77	0,051	150	0	295,5	284	0,0
21:00	441	305	150	300	79,71	0,063	150	0	291,0	305	0,0
22:00	398	284	150	300	95,65	0,059	150	0	248,0	284	0,0
23:00	349,5	285	150	300	110,58	0,071	150	0	199,5	285	0,0
Gesamt	<b>7772,5</b>	<b>7490</b>	<b>3600</b>	<b>7200</b>		<b>0,428</b>	<b>2856,5</b>	<b>743,5</b>	<b>4916</b>	<b>7089</b>	<b>401,0</b>

Strom Eigennutzungsrate	0,79
Strom Eigendeckung	0,37
Wärme Eigendeckung	0,95

Pufferspeicher 1m<sup>3</sup>, Beidseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus	Verlus te [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]		Eigennutzu ng	Einspei sung	Bezug	Eigennu tzung	Bezug
00:00	40	324	0	0	0,000		0	0	40	0,0	324,0
01:00	40,5	334	0	0	0,000	0,000	0	0	40,5	0,0	334,0
02:00	40,5	363	0	0	0,000	0,000	0	0	40,5	0,0	363,0
03:00	41	363	0	0	0,000	0,000	0	0	41	0,0	363,0
04:00	40,5	334	0	0	0,000	0,000	0	0	40,5	0,0	334,0
05:00	41	363	0	0	0,000	0,000	0	0	41	0,0	363,0
06:00	63	344	0	0	0,000	0,000	0	0	63	0,0	344,0
07:00	323,5	343	150	300	0,000	0,000	150	0	173,5	300,0	43,0
08:00	450,5	305	150	300	0,000	0,000	150	0	300,5	300,0	5,0
09:00	503,5	294	150	300	6,000	0,000	150	0	353,5	294,0	0,0
10:00	513,5	334	150	300	0,000	0,012	150	0	363,5	306,0	28,0
11:00	515	294	150	300	6,000	0,000	150	0	365	294,0	0,0
12:00	498	305	150	300	0,988	0,012	150	0	348	305,0	0,0
13:00	499,5	294	150	300	6,987	0,002	150	0	349,5	294,0	0,0
14:00	422,5	275	150	300	31,973	0,013	150	0	272,5	275,0	0,0
15:00	388,5	304	150	300	27,912	0,062	150	0	238,5	304,0	0,0

16:00	414	275	0	0	0,000	0,054	0	0	414	27,9	247,1
17:00	428,5	305	150	300	0,000	0,000	150	0	278,5	300,0	5,0
18:00	433	284	150	300	16,000	0,000	150	0	283	284,0	0,0
19:00	442	295	150	300	20,969	0,031	150	0	292	295,0	0,0
20:00	445,5	284	150	300	36,929	0,040	150	0	295,5	284,0	0,0
21:00	441	305	150	300	31,858	0,071	150	0	291	305,0	0,0
22:00	398	284	0	0	0,000	0,061	0	0	398	31,9	252,1
23:00	349,5	285	150	300	15,000	0,000	150	0	199,5	285,0	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>7772,5</b>	<b>7490</b>	<b>2250</b>	<b>4500</b>		<b>0,357</b>	<b>2250</b>	<b>0</b>	<b>5522,5</b>	<b>4484,8</b>	<b>3005,2</b>

Strom  
Eigennutzungsrate 1,000  
Strom Eigendeckung 0,289  
Wärme Eigendeckung 0,599

Pufferspeicher 10 m<sup>3</sup>, Beidseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus Füllung [kWh]	Verluste	Stromseite [kWh]		Wärmeseite [kWh]		
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]			Eigennutzung	Einspeisung	Bezug	Eigennutzung	Bezug

						[kWh]					
00:00	40	324	0	0	0,000		0	0	40,0	0	324,0
01:00	40,5	334	0	0	0,000	0,000	0	0	40,5	0	334,0
02:00	40,5	363	0	0	0,000	0,000	0	0	40,5	0	363,0
03:00	41	363	0	0	0,000	0,000	0	0	41,0	0	363,0
04:00	40,5	334	0	0	0,000	0,000	0	0	40,5	0	334,0
05:00	41	363	0	0	0,000	0,000	0	0	41,0	0	363,0
06:00	63	344	0	0	0,000	0,000	0	0	63,0	0	344,0
07:00	323,5	343	150	300	0,000	0,000	150	0	173,5	300	43,0
08:00	450,5	305	150	300	0,000	0,000	150	0	300,5	300	5,0
09:00	503,5	294	150	300	6,000	0,000	150	0	353,5	294	0,0
10:00	513,5	334	150	300	0,000	0,004	150	0	363,5	306	28,0
11:00	515	294	150	300	6,000	0,000	150	0	365,0	294	0,0
12:00	498	305	150	300	0,996	0,004	150	0	348,0	305	0,0
13:00	499,5	294	150	300	6,995	0,001	150	0	349,5	294	0,0
14:00	422,5	275	150	300	31,990	0,005	150	0	272,5	275	0,0
15:00	388,5	304	150	300	27,966	0,024	150	0	238,5	304	0,0
16:00	414	275	150	300	52,945	0,021	150	0	264,0	275	0,0
17:00	428,5	305	150	300	47,905	0,039	150	0	278,5	305	0,0
18:00	433	284	150	300	63,870	0,036	150	0	283,0	284	0,0
19:00	442	295	150	300	68,822	0,048	150	0	292,0	295	0,0
20:00	445,5	284	150	300	84,771	0,051	150	0	295,5	284	0,0
21:00	441	305	150	300	79,708	0,063	150	0	291,0	305	0,0
22:00	398	284	150	300	95,648	0,059	150	0	248,0	284	0,0
23:00	349,5	285	150	300	110,577	0,071	150	0	199,5	285	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>7772,5</b>	<b>7490</b>	<b>2550</b>	<b>5100</b>		<b>0,428</b>	<b>2550</b>	<b>0</b>	<b>5222,5</b>	<b>4989</b>	<b>2501,0</b>



Strom  
 Eigennutzungsrate 1,00  
 Strom Eigendeckung 0,33  
 Wärme Eigendeckung 0,67

Ausgabe des Tools- Wärmeseitig:

Tankgröße [m³]	Einspeisung [kWh]	Strombezug [kWh]	Wärmebezug [kWh]	Wärmeverluste [kWh]	wärmeproduktion	stromproduktion	Gesamtstrom-eigendeckung	Eigennutzung des produzierten Stroms	Wärmebedarfdeckung [kWh]	Wärmedeckung [%]
1	743,5	5216,0	-905,4	0,357	6600,0	3300,0	32,89%	77,47%	6584,6	87,91%
2	743,5	5066,0	-605,7	0,7	6900,0	3450,0	34,82%	78,45%	6884,3	91,91%
3	743,5	4916,0	-401,0	0,7	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%
4	743,5	4916,0	-401,0	0,6	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%
5	743,5	4916,0	-401,0	0,6	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%
6	743,5	4916,0	-401,0	0,5	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%
7	743,5	4916,0	-401,0	0,5	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%
8	743,5	4916,0	-401,0	0,5	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%
9	743,5	4916,0	-401,0	0,4	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%
10	743,5	4916,0	-401,0	0,428	7200,0	3600,0	36,75%	79,35%	7089,0	94,65%

Ausgabe des Tools- Beidseitig:

Tankgroesse [m <sup>3</sup> ]	Einspeisung [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waermeproduktion	Stromproduktion	Gesamtstrom-eigendeckung	Eigennutzung des produzierten Stroms	Waermebedarfdeckung [kWh]	Waermedeckung [%]
1	0,0	5522,5	-3005,4	0,4	4500,0	2250,0	28,95%	100,00%	4484,6	59,88%
2	0,0	5372,5	-2705,7	0,7	4800,0	2400,0	30,88%	100,00%	4784,3	63,88%
3	0,0	5222,5	-2501,0	0,7	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%
4	0,0	5222,5	-2501,0	0,6	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%
5	0,0	5222,5	-2501,0	0,6	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%
6	0,0	5222,5	-2501,0	0,5	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%
7	0,0	5222,5	-2501,0	0,5	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%
8	0,0	5222,5	-2501,0	0,5	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%
9	0,0	5222,5	-2501,0	0,4	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%
10	0,0	5222,5	-2501,0	0,428	5100,0	2550,0	32,81%	100,00%	4989,0	66,61%

Ergebnisse der Überprüfung des Tools, Rechnungen von Hand:

**Tag 2 – Winter, Hotel**

Eigene Berechnung

Pufferspeicher 1 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Annahme: BHKW DATEN

P <sub>elektrisch</sub>	34 kWh
P <sub>thermisch</sub>	78 kWh
Aufnahme	113 kWh
modulierbarkeit	0,5
Schwellwert	10 kWh

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus Füllung [kWh]	Verlust e [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]			Eigennutzun g	Einspeisun g	Bezug	Eigennut zung	Bezug
00:00	24,48	106,38	34	78	0	0	24,5	9,5	0,0	78	28,4
01:00	22,64	106,38	34	78	0	0	22,6	11,4	0,0	78	28,4
02:00	19,92	106,84	34	78	0	0	19,9	14,1	0,0	78	28,8
03:00	16,08	107,30	34	78	0	0	16,1	17,9	0,0	78	29,3
04:00	15,16	108,21	34	78	0	0	15,2	18,8	0,0	78	30,2
05:00	22,60	112,31	34	78	0	0	22,6	11,4	0,0	78	34,3
06:00	25,08	110,94	34	78	0	0	25,1	8,9	0,0	78	32,9
07:00	35,32	103,65	34	78	0	0	34,0	0,0	1,3	78	25,6
08:00	48,72	95,44	34	78	0	0	34,0	0,0	14,7	78	17,4
09:00	57,92	92,25	34	78	0	0	34,0	0,0	23,9	78	14,2
10:00	54,88	89,51	34	78	0	0	34,0	0,0	20,9	78	11,5
11:00	50,88	87,69	34	78	0	0	34,0	0,0	16,9	78	9,7
12:00	46,00	84,95	34	78	0	0	34,0	0,0	12,0	78	7,0
13:00	45,64	82,22	34	78	0	0	34,0	0,0	11,6	78	4,2

14:00	36,24	80,85	34	78	0	0	34,0	0,0	2,2	78	2,8
15:00	37,64	78,57	34	78	0	0	34,0	0,0	3,6	78	0,6
16:00	38,16	77,66	33,85	77,66	0	0	33,9	0,0	4,3	77,66	0,0
17:00	50,60	78,11	34	78	0	0	34,0	0,0	16,6	78	0,1
18:00	45,24	80,39	34	78	0	0	34,0	0,0	11,2	78	2,4
19:00	40,96	83,13	34	78	0	0	34,0	0,0	7,0	78	5,1
20:00	41,24	86,78	34	78	0	0	34,0	0,0	7,2	78	8,8
21:00	45,72	91,34	34	78	0	0	34,0	0,0	11,7	78	13,3
22:00	34,60	92,25	34	78	0	0	34,0	0,0	0,6	78	14,2
23:00	23,68	91,79	34	78	0	0	23,7	10,3	0,0	78	13,8
<b>Gesamt</b>	<b>879,4</b>	<b>2234,9</b>	<b>815,9</b>	<b>1871,7</b>		<b>0,0</b>	<b>713,5</b>	<b>102,4</b>	<b>165,9</b>	<b>1871,7</b>	<b>363,3</b>
Strom Eigennutzungsrate		0,87									
Strom Eigendeckung		0,81									
Wärme Eigendeckung		0,84									

Pufferspeicher 10 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus	Verluste [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]		Eigennutzu ng	Einsp eisun g	Bezug	Eigenn utzung	Bezug
00:00	24,5	106,4	34,0	78,0	0,0		24,5	9,5	0	78,0	28,4
01:00	22,6	106,4	34,0	78,0	0,0	0,00000	22,6	11,4	0	78,0	28,4
02:00	19,9	106,8	34,0	78,0	0,0	0,00000	19,9	14,1	0	78,0	28,8
03:00	16,1	107,3	34,0	78,0	0,0	0,00000	16,1	17,9	0	78,0	29,3
04:00	15,2	108,2	34,0	78,0	0,0	0,00000	15,2	18,8	0	78,0	30,2
05:00	22,6	112,3	34,0	78,0	0,0	0,00000	22,6	11,4	0	78,0	34,3
06:00	25,1	110,9	34,0	78,0	0,0	0,00000	25,1	8,9	0	78,0	32,9
07:00	35,3	103,6	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	1,32	78,0	25,6
08:00	48,7	95,4	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	14,72	78,0	17,4
09:00	57,9	92,2	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	23,92	78,0	14,2
10:00	54,9	89,5	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	20,88	78,0	11,5
11:00	50,9	87,7	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	16,88	78,0	9,7
12:00	46,0	85,0	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	12	78,0	7,0
13:00	45,6	82,2	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	11,64	78,0	4,2
14:00	36,2	80,8	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	2,24	78,0	2,8
15:00	37,6	78,6	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	3,64	78,0	0,6
16:00	38,2	77,7	33,9	77,7	0,3	0,00000	33,9	0,0	4,31	77,7	0,0
17:00	50,6	78,1	34,0	78,0	0,2	0,00025	34,0	0,0	16,6	78,1	0,0
18:00	45,2	80,4	34,0	78,0	0,0	0,00017	34,0	0,0	11,24	78,2	2,2
19:00	41,0	83,1	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	6,96	78,0	5,1
20:00	41,2	86,8	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	7,24	78,0	8,8
21:00	45,7	91,3	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	11,72	78,0	13,3
22:00	34,6	92,2	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	0,6	78,0	14,2

23:00	23,7	91,8	34,0	78,0	0,0	0,00000	23,7	10,3	0	78,0	13,8
Gesamt	<b>879,4</b>	<b>2234,9</b>	<b>815,9</b>	<b>1871,7</b>		<b>0,00042</b>	<b>713,5</b>	<b>102,4</b>	<b>165,9</b>	<b>1872,0</b>	<b>362,9</b>

Strom Eigennutzungsrate	0,87
Strom Eigendeckung	0,81
Wärme Eigendeckung	0,84

Pufferspeicher 1m<sup>3</sup>, Beidseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus	Verluste [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]		Eigennutzung	Einspeisung	Bezug	Eigennutzung	Bezug
00:00	24,48	106,38	24,48	56,16	0	0,000	24,5	0,0	0,0	56,2	50,2
01:00	22,64	106,38	22,64	51,94	0	0,000	22,6	0,0	0,0	51,9	54,4
02:00	19,92	106,84	19,92	45,70	0	0,000	19,9	0,0	0,0	45,7	61,1
03:00	16,08	107,30	17,00	39,00	0	0,000	16,1	0,9	0,0	39,0	68,3
04:00	15,16	108,21	17,00	39,00	0	0,000	15,2	1,8	0,0	39,0	69,2
05:00	22,60	112,31	22,60	51,85	0	0,000	22,6	0,0	0,0	51,8	60,5
06:00	25,08	110,94	25,08	57,54	0	0,000	25,1	0,0	0,0	57,5	53,4
07:00	35,32	103,65	34	78	0	0,000	34,0	0,0	1,3	78,0	25,6





Zeit	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	Produktion		r Füllstatus		Eigennutzung	Einspeisung	Bezug	[kWh]	
			el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]	Verluste [kWh]				Eigennutzung	Bezug
00:00	24,5	106,4	24,5	56,2	0,0		24,5	0,0	0,0	56,2	50,2
01:00	22,6	106,4	22,6	51,9	0,0	0,00000	22,6	0,0	0,0	51,9	54,4
02:00	19,9	106,8	19,9	45,7	0,0	0,00000	19,9	0,0	0,0	45,7	61,1
03:00	16,1	107,3	17,0	39,0	0,0	0,00000	16,1	0,9	0,0	39,0	68,3
04:00	15,2	108,2	17,0	39,0	0,0	0,00000	15,2	1,8	0,0	39,0	69,2
05:00	22,6	112,3	22,6	51,8	0,0	0,00000	22,6	0,0	0,0	51,8	60,5
06:00	25,1	110,9	25,1	57,5	0,0	0,00000	25,1	0,0	0,0	57,5	53,4
07:00	35,3	103,6	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	1,3	78,0	25,6
08:00	48,7	95,4	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	14,7	78,0	17,4
09:00	57,9	92,2	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	23,9	78,0	14,2
10:00	54,9	89,5	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	20,9	78,0	11,5
11:00	50,9	87,7	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	16,9	78,0	9,7
12:00	46,0	85,0	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	12,0	78,0	7,0
13:00	45,6	82,2	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	11,6	78,0	4,2
14:00	36,2	80,8	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	2,2	78,0	2,8
15:00	37,6	78,6	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	3,6	78,0	0,6
16:00	38,2	77,7	34,0	78,0	0,3	0,00000	34,0	0,0	4,2	77,7	0,0
17:00	50,6	78,1	34,0	78,0	0,2	0,00025	34,0	0,0	16,6	78,1	0,0
18:00	45,2	80,4	34,0	78,0	0,0	0,00017	34,0	0,0	11,2	78,2	2,2
19:00	41,0	83,1	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	7,0	78,0	5,1
20:00	41,2	86,8	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	7,2	78,0	8,8
21:00	45,7	91,3	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	11,7	78,0	13,3
22:00	34,6	92,2	34,0	78,0	0,0	0,00000	34,0	0,0	0,6	78,0	14,2
23:00	23,7	91,8	23,7	54,3	0,0	0,00000	23,7	0,0	0,0	54,3	37,5

Gesamt                    **879,4**            **2234,9**            **716,4**    **1643,5**                                    **0,00042**    **713,6**            **2,8**    **165,8**    **1643,5**    **591,4**

Strom  
 Eigennutzungsrate                    1,00  
 Strom Eigendeckung                    0,81  
 Wärme Eigendeckung                    0,74

Ausgabe des Tools- Wärmeseitig:

Tankgröße [m³]	Einspeisung [kWh]	Strombezug [kWh]	Wärmebezug [kWh]	Wärmeverluste [kWh]	wärmeproduktion	stromproduktion	Gesamtstrom-eigendeckung	Eigennutzung des produzierten Stroms	Wärmebedarfdeckung [kWh]	Wärmedeckung [%]
1	102,4	165,9	-363,3	0,000	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
2	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
3	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
4	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
5	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
6	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
7	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
8	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
9	102,4	165,9	-363,3	0,0	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%
10	102,4	165,9	-363,3	0,000	1871,7	815,9	81,13%	87,45%	1871,7	83,75%

Ausgabe des Tools- Beidseitig:

Tankgroesse [m <sup>3</sup> ]	Einspeisung [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waermeproduktion	Stromproduktion	Gesamtstrom-eigendeckung	Eigennutzung des produzierten Stroms	Waermebedarfdeckung [kWh]	Waermedeckung [%]
1	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
2	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
3	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
4	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
5	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
6	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
7	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
8	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
9	2,8	165,8	-591,4	0,0	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%
10	2,8	165,8	-591,4	0,000	1643,5	716,4	81,15%	99,61%	1643,5	73,54%

Ergebnisse der Überprüfung des Tools, Rechnungen von Hand:

**Tag 3 – Sommer, Hotel**

Eigene Berechnung

Pufferspeicher 1 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Annahme: BHKW DATEN

P <sub>elektrisch</sub>	34 kWh
P <sub>thermisch</sub>	78 kWh
Aufnahme	113 kWh
modulierbarkeit	0,5
Schwellwert	10

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus Füllung [kWh]	Verluste [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]			Eigennutzu ng	Einspei sung	Bezug	Eigennutzu ng	Bezu g
00:00	22,7	49,4	21,5	49,4	0,0		21,5	0,0	1,2	49,4	0
01:00	23,0	49,8	21,7	49,8	0,0	0,000	21,7	0,0	1,3	49,8	0
02:00	18,8	53,9	23,5	53,9	0,0	0,000	18,8	4,8	0,0	53,9	0
03:00	14,8	57,1	24,9	57,1	0,0	0,000	14,8	10,1	0,0	57,1	0
04:00	12,6	56,7	24,7	56,7	0,0	0,000	12,6	12,1	0,0	56,7	0
05:00	12,8	55,3	24,1	55,3	0,0	0,000	12,8	11,3	0,0	55,3	0
06:00	21,5	53,9	23,5	53,9	0,0	0,000	21,5	2,0	0,0	53,9	0
07:00	27,8	52,1	22,7	52,1	0,0	0,000	22,7	0,0	5,1	52,1	0
08:00	26,2	49,8	21,7	49,8	0,0	0,000	21,7	0,0	4,5	49,8	0
09:00	37,4	48,5	21,1	48,5	0,0	0,000	21,1	0,0	16,2	48,5	0
10:00	40,4	43,0	18,7	43,0	0,0	0,000	18,7	0,0	21,7	43,0	0
11:00	38,3	38,9	17,0	39,0	0,1	0,000	17,0	0,0	21,3	38,9	0
12:00	33,8	34,3	17,0	39,0	4,8	0,000	17,0	0,0	16,8	34,3	0
13:00	42,2	31,6	17,0	39,0	12,1	0,009	17,0	0,0	25,2	31,6	0
14:00	40,5	30,7	17,0	39,0	20,4	0,023	17,0	0,0	23,5	30,7	0

15:00	34,7	7,0	0,0	0,0	13,4	0,039	0,0	0,0	34,7	7,0	0
16:00	33,0	7,0	17,0	39,0	45,4	0,026	17,0	0,0	16,0	7,0	0
17:00	30,6	7,0	0,0	0,0	38,3	0,087	0,0	0,0	30,6	7,0	0
18:00	31,3	7,0	0,0	0,0	31,3	0,074	0,0	0,0	31,3	7,0	0
19:00	34,8	30,2	17,0	39,0	40,0	0,060	17,0	0,0	17,8	30,2	0
20:00	32,6	33,0	17,0	39,0	45,9	0,077	17,0	0,0	15,6	33,0	0
21:00	36,2	41,6	18,1	41,6	45,8	0,088	18,1	0,0	18,1	41,6	0
22:00	32,6	40,3	17,6	40,3	45,7	0,088	17,6	0,0	15,0	40,3	0
23:00	29,6	45,3	19,7	45,3	45,7	0,088	19,7	0,0	9,8	45,3	0
<b>Gesamt</b>	<b>708,2</b>	<b>923,6</b>	<b>422,8</b>	<b>969,9</b>		<b>0,661</b>	<b>382,5</b>	<b>40,3</b>	<b>325,7</b>	<b>923,6</b>	<b>0</b>
Strom Eigennutzungsrate		0,90									
Strom Eigendeckung		0,54									
Wärme Eigendeckung		1,00									

Pufferspeicher 10 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Verbrauch

BHKW Produktion

Wärmespeicher

Stromseite [kWh]

Wärmeseite

Zeit	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllstatus		Eigennutzu ng	Einsp eisun g	Bezug	[kWh]	
					Füllung [kWh]	Verlus te [kWh]				Eigennutzu ng	Bezu g
00:00	22,7	49,4	21,5	49,4	0,0		21,5	0,0	1,2	49,4	0,0
01:00	23,0	49,8	21,7	49,8	0,0	0,000	21,7	0,0	1,3	49,8	0,0
02:00	18,8	53,9	23,5	53,9	0,0	0,000	18,8	4,8	0,0	53,9	0,0
03:00	14,8	57,1	24,9	57,1	0,0	0,000	14,8	10,1	0,0	57,1	0,0
04:00	12,6	56,7	24,7	56,7	0,0	0,000	12,6	12,1	0,0	56,7	0,0
05:00	12,8	55,3	24,1	55,3	0,0	0,000	12,8	11,3	0,0	55,3	0,0
06:00	21,5	53,9	23,5	53,9	0,0	0,000	21,5	2,0	0,0	53,9	0,0
07:00	27,8	52,1	22,7	52,1	0,0	0,000	22,7	0,0	5,1	52,1	0,0
08:00	26,2	49,8	21,7	49,8	0,0	0,000	21,7	0,0	4,5	49,8	0,0
09:00	37,4	48,5	21,1	48,5	0,0	0,000	21,1	0,0	16,2	48,5	0,0
10:00	40,4	43,0	18,7	43,0	0,0	0,000	18,7	0,0	21,7	43,0	0,0
11:00	38,3	38,9	17,0	39,0	0,1	0,000	17,0	0,0	21,3	38,9	0,0
12:00	33,8	34,3	17,0	39,0	4,8	0,000	17,0	0,0	16,8	34,3	0,0
13:00	42,2	31,6	17,0	39,0	12,1	0,004	17,0	0,0	25,2	31,6	0,0
14:00	40,5	30,7	17,0	39,0	20,4	0,009	17,0	0,0	23,5	30,7	0,0
15:00	34,7	7,0	17,0	39,0	52,4	0,015	17,0	0,0	17,7	7,0	0,0
16:00	33,0	7,0	17,0	39,0	84,4	0,039	17,0	0,0	16,0	7,0	0,0
17:00	30,6	7,0	17,0	39,0	116,4	0,063	17,0	0,0	13,6	7,0	0,0
18:00	31,3	7,0	17,0	39,0	148,3	0,087	17,0	0,0	14,3	7,0	0,0
19:00	34,8	30,2	17,0	39,0	157,0	0,111	17,0	0,0	17,8	30,2	0,0
20:00	32,6	33,0	17,0	39,0	162,9	0,117	17,0	0,0	15,6	33,0	0,0
21:00	36,2	41,6	18,1	41,6	162,8	0,121	18,1	0,0	18,1	41,6	0,0
22:00	32,6	40,3	17,6	40,3	162,6	0,121	17,6	0,0	15,0	40,3	0,0
23:00	29,6	45,3	19,7	45,3	162,5	0,121	19,7	0,0	9,8	45,3	0,0

Gesamt	<b>708,2</b>	<b>923,6</b>	<b>473,8</b>	<b>1086,9</b>	<b>0,808</b>	<b>433,5</b>	<b>40,3</b>	<b>274,7</b>	<b>923,6</b>	<b>0,0</b>
--------	--------------	--------------	--------------	---------------	--------------	--------------	-------------	--------------	--------------	------------

Strom Eigennutzungsrate	0,91
Strom Eigendeckung	0,61
Wärme Eigendeckung	1,00

Pufferspeicher 1m<sup>3</sup>, Beidseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus	Stromseite [kWh]				Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]	Verlus te [kWh]	Eigennutzu ng	Einsp eisun g	Bezug	Eigenn utzung	Bezug
00:00	22,7	49,4	22,7	52,1	2,7		22,7	0,0	0,0	49,4	0,0
01:00	23,0	49,8	23,0	52,9	5,7	0,005	23,0	0,0	0,0	49,8	0,0
02:00	18,8	53,9	18,8	43,0	0,0	0,011	18,8	0,0	0,0	48,8	5,2
03:00	14,8	57,1	17,0	39,0	0,0	0,000	14,8	2,2	0,0	39,0	18,1
04:00	12,6	56,7	17,0	39,0	0,0	0,000	12,6	4,4	0,0	39,0	17,7
05:00	12,8	55,3	17,0	39,0	0,0	0,000	12,8	4,2	0,0	39,0	16,3
06:00	21,5	53,9	21,5	49,4	0,0	0,000	21,5	0,0	0,0	49,4	4,6
07:00	27,8	52,1	27,8	63,8	11,7	0,000	27,8	0,0	0,0	52,1	0,0
08:00	26,2	49,8	26,2	60,1	21,9	0,022	26,2	0,0	0,0	49,8	0,0
09:00	37,4	48,5	31,8	73,0	46,4	0,042	31,8	0,0	5,5	48,5	0,0



10:00	40,4	43,0	18,7	43,0	46,3	0,089	18,7	0,0	21,7	43,0	0,0
11:00	38,3	38,9	0,0	0,0	7,3	0,089	0,0	0,0	38,3	38,9	0,0
12:00	33,8	34,3	32,0	73,5	46,4	0,014	32,0	0,0	1,8	34,3	0,0
13:00	42,2	31,6	0,0	0,0	14,7	0,089	0,0	0,0	42,2	31,6	0,0
14:00	40,5	30,7	27,2	62,4	46,4	0,028	27,2	0,0	13,3	30,7	0,0
15:00	34,7	7,0	0,0	0,0	39,4	0,089	0,0	0,0	34,7	7,0	0,0
16:00	33,0	7,0	0,0	0,0	32,3	0,076	0,0	0,0	33,0	7,0	0,0
17:00	30,6	7,0	0,0	0,0	25,3	0,062	0,0	0,0	30,6	7,0	0,0
18:00	31,3	7,0	0,0	0,0	18,2	0,049	0,0	0,0	31,3	7,0	0,0
19:00	34,8	30,2	25,5	58,5	46,4	0,035	25,5	0,0	9,4	30,2	0,0
20:00	32,6	33,0	0,0	0,0	13,4	0,089	0,0	0,0	32,6	33,0	0,0
21:00	36,2	41,6	32,6	74,7	46,4	0,026	32,6	0,0	3,6	41,6	0,0
22:00	32,6	40,3	17,6	40,4	46,4	0,089	17,6	0,0	15,0	40,3	0,0
23:00	29,6	45,3	19,8	45,3	46,4	0,089	19,8	0,0	9,8	45,3	0,0

Gesamt	<b>708,2</b>	<b>923,6</b>	<b>396,2</b>	<b>909,1</b>		<b>0,996</b>	<b>385,4</b>	<b>10,8</b>	<b>322,8</b>	<b>861,7</b>	<b>61,9</b>
--------	--------------	--------------	--------------	--------------	--	--------------	--------------	-------------	--------------	--------------	-------------

Strom Eigennutzungsrate	0,97
Strom Eigendeckung	0,54
Wärme Eigendeckung	0,93

Pufferspeicher 10 m³, Beidseitig

Verbrauch                      BHKW Produktion                      Wärmespeicher                      Stromseite [kWh]                      Wärmeseite

Zeit	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllstatus		[kWh]				
					Füllung [kWh]	Verluste [kWh]	Eigennutzung	Einspeisung	Bezug	Eigennutzung	Bezug
00:00	22,7	49,4	22,7	52,1	2,7		22,7	0,0	0,0	49,4	0,0
01:00	23,0	49,8	23,0	52,9	5,7	0,00	23,0	0,0	0,0	49,8	0,0
02:00	18,8	53,9	18,8	43,0	0,0	0,00	18,8	0,0	0,0	48,8	5,2
03:00	14,8	57,1	17,0	39,0	0,0	0,00	14,8	2,2	0,0	39,0	18,1
04:00	12,6	56,7	17,0	39,0	0,0	0,00	12,6	4,4	0,0	39,0	17,7
05:00	12,8	55,3	17,0	39,0	0,0	0,00	12,8	4,2	0,0	39,0	16,3
06:00	21,5	53,9	21,5	49,4	0,0	0,00	21,5	0,0	0,0	49,4	4,6
07:00	27,8	52,1	27,8	63,8	11,7	0,00	27,8	0,0	0,0	52,1	0,0
08:00	26,2	49,8	26,2	60,1	21,9	0,01	26,2	0,0	0,0	49,8	0,0
09:00	37,4	48,5	34,0	78,0	51,4	0,02	34,0	0,0	3,4	48,5	0,0
10:00	40,4	43,0	34,0	78,0	86,4	0,04	34,0	0,0	6,4	43,0	0,0
11:00	38,3	38,9	34,0	78,0	125,4	0,06	34,0	0,0	4,3	38,9	0,0
12:00	33,8	34,3	33,8	77,6	168,6	0,09	33,8	0,0	0,0	34,3	0,0
13:00	42,2	31,6	34,0	78,0	214,9	0,13	34,0	0,0	8,2	31,6	0,0
14:00	40,5	30,7	34,0	78,0	262,0	0,16	34,0	0,0	6,5	30,7	0,0
15:00	34,7	7,0	34,0	78,0	332,8	0,20	34,0	0,0	0,7	7,0	0,0
16:00	33,0	7,0	33,0	75,8	401,4	0,25	33,0	0,0	0,0	7,0	0,0
17:00	30,6	7,0	30,6	70,2	464,3	0,30	30,6	0,0	0,0	7,0	0,0
18:00	31,3	7,0	0,0	0,0	457,0	0,35	0,0	0,0	31,3	7,0	0,0
19:00	34,8	30,2	0,0	0,0	426,4	0,34	0,0	0,0	34,8	30,2	0,0
20:00	32,6	33,0	31,0	71,2	464,3	0,32	31,0	0,0	1,6	33,0	0,0
21:00	36,2	41,6	18,3	42,0	464,3	0,35	18,3	0,0	17,9	41,6	0,0
22:00	32,6	40,3	17,7	40,6	464,3	0,35	17,7	0,0	14,9	40,3	0,0
23:00	29,6	45,3	19,9	45,6	464,2	0,35	19,9	0,0	9,7	45,3	0,0

Gesamt **708,2** **923,6** **579,5** **1329,2** **3,30** **568,7** **10,8** **139,6** **861,7** **61,9**

Strom Eigennutzungsrate 0,98  
 Strom Eigendeckung 0,80  
 Wärme Eigendeckung 0,93

Ausgabe des Tools- Wärmeseitig:

Tankgröße [m³]	Einspeisung [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug [kWh]	Waermeverluste [kWh]	waermeproduz	stromproduz	Gesamtstrom-eigendeckung	Eigennutzung des produzierten Stroms	Waermebedarfdeckung [kWh]	Waermedeckung [%]
1	40,3	325,7	0,0	0,661	969,9	422,8	54,01%	90,47%	923,6	100,00%
2	40,3	308,7	0,0	0,9	1008,9	439,8	56,41%	90,84%	923,6	100,00%
3	40,3	291,7	0,0	1,1	1047,9	456,8	58,81%	91,18%	923,6	100,00%
4	40,3	274,7	0,0	1,2	1086,9	473,8	61,21%	91,50%	923,6	100,00%
5	40,3	274,7	0,0	1,1	1086,9	473,8	61,21%	91,50%	923,6	100,00%
6	40,3	274,7	0,0	1,0	1086,9	473,8	61,21%	91,50%	923,6	100,00%
7	40,3	274,7	0,0	0,9	1086,9	473,8	61,21%	91,50%	923,6	100,00%
8	40,3	274,7	0,0	0,9	1086,9	473,8	61,21%	91,50%	923,6	100,00%
9	40,3	274,7	0,0	0,8	1086,9	473,8	61,21%	91,50%	923,6	100,00%
10	40,3	274,7	0,0	0,808	1086,9	473,8	61,21%	91,50%	923,6	100,00%

Ausgabe des Tools- Beidseitig:

Tankgroesse [m <sup>3</sup> ]	Einspeisung [kWh]	Strombezug [kWh]	Waermebezug [kWh]	Waermeverluste [kWh]	Waermeproduktion	Stromproduktion	Gesamtstrom-eigendeckung	Eigennutzung des produzierten Stroms	Waermebedarfdeckung [kWh]	Waermedeckung [%]
1	10,8	322,8	-61,9	1,0	909,1	396,3	54,42%	97,27%	861,7	93,30%
2	10,8	302,3	-61,9	1,6	956,1	416,8	57,32%	97,41%	861,7	93,30%
3	10,8	281,8	-61,9	2,1	1003,0	437,2	60,21%	97,53%	861,7	93,30%
4	10,8	261,5	-61,9	2,4	1049,8	457,6	63,08%	97,64%	861,7	93,30%
5	10,8	241,1	-61,9	2,7	1096,5	477,9	65,96%	97,74%	861,7	93,30%
6	10,8	220,8	-61,9	2,8	1143,1	498,3	68,83%	97,83%	861,7	93,30%
7	10,8	200,5	-61,9	3,0	1189,7	518,6	71,70%	97,92%	861,7	93,30%
8	10,8	180,2	-61,9	3,1	1236,3	538,9	74,56%	98,00%	861,7	93,30%
9	10,8	159,9	-61,9	3,2	1282,8	559,2	77,43%	98,07%	861,7	93,30%
10	10,8	139,6	-61,9	3,299	1329,3	579,4	80,29%	98,14%	861,7	93,30%

Ergebnisse der Überprüfung des Tools, Rechnungen von Hand:

**Tag 4 – Sommer, Mittwoch, Produktionsstätte, 1 Schichtbetrieb**  
Eigene Berechnung

Pufferspeicher 1 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Annahme: BHKW DATEN

P <sub>elektrisch</sub>	16 kWh
P <sub>thermisch</sub>	35,3 kWh
Aufnahme	51 kWh
modulierbarkeit	0,5
Schwellwert	8 kWh

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus	Verlus te [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]		Eigennutz ung	Einspeis ung	Bezug	Eigennut zung	Bezug
00:00	3,0	0,0	8,0	17,7	17,7		3,0	5,0	0,0	0,0	0,0
01:00	3,1	0,0	8,0	17,7	35,3	0,034	3,1	4,9	0,0	0,0	0,0
02:00	3,0	0,0	0,0	0,0	35,2	0,068	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
03:00	3,0	0,0	0,0	0,0	35,1	0,068	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
04:00	3,0	0,0	0,0	0,0	35,1	0,068	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
05:00	2,3	0,0	0,0	0,0	35,0	0,067	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0
06:00	11,6	1161,0	16,0	35,3	0,0	0,067	11,6	4,5	0,0	70,3	1090,7
07:00	101,1	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	85,1	35,3	1821,7
08:00	184,6	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	168,6	35,3	1833,7
09:00	156,1	1497,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	140,1	35,3	1461,7
10:00	171,0	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	155,0	35,3	1821,7
11:00	185,0	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	169,0	35,3	1833,7
12:00	168,2	1161,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	152,2	35,3	1125,7
13:00	133,1	1776,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	117,1	35,3	1740,7
14:00	173,4	1625,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	157,4	35,3	1589,7
15:00	172,0	731,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	156,0	35,3	695,7
16:00	58,2	0,0	8,0	17,7	17,7	0,000	8,0	0,0	50,2	0,0	0,0

17:00	19,7	0,0	8,0	17,7	35,3	0,034	8,0	0,0	11,7	0,0	0,0
18:00	12,6	0,0	0,0	0,0	35,2	0,068	0,0	0,0	12,6	0,0	0,0
19:00	10,6	0,0	0,0	0,0	35,1	0,068	0,0	0,0	10,6	0,0	0,0
20:00	3,1	0,0	0,0	0,0	35,1	0,068	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0
21:00	2,0	0,0	0,0	0,0	35,0	0,067	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
22:00	1,9	0,0	0,0	0,0	34,9	0,067	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0
23:00	2,9	0,0	0,0	0,0	34,9	0,067	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>1584,2</b>	<b>15403,0</b>	<b>192,0</b>	<b>423,6</b>		<b>0,811</b>	<b>177,6</b>	<b>14,4</b>	<b>1406,6</b>	<b>388,0</b>	<b>15015,0</b>

Strom

Eigennutzungsrate	0,93
Strom Eigendeckung	0,11
Wärme Eigendeckung	0,03

Pufferspeicher 10 m<sup>3</sup>, Auslegung wärmeseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus	Verlus te [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]		Eigennutz ung	Einspeis ung	Bezug	Eigennut zung	Bezug
00:00	3,0	0,0	8,0	17,7	17,7		3,0	5,0	0,0	0,0	0,0

01:00	3,1	0,0	8,0	17,7	35,3	0,013	3,1	4,9	0,0	0,0	0,0
02:00	3,0	0,0	8,0	17,7	52,9	0,026	3,0	5,0	0,0	0,0	0,0
03:00	3,0	0,0	8,0	17,7	70,5	0,039	3,0	5,0	0,0	0,0	0,0
04:00	3,0	0,0	8,0	17,7	88,1	0,053	3,0	5,0	0,0	0,0	0,0
05:00	2,3	0,0	8,0	17,7	105,7	0,066	2,3	5,7	0,0	0,0	0,0
06:00	11,6	1161,0	16,0	35,3	0,0	0,079	11,6	4,5	0,0	141,0	1020,0
07:00	101,1	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	85,1	35,3	1821,7
08:00	184,6	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	168,6	35,3	1833,7
09:00	156,1	1497,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	140,1	35,3	1461,7
10:00	171,0	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	155,0	35,3	1821,7
11:00	185,0	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	169,0	35,3	1833,7
12:00	168,2	1161,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	152,2	35,3	1125,7
13:00	133,1	1776,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	117,1	35,3	1740,7
14:00	173,4	1625,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	157,4	35,3	1589,7
15:00	172,0	731,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	156,0	35,3	695,7
16:00	58,2	0,0	8,0	17,7	17,7	0,000	8,0	0,0	50,2	0,0	0,0
17:00	19,7	0,0	8,0	17,7	35,3	0,013	8,0	0,0	11,7	0,0	0,0
18:00	12,6	0,0	8,0	17,7	52,9	0,026	8,0	0,0	4,6	0,0	0,0
19:00	10,6	0,0	8,0	17,7	70,5	0,039	8,0	0,0	2,6	0,0	0,0
20:00	3,1	0,0	8,0	17,7	88,1	0,053	3,1	4,9	0,0	0,0	0,0
21:00	2,0	0,0	8,0	17,7	105,7	0,066	2,0	6,0	0,0	0,0	0,0
22:00	1,9	0,0	8,0	17,7	123,3	0,079	1,9	6,1	0,0	0,0	0,0
23:00	2,9	0,0	8,0	17,7	140,8	0,092	2,9	5,1	0,0	0,0	0,0

Gesamt	<b>1584,2</b>	<b>15403,0</b>	<b>272,0</b>	<b>600,1</b>		<b>0,644</b>	<b>214,8</b>	<b>57,2</b>	<b>1369,4</b>	<b>458,7</b>	<b>14944,3</b>
--------	---------------	----------------	--------------	--------------	--	--------------	--------------	-------------	---------------	--------------	----------------



## Strom

Eigennutzungsrate	0,79
Strom Eigendeckung	0,14
Wärme Eigendeckung	0,03

Pufferspeicher 1m<sup>3</sup>, Beidseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus	Verlus te [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]	Füllung [kWh]		Eigennutz ung	Einspeis ung	Bezug	Eigennut zung	Bezug
00:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
01:00	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0
02:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
03:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
04:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
05:00	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0
06:00	11,6	1161,0	11,6	25,5	0,0	0,000	11,6	0,0	0,0	25,5	1135,5
07:00	101,1	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	85,1	35,3	1821,7
08:00	184,6	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	168,6	35,3	1833,7
09:00	156,1	1497,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	140,1	35,3	1461,7
10:00	171,0	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	155,0	35,3	1821,7
11:00	185,0	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	169,0	35,3	1833,7
12:00	168,2	1161,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	152,2	35,3	1125,7
13:00	133,1	1776,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	117,1	35,3	1740,7
14:00	173,4	1625,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	157,4	35,3	1589,7
15:00	172,0	731,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	156,0	35,3	695,7

16:00	58,2	0,0	16,0	35,3	35,3	0,000	16,0	0,0	42,2	0,0	0,0
17:00	19,7	0,0	0,0	0,0	35,2	0,068	0,0	0,0	19,7	0,0	0,0
18:00	12,6	0,0	0,0	0,0	35,2	0,068	0,0	0,0	12,6	0,0	0,0
19:00	10,6	0,0	0,0	0,0	35,1	0,068	0,0	0,0	10,6	0,0	0,0
20:00	3,1	0,0	0,0	0,0	35,0	0,068	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0
21:00	2,0	0,0	0,0	0,0	35,0	0,067	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
22:00	1,9	0,0	0,0	0,0	34,9	0,067	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0
23:00	2,9	0,0	0,0	0,0	34,8	0,067	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>1584,2</b>	<b>15403,0</b>	<b>171,6</b>	<b>378,5</b>		<b>0,473</b>	<b>171,6</b>	<b>0,0</b>	<b>1412,7</b>	<b>343,2</b>	<b>15059,8</b>

Strom  
Eigennutzungsrate 1,00  
Strom Eigendeckung 0,11  
Wärme Eigendeckung 0,02

Pufferspeicher 10 m<sup>3</sup>, Beidseitig

Zeit	Verbrauch		BHKW Produktion		Wärmespeicher Füllstatus Füllung [kWh]	Verlus te [kWh]	Stromseite [kWh]			Wärmeseite [kWh]	
	Stromlastgang [kWh]	Wärmelastgang [kWh]	el [kWh]	therm [kWh]			Eigennutz ung	Einspeis ung	Bezug	Eigennut zung	Bezug

00:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
01:00	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0
02:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
03:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
04:00	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
05:00	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0
06:00	11,6	1161,0	11,6	25,5	0,0	0,000	11,6	0,0	0,0	25,5	1135,5
07:00	101,1	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	85,1	35,3	1821,7
08:00	184,6	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	168,6	35,3	1833,7
09:00	156,1	1497,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	140,1	35,3	1461,7
10:00	171,0	1857,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	155,0	35,3	1821,7
11:00	185,0	1869,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	169,0	35,3	1833,7
12:00	168,2	1161,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	152,2	35,3	1125,7
13:00	133,1	1776,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	117,1	35,3	1740,7
14:00	173,4	1625,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	157,4	35,3	1589,7
15:00	172,0	731,0	16,0	35,3	0,0	0,000	16,0	0,0	156,0	35,3	695,7
16:00	58,2	0,0	16,0	35,3	35,3	0,000	16,0	0,0	42,2	0,0	0,0
17:00	19,7	0,0	16,0	35,3	70,6	0,026	16,0	0,0	3,7	0,0	0,0
18:00	12,6	0,0	12,6	27,7	98,2	0,053	12,6	0,0	0,0	0,0	0,0
19:00	10,6	0,0	10,6	23,3	121,4	0,073	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0
20:00	3,1	0,0	0,0	0,0	121,3	0,091	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0
21:00	2,0	0,0	0,0	0,0	121,2	0,090	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
22:00	1,9	0,0	0,0	0,0	121,1	0,090	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0
23:00	2,9	0,0	0,0	0,0	121,0	0,090	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0
Gesamt	<b>1584,2</b>	<b>15403,0</b>	<b>210,7</b>	<b>464,7</b>		<b>0,514</b>	<b>210,7</b>	<b>0,0</b>	<b>1373,6</b>	<b>343,2</b>	<b>15059,8</b>

Strom  
 Eigennutzungsrate 1,00  
 Strom Eigendeckung 0,13  
 Wärme Eigendeckung 0,02

Ausgabe des Tools- Wärmeseitig:

Tankgrö- sse [m³]	Einspeisu- ng [kWh]	Strombez- ug [kWh]	Waermebezu- glog [kWh]	Waermeverl- uste [kWh]	waermep- rod	strompr- od	Gesamtstr- om- eigendecku- ng	Eigennutz- ung des produziert en storms	Waermebedarfdec- kung [kWh]	Waermedeck- ung [%]
1	14,4	1406,6	-15015,1	0,811	423,6	192,0	11,21%	92,50%	387,9	2,52%
2	34,3	1378,5	-14962,3	1,1	529,5	240,0	12,99%	85,73%	440,7	2,86%
3	52,1	1372,3	-14944,6	1,1	582,5	264,0	13,38%	80,27%	458,4	2,98%
4	57,2	1369,4	-14944,5	0,9	600,1	272,0	13,56%	78,96%	458,5	2,98%
5	57,2	1369,4	-14944,5	0,9	600,1	272,0	13,56%	78,96%	458,5	2,98%
6	57,2	1369,4	-14944,4	0,8	600,1	272,0	13,56%	78,96%	458,6	2,98%
7	57,2	1369,4	-14944,4	0,7	600,1	272,0	13,56%	78,96%	458,6	2,98%
8	57,2	1369,4	-14944,4	0,7	600,1	272,0	13,56%	78,96%	458,6	2,98%
9	57,2	1369,4	-14944,4	0,7	600,1	272,0	13,56%	78,96%	458,6	2,98%
10	57,2	1369,4	-14944,4	0,644	600,1	272,0	13,56%	78,96%	458,6	2,98%

Ausgabe des Tools- Beidseitig:

Tankgrö- sse [m³]	Einspeisu- ng [kWh]	Strombez- ug [kWh]	Waermebezu- glog [kWh]	Waermeverl- uste [kWh]	Waermep- rod	Strompr- od	Gesamtstr- om- eigendecku- ng	Eigennutz- ung des produziert en storms	Waermebedarfdec- kung [kWh]	Waermedeck- ung [%]
1	0,0	1412,7	-15059,8	0,5	378,5	171,6	10,83%	100,00%	343,2	2,23%
2	0,0	1386,5	-15059,8	0,8	436,2	197,7	12,48%	100,00%	343,2	2,23%
3	0,0	1373,6	-15059,8	0,8	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%
4	0,0	1373,6	-15059,8	0,7	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%
5	0,0	1373,6	-15059,8	0,7	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%
6	0,0	1373,6	-15059,8	0,6	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%
7	0,0	1373,6	-15059,8	0,6	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%
8	0,0	1373,6	-15059,8	0,6	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%
9	0,0	1373,6	-15059,8	0,5	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%
10	0,0	1373,6	-15059,8	0,514	464,7	210,7	13,30%	100,00%	343,2	2,23%