

**Abschlussbericht**  
**Energieeffizienzkonzept**  
**für das**  
**BRK Alten- und Pflegeheim**  
**in Bad Neustadt an der Saale**

## Energieeffizienzkonzept für das BRK Alten- und Pflegeheim in Bad Neustadt an der Saale

### Abschlussbericht

**Auftraggeber:**

Bayerisches Rotes Kreuz  
Bezirksverband Unterfranken  
Greisingstraße 5a  
97074 Würzburg

**Auftragnehmer:**

Institut für Energietechnik IfE GmbH  
an der Ostbayerischen technischen Hochschule Amberg-Weiden  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg

**Bearbeitungszeitraum:**

Juli 2015 bis Dezember 2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Die Erfassung der energetischen Ausgangssituation</b> .....	<b>6</b>
2.1	Die Erfassung des Energiebedarfs im Ist-Zustand.....	6
2.1.1	Die Wärmeversorgung.....	6
2.1.2	Die elektrische Energieversorgung .....	10
2.1.3	Die Bewertung des Energieverbrauchs nach Kennwerten .....	14
2.1.4	Die CO <sub>2</sub> -Bilanz im Ist-Zustand .....	15
2.1.5	Die Energiekosten im Ist-Zustand.....	15
2.1.6	Erfassung und Bewertung der Gebäudehülle .....	16
<b>3</b>	<b>Möglichkeiten der Effizienzsteigerung und Energieeinsparung</b> .....	<b>17</b>
3.1	Allgemeine Möglichkeiten der Effizienzsteigerung .....	17
3.1.1	Ausarbeitung nicht- investiver Maßnahmen - Nutzerverhalten.....	17
3.1.2	Ausarbeitung von Sanierungsoptionen in der Anlagentechnik .....	19
3.1.2.1	Beleuchtung .....	19
3.1.2.2	Heizung.....	22
3.2	Die Maßnahmen der Gebäudesanierung.....	26
3.2.1	Fenstertausch .....	26
3.2.2	Fassadendämmung (von außen).....	26
3.2.3	Abseitenwände/Wände zu unbeheizten Räumen (von außen) .....	27
3.2.4	Dämmung der Bodenplatte gegen Erdreich.....	27
3.2.5	Dämmung der obersten Geschossdecken.....	27
3.3	Das Einsparpotential.....	29
3.4	Der künftige Wärmebedarf und die thermische Jahresdauerlinie.....	31
3.5	Prüfung Lüftungstechnischer Maßnahmen .....	33
3.6	Optimierung von Wärmebrücken .....	36

<b>4</b>	<b>Die Betrachtung künftiger Energieversorgungsvarianten.....</b>	<b>40</b>
4.1.1	Variante 1.0: Moderne Erdgasfeuerung (Referenz) .....	41
4.1.2	Die Variante 1.1: Mini-BHKW-Module mit Erdgasspitzenlastkessel .....	42
4.1.4	Die Variante 1.2: Erdgas-BHKW ( $93\text{kW}_{\text{th}}$ , $50\text{kW}_{\text{el}}$ ) mit Spitzenlastkessel.....	44
4.1.5	Die Variante 1.3: Erdgas- BHKW ( $33\text{kW}_{\text{el}}$ , $64\text{kW}_{\text{th}}$ ) mit Spitzenlastkessel....	46
4.1.6	Die Variante1.4: Pelletkessel mit Spitzenlastkessel.....	48
4.1.7	Die Variante1.5: Hackgutkessel mit Spitzenlastkessel.....	50
4.1.8	Die Variante1.6: Anschluss an das Fernwärmenetz der Rhönwärme GmbH & Co. KG .....	52
4.1.9	Die Variante1.7: Wärmepumpe mit Eisspeicher.....	53
<b>5</b>	<b>Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....</b>	<b>54</b>
5.1	Die Grundannahmen.....	54
5.2	Allgemeine Fördermöglichkeiten.....	61
5.2.1	BAFA Marktanreizprogramm - Basisförderung .....	61
5.2.2	KfW- Förderprogramm – „Premium“ – Große Biomasseheizungen.....	61
5.2.3	Bayern: Förderprogramm BioKlima .....	62
5.3	Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der untersuchten Varianten .....	64
5.3.1	Investitionskostenprognose .....	64
5.3.2	Die jährlichen Einnahmen und Ausgaben .....	65
5.4	Die Sensitivitätsanalyse .....	68
5.5	Berücksichtigung möglicher Förderungen.....	73
<b>6</b>	<b>Die CO<sub>2</sub>- Bilanz der Energieversorgungsvarianten .....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung mit Handlungsempfehlung.....</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>82</b>

## 1 Einleitung

Das BRK Altenheim in Bad Neustadt an der Saale wurde 1985 erbaut. Insgesamt hat das Pflegeheim rund 120 Betten, die sich auf unterschiedliche Pflegebereiche erstrecken. Der Gesamtzustand des Gebäudes entspricht dem des Baujahres. Das Gebäude soll daher grundlegend saniert und auch erweitert werden. Ziel ist es auf die veränderten Bedürfnisse und Wünsche der Bewohner und auch künftigen Bewohner einzugehen und ein komfortables Wohnen, das dem aktuellen Standard entspricht zu ermöglichen. Im Zuge der sukzessiven Generalsanierung soll auch der energetische Zustand des Gebäudes detailliert überprüft und Sanierungsvorschläge erarbeitet werden. Durch einen hohen Wärmeschutzstandard wird die Behaglichkeit aufgrund erhöhter Oberflächentemperaturen sichergestellt. Durch die erzielbaren Einsparungen, die sich durch einen guten energetischen Standard ergeben ist es zwingend erforderlich auch die Wärmeversorgung des Gebäudes zu untersuchen und auf die geänderten Anforderungen vor allem auf den reduzierten Wärmebedarf anzupassen. Im Rahmen der Studie wird daher zunächst der energetische Ausgangszustand erfasst und definiert. Darauf aufbauend werden mögliche Einsparpotentiale durch speziell ausgewählte Sanierungsmaßnahmen untersucht und bewertet. Anschließend werden auf Grundlage des künftigen Wärmebedarfs verschiedene innovative Energieversorgungsvarianten erarbeitet und die Wirtschaftlichkeit im Rahmen einer Vollkostenrechnung in Anlehnung an die DIN 2067 ermittelt. Zusätzlich wird eine CO<sub>2</sub>-Bilanz erstellt um die Umweltauswirkungen der untersuchten Varianten darzustellen. Ziel ist die Erstellung einer umfassenden Entscheidungsgrundlage für die künftigen Entwicklungen des Pflegeheimes Bad Neustadt an der Saale.

## 2 Die Erfassung der energetischen Ausgangssituation

### 2.1 Die Erfassung des Energiebedarfs im Ist-Zustand

#### 2.1.1 Die Wärmeversorgung

Die thermische Energieversorgung des Alten- und Pflegeheimes des Bayerischen Roten Kreuzes in Bad Neustadt/Saale erfolgt derzeit über zwei Strebel- Erdgaskessel. Die Nennwärmeleistung beträgt je 350 kW. Die beiden Kessel stammen aus dem Jahr 1984. Sie sind über 30 Jahre alt und haben ihre Lebensdauer nach DIN bereits deutlich überschritten. Über einen Austausch in den nächsten Jahren ist zwingend erforderlich.

Neben den beiden Erdgaskesseln sind vier BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von je 5,5 kW und einer thermischen Nennleistung von 12,5 kW installiert. Der erzeugte BHKW- Strom wird im Gebäude zu 100% selbst genutzt. Die derzeit installierten Wärmeerzeuger sind in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1: Die installierten Wärmeerzeuger**

Hersteller [-]	Typ [-]	Baujahr [-]	thermische Nennwärmeleistung [kW]	elektrische Nennwärmeleistung [kW]
Strebel	RRU 2 - 8	1984	350	-
Strebel	RRU 2 - 8	1984	350	-
Senertec	HKA G	2010	12,5	5,5
Senertec	HKA G	2010	12,5	5,5
Senertec	HKA G	2010	12,5	5,5
Senertec	HKA G	2010	12,5	5,5

Der Gasbezug erfolgt aktuell über die Bayerische Rhöngas GmbH. Der Erdgasverbrauch der Jahre 2011 bis 2013 ist in Tabelle 2 dargestellt.

Die jährlichen Energiekosten für die Wärmeversorgung liegen im Ist-Zustand bei rund 89.000 € (netto). Es ergibt sich für das Jahr 2013 ein mittlerer Erdgasmischpreis (netto) von rund 7,8 Cent/kWh<sub>Hi</sub>.

In Tabelle 2 sind die Erdgasverbräuche der letzten Jahre sowie den zugehörigen Kosten für den Heizgasverbrauch dargestellt.

**Tabelle 2: Der Erdgasverbrauch der letzten Jahre für die Gebäudebeheizung**

<b>Gas für Gebäudebeheizung inkl. BHKW</b>					
		2011	2012	2013	Mittelwert
Erdgasverbrauch	[kWh <sub>Hi</sub> /a]	1.180.983	1.196.138	1.283.738	1.220.286
Erdgaskosten - netto	[€/a]	76.133	91.354	99.769	89.085
spez. Mischpreis	[Ct/kWh <sub>Hi</sub> ]	6,45	7,64	7,77	7,29

Der Küchengasanteil wird separat erfasst. Er ist in Tabelle 3 zusammengefasst für den Betrachtungszeitraum (2011 bis 2013) dargestellt. Im Mittel werden in der Küche rund 21.700 kWh<sub>Hi</sub>/a Erdgas verbraucht. Im Jahr 2013 ergibt sich ein spezifischer Erdgasmischpreis von rund 9,2 Cent/kWh<sub>Hi</sub>.

**Tabelle 3: Der Erdgasverbrauch der letzten Jahre für den Küchenbetrieb**

<b>Gas für den Küchenbetrieb</b>					
		2011	2012	2013	Mittelwert
Erdgasverbrauch	[kWh <sub>Hi</sub> /a]	21.733	21.885	21.392	21.670
Erdgaskosten - netto	[€/a]	1.681	1.960	1.959	1.867
spez. Mischpreis	[Ct/kWh <sub>Hi</sub> ]	7,74	8,96	9,16	8,62

Zur Beurteilung und Bewertung des Energieverbrauchs der Gebäude untereinander ist es erforderlich die absoluten Energieverbrauchswerte auf eine gemeinsame Vergleichsbasis zu beziehen. Allgemein haben sich die beheizte Nutzfläche sowie die Bewohneranzahl als Vergleichsbasis bei Altenwohn- und Pflegeheimen durchgesetzt. Im Pflegeheim Bad Neustadt ergibt sich durch den Einsatz von den vier BHKW die Besonderheit, dass aufgrund der kombinierten Strom- und Wärmeproduktion mehr Erdgas eingesetzt wird als bei einer klassischen Gebäudebeheizung mit einem Erdgaskessel. Im Folgenden wird daher der Erdgasanteil für die Stromproduktion bei den BHKW ermittelt.

Gemäß den Aufzeichnungen der Leitung des BRK Pflegeheimes ergibt sich für die BHKW-Module im Jahr 2013 eine Stromproduktion von rund 146.700 kWh/a. Im Jahr 2012 liegt die Stromproduktion bei rund 127.700 kWh/a. Unter Berücksichtigung der regelmäßig dokumentierten BHKW- Laufzeiten sowie dem elektrischen und thermischen Wirkungsgrades der Module ergibt sich ein mittlerer jährlicher Erdgasanteil von rund 161.300 kWh<sub>Hi</sub> für die Stromproduktion. Für die Wärmeproduktion der BHKW- Module ergibt sich ein Erdgaseinsatz von rund 366.600 kWh<sub>Hi</sub>/a. Die dokumentierten Laufzeiten sind in folgender Tabelle zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 4: Die BHKW- Laufzeiten**

BHKW [-]	Laufzeit 2012 [h/a]	Laufzeit 2013 [h/a]
Modul 1	8.108	7.492
Modul 2	6.912	7.926
Modul 3	5.525	8.605
Modul 4	2.679	8.517

Nach der BHKW- Bereinigung des Erdgaseinsatzes ergibt sich somit ein jährlicher Erdgasverbrauch für die Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung von rund 1.059.000 kWh<sub>Hi</sub>. Um den Einfluss durch zu warme bzw. kalte Perioden auszuschließen wird der Erdgasverbrauch witterungsbereinigt. Der Anteil für die Warmwasserbereitung wird nicht witterungsbereinigt, da von einem temperaturunabhängigen Warmwasserverbrauch ausgegangen wird. Nach der Witterungsbereinigung ergibt sich ein Erdgasverbrauch für die Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung von rund 1.105.000 kWh<sub>Hi</sub>/a.

Werden die ermittelten Werte auf die beheizte Nutzfläche von rund 6.264,3 m<sup>2</sup> bezogen, so ergibt sich ein spezifischer Erdgasverbrauchskennwert von rund 176 kWh<sub>Hi</sub>/m<sup>2</sup>a (witterungsbereinigt). Der bewohnerbezogene Kennwert liegt bei rund 9.130 kWh/Bett\*a. Im Vergleich zu weiteren Altenwohn- und Pflegeheimen (vgl. Studie Effiziente Energienutzung in Alten- und Pflegeheimen, der EnergieAgentur NRW) liegt das BRK Pflegeheim Bad Neustadt knapp über dem Mittelfeld. Im berechneten spezifischen Energieverbrauchskennwert ist der Warmwasserverbrauch des Altenheimes mit enthalten.



**Abbildung 1: Installierte Standardstufenpumpen**

Aus Abbildung 1 ist ersichtlich, dass aktuell meist noch Standardstufenpumpen in der Heizungsverteilung eingesetzt werden. Dies lässt enormes Einsparpotential zu. Der Austausch von Standardstufenpumpen wie im BRK Altenpflegeheim Bad Neustadt durch Hocheffizienzpumpen amortisiert sich meist bereits nach einigen Jahren. Weitere Informationen hierzu sind im Kapitel 3.1 zu finden.

## 2.1.2 Die elektrische Energieversorgung

Der Stromverbrauch des Altenheim Bad Neustadt an der Saale erfolgt über einen Zähler. Die Abrechnung erfolgt nach NT- und HT- Tarif. Die genaue Aufteilung in Nieder bzw. Hochtarif ist aktuell nicht bekannt.

Der Stromverbrauch des Betrachtungszeitraumes ist in Tabelle 5 dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind die Jahresstromkosten und die spezifischen Strommischpreise. In der Tabelle ist neben dem Strombezug auch der Stromanteil, der von BHKW- Modulen erzeugt wird mit dargestellt. In Summe ergibt sich für das Altenheim ein Mischpreis von rund 20,2 Cent/kWh (netto) für das Jahr 2013.

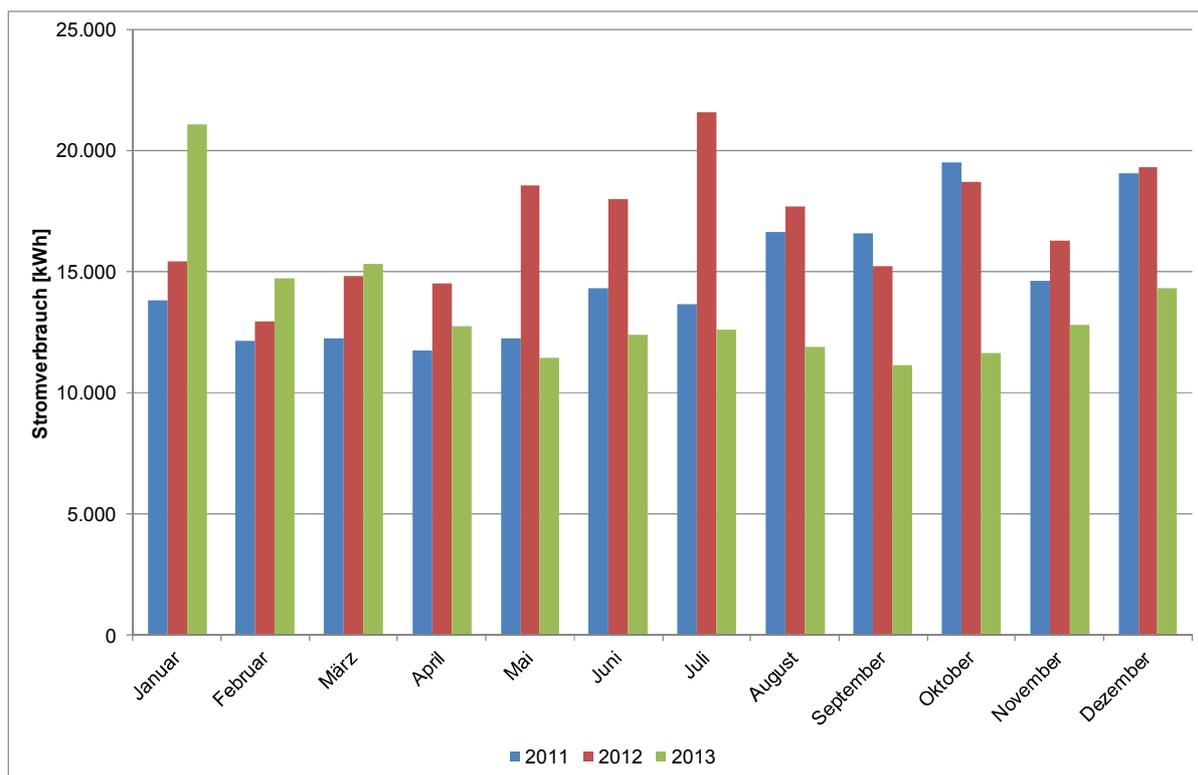
**Tabelle 5: Der Stromverbrauch der letzten Jahre**

		<b>Allgemeinstrom</b>			
		2011	2012	2013	Mittelwert*)
Stromverbrauch	[kWh/a]	176.799	203.267	162.273	182.770
Stromkosten - netto	[€/a]	30.701	34.554	32.755	33.655
spez. Mischpreis	[Ct/kWh <sub>Hi</sub> ]	17,37	17,00	20,19	18,41
Stromerzeugung BHKW	[kWh/a]	-	128.000	147.000	137.500
<b>Gesamtstrombedarf</b>	<b>[kWh/a]</b>	<b>-</b>	<b>331.267</b>	<b>309.273</b>	<b>320.270</b>

\*) Mittelwert aus den Jahren 2012 und 2013

In Bezug auf die beheizte Gebäudenutzfläche ergibt sich ein flächenbezogener Stromverbrauchskennwert von 51 kWh/m<sup>2</sup>a. Der bewohnerbezogene Stromverbrauchskennwert (Gesamtstrom) beträgt rund 2.650 kWh pro Person und Jahr. Dieser liegt nach der Studie der Energieagentur NRW ebenfalls im guten Mittelfeld (Siehe auch Kapitel 2.1.3).

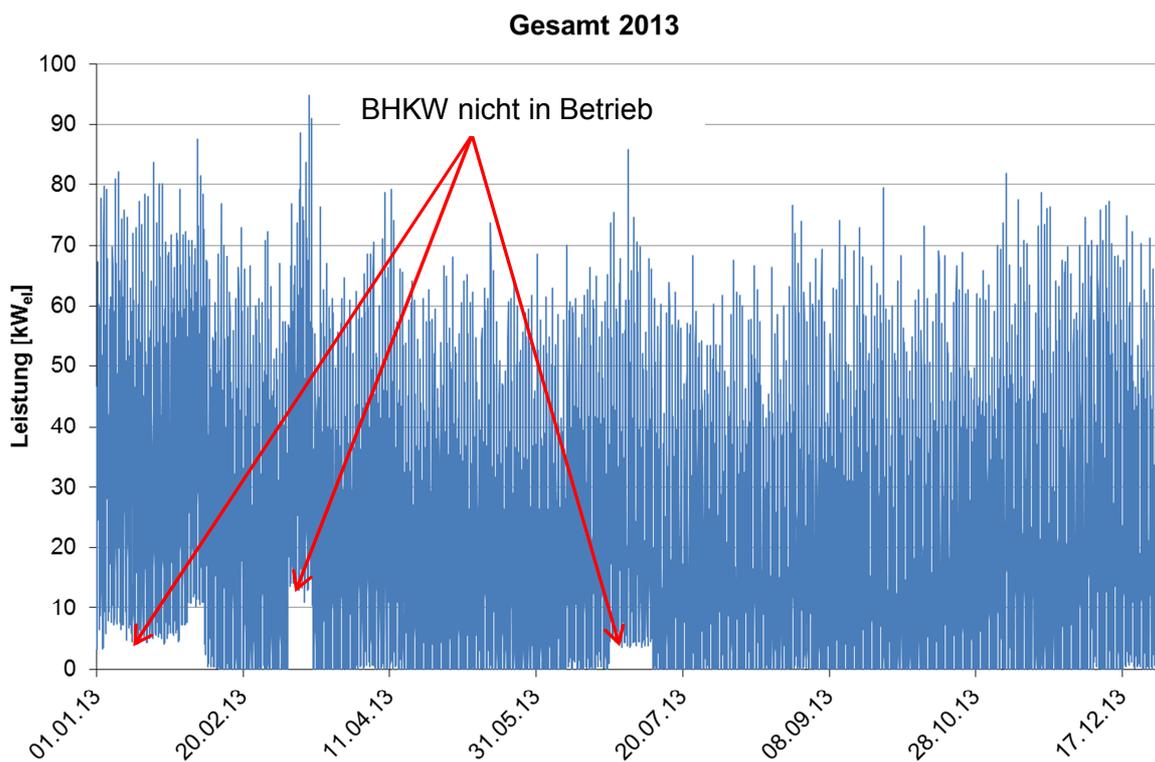
Zur weiteren Auswertung des Stromverbrauchs des Altenheim Bad Neustadt an der Saale wurden die monatlichen Stromverbrauchsdaten und der Stromlastgang des Jahrs 2013 zur Verfügung gestellt.



**Abbildung 2: Der monatliche Allgemeinstromverbrauch (Bezug aus dem Stromnetz)**

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist, beträgt der monatliche Stromverbrauch im Mittel rund 15.000 kWh. Dies entspricht bezogen auf die Monatsstunden einer mittleren Bezugsleistung von rund 21 kW. In obiger Abbildung ist nur der Strombezug aus dem öffentlichen Netz dargestellt. Der selbst erzeugte BHKW- Strom ist nicht enthalten.

Für die genaue Dimensionierung eines Blockheizkraftwerkes, sowie der Berechnung der möglichen Eigenstromnutzung ist jedoch eine stundengenaue Auswertung des Strombedarfs erforderlich. Im Folgenden werden die monatlichen Stromverbräuche mit Hilfe des Stromlastgangs des Strombezuges aus dem öffentlichen Netz detailliert untersucht.



**Abbildung 3: Der elektrische Stromlastgang für das Jahr 2013**

Aus Abbildung 3 können keine extremen Leistungsausreißer nach oben im Jahr 2013 festgestellt werden. Deutlich erkennbar ist jedoch der Zeitraum in dem ein oder mehrere BHKW nicht in Betrieb waren.

In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind die Stromlastgänge eines Wintermonats (März) und eines Sommermonats (August) dargestellt. Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, sind diese nahezu identisch, so dass keine saisonbedingten Schwankungen zu erwarten sind.

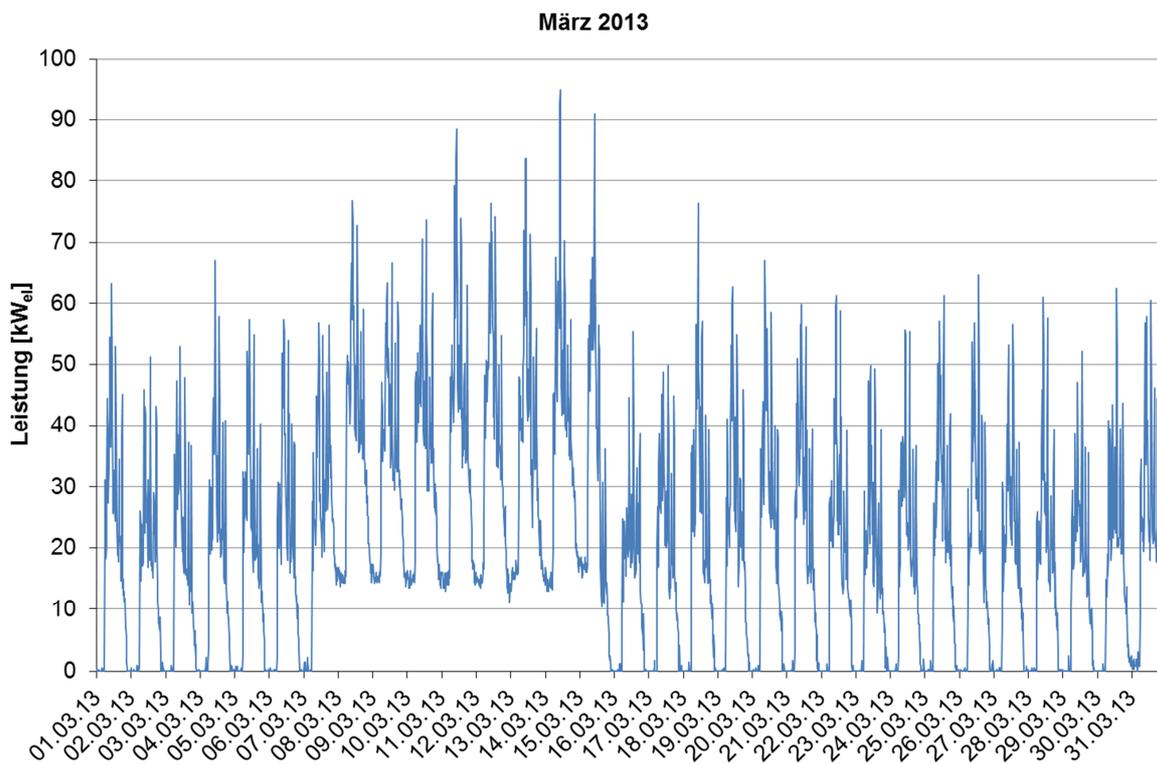


Abbildung 4: Der Stromlastgang des Monat März 2013

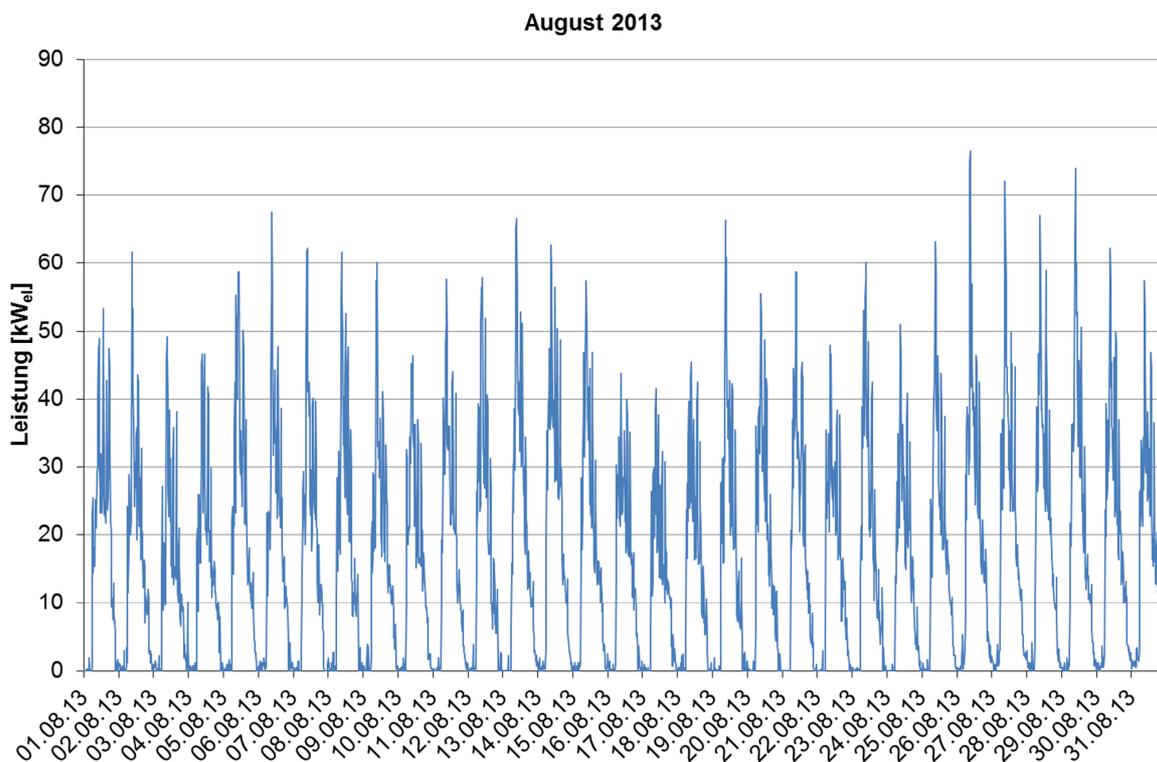


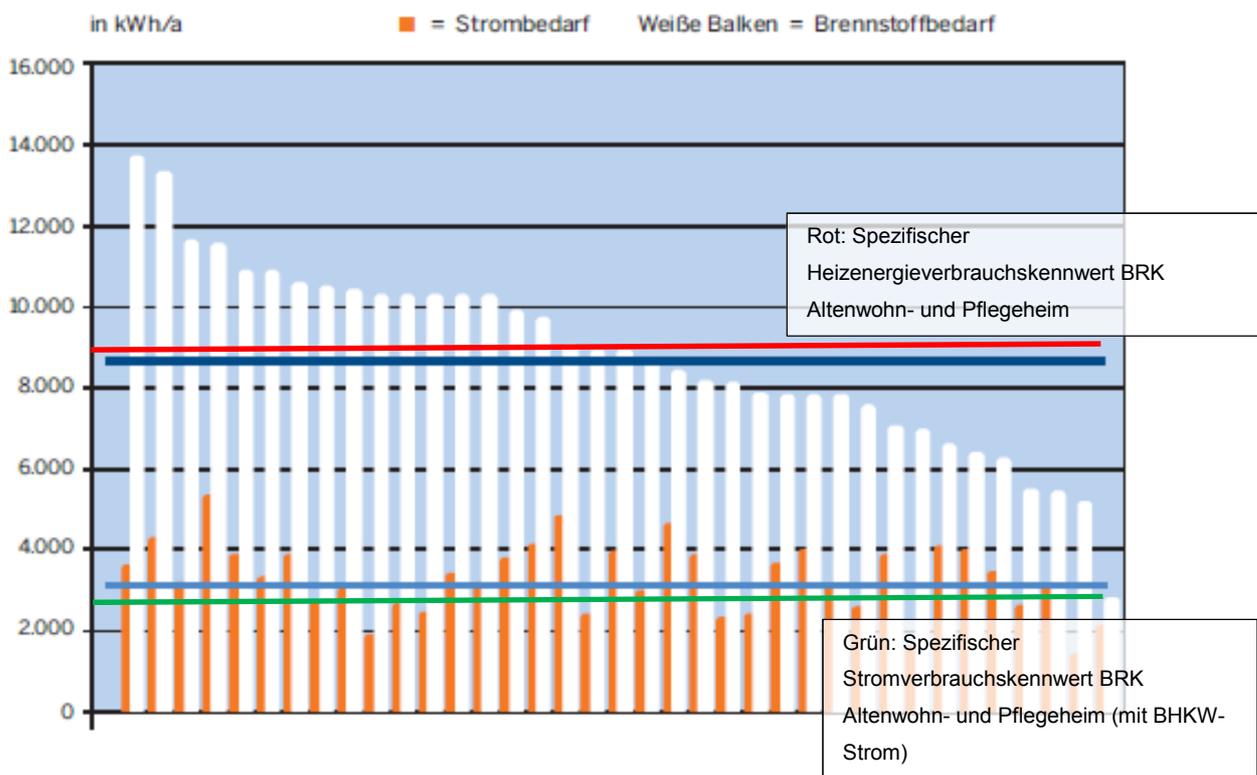
Abbildung 5: Der Stromlastgang des Monat August 2013

### 2.1.3 Die Bewertung des Energieverbrauchs nach Kennwerten

Zur besseren Vergleichbarkeit der oben ermittelten Energieverbrauchskennwerte werden die Bewohnerbezogenen spezifischen Energiekennzahlen (Heizenergieverbrauchskennwert: 9.160 kWh/a; Stromverbrauchskennwert 2.650 kWh/a) des derzeitigen Energieverbrauchs im Altenheim in Bad Neustadt mit den in der Studie der Energie-Agentur NRW verglichen. In diesem Leitfaden „Effiziente Energienutzung in Alten- und Pflegeheimen“ aus dem Jahr 2008 werden Durchschnittswerte des bewohnerspezifischen Endenergieeinsatzes für Strom und Brennstoff aus einer direkten Umfrage dargestellt.

**Abbildung 1**

Verteilung und Durchschnittswerte (horizontale Linien) des bewohnerspezifischen Endenergie-Einsatzes aller Heime, die an der Fragebogenaktion teilgenommen haben.



**Abbildung 6: Energieverbrauchskennwerte in Altenheimen [Quelle: EnergieAgentur.NRW]**

Der **spezifische Heizenergieverbrauchskennwert** in Höhe von 9.130 kWh pro Bewohner und Jahr des Altenheimes liegt knapp über dem in der Studie genannten Vergleichskennwert.

Der spezifische Stromverbrauchskennwert in Höhe von rund 2.650 kWh pro Bewohner und Jahr liegt unter dem Kennwert der Studie.

### 2.1.4 Die CO<sub>2</sub>-Bilanz im Ist-Zustand

Der Primärenergieverbrauch und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Ist-Zustand wird aus dem mittleren Energieverbrauch der letzten Jahre und den jeweiligen Umrechnungsfaktoren ermittelt. Der Primärenergieaufwand für die Energieversorgung im BRK Alten- und Pflegeheim Bad Neustadt liegt jährlich bei rund 1.419.000 kWh.

Aus dem mittleren Energieverbrauch der letzten Jahre resultiert ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 326 Tonnen. Die Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Bilanz im Ist-Zustand ist in Tabelle 6 dargestellt. Die Tabelle enthält ebenfalls die Umrechnungsfaktoren für die jeweils eingesetzten Energieträger.

**Tabelle 6: Die CO<sub>2</sub>- und Primärenergiebilanz im Ausgangszustand**

		Strombezug (Mix)	Verdrängungs- strommix	Erdgas	Summe
Primärenergiefaktor *)	[-]	2,4	-2,8	1,1	-
Primärenergiebedarf	[kWh/a]	438.648	-385.000	1.366.152	1.419.800
CO <sub>2</sub> - Äquivalent	[g/kWh]	624	-624	240	-
CO <sub>2</sub> - Emissionen	[t/a]	114	-86	298	326

\*) nicht regenerativer Anteil

### 2.1.5 Die Energiekosten im Ist-Zustand

Die Energiekosten sind in den Kapiteln 2.1.1 und 2.1.2 bereits mit dargestellt. Für das BRK Alten- und Pflegeheim betragen die jährlichen Strom- und Gasbezugskosten in Summe rund 124.000 € (netto).

Bei jährlichen **Erdgasbezugskosten für die Gebäudebeheizung** von rund 89.085 € (netto) ergibt sich ein mittlerer spezifische Gasmischpreis von rund 7,3 Cent/kWh<sub>Hi</sub> (netto). Die Kosten für das **Küchengas** betragen rund 1.870 €/a (netto). Es ergibt sich ein spezifischer Gasmischpreis von rund 8,6 Cent/kWh<sub>Hi</sub> (netto).

Der spezifische Strommischpreis für den **Allgemeinstrom** im Altenheim liegt im Mittel der letzten zwei Jahre bei rund 18,41 Cent/kWh (netto). Die Allgmeinstromkosten betragen rund 32.670 €/a (netto).

## 2.1.6 Erfassung und Bewertung der Gebäudehülle

Im Folgenden wird die Gebäudesituation auf Grundlage der Baualtersklassen bzw. typischen Bauteilaufbauten bewertet. Zur Gebäudebewertung steht auch der Wärme- und Schallschutzberechnung aus dem Jahre 1982 zur Verfügung. Für unbekannte Wand- oder Schichtaufbauten wird die „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand bzw. Wohngebäudebestand des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vom 30. Juli 2009“ zugrunde gelegt. In den folgenden Tabellen sind die U-Werte der einzelnen Bauteile aufgeführt. Zum Vergleich werden die für den Sanierungsfall in der EnEV 2014 angegebenen U-Werte für Wohngebäude und Nichtwohngebäude sowie die Mindestanforderungen der KfW an den U-Wert im Sanierungsfall mit aufgeführt.

In Tabelle 7 sind die ermittelten U-Werte für das Pflegeheim Bad Neustadt dargestellt. Es werden zunächst die U-Werte im Ausgangszustand für die wärmeübertragende Hüllfläche ermittelt.

**Tabelle 7: Die Gebäudebewertung des Pflegeheimes Bad Neustadt [Quelle: eigene Berechnungen und Anton Gottwalt – Beratender Ingenieur für Bauwesen und Statik 1982]**

Bauteil [-]	U-Wert		U-Wert	U-Wert
	Ist-Zustand [W/m <sup>2</sup> K]		nach EnEV [W/m <sup>2</sup> K]	nach KfW [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwände	0,70	✘	0,24	0,20
Fenster	3,00	✘	1,30	0,95
Bodenplatte	0,70	✘	0,50	0,25
Oberste Geschossdecke	0,40	✘	0,24	0,14
Schrägdach	0,30	✘	0,24	0,14
Abseitenwände	0,75	✘	0,24	0,25
Flächen gegen Erde	0,80	✘	0,30	0,25

Wie aus obiger Tabelle ersichtlich wird, halten keine Bauteile die Anforderungen an den U-Wert im Sanierungsfall nach EnEV bzw. KfW ein. Den höchsten U-Wert weisen die Fenster mit einem Wert von 3,0 W/m<sup>2</sup>K auf.

### 3 Möglichkeiten der Effizienzsteigerung und Energieeinsparung

#### 3.1 Allgemeine Möglichkeiten der Effizienzsteigerung

##### 3.1.1 Ausarbeitung nicht- investiver Maßnahmen - Nutzerverhalten

Nicht- investive Maßnahmen zur Energieeinsparung bauen auf der Änderung der Nutzungsgewohnheiten auf. Hierzu zählt die Information der Mitarbeiter bzw. Bewohner, wie und wo Energie gespart werden kann. Nicht- investive Maßnahmen sind zum einen Richtiges Lüften, Abschaltung nicht genutzter Geräte/Maschinen, effizienter Einsatz vorhandener Heizungstechnik.

##### Lüften:

Richtiges Lüften ist vor allem in Gebäuden ohne geregelte Lüftungstechnik wichtig, um ein gesundes Raumklima zu schaffen, Pilzbefall zu vermeiden und die Heizkosten möglichst niedrig zu halten.

Das Heizkörperthermostat unter dem Fenster sollte geschlossen werden, um unnötige Wärmeverluste während des Lüftens zu vermeiden. Querlüften (Lüften bei weit geöffneten, gegenüberliegenden Fenstern) ist effektiver als die Fenster über lange Zeit gekippt zu lassen.

##### Optimale Raumtemperatur/ -bedingungen:

Grundsätzlich gilt, dass Temperaturen von 19 bis 22°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 35 bis 60% eingehalten werden sollten, um das Raumklima als behaglich zu empfinden. Die optimale Luftfeuchtigkeit kann mit einem Hygrometer überprüft werden. Zu empfehlen sind grundsätzlich Lüftungszeiten von ca. 15 Minuten. Je kälter es draußen ist, desto kürzer kann gelüftet werden.

Häufig werden Räume überheizt, d. h. es werden Temperaturen von über 22° bis 24°C eingestellt. Durch die Absenkung der Raumtemperatur um 1°C kann der Energieverbrauch um bis zu 6% gesenkt werden. Die Einstellung der Raumtemperaturen kann z. B. durch den Hausmeister in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden. Des Weiteren sollte die Raumtemperatur nach Feierabend bzw. nach den Veranstaltungen in ungenutzten Räumen um rund 5 K abgesenkt werden.

Hinweis: Werden mehr als 1/3 der Fensterflächen erneuert, so sollte der Einsatz von kontrollierten Be- und Entlüftungssystemen detailliert überprüft. Vor allem im Altenwohn- und Pflegebereich ist die Sicherstellung eines ausreichenden Luftwechsels durch eine manuelle Fensterlüftung nur schwer sicherzustellen. Die Folgen können Kondenswasser- und Schimmelbildung sein. Zudem verschlechtert sich das Behaglichkeitsgefühl bei alter und verbrauchter Raumluft. Durch eine effiziente Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung kann zu dem Energieeinsatz für deutlich gesenkt werden. Moderne Lüftungsanlagen schaffen Wärmerückgewinnungsraten von 90%.

#### Beleuchtung:

In den WC-Räumen (Allgemeine-WC und Personal-WC) und wenig frequentierten Gebäudeteilen sollte das Licht ausgeschaltet werden. Oftmals sind in WC-Bereichen die Beleuchtungen den ganzen Tag in Betrieb. Bei einer angenommenen Nutzungszeit von rund 10 Stunden am Tag ergibt sich bei drei 60 Watt Glühbirnen ein täglicher Energieverbrauch von 1,8 kWh/d bzw. 450 kWh/a. Unter der Annahme, dass bei regelmäßigem Ausschalten der WC-Beleuchtung die tägliche Betriebsdauer auf rund 3 Stunden gesenkt werden kann, ergibt sich eine jährliche Energieeinsparung von 315 kWh/a. Bei einem Strompreis von rund 20 Cent/kWh können jährlich rund 65 € und 200 kg CO<sub>2</sub> eingespart werden. Um die Sensibilisierung in den Bürobereichen der Mitarbeiter zu erhöhen, sollten in diesen Bereichen Hinweisschilder angebracht werden. Alternativ kann die Nachrüstung von Bewegungsmeldern sinnvoll sein. Auch im Bereich der Keller bzw. Gemeinschaftskeller ist zu beobachten, dass das Licht oftmals vergessen wird. Hier können entsprechende Hinweise den Nutzer nochmals sensibilisieren, das Licht auszuschalten.

### **3.1.2 Ausarbeitung von Sanierungsoptionen in der Anlagentechnik**

Der Großteil der Energie, die in den Gebäuden der Wohnungsgenossenschaft München-Süd eG verbraucht wird, fällt in den vermieten Wohnungen an. Auch hier ist im Bereich effizienter Beleuchtungstechniken vermutlich enormes Einsparpotential vorhanden. Im Folgenden werden daher allgemeine Einsparmöglichkeiten dargestellt, die für die Mieter ebenfalls interessant sind. Zur entsprechenden Verbreitung dieser Informationen wird empfohlen, die einen entsprechenden Aushang in den Flurbereichen der Gebäude anzubringen.

#### **3.1.2.1 Beleuchtung**

##### **Glühbirnen**

Die Beleuchtung hat allgemein einen wesentlichen Anteil am Stromverbrauch. In den meisten Gebäudeteilen sind teilweise Leuchtstofflampen im Einsatz.

##### **Leuchtstofflampen**

Leuchtstofflampen sind mit einem Vorschaltgerät ausgestattet. Hier wird unterschieden zwischen:

- KVG (konventionelles Vorschaltgerät)
- VVG (verlustarmes Vorschaltgerät)
- EVG (elektronischen Vorschaltgerät)

Einsparpotential bieten bei Leuchtstofflampen somit in erster Linie die Vorschaltgeräte. So haben beispielsweise konventionelle Vorschaltgeräte hohe Verlustleistungen im Vergleich zu elektronischen Vorschaltgeräten. Die Abbildung 7 zeigt die mögliche Einsparung durch Ersatz energiesparender Leuchtstofflampen und Vorschaltgeräten.

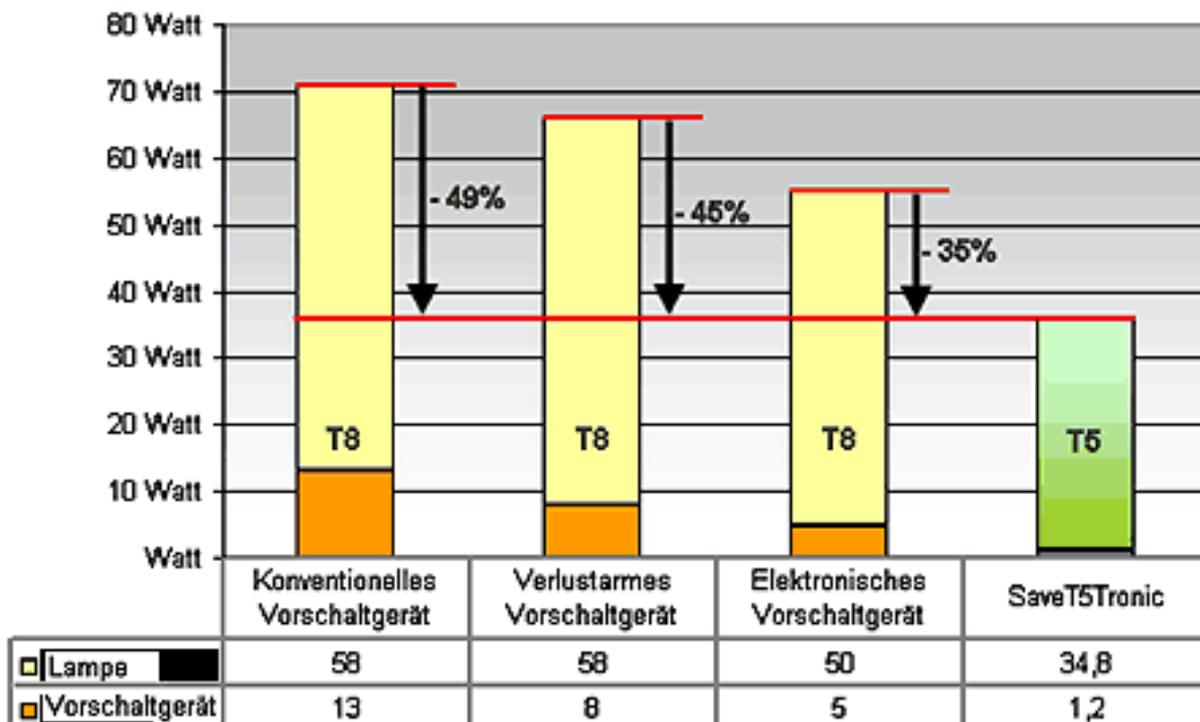


Abbildung 7: Einsparpotential bei Leuchtstofflampen<sup>1</sup>

Es ist jedoch zu beachten, dass bei Leuchten, die 15 Jahre und älter sind, eine Umrüstung der Vorschaltgeräte zum Teil aus technischen Gründen nicht möglich oder nicht wirtschaftlich ist.

Bevor ein Tausch des Vorschaltgerätes in Betracht gezogen wird, sollte auch berücksichtigt werden, dass sich bei Leuchten über die Jahre der Wirkungsgrad verschlechtert hat und die Leuchtmittel zudem den größten Teil ihrer Betriebsdauer hinter sich haben. Ferner sind die Raster und Reflektoren häufig verschmutzt oder verblichen. Aus diesen Gründen ist die Lichtausbeute gegenüber neuer Leuchten bis zu 40% geringer. Bei Leuchten diesen Alters ist auch zu bedenken, dass es oftmals keine Ersatzteile wie Abdeckungen, Raster usw. mehr gibt. Durch Austausch der bestehenden Leuchten gegen neue Leuchtkörper mit einer höheren Lichtausbeute, kann zudem die Anzahl der benötigten Leuchten reduziert werden und die geforderten Werte für die Beleuchtungsstärke trotzdem erreicht werden.

Teilweise kann auch die Installation von Leuchtstoffröhren mit LED- Technik erfolgen. Der Einsatz von LED- Leuchtstoffröhren kann den Stromverbrauch deutlich senken. Es ist zu beachten, dass bei KVG und VVG der vorhandene Starter gegen einen entsprechenden Überbrückerstarter zu tauschen ist. Der Einsatz von LED- Leuchtstoffröhren bei EVG ist nicht ohne weitere Umbaumaßnahmen möglich.

<sup>1</sup> <http://www.energiespar-basar.de>, 2009

Bei LED-Röhren ist darauf zu achten, dass die Röhren eine VDE oder TÜV Zertifizierung aufweisen. LED-Röhren müssen die aktuellen VDE-Direktiven einhalten und mit VDE oder TÜV zertifiziert sein. Mit zugelassenen LED-Röhren gibt es aktuell keine rechtlichen und versicherungstechnischen Probleme mehr.

### 3.1.2.2 Heizung

#### Wärmeerzeuger

Die **Lebensdauer für Wärmeerzeuger** beträgt nach VDI 2067 20 Jahre. Kessel die über 20 Jahre alt sind, haben damit ihre Lebensdauer nach VDI 2076 erreicht und weisen meist geringe Anlagennutzungsgrade auf. Eine erforderliche Kesselerneuerung ist absehbar. Der Anlagennutzungsgrad wird bestimmt durch den Wirkungsgrad des Brenners und des Kessels, den Abgasverlust und den Bereitschaftsverlusten. Durch eine Erneuerung des Kessels kann der Energiedurchsatz im Gegensatz zum alten Kessel um ca. 5 bis 10% gesenkt werden. Neue Heizanlagen weisen neben besserer Wärmedämmung auch eine höhere Brennstoffausnutzung auf.

**Nutzung** des (im Verbrennungsabgas enthaltenen) **Brennwertes** kann die die Effizienz der Wärmeerzeuger deutlich steigern. Voraussetzung für die maximale latente Wärmenutzung ist eine Unterschreitung des Abgastaupunktes um 15°C. (Der Taupunkt bei Erdgas liegt bei ungefähr 55°C und bei Heizöl bei 47°C.) Die niedrigen Rücklauftemperaturen setzen eine geeignete Anlagentechnik mit Wärmeübergabe durch Flächenheizungen wie z.B. Fußboden- oder Wandheizung bzw. die entsprechende Dimensionierung der Heizkörper voraus. Bei Systemen mit Heizkörpern kommt es in den Wintermonaten, in denen hohe Heizleistungen notwendig sind zu deutlich höheren Rücklauftemperaturen, wodurch die Brennwerttechnik nur teilweise oder nicht genutzt werden kann. Um die Nutzung des Brennwertes sicher zu stellen sollten die Systemtemperaturen überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

#### Pumpen

Die Heizkreise des Pflegeheimes werden zum Großteil durch stufengeregelte Umwälzpumpen versorgt. Ein Austausch und Ersatz dieser Pumpen durch hocheffiziente elektronisch geregelte Umwälzpumpen hat sich in der Regel bereits nach wenigen Jahren amortisiert. Der Stromverbrauch je Pumpe kann bis zu 75 % gesenkt werden.

Ein detailliertes Berechnungsbeispiel anhand der einer Grundfos UPE 32 - 60 ist in nachstehender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 8: Das Einsparpotential beim Tausch einer Grundfos UPE 32 - 60**

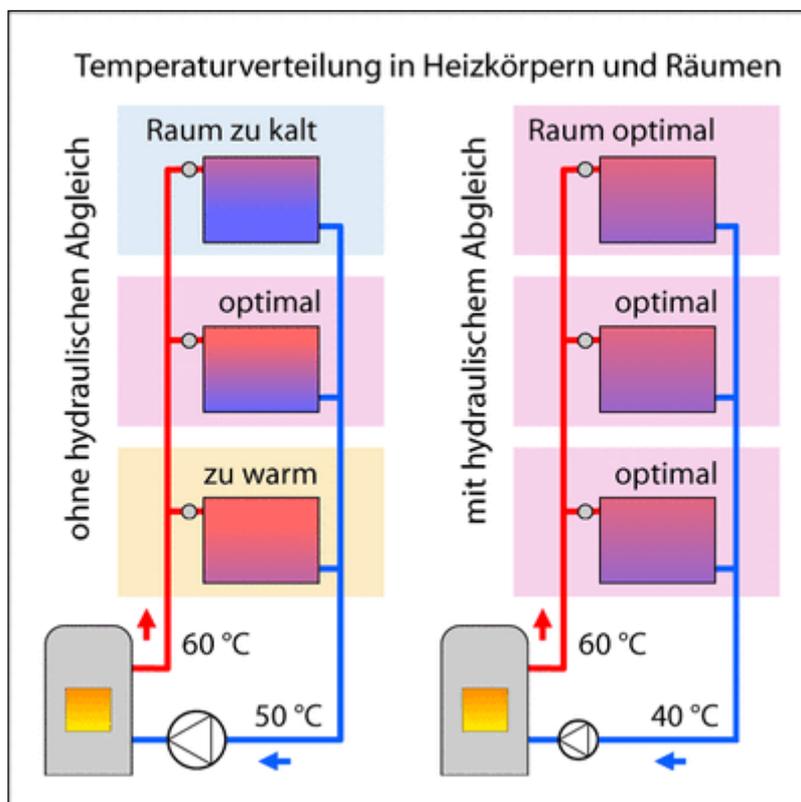
		Bestandspumpe	Tauschpumpe
Typ	[-]	Grundfos UPE 32 - 60	Hocheffizienzpumpe
Leistung <sup>1</sup>	[W]	40 - 100	73
Stromverbrauch	[kWh/a]	141	17
CO <sub>2</sub> - Ausstoß	[kg/a]	80	10

1) Den technischen Daten des Wilo- LCC- Pumpenchecks entnommen.

Wie obiges Berechnungsbeispiel zeigt, kann der Tausch ein alten Standardpumpe durch eine Hocheffizienzpumpe die Betriebskosten und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich senken.

### Hydraulischer Abgleich

Warmwasserpumpenheizungen sind aus verzweigten Rohrleitungssystemen aufgebaut. Durch diese Systeme muss überall gleich viel Wasser fließen, um ein gleichmäßiges Aufheizen zu gewährleisten und einem schlechten Regelverhalten der Thermostatventile vorzubeugen. Durch die Rohrreibung und verschiedene Einbauten in dieses Rohrsystem kommt es zum Druckverlust. Die Folge kann sein, dass nicht mehr durch alle Heizkörper die gleiche Menge an Warmwasser fließt und einige Heizkörper mehr Wärme und andere weniger Wärme abgeben. Dies hat zur Folge, dass der Pumpendruck erhöht wird (höhere Pumpenstufe, größere Pumpe). Die Folge falsch dimensionierter Pumpen sind Fließgeräusche, denen durch so genannte Überströmventile entgegengewirkt werden kann, d. h. überschüssige Energie wird vernichtet. Zudem steigt bei erhöhtem Druck die Rücklauftemperatur, wodurch der Brennwert (bei Brennwertheizungen) nicht genutzt werden kann. Um dieser Energievernichtung vorzubeugen, ist es sinnvoll die Heizanlage hydraulisch abzugleichen. Dies erfolgt durch Begrenzung des Durchflusses an den entsprechenden Stellen des Rohrleitungssystems. Durch diese Begrenzung wird erreicht, dass jedem Heizkörper der tatsächlich benötigte Volumenstrom zur Verfügung gestellt wird. Anschließend sollten die Pumpenleistungen überprüft werden und gegen elektronisch geregelte Pumpen ausgetauscht werden. Abbildung 8 zeigt den Vergleich einer Heizungsverteilung mit und ohne hydraulischen Abgleich.



**Abbildung 8: Heizkreise mit und ohne hydraulischen Abgleich<sup>2</sup>**

Eine regelmäßige Wartung der Wärmeerzeuger ist für einen effizienten Betrieb unerlässlich. Bei dem jährlich wiederkehrenden Kundendienst wird neben der Funktionsprüfung der Regelung, der Brenner und der Kessel gereinigt, begutachtet und defekte Teile ausgetauscht. Zudem können mit dem Fachpersonal Vorort mögliche regelungstechnisch anspruchsvolle Änderungen vorgenommen werden.

Die Entlüftung der Heizkreise zum Beginn der Heizperiode ist dringend zu empfehlen, da bei Luft einschläüssen die Heizleistung der Wärmeübertrager geringer ausfällt und somit zum Erreichen der eingestellten Heizleistung höhere Vorlauftemperaturen bzw. eine höhere Pumpenleistung notwendig wird.

Auf eine fachgerechte Isolierung aller warmwasserführenden Leitungen ist zur Minimierung von Verlusten zu achten. Dabei ist zu beachten, dass auch sämtliche Armaturen wie Pumpen, Schieber, Verteiler und Ventile gedämmt sind. Die Isolierung der Wärmeverteilung weist ein hohes Kosten- / Nutzenpotential auf.

Die Thermostatventile an Heizkörpern sollten spätestens nach 15 Jahren erneuert werden. Das Einsparpotential bei Erneuerung nach 15 Jahren beträgt bis zu 15 %.

<sup>2</sup> <http://www.energiesparen-im-hausalt.de>

Zur Reduktion des Wärmebedarfs, vor allem von älteren Gebäuden bieten sich verschiedene Sanierungsmaßnahmen, wie zum Beispiel die Wärmedämmung der Gebäudehüllflächen bzw. ein Fenstertausch an. Hierbei sind jedoch wirtschaftliche als auch ökologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Bei der Sanierung von Gebäuden insbesondere bei der Wärmedämmung von Häusern sind, wie im vorangegangenen Kapitel bereits erwähnt, entsprechende Regeln zu beachten und Grenzwerte einzuhalten. Diese sind in der EnEV 2014 im Anhang 3 geregelt. Diese Anforderungen sind bei einer nachträglichen Änderung von Außenbauteilen einzuhalten.

## 3.2 Die Maßnahmen der Gebäudesanierung

### 3.2.1 Fenstertausch

Zur Ermittlung der energetischen Qualität eines Fensters müssen zum einen die bauphysikalischen Eigenschaften sowie die mechanischen Eigenschaften des Bauteils betrachtet werden. Die bauphysikalische Betrachtung erfolgt über den U-Wert, die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf die Dichtheit der Fenster. Bei nicht richtig schließenden Fenstern entstehen unerwünschte Einströmungen von Außenluft. Dies führt, vor allem bei unter dem Fenster angeordneten Heizkörperthermostaten, zu unnötigen Wärmeverlusten. Heizenergieverluste durch undichte Fenster lassen sich nicht detailliert ermitteln.

Der  $U_w$ -Wert der Fenster sollte sich dabei am U-Wert der Außenwände orientieren. Ist der  $U_w$ -Wert des Fensters besser als die benachbarten Wandbereiche, kann bei hoher Raumlufffeuchte nahezu unbemerkt Kondensat auf den Wandoberflächen entstehen, ohne dass gleichzeitig die Fenster anlaufen. Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass Fenster immer die schlechtesten Bauteile eines Gebäudes sein sollten, so kann das Risiko von Tauwasserausfall im Bereich der Außenwände, Heizkörpernische und vor allem im Bereich von Wärmebrücken minimiert werden.

Als Sanierungsvorschlag wird der Austausch der Fenster durch Fenster mit ein einem U-Wert von  $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$  berücksichtigt. Hierbei ist auf einen nötigen Mindestluftwechsel zu achten. Dieser muss, wenn keine Lüftungsanlage installiert werden durch den Nutzer sichergestellt werden. Nur so kann die Gefahr von Kondenswasser- und Schimmelbildung ausgeschlossen werden.

### 3.2.2 Fassadendämmung (von außen)

Eine Möglichkeit der Reduktion des Wärmebedarfs ist die Wärmedämmung der Gebäudehülle mittels Wärmedämmverbundsystemen. Hier sind unterschiedliche Varianten realisierbar.

- Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Vorgehängte, hinterlüftete Fassaden
- Wärmedämmputze
- Transparente Wärmedämmsysteme (TWD)

Auf die einzelnen Dämmsysteme wird nicht näher eingegangen, da diese bereits zu Standardmaßnahmen zählen und der Einsatz der jeweiligen Maßnahme von Fall zu Fall unterschieden wird.

Im Rahmen der Studie wird die Montage eines Wärmedämmverbundsystems mit einer Stärke von ca. 16 cm und einer Wärmeleitgruppe (WLG) 035 angesetzt. Der U-Wert im Ausgangszustand kann von rund 0,70 W/m<sup>2</sup>K auf rund 0,17 W/m<sup>2</sup>K gesenkt werden.

### **3.2.3 Abseitenwände/Wände zu unbeheizten Räumen (von außen)**

Über Innenwände zu unbeheizten Räumen entsteht häufig ein hoher Wärmeverlust. Auch wenn der Temperaturunterschied zwischen den beheizten und unbeheizten Bereichen nicht sehr groß ist wie bei Außenwänden, so werden diese Wände meist in geringerer Stärke als die Außenwände ausgeführt. Im Rahmen der Studie werden daher die Wandbereiche zu unbeheizten Räumen mit einer ca. 12 cm dicken Wärmedämmung (WLG 035) gedämmt. Der U-Wert reduziert sich von rund 0,75 W/m<sup>2</sup>K auf ca. 0,23 W/m<sup>2</sup>K.

### **3.2.4 Dämmung der Bodenplatte gegen Erdreich**

Die Dämmung der Bodenplatte von beheizten Räumen gegen Erdreich wird nicht weiter betrachtet, da hier nur eine Dämmung von oben erfolgen kann. Hierzu muss der Boden erneuert werden, die Türanschlüsse, Sockelleisten usw. angepasst werden. Hier fallen dementsprechend hohe Kosten an. Diese Variante wird im Rahmen der Studie nicht berücksichtigt.

### **3.2.5 Dämmung der obersten Geschossdecken**

Seit 01. Januar 2012 müssen nach EnEV 2009 alle begehbaren und nicht begehbaren obersten Geschossdecken gedämmt sein sofern sie nicht die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz einhalten. Die Dämmung der obersten Geschossdecke kann begehbar als auch nicht begehbar ausgeführt werden. Bei einer begehbaren Ausführung werden entweder druckfeste Wärmedämmplatten (mit oder ohne Nutzschicht) ein- oder zweilagig verlegt. Alternativ kann die Montage von mineralischen Faserdämmstoffen zwischen zusätzlich

aufgebrachten Holzkonstruktionen erfolgen. Für den Fall der nicht begehbaren Geschossdeckendämmung kann ein mineralischer Faserdämmstoff ohne weitere Verstärkungen verlegt werden.

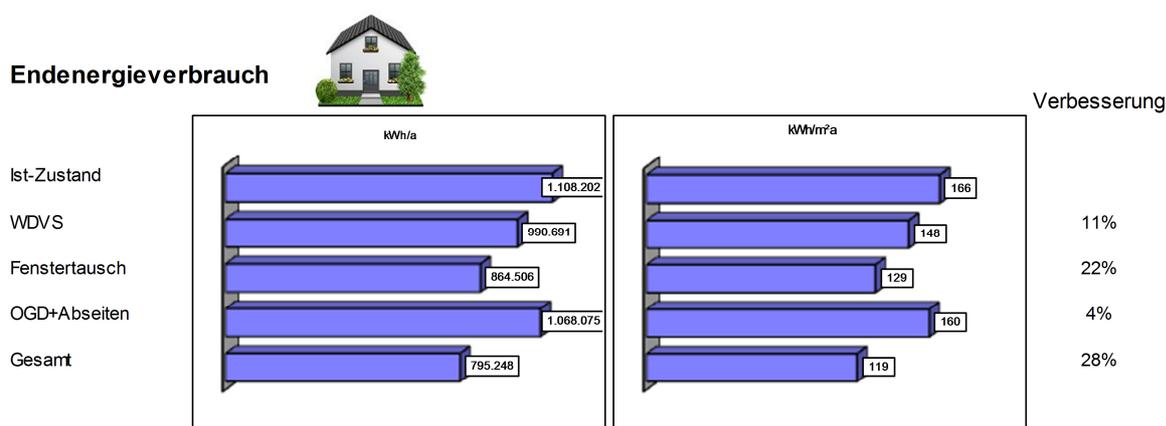
Die oberste Geschossdecke des Pflegeheimes wird von oben mit einer mineralischen Wärmedämmung von rund 20 cm (WLG 040) gedämmt. Es ergibt sich ein U-Wert im sanierten Zustand von rund 0,14 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.3 Das Einsparpotential

Im Rahmen der Studie wird das Einsparpotential durch eine effiziente Dämmung der Gebäudehülle mit Hilfe einer überschlägigen Hüllflächenberechnung ermittelt. Zunächst wird der Energiebedarf des Gebäudes im Ausgangszustand ermittelt. Anschließend werden die oben dargestellten Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt und das Einsparpotential berechnet. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der Energieeinsparverordnung und den Berechnungsregeln der DIN 4701-10 sowie 4108. Die Berechnungen nach Norm basieren auf einem Norm-Nutzerverhalten. Da dies nur in engen Grenzen für den realen Betrieb eines Altenwohn- und Pflegeheimes angesetzt werden kann, werden die berechneten Einsparungen auf den realen Energieverbrauch des Gebäudes angesetzt.

Kapitel 2.1.1 hat gezeigt, dass für die Warmwasserbereitung und Gebäudebeheizung rund 1.105.000 kWh<sub>Hi</sub> Erdgas (witterungsbereinigt) verbraucht werden. Der Anteil für die Stromproduktion der vier BHKW-Module ist hier bereits abgezogen.

In Abbildung 9 sind die Energieeinsparpotentiale für die einzelnen Sanierungsmaßnahmen aus Kapitel 3.1 dargestellt. Durch eine Gesamtanierung des Gebäudes kann der Endenergieeinsatz für die Gebäudebeheizung und Brauchwasserbereitung um rund 28 % gesenkt werden. Die geringste Einsparung wird mit der Dämmung der obersten Geschossdecke und der Abseitenwände erreicht.

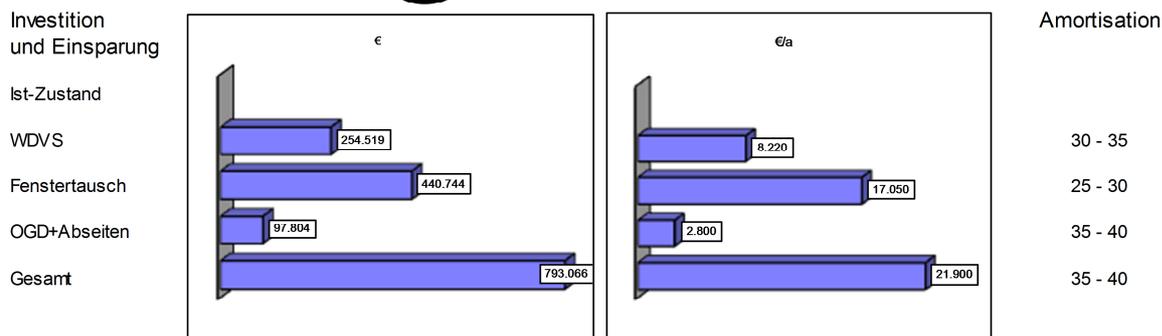


**Abbildung 9: Die Endenergieeinsparpotentiale**

Neben der Energieeinsparung haben die Investitionskosten eine entscheidende Rolle bei der Wahl der Sanierungsmaßnahmen. Diese beeinflussen neben den Energiepreisen die Amortisationsdauer. In Abbildung 10 sind die Investitionskosten und die Amortisationskosten dargestellt. Es wird deutlich, dass eine Komplettsanierung rund 800.000 € (netto) kostet. Die

Kostenprognose basiert auf spezifischen durchschnittlichen Marktpreisen. Für die Berechnung der Gesamtinvestition wurde die Hüllflächentabelle der bereits genannten Wärme- und Schallschutzberechnungen aus 1982 zugrunde gelegt. Die Maßnahmen amortisieren sich nach rund 25 bis 40 Jahren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 dargestellt.

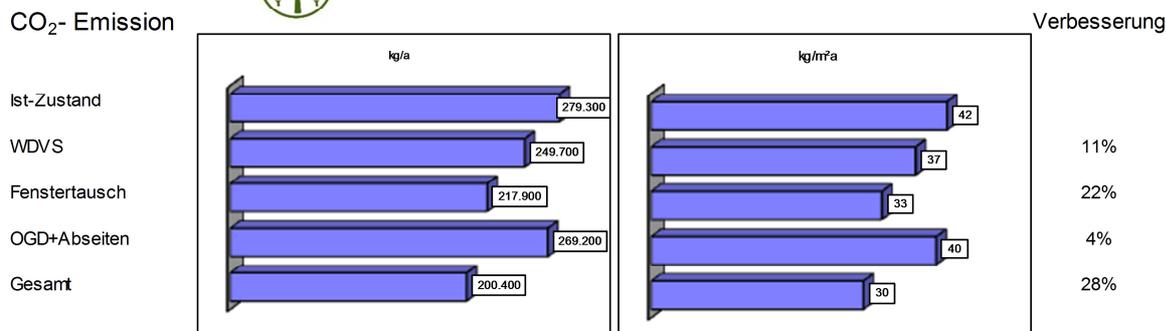
**Investition und Amortisation**



**Abbildung 10: Die Netto-Investitionskosten und die Amortisationsdauer der Sanierungsmaßnahmen**

Neben der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen sind auch die ökologischen Auswirkungen der Sanierung für eine zukunftsweisende Entscheidung zu berücksichtigen. Abbildung 11 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den einzelnen Sanierungsvarianten. Eine Komplettsanierung des Gebäudes kann die CO<sub>2</sub>-Emissionen von rund 279 t/a auf ca. 200 t/a senken.

**Umweltwirkung**



**Abbildung 11: Die Umweltwirkungen der Sanierungsmaßnahmen**

### 3.4 Der künftige Wärmebedarf und die thermische Jahresdauerlinie

Im Ist-Zustand ergibt sich ein witterungsbereinigter Erdgasverbrauch von rund 1.105.000 kWh<sub>H</sub>/a. Wie bereits aufgezeigt wurde, übernehmen die BHKW zu 100 % die Warmwasserbereitung im Altenwohn- und Pflegeheim. Der absolute Warmwasserwärmebedarf beträgt somit rund 312.000 kWh/a. Wird für die Erdgaskessel ein Anlagennutzungsgrad von etwa 0,85 angesetzt, so ergibt sich ein Heizwärmebedarf von rund 607.000 kWh/a für die Gebäudebeheizung. Unter Berücksichtigung der Sanierungsvarianten kann der Gesamtenergiebedarf (Heizung und Warmwasser) um fast 30% gesenkt werden. Es ergibt sich für das Bestandsgebäude nach der Sanierung in Gesamtwärmebedarf von rund 660.000 kWh/a. Die Details sind in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9: Der Heizwärmebedarf vor und nach den Sanierungsmaßnahmen**

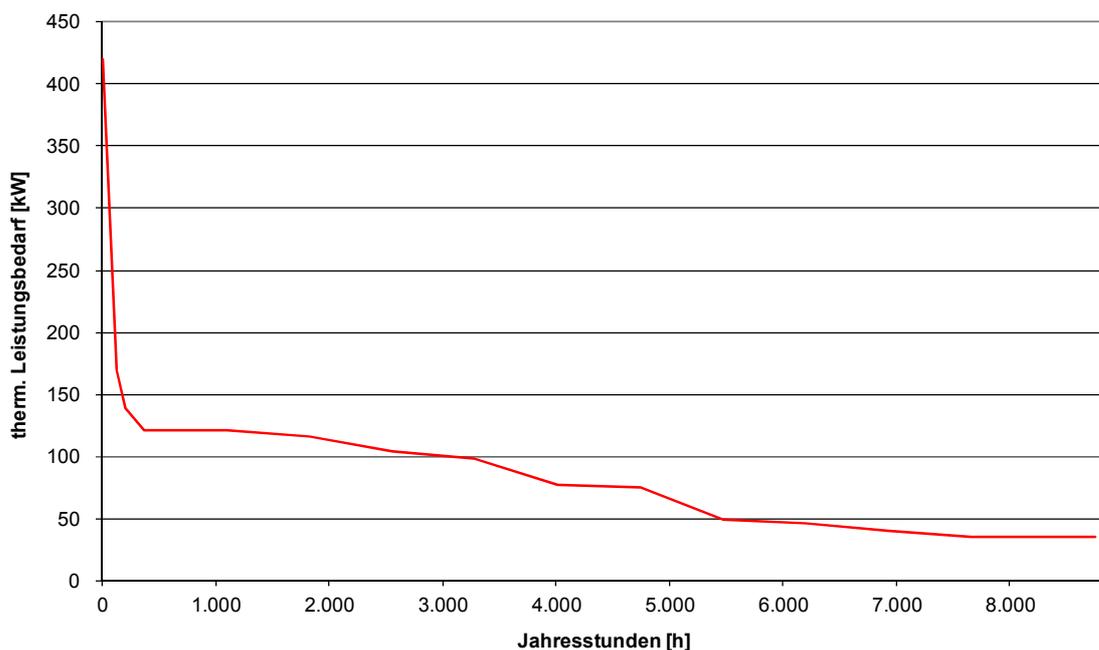
	absolute Werte [kWh/a]	spez. Werte [kWh/m <sup>2</sup> a]
Heizwärmebedarf Ist	607.391	97
Warmwasserwärmebedarf Ist	311.909	50
Summe	919.300	147
<i>nach Sanierung</i>		
Heizwärmebedarf Saniert	346.213	55
Warmwasserwärmebedarf Saniert	311.909	50
Summe	658.122	105

In Abstimmung mit dem Auftraggeber soll die Bettenzahl im Bestandsgebäude auf ca.80 Betten reduziert werden. Im Rahmen der Gebäudeaufstockung werden die Verlustbetten wieder berücksichtigt. In Summe soll die Bettenzahl somit konstant bleiben. Nach einer ersten Prognose des Architekten beträgt die zu erweiternde Fläche ca. 1.500 m<sup>2</sup>. Wird von einem spezifischen Heizwärmebedarf von rund 35 kWh/m<sup>2</sup>a ausgegangen, so ergibt sich ein Wärmebedarf für die Aufstockung rund 52.500 kWh/a.

Für das Gesamtgebäude nach Sanierung und Aufstockung muss ein Heizwärmebedarf von rund 668.000 kWh/a bereitgestellt werden. Auf Grundlage des ermittelten Heizwärmebedarfs im künftigen Endausbau kann mit Hilfe der Gradtagmethode die geordnete thermische Jahresdauerlinie erstellt werden. Die geordnete Jahresdauerlinie des thermischen Leistungsbedarfs ist das zentrale Instrument für den Anlagenplaner. Die Fläche unter der Jahresdauerlinie entspricht dem Jahresnutzwärmebedarf der Liegenschaften. Werden

Wärmeerzeuger in der Grafik flächendeckend eingetragen, kann auf die Laufzeiten und den Anteil an der Jahreswärmebereitstellung der einzelnen Heizaggregate geschlossen werden.

Die Jahresdauerlinie des mittleren thermischen Leistungsbedarfs wird aus den monatlichen Wärmeverbrauchsdaten ermittelt. Die zu installierende Spitzenleistung wird anhand einer Auslastung von 1.600 Jahresvollbenutzungsstunden überschlägig ermittelt und ersetzt nicht die technische Detailplanung bzw. eine Heizlastberechnung.



**Abbildung 12: Die thermische Jahresdauerlinie des Pflegeheims nach der Sanierung und mit Aufstockung**

### 3.5 Prüfung Lüftungstechnischer Maßnahmen

Im Rahmen einer ganzheitlichen Sanierung ist ein Mindestluftwechsel sicherzustellen, um so die Gefahr von Schimmelbildung zu reduzieren. Durch die Sanierung des Gebäudes und vor allem den Tausch von Fenstern wird die Luftdichtheit der Gebäudehülle deutlich erhöht. Dies führt dazu, dass der Luftwechsel durch Gebäudeundichtheiten deutlich verringert.

Das Altenwohn- und Pflegeheim in Bad Neustadt an der Saale besteht zum Großteil aus Bewohnerzimmern mit innenliegenden fensterlosen Bädern. Hier muss die Grundlüftung der innenliegenden Bäder über die DIN 18017 erfolgen. Zur Prüfung der Notwendigkeit von Lüftungstechnischen Maßnahmen wird das Planungstool Lüftungskonzept des Bundesverband für Wohnungslüftung e.V. zugrunde gelegt. In Abbildung 13 und Abbildung 14 sind Auszüge aus der Prüfung der Lüftungstechnischen Maßnahmen dargestellt.

Nach DIN 18017 ist für innenliegende Bäder ein dauernder Abluftvolumenstrom von 40 m<sup>3</sup>/h bzw. ein bedarfsgeführter Abluftvolumenstrom von 60 m<sup>3</sup>/h während der Nutzungszeit sicherzustellen. Die detaillierte Planung und Umsetzung des Luftvolumenstroms erfolgt über das ausführende Planungs- bzw. Ingenieurbüro.



**Bundesverband für  
Wohnungslüftung e.V.**

## Planungstool Lüftungskonzept

### Bewertung lüftungstechnischer Maßnahmen nach DIN 1946-6 Kap. 4.2

**Objektdaten:**

Objektbezeichnung: BRK Seniorenheim Bad Neustadt/Saale  
Strasse, Nr: Hedwig-Fichtelstraße 8  
PLZ, Ort: 97616 Bad Neustadt a.d.S.

**Bearbeiterdaten:**

Bearbeiter: Schedl  
Firmenname: Institut für Energietechnik  
Firmenadresse: IfE GmbH  
Bearbeitungsdatum: 10.02.16

**Auslegung erfolgt nach DIN 18017-3**

**Lüftung von Bädern und Toilettenräumen  
ohne Außenfenster, mit Ventilatoren**

**Zusätzliche Anforderungen an Schall, Hygiene, Effizienz:**

keine zusätzlichen Anforderungen gewählt

**Zusammenfassung/Schlussfolgerung:**

Lüftungstechnische Maßnahme (z.B. Forderung dauernd wirksamer Abluftvolumenströme) ist ausreichend, wenn Lüftung zum Feuchteschutz erreicht wird bei Durchströmung aller Räume (FAQ-Hinweise zu DIN 18017-3/DIN 1946-6! Vorhandene DIN 18017-3 Altanlagen: Prüfung Bestandsschutz)

Datum: 10.02.16

Unterschrift: \_\_\_\_\_

Planungstool Lüftungskonzept Bundesverband für Wohnungslüftung e.V. www.wohnungslueftung-ev.de Version 1.0.1.1

**Abbildung 13: Auszug 1 aus dem Planungstool Lüftungskonzept [Quelle: Planungstool Bundesverband für Wohnungslüftung e.V. und Berechnungen IfE]**

**Auswahl eines Lüftungssystems**

Lüftungssystem	Freie Lüftungssysteme			ventilatorgestützte Lüftungssysteme <sup>1)</sup>														
	Querlüftung (Feuchteschutz)	Querlüftung	Schachtlüftung	Abluftsystem	Zuluftsystem	Zu-/Abluftsystem												
Realisierung der Volumenströme <sup>1)</sup>	FL	RL	NL	IL	FL	RL	NL	IL	FL	RL	NL	IL	FL	RL	NL	IL		
<b>Standardlüftungsanlage, allgemeine Anforderungen nach DIN 1946-6 + DIN 4719 (Mindestanforderungen)</b>																		
Brand-, Schallschutz, Behaglichkeit beachten	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Betrieb mit Feuerstätten	beachten			beachten			mit Sicherheitseinrichtung			-			mit Sicherheitseinrichtung (F-Gerät)					
für fensterlose Räume	-			-			-			DIN 18017-3 beachten			-					
<b>Lüftungsanlage, mit zusätzlich erhöhten Anforderungen nach DIN 1946-6 + DIN 4719 (Qualitäts- und Effizienzverbesserte Anforderungen)</b>																		
Volumenströme ohne Nutzerunterst.	-			-			-			beachten			beachten			beachten		
Verbesserte Ausführung der Geräte							H			E			S					
<b>Allgemeine Angaben zu den Lüftungssystemen</b>																		
Produkte	ALD+ÜLD			ALD+ÜLD			ALD+ÜLD			ALD+ÜLD+Gerät			Gerät+ÜLD+ALD			Gerät+ÜLD		
Wärmerückgewinnung möglich	nein			nein			nein			ja			nein			ja		
Einbindung regenerativer Energien	nein			nein			nein			ja			nein			ja		
Weitere Informationen	<a href="http://www.window.de">www.window.de</a>						<a href="http://www.wohnungsueftung-iv.de">www.wohnungsueftung-iv.de</a>						<a href="http://www.heia.de">www.heia.de</a>					
<b>Anmerkungen:</b>																		
1)	Sicherstellung des Luftvolumenstroms durch Lüftungstechnische Maßnahme (Lüftungssystem)						FL			Lüftung zum Feuchteschutz kleinste ohne Nutzereinfluss sicherzustellender Luftvolumenstroms (ohne aktives Öffnen der Fenster)								
	Sicherstellung des Luftvolumenstroms durch aktives Öffnen der Fenster						RL			Reduzierter Luftvolumenstrom (kleine Lüftungsstufe)								
H	Verbesserte Ausführung der Anlage und des Gerätes bzgl. der <b>Raumluftqualität</b>						NL			Nennlüftungsstufe (Normale Lüftungsstufe bei durchschnittlicher Nutzung)								
E	Verbesserte Ausführung der Anlage und des Gerätes bzgl. der <b>Energieeffizienz</b>						IL			Intensivstufe (große Lüftungsstufe für Spitzenlasten)								
S	Verbesserte Ausführung der Anlage und des Gerätes bzgl. des <b>Schallschutzes</b>						2)			Förderung-/Finanzierungsmöglichkeiten z. B. durch KfW usw. möglich								

Hinweis: Das aktive Öffnen der Fenster ist keine Lüftungstechnische Maßnahme im Sinne der DIN 1946-6

**Abbildung 14: Auszug 2 aus dem Planungstool Lüftungskonzept [Quelle: Planungstool Bundesverband für Wohnungslüftung e.V. und Berechnungen IfE]**

### 3.6 Optimierung von Wärmebrücken

Grundvoraussetzung für die Einsparung von Energie ist ein guter Wärmeschutz der einzelnen Bauteile. Die Güte des Wärmeschutzes ist dabei jedoch nicht nur von der Qualität der Bauteile (U-Wert, Wärmedurchlasswiderstand) abhängig sondern auch vom Wärmestrom, der sich zwischen unterschiedlichen Bauteilen ergibt. Bei einer Erhöhung des Wärmeschutzes wird der Einfluss von den Anschlusssituationen immer bedeutender. Aus diesem Grund werden in Abstimmung mit dem Architekturbüro verschiedene „kritische“ Bauteile detailliert untersucht und gegebenenfalls weiter optimiert. Die Optimierung von diesen Sonderfällen (bestimmte Balkondeckenauskragungen, Überstände, Vor- Rücksprünge, Fenstereinbausituationen, etc.), werden nur im Rahmen einer detaillierten Wärmebrückenberechnung möglich.

Die Berechnung der Wärmebrücken basiert auf DIN 4108 Beiblatt 2 sowie DIN EN ISO 10211 und den darin vorgegebenen Randbedingungen und Annahmen.

In Abbildung 15 ist die Anschlusssituation eines auskragenden Balkons im Bereich der Heizkörpernischen dargestellt. Es ist ersichtlich, dass sich als kälteste Oberflächentemperatur ein Wert von 11,7°C einstellt. Bei einer Raumtemperatur von 20°C ergibt sich hier ein Temperaturfaktor  $f_{RSi}$  von  $<0,7$ . Dieser Temperaturfaktor ist ein Wert für die Schimmelpilzwahrscheinlichkeit. Bei einem Wert unter 0,7 ist die Gefahr von Schimmelpilzwachstum gegeben.



Durch eine energetische Gebäudesanierung (Montage 16cm WDVS) kann die niedrigste Oberflächentemperatur auf ca. 14,8°C. Hierdurch steigt der  $f_{RSi}$  bereits auf über 0,7, siehe nachfolgende Abbildung.

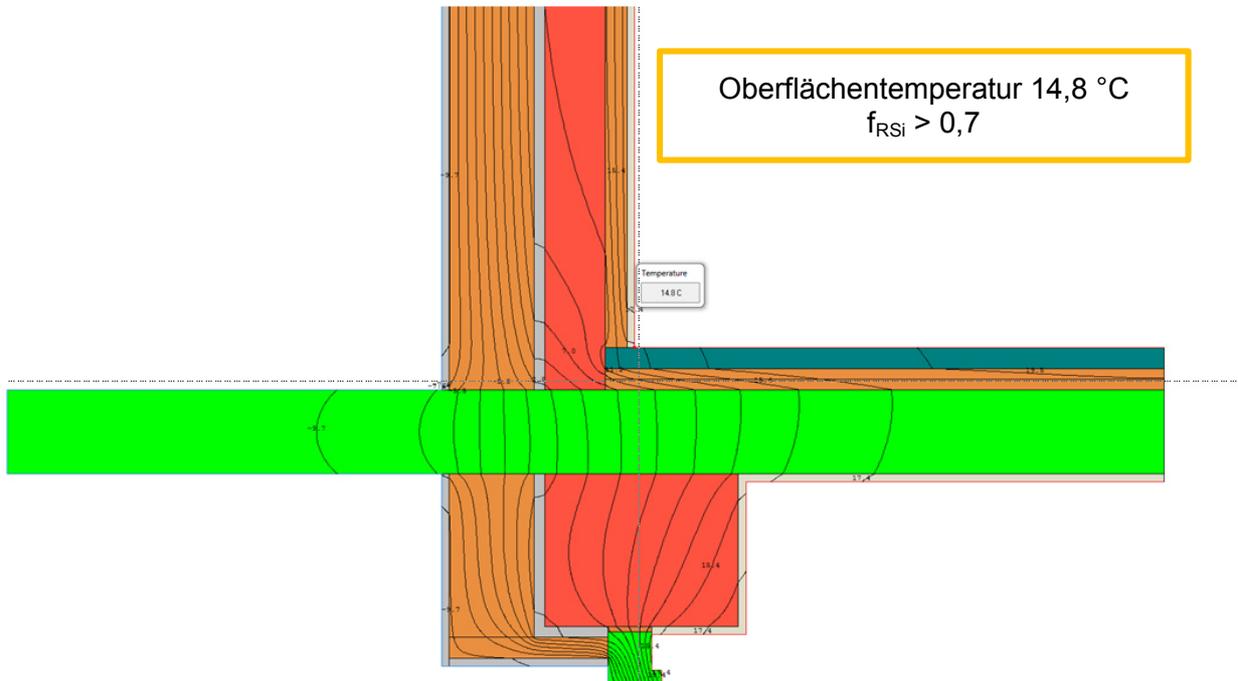
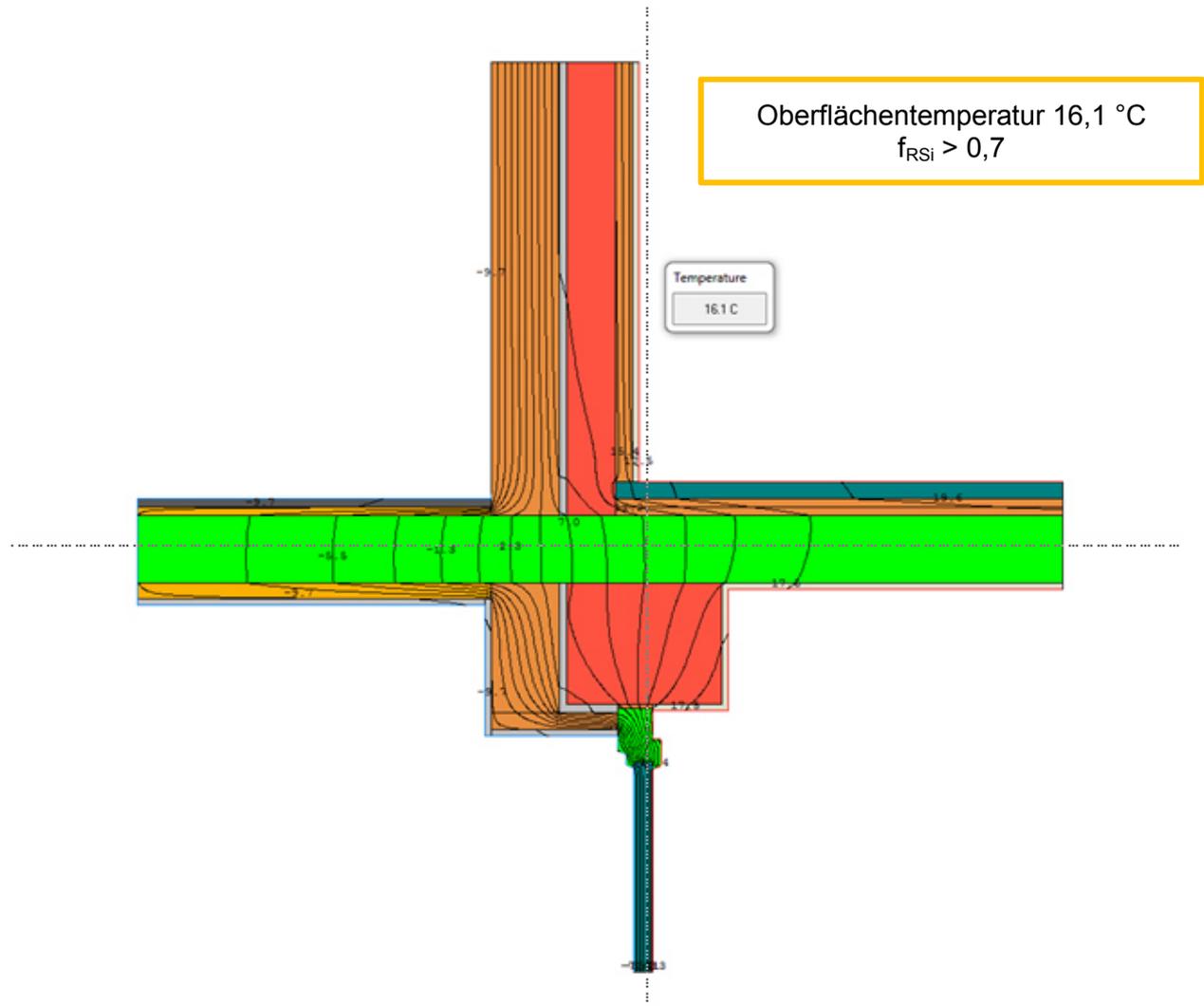


Abbildung 16: Wärmebrückendetail „Auskragende Balkonplatte“ mit WDVS

Durch die Montage einer geringfügigen Wärmedämmung über und unter der Balkonplatte kann die Oberflächentemperatur weiter angehoben werden. Der Wärmeverlust über die auskragende Balkonplatte kann so deutlich reduziert werden. Die Wärmebrückenbetrachtung ist in Abbildung 17 dargestellt.



**Abbildung 17: Wärmebrückendetail „Auskragende Balkonplatte“ mit WDVS und zusätzlicher Balkonumdämmung**

## 4 Die Betrachtung künftiger Energieversorgungsvarianten

Im Folgenden werden auf den ermittelten Verbrauchsdaten und Einsparprognosen aufbauend verschiedene effiziente und moderne Energieversorgungsvarianten detailliert auf deren ökologische Verträglichkeit als auch auf deren Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Da sich moderner und ökologischer Energieversorgungsvarianten immer an einer fossilen Referenzvariante messen müssen, wird als Variante 1 die klassische Versorgung mittels moderner Erdgasfeuerungen untersucht. Alle untersuchten Varianten sind:

- Variante 1.0: Erdgaskessel (Referenz)
- Variante 1.1: Mini-BHKW-Module mit Spitzenlastkessel
- Variante 1.2: Erdgas-BHKW (93kW<sub>th</sub>, 50kW<sub>el</sub>) mit Eigenstromnutzung und Spitzenlastkessel
- Variante 1.3: Erdgas-BHKW (64kW<sub>th</sub>, 33kW<sub>el</sub>) mit Eigenstromnutzung und Spitzenlastkessel
- Variante 1.4: Pelletkessel (ggf. mit Spitzenlastkessel)
- Variante 1.5: Hackgutkessel (ggf. mit Spitzenlastkessel)
- Variante 1.6: Anschluss an Fernwärme der Biomasse-Wärmeversorgung Bad Neustadt GmbH & Co. KG
- Variante 1.7: Solar-Eisspeicher

### 4.1.1 Variante 1.0: Moderne Erdgasfeuerung (Referenz)

In der Referenzvariante werden zwei Erdgaskessel mit einer Nennwärmeleistung von je 210 kW installiert. Der jährliche Erdgasverbrauch beträgt rund 726.000 kWh<sub>Hi</sub>. In Abbildung 18 ist die Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.

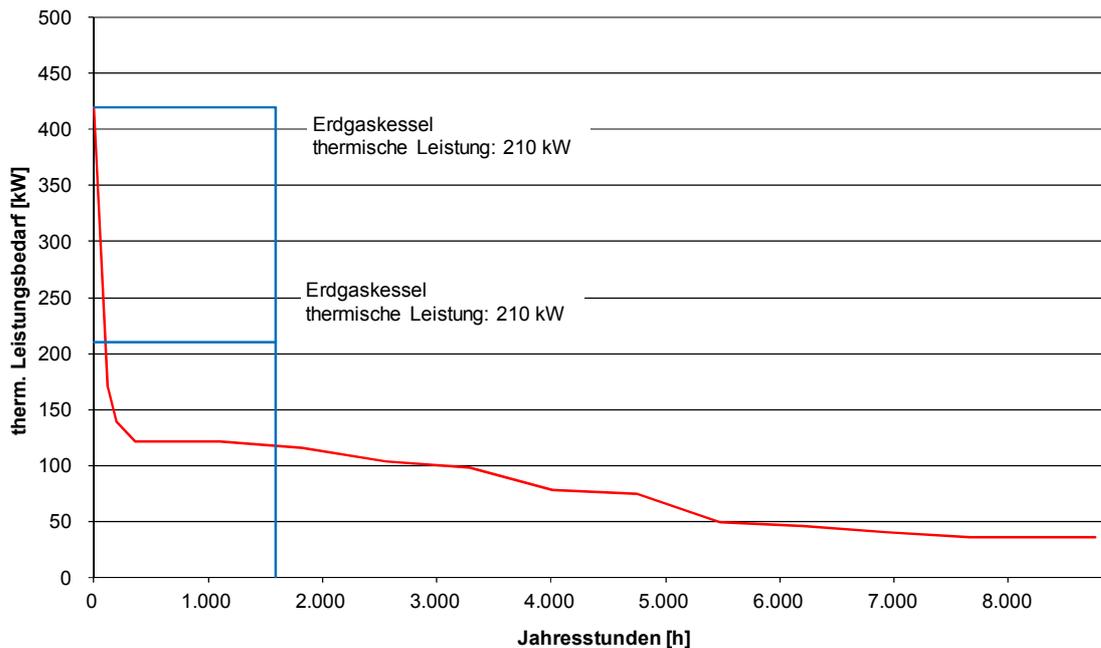


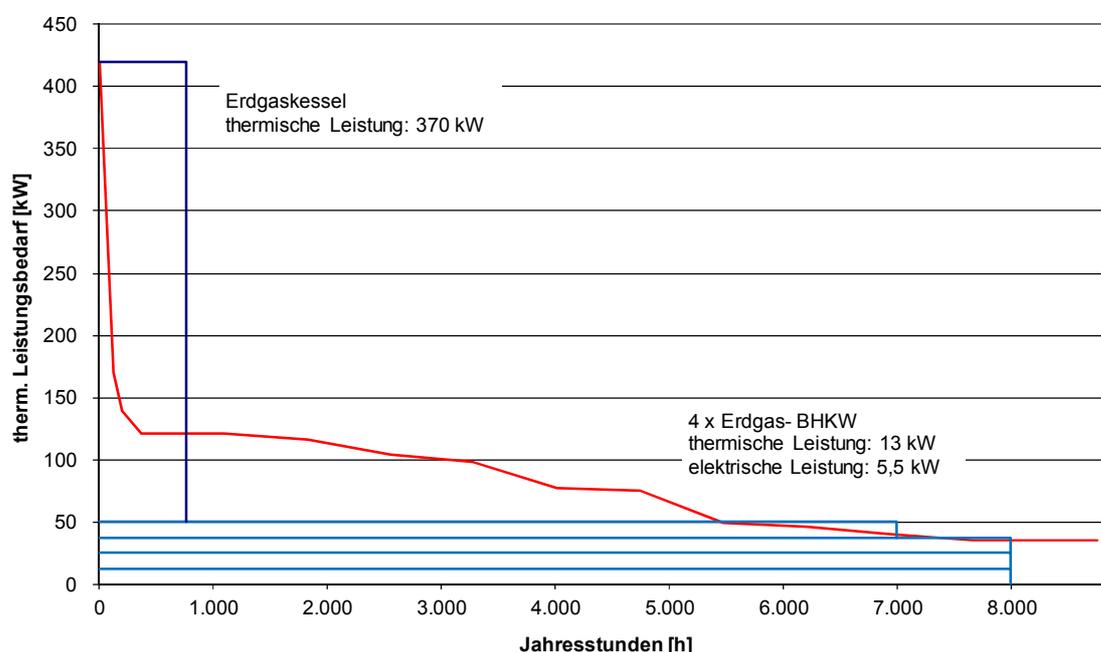
Abbildung 18: Die Jahresdauerlinie mit der Versorgung im Ist-Zustand

Wärmeerzeuger		2 x Erdgaskessel
Nennwärmeleistung	[kW]	2 x 220
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	1.600
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	668.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	100
Verbrauch	[kWh <sub>Hi</sub> /a]	726.000

#### 4.1.2 Die Variante 1.1: Mini-BHKW-Module mit Erdgasspitzenlastkessel

Bei dieser Variante werden zur Grundlastabdeckung vier wärmegeführte Erdgas-BHKW mit Eigenstromnutzung installiert. Die Dimensionierung der BHKW orientiert sich am thermischen Wärmegrundlastbedarf des Altenwohnheims. Für die Berechnung dieser Variante wird pro BHKW von einer Leistung von  $5,5 \text{ kW}_{\text{el}}$  und  $12,5 \text{ kW}_{\text{th}}$  ausgegangen. Diese Variante entspricht der aktuellen Wärmeversorgung des Altenwohn- und Pflegeheimes. Die Spitzenlast erfolgt durch einen Spitzenlastkessel, der mit Erdgas betrieben.

In Abbildung 19 ist die Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.



**Abbildung 19: Die Jahresdauerlinie mit Mini-BHKW-Module und Erdgasspitzenlastkessel**

Die Blockheizkraftwerke werden vorrangig und wärmegeführt betrieben. Es ist auf eine optimale hydraulische Einbindung der Anlage zu achten, um eine effiziente Wärmebereitstellung und die entsprechenden Laufzeiten erreichen zu können. Für einen optimierten Dauerbetrieb wird für das BHKW ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 4.000 Litern vorgeschlagen.

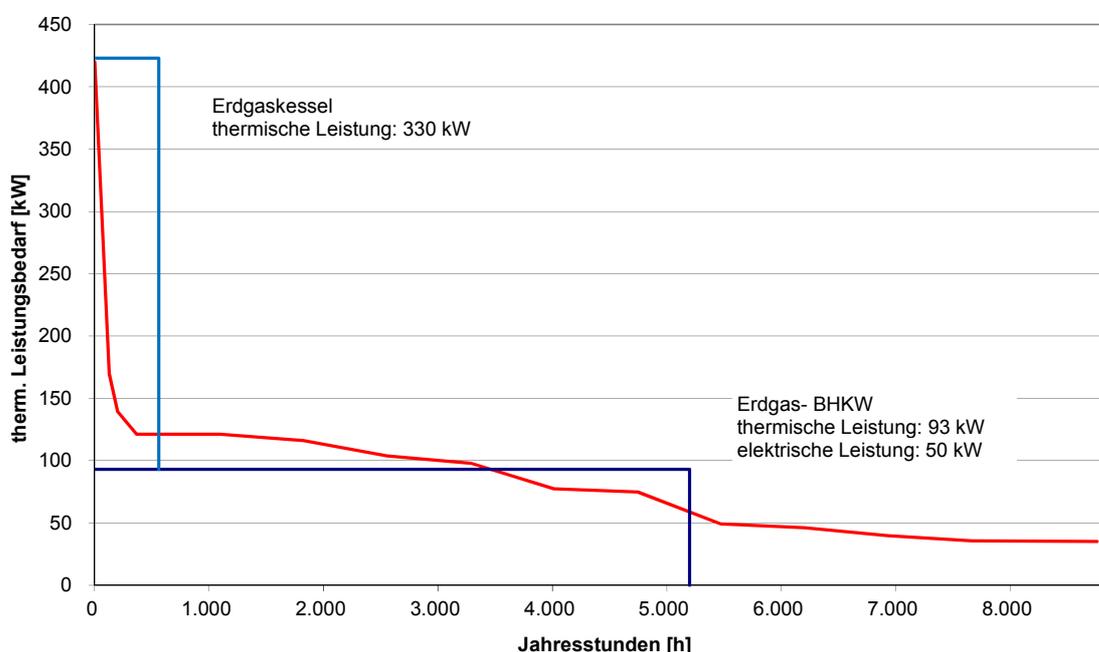
Die erzeugte elektrische Energie kann vollständig im Gebäude verbraucht werden. Für das BHKW ist ein möglichst durchgehender Dauerbetrieb vorgesehen, wodurch jährlich durchschnittlich 7.800 Vollbenutzungsstunden pro BHKW erreicht werden können. Anhand der

dargestellten Laufzeit können jährlich rund 170.500 kWh elektrische sowie 388.000 kWh thermische Energie bereitgestellt werden. Der Gesamtanteil der Blockheizkraftwerke an der jährlichen Wärmebereitstellung knapp 60%.

<b>Wärmeerzeuger</b>		<b>4 x Erdgas- BHKW</b>	<b>Erdgaskessel</b>
Nennwärmeleistung	[kW]	12,5	370
Elektrische Leistung	[kW]	5,5	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	7.800	800
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	388.000	280.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	58	42
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	170.500	0
Verbrauch	[kWh <sub>H<sub>i</sub></sub> /a]	631.000	305.000

#### 4.1.4 Die Variante 1.2: Erdgas-BHKW (93kW<sub>th</sub>, 50kW<sub>el</sub>) mit Spitzenlastkessel

In der Variante 1.2 wird zur Grundlastabdeckung ein wärmegeführtes Erdgas-BHKW mit maximaler Stromeigennutzung installiert. Im Folgenden wird ein BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von 50 kW<sub>el</sub> und 93 kW<sub>th</sub> eingesetzt. Aufgrund des mittleren Stromverbrauchs kann davon ausgegangen werden, dass rund 60% des erzeugten BHKW-Stroms im Gebäude selbst genutzt werden kann. Der restliche Strom wird nach dem KWK-G 2015 ins öffentliche Netz eingespeist. Die Spitzenlastabdeckung erfolgt durch einen Erdgasspitzenlastkessel. In Abbildung 20 ist die thermische Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.



**Abbildung 20: Die Jahresdauerlinie mit Erdgas-BHKW (50 kW<sub>el</sub>, 93 kW<sub>th</sub>) und Erdgasspitzenlastkessel**

Das Blockheizkraftwerk wird vorrangig und wärmegeführt betrieben. Es ist auf eine optimale hydraulische Einbindung der Anlage zu achten, um eine effiziente Wärmebereitstellung und die entsprechenden Laufzeiten erreichen zu können. Für einen optimierten Dauerbetrieb wird für das BHKW ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 6.000 Litern vorgeschlagen.

Für das BHKW ist ein möglichst durchgehender Dauerbetrieb vorgesehen, wodurch jährlich rund 5.200 Vollbenutzungsstunden erreicht werden können. Anhand der dargestellten Laufzeit können jährlich rund 260.000 kWh elektrische sowie 484.000 kWh thermische Energie

bereitgestellt werden. Der Gesamtanteil des Blockheizkraftwerkes an der jährlichen Wärmebereitstellung beträgt über 70%.

<b>Wärmeerzeuger</b>		<b>Erdgas- BHKW</b>	<b>Erdgaskessel</b>
Nennwärmeleistung	[kW]	93	330
Elektrische Leistung	[kW]	50	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	5.200	600
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	484.000	184.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	72	28
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	260.000	0
Verbrauch	[kWh <sub>Hi</sub> /a]	800.000	200.000

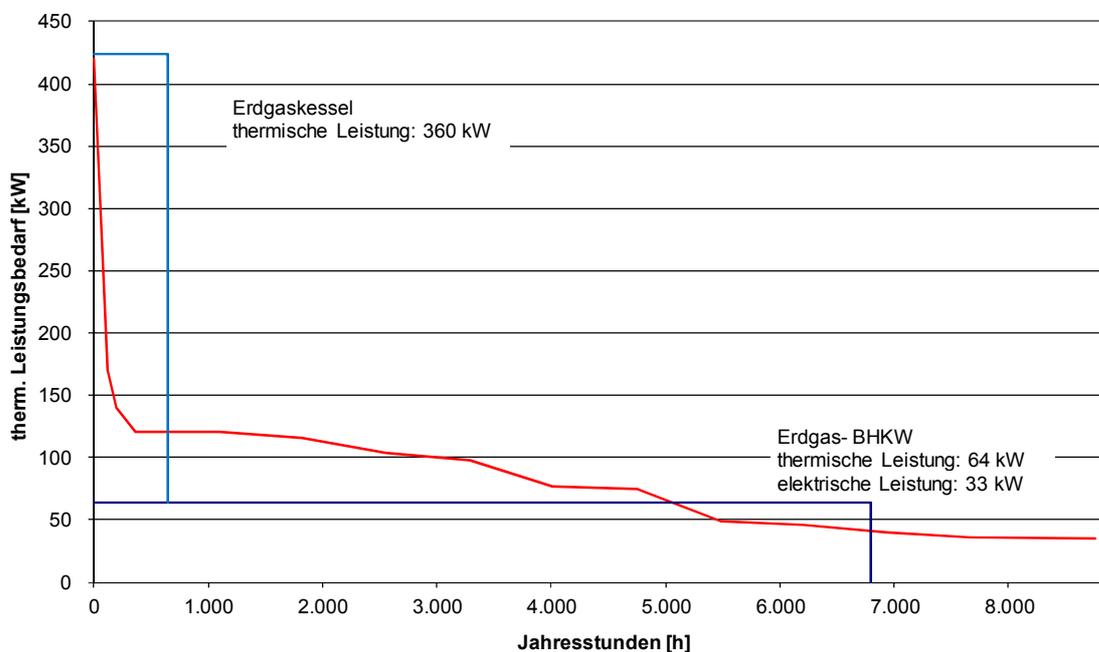
  

<b>Wärmeerzeuger</b>		<b>Erdgas- BHKW (stromgeführt)</b>	<b>Erdgaskessel</b>
Nennwärmeleistung	[kW]	28	270
Elektrische Leistung	[kW]	12	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	8.000	1.100
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	224.000	289.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	44	56
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	96.000	0
Verbrauch	[kWh <sub>Hi</sub> /a]	343.000	314.000

#### 4.1.5 Die Variante 1.3: Erdgas- BHKW (33kW<sub>el</sub>, 64kW<sub>th</sub>) mit Spitzenlastkessel

Bei der Variante 1.3 wird zur Grundlastabdeckung ein wärmegeführtes Erdgas- BHKW mit maximaler Stromeigennutzung installiert. Die Dimensionierung des BHKW orientiert sich am Wärmebedarf des Altenheims. Es wird ein BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von 33 kW<sub>el</sub> und einer thermischen Nennleistung von 64 kW<sub>th</sub> eingesetzt. Es wird von einer möglichen Eigenstromnutzung von rund 70% ausgegangen. Der Überschussstrom wird in das öffentliche Netz eingespeist. Die Spitzenlastabdeckung erfolgt durch einen Erdgaskessel.

In Abbildung 21 ist die thermische Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.



**Abbildung 21: Die Jahresdauerlinie mit Erdgas-BHKW (33kW<sub>el</sub>, 64kW<sub>th</sub>) und Erdgasspitzenlastkessel**

Es ist auf eine optimale hydraulische Einbindung des BHKW zu achten, um eine effiziente Wärmebereitstellung und die entsprechenden Laufzeiten erreichen zu können. Der Betrieb erfolgt wärmegeführt. Für einen optimierten Dauerbetrieb wird für das BHKW ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 4.000 Litern vorgeschlagen.

Anhand der prognostizierten Laufzeit von rund 6.800 Stunden können jährlich rund 224.400 kWh elektrische sowie 435.000 kWh thermische Energie bereitgestellt werden. Der

Gesamtanteil des Blockheizkraftwerkes an der jährlichen Wärmebereitstellung beträgt rund 65%.

<b>Wärmeerzeuger</b>		<b>Erdgas- BHKW</b>	<b>Erdgaskessel</b>
Nennwärmeleistung	[kW]	64	360
Elektrische Leistung	[kW]	33	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	6.800	600
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	435.000	233.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	65	35
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	224.400	0
Verbrauch	[kWh <sub>H<sub>i</sub></sub> /a]	717.000	253.000

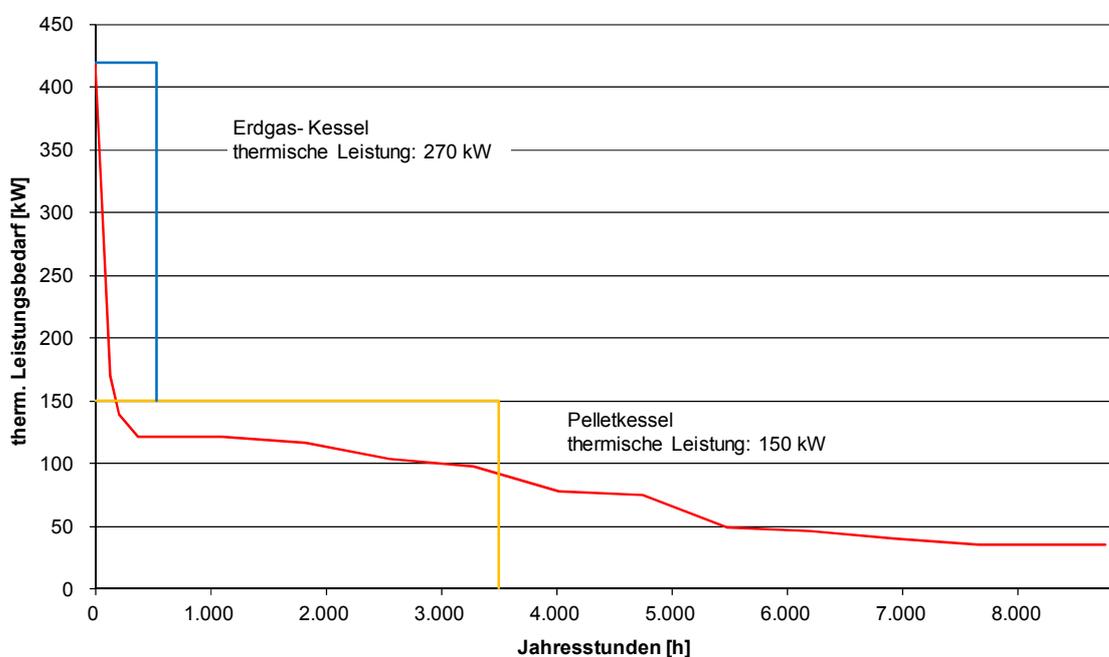
#### 4.1.6 Die Variante 1.4: Pelletkessel mit Spitzenlastkessel

Als weitere Variante wird die Installation eines Biomassekessels im Holzpelletsbetrieb dargestellt. Der Pelletkessel wird zur Grund- und Mittellastabdeckung eingesetzt. Er erzeugt somit zwischen 70 und 90% des Gesamtwärmebedarfs.

In dieser Variante ist die Installation eines Kessels mit einer Nennwärmeleistung von 150 kW vorgesehen. Der in der Leistung modulierbare Kessel soll mit dem Pufferspeicher möglichst optimiert betrieben werden und jährlich rund 3.500 Vollbenutzungsstunden erreichen.

Die Spitzenlastversorgung erfolgt über einen Erdgasspitzenlastkessel.

In Abbildung 22 ist die Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.



**Abbildung 22: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.4 (Pelletkessel)**

Der jährliche Verbrauch an Holzpellets liegt hier bei ca. 125 Tonnen (5 kWh/kg; 650 kg/m<sup>3</sup>). Während der Wintermonate bzw. im Nennlastbetrieb verbraucht der Kessel rund 850 kg (ca. 1.3 m<sup>3</sup>) am Tag.

Für den Holzpelletsbedarf ist in entsprechender Größe ein Brennstofflager einzurichten, das in verschiedenen Formen und Ausführungen in Nähe zum Aufstellort des Kessels errichtet werden kann. Das Lager (z.B. Lagerraum mit Austragung/Absaugung, befüllbarer unterirdischer Bunker, Silo im Außenbereich o.ä.) sollte idealerweise ein Fassungsvermögen

von rund 40 bis 50 m<sup>3</sup> Pellets haben, um während der Heizperiode längere Lieferintervalle überbrücken und größere Mengen (z.B. einen ganzen Lastzug) abnehmen zu können.

Um den Kessel möglichst lange im optimalen Betriebspunkt betreiben zu können bzw. um einen guten Kesselausbrand zu erreichen, wird in dieser Variante die Installation eines Pufferspeichers mit mindestens 4,5 m<sup>3</sup> vorgesehen (entspricht mind. 30 Liter/kW und somit den Förderrichtlinien). Für einen optimalen Betrieb der Anlage ist auf eine gute hydraulische Einbindung in die Heizzentrale sowie in die übergeordnete Regelung und Steuerung zu achten.

Bei dieser Versorgungsvariante entsteht im Vergleich zur Energieversorgung mit leitungsgebundenen Energieträgern ein erhöhter Platzbedarf für die Wärmeerzeugung und Anlagentechnik (Brennstofflager).

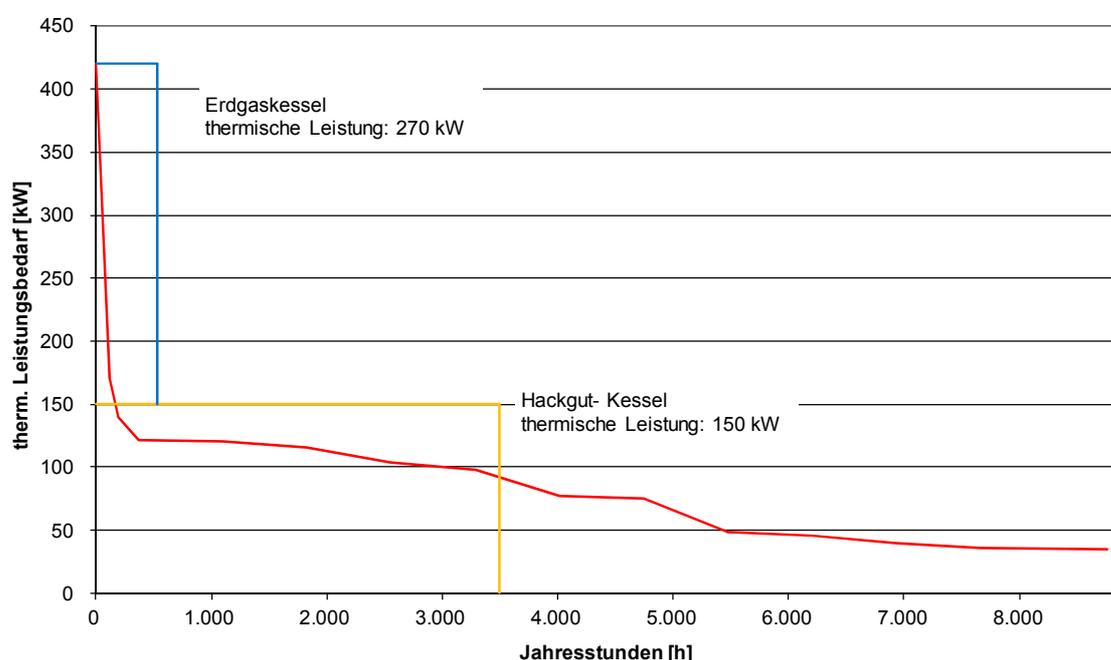
<b>Wärmeerzeuger</b>		<b>Pelletkessel</b>	<b>Erdgas- Kessel</b>
Nennwärmeleistung	[kW]	150	270
Elektrische Leistung	[kW]		
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	3.500	530
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	525.000	143.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	79	21
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	0	0
Verbrauch	[kWh <sub>Hi</sub> /a]		156.000
Verbrauch	[t/a]	125	

#### 4.1.7 Die Variante 1.5: Hackgutkessel mit Spitzenlastkessel

Als weitere Variante wird die Installation eines Biomassekessels im Hackgutbetrieb dargestellt. Der Hackgutkessel wird – wie ein Pelletkessel – zur Grund- und Mittellastabdeckung eingesetzt. Er erzeugt somit zwischen 70 und 90% des Gesamtwärmebedarfs.

Der in Variante 1.5 eingesetzte Hackgutkessel weist eine Nennwärmeleistung von 150 kW auf. In Kombination mit einem Pufferspeicher, für einen optimierten Betrieb, erreicht der Kessel ca. 3.500 Vollbenutzungsstunden. Die Spitzenlastversorgung erfolgt über einen Erdgaskessel.

In Abbildung 23 ist die Jahresdauerlinie mit der installierten Wärmeversorgung dargestellt.



**Abbildung 23: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.5 (Hackgutkessel)**

Der jährliche Hackschnitzelverbrauch beträgt rund 180 Tonnen (3,5 kWh/kg; 220 kg/m<sup>3</sup>, ca. 35% Wassergehalt). Während der Wintermonate bzw. im Nennlastbetrieb verbraucht der Kessel rund 1250 kg Hackschnitzel (ca. 5,6 m<sup>3</sup>). Aufgrund des Wassergehaltes der Hackschnitzel wird eine Lagerung außerhalb des Gebäudes empfohlen. Hierzu ist ein eigener Hackschnitzelbunker zu errichten. Dieser kann ebenerdig oder unterirdisch ausgeführt werden. Für eine problemlose Anlieferung sollte ein unterirdischer Bunker bevorzugt werden. So ist sichergestellt, dass die Hackschnitzel direkt abgekippt werden können. Im Folgenden wird von einem Hackgutbunker ausgegangen, der direkt an die Heizzentrale angrenzt. Es wird von einer Größe zwischen 80 und 100 m<sup>3</sup> ausgegangen. So kann in den Wintermonaten ein längeres Lieferintervall überbrückt werden. Hier würde sich nur die Möglichkeit eines

unterirdischen Bunkers anbieten, der im Bereich des Traktes K im Innenhof untergebracht werden kann. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es während der Anlieferung zu Einschränkungen der Nutzung des Gartens kommt.

Um den Kessel möglichst lange im optimalen Betriebspunkt betreiben zu können bzw. um einen guten Kesselausbrand zu erreichen, wird in dieser Variante die Installation eines Pufferspeichers mit mindestens 4,5 m<sup>3</sup> vorgesehen (entspricht mind. 30 Liter/kW und somit den Förderrichtlinien). Für einen optimalen Betrieb der Anlage ist auf eine gute hydraulische Einbindung in die Heizzentrale sowie in die übergeordnete Regelung und Steuerung zu achten.

Bei dieser Versorgungsvariante entsteht der größte Platzbedarf für die Wärmeerzeugung und Anlagentechnik.

<b>Wärmeerzeuger</b>		<b>Hackgutkessel</b>	<b>Gaskessel</b>
Nennwärmeleistung	[kW]	150	270
Elektrische Leistung	[kW]		
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	3.500	530
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	668.000	143.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	82	18
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	0	0
Verbrauch	[kWh <sub>Hi</sub> /a]		156.000
Verbrauch	[t/a]	180	

### 4.1.8 Die Variante 1.6: Anschluss an das Fernwärmenetz der Rhönwärme GmbH & Co. KG

In der Variante 1.6 erfolgt die Wärmeversorgung des Altenwohn- und Pflegeheimes über einen Fernwärmeanschluss der Biomasse-Wärmeversorgung Bad Neustadt GmbH & Co. KG. Der jährliche Bedarf an Fernwärme beträgt rund 668.000 kWh/a.

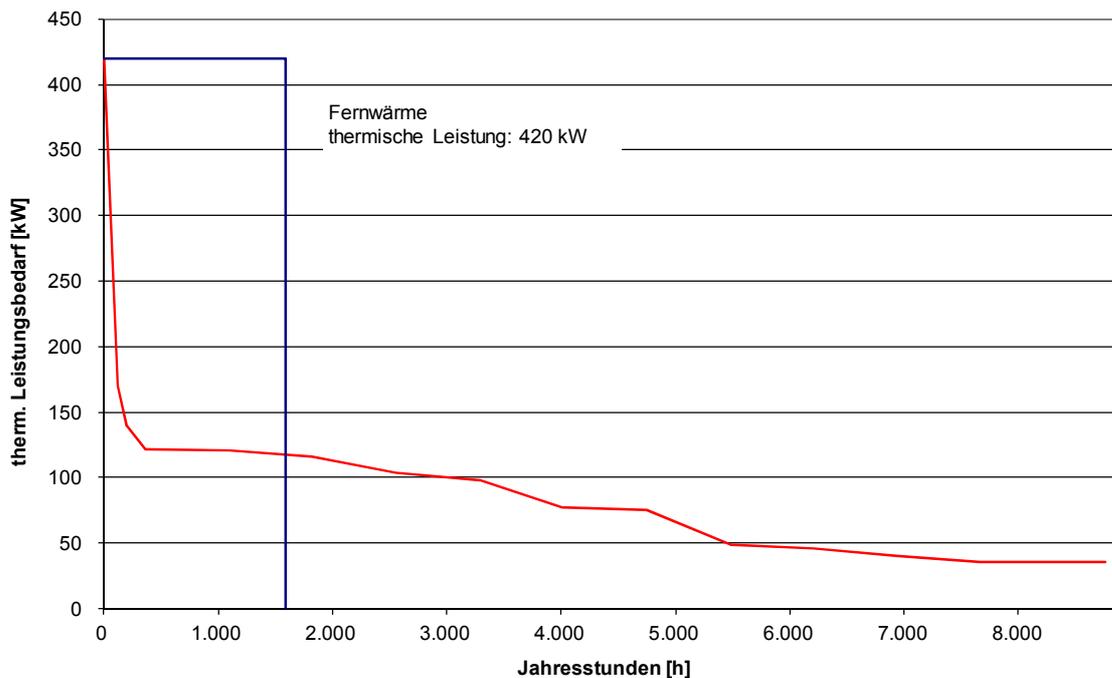


Abbildung 24: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.6 (Fernwärme)

Wärmeerzeuger		Fernwärme
Nennwärmeleistung	[kW]	420
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	1.600
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	668.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	100
Verbrauch	[kWh/a]	668.000

#### **4.1.9 Die Variante 1.7: Wärmepumpe mit Eisspeicher**

Die Variante mit einer Wärmepumpe in Kombination mit einem Eisspeicher wird im Rahmen der Studie nicht weiter verfolgt. Der Einsatz einer Wärmepumpe lässt sich aufgrund der benötigten Vorlauftemperaturen nur schwer wirtschaftlich darstellen. Zudem ist eine passive Kühlung des Gebäudes nicht geplant. Diese könnte die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe deutlich erhöhen. Auch entsteht durch den Eisspeicher ein deutlich erhöhter Platzbedarf, der in Abstimmung mit dem Auftraggeber nicht zur Verfügung steht.

## 5 Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### 5.1 Die Grundannahmen

Basierend auf den in den vorangegangenen Kapiteln entwickelten Energieversorgungsvarianten wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der ökonomisch günstigsten Variante durchgeführt. Dabei werden im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 die Jahresgesamtkosten ermittelt. Dabei werden die durchschnittlichen Jahresgesamtkosten für den betrachteten Zeitraum berechnet und dargestellt. Die Jahresgesamtkosten geben an, wie viel Kosten unter Berücksichtigung von Kapitalkosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten, Verbrauchskosten, sonstigen Kosten und evtl. Einnahmen durch den Stromverkauf jährlich anfallen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten folgende Grundannahmen:

- Das Bezugsjahr ist 2015
- Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre
- Alle Preise sind Nettopreise
- Bestehende Anlagen gelten als vollständig abgeschrieben
- Die Tilgung für Neuinvestitionen erfolgt linear über 20 Jahre
- Der kalkulatorische Zinssatz beträgt konstant 2,0 % über 20 Jahre
- Die Brennstoffkosten bleiben im Betrachtungszeitraum konstant
- Die Stromeinspeisevergütungen bleiben im Betrachtungszeitraum konstant
- Strom aus Erdgas-Blockheizkraftwerken wird nach dem KWKG-Gesetz 2015 vergütet

**Folgende Kosten bzw. Erlöse werden berücksichtigt:**

- Investitionskosten auf Basis durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten, dargestellt als kapitalgebundene Kosten nach der Annuitätenmethode
- Betriebsgebundene Kosten für die einzelnen Anlagenkomponenten (Wartung, Instandhaltung, Technische Überwachung,...)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoff und Hilfsenergie)
- Sonstige Kosten (Versicherung)
- Erlöse aus der Stromeinspeisung
- Kosteneinsparung durch Stromeigennutzung

Die **Investitionskosten** sind nicht als konkrete Angebotspreise sondern lediglich als durchschnittliche Marktpreise zu verstehen und können in der tatsächlichen Umsetzung nach oben oder unten abweichen. Spezielle Förderungen, z. B. von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) oder dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa) wurden nicht berücksichtigt. Die Investitionskosten umfassen im Einzelnen:

- Anlagentechnik, Komponenten
- Verkabelung, Einbindung
- Technische Installationskosten (prozentual)
- Projektabwicklung (prozentual)

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten in erster Linie Kosten für die Wartung und Instandhaltung der einzelnen Komponenten und wurden in Anlehnung an die VDI 2067 als prozentualer Anteil an den Investitionskosten ermittelt.

Die **verbrauchsgebundenen Kosten** setzen sich aus Brennstoffkosten und Kosten für Hilfsenergie zusammen.

Für die Ermittlung der Energiekosten werden folgende Netto-Preise angenommen:

- Erdgaspreis: 6,2 Cent/kWh<sub>Hi</sub>
- Pelletpreis: 220 €/t
- Hackgutpreis: 100 €/t (35% Wassergehalt)
- Strom f. Hilfsenergie: 20 Ct/kWh
- Fernwärme: 5,80 Ct/kWh (zzgl. 22 €/kW Grundpreis und 170€/a Messpreis)

Die **sonstigen Kosten** umfassen Kosten für Verwaltung und Versicherung. Speziell für diesen Variantenvergleich werden keine sonstigen Kosten angesetzt.

Als **Einnahmen bzw. Erlöse** werden bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - speziell im vorliegenden Variantenvergleich - vermiedene Stromkosten durch Einsatz von BHKW gegengerechnet.

**Erlöse** können sich bei **Erdgas- BHKW** aus der Stromeinspeisung, der KWK-Zuschlagszahlung, aus vermiedenen Stromkosten durch Stromeigennutzung und der Steuerrückerstattung ergeben.

Die Einspeisevergütung wird durch das **KWK Gesetz** in der Fassung von 2012 geregelt.

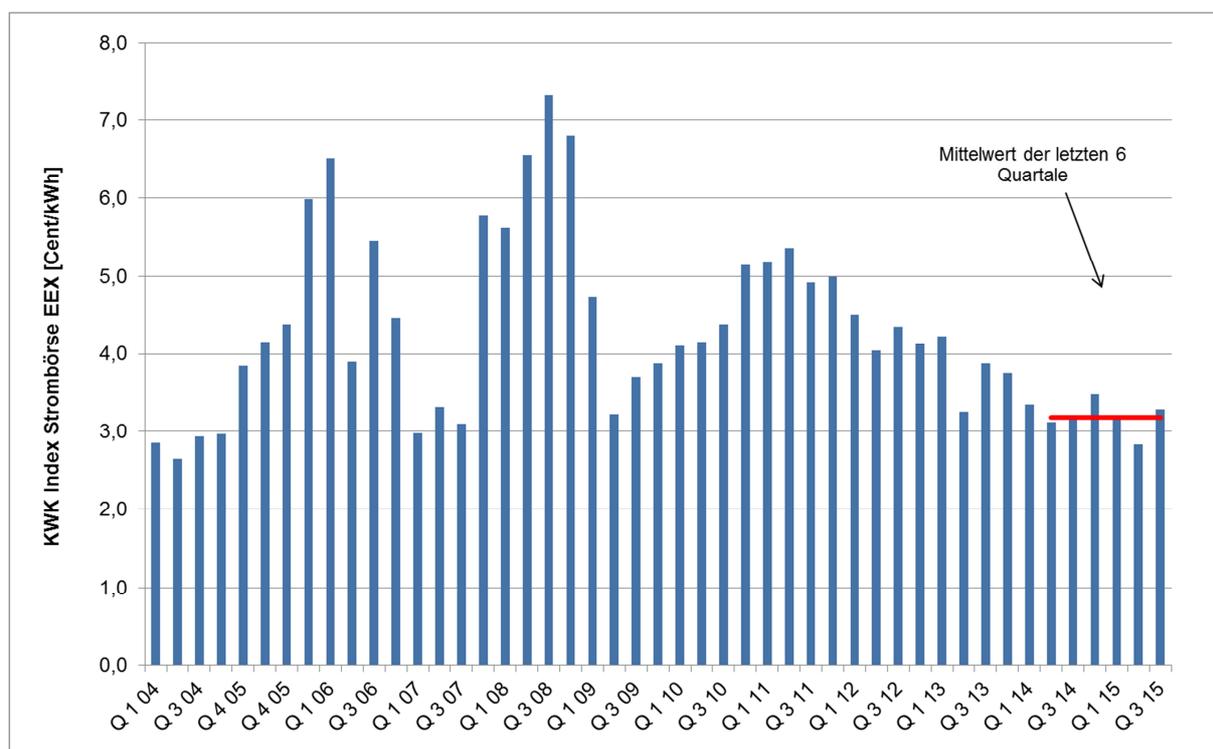
Die wichtigsten Punkte bezüglich der Einspeisevergütung sind:

KWK- Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung bis 50 kW erhalten für den erzeugten KWK-Strom einen Zuschlag von 5,41 Cent/kWh - für eine Dauer von zehn Jahren ab Aufnahme des Dauerbetriebes.

BHKW- Anlagen einer größeren Leistungsklasse erhalten die höheren Vergütungssätze der kleineren Leistungsklasse anteilig vergütet (der Leistungsanteil bis 50 kW wird auch bei größeren Anlagen entsprechend mit der höheren Zuschlagszahlung von 5,41 Ct/kWh vergütet, jedoch nur auf den begrenzten Anspruchszeitraum; der Leistungsanteil bis 250 kW entsprechend).

Der KWK- Zuschlag wird auch für den KWK- Strom vergütet, den der Betreiber der KWK-Anlage selbst verbraucht.

Darüber hinaus erhält der Anlagenbetreiber eine zusätzliche Vergütung vom Netzstrombetreiber für den eingespeisten Strom. Diese ist abhängig vom Strompreis für Baseload-Strom an der Strombörse und wird auf die vorangegangenen Quartale bezogen. Dieser Preis („üblicher Preis“) gilt als Richtpreis, der bezahlt werden muss, wenn sich der Energieversorger und der KWK- Anlagenbetreiber auf keine andere Vergütung einigen können.



**Abbildung 25: Der KWK- Index an der Strombörse EEX [Stand: 10.2015]**

Die Verpflichtung des Netzbetreibers zur Abnahme und Vergütung von KWK- Strom aus KWK- Anlagen größer 50 kW entfällt, wenn der Netzbetreiber nicht mehr zu Zuschlagszahlung verpflichtet ist. Die Kategorien der zuschlagsberechtigten KWK- Anlagen, insbesondere von Bestandsanlagen und modernisierten Anlagen, sind im Detail dem Gesetzestext zu entnehmen.

### **Steuerrückerstattung Erdgas- / Biomethan-BHKW**

Bei der Verwendung von Erdgas bzw. Biomethan in BHKW- Anlagen wird eine Steuerrückerstattung auf den eingesetzten Brennstoff gewährt. Diese Steuerrückerstattung wird im Energiesteuergesetz geregelt. Als Voraussetzung für die Steuerrückerstattung muss die BHKW Anlage einen mittleren Monats- bzw. Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % erreichen und hocheffizient, nach den Kriterien des Anhangs III der Richtlinie 2004/8/EG, sein. Bei der Anschaffung der KWK- Anlage muss darauf geachtet werden, dass der Hersteller diese „Hocheffizienz Kriterien“ bestätigt.

Folgende Rückerstattungen sind möglich:

1. Vollständige Steuerentlastung: 0,55 Cent/kWh<sub>Hs</sub> bezogen auf die Feuerungswärmeleistung der Anlage während des Abschreibungszeitraums (AfA 10 Jahre bei BHKW)
2. Teilweise Steuerentlastung: 0,442 Cent/kWh<sub>Hs</sub> nach dem Abschreibungszeitraum

Werden Hauptbestandteile erneuert und die Kosten der Erneuerung belaufen sich auf mindestens 50 % der Kosten für die Neuerrichtung der Anlage, dann verlängert sich die Frist innerhalb welcher die volle Steuerrückerstattung von 0,55 Cent/kWh<sub>Hs</sub> möglich ist, solange bis die neuen Hauptbestandteile vollständig abgeschrieben sind.

Im vorliegenden Energiekonzept beziehen sich alle Berechnungen auf einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Daher wird mit einer mittleren Steuerrückerstattung von 0,496 Cent/kWh<sub>Hs</sub> gerechnet.

Die aktuell möglichen Einnahmen der hier eingesetzten Erdgas- BHKW berechnen sich wie folgt:

**Steuerrückerstattung Erdgas:** 0,496 Cent/kWh<sub>Hs</sub> eingesetzten Brennstoffs

**KWK Zuschlag** für bereitgestellte elektrische Energie:

- 5,41 Cent/kWh für den Anteil kleiner 50 kW<sub>el</sub>

**Stromeigennutzung:** je nach Anlagenauslegung; siehe jeweilige Energieversorgungsvariante

- vermiedene Stromkosten bei derzeitigem Mischpreis von 20 Cent/kWh
- Seit dem 01. August 2014 und dem Inkrafttreten des novellierten EEG 2014 ist auf selbstgenutzten Strom aus KWK- Anlagen ein Teil der EEG- Umlage zu zahlen. Es müssen 30% der EEG- Umlage ab 01.08.2014, 35% ab 2016 und 40% ab 2017 auf selbst genutzten Strom gezahlt werden. In der vorliegenden Studie wird im Rahmen der Kalkulation von einer 40% EEG- Umlage auf den selbstgenutzten Strom im gesamten Betrachtungszeitraum ausgegangen.

**Stromeinspeisung:** je nach Anlagenauslegung; siehe jeweilige Energieversorgungsvariante

- Vergütung („üblicher Preis“): ca. 3,20 Cent/kWh

Diese Einnahmen sind nicht über den Betrachtungszeitraum festgeschrieben. Deshalb wird der Einfluss von **Änderungen der Einnahmen** durch die Stromproduktion auf die

Wärmegestehungskosten bei den Varianten mit BHKW in der **Sensitivitätsanalyse** genauer betrachtet.

*Hinweis: Aufgrund der für Anfang 2016 geplanten Novellierung des KWK-G können sich in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der BHKW deutliche Änderungen bei der Berechnung der Einspeisevergütungen ergeben.*

## 5.2 Allgemeine Fördermöglichkeiten

Im Folgenden werden verschiedene Förderprogramme vorgestellt, mit denen eine dezentrale Energieversorgungsanlage bzw. ein möglicher Nahwärmeverbund gefördert werden können. Die Gewährung der Fördermittel ist dem Fördermittelgeber überlassen und ist im Einzelfall detailliert zu prüfen.

### 5.2.1 BAFA Marktanreizprogramm - Basisförderung

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle fördert im Rahmen des Marktanreizprogramms die Installation von automatisch beschickten Biomasseanlagen im Leistungsbereich von 5 bis 100 kW. Die Förderung beträgt 80,00 € je kW installierter Nennwärmeleistung. Die Förderung erfolgt nur für Biomasseanlagen, die in ein Bestandsgebäude (Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahmen muss mindestens zwei Jahre ein anderes Heiz- oder Kühlsystem eingebaut gewesen sein) eingebaut werden und in der Liste der förderfähigen Anlagen (siehe [www.bafa.de](http://www.bafa.de)) aufgelistet sind.

Es gelten folgende Mindestförderbeträge:

- für Pelletöfen mit Wassertasche: 2.000 Euro,
- für Pelletkessel: 3.000 Euro,
- für Pelletkessel mit neu errichtetem Pufferspeicher mit einem Speichervolumen von mindestens 30 l/kW: 3.500 Euro,
- Hackschnitzelkessel mit Pufferspeicher: pauschal 3.500 Euro je Anlage
- Scheitholzvergaserkessel mit Pufferspeicher: pauschal 2.000 Euro je Anlage

Ferner sind Bonus- und Innovationsförderungen möglich, wenn z. B. die Biomasseanlagen mit einer Solaranlage kombiniert werden, Brennwertnutzung erfolgt oder Partikelabscheidung eingesetzt wird. Alle weiteren Details können auf der Homepage des BAFA abgerufen werden.

### 5.2.2 KfW- Förderprogramm – „Premium“ – Große Biomasseheizungen

Im Programmteil „Premium“ des Marktanreizprogramms wird die Errichtung bzw. Erweiterung automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung und Vergasung fester Biomasse für die thermische Nutzung und zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung (KWK) mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW gefördert.

### **Anlagen zur thermischen Nutzung:**

Der Tilgungszuschuss (Grundförderung) beträgt 20 € je kW installierter Wärmeleistung, höchstens jedoch 50.000 € je Einzelanlage. Bei besonders niedrigen Staubemissionen und/oder Errichtung eines Pufferspeichers kann eine erhöhte Förderung (Innovationsförderung) gewährt werden. Die Gesamthöchstförderung beträgt 100.000 € je Anlage. Der Zuschuss erhöht sich bei Einhaltung von niedrigeren Staubemissionen (maximal 15 mg/m<sup>3</sup>, bei 13% Sauerstoff im Abgas) um 20 € je kW. Bei der Errichtung eines Pufferspeichers (mindestens 30 l/kW) erhöht sich die Grundförderung um 10 €/kW.

Weitere Informationen können dem Marktanzreizprogramm entnommen oder unter [www.kfw.de](http://www.kfw.de) nachgelesen werden.

### **5.2.3 Bayern: Förderprogramm BioKlima**

Gefördert werden im Förderprogramm BioKlima

- Neuinvestitionen zur Errichtung von automatisch beschickten Biomasseheizwerken
- Neuinvestitionen zur Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen (Abgaswärmetauscher (Economiser) oder Abgaskondensationsanlage) in Verbindung mit der Errichtung von Biomasseheizwerken

Die Förderung erfolgt in Form einer Festbetragsfinanzierung. Die Förderung beträgt 33 € pro Jahrestonne kalkulatorisch eingespartes CO<sub>2</sub>. Die Berechnung erfolgt anhand eines festen Emissionsfaktors für die Laufzeit von 8 Jahren.

Förderung Energieeffizienzmaßnahme erfolgt als Zuschuss in Form der Anteilsfinanzierung. Die Förderung beträgt bis zu 30 % der Investitionskosten für einen Abgaswärmetauscher (Economiser) oder einer Abgaskondensationsanlage. Die Förderung gilt nur in Kombination mit einer Förderung für ein Biomasseheizwerk. Eine Förderung bei Feuerungsanlagen zur Dampferzeugung ist nicht möglich.

Die Förderobergrenzen betragen 200.000 € für die Errichtung eines Biomasseheizwerks und 250.000 € bei zusätzlichen Effizienzmaßnahmen. Die Förderbagatellgrenze beträgt 19.800 €.

Weitere Informationen können unter [www.tfz.bayern.de/foerderung/](http://www.tfz.bayern.de/foerderung/) abgefragt werden.

*Ein Rechtsanspruch des Antragstellers auf Zuwendungen besteht nicht. Die KfW-Fördermittelbank, das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle sowie das Technologie- und Förderzentrum entscheiden aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens. Die Gewährung der Zuwendung steht unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit der veranschlagten Haushaltsmittel.*

*Anspruch auf Vollständigkeit aller Fördermittel besteht nicht. Die genauen Zuwendungsbedingungen sind den entsprechenden Förderprogrammen zu entnehmen und auf die endgültigen Investitionskosten (Ermittlung im Rahmen einer Ausschreibung) sowie den aktuellen Stand der Förderprogramme anzupassen.*

*Sonderförderungen wie beispielsweise die Innovationsförderungen (Staubemissionen) werden nicht berücksichtigt. Hier sind zur Gewährung Referenzmessungen erforderlich, die im Rahmen der Studie nicht erfolgen können. Die Errichtungen eines Pufferspeichers wird ebenfalls nicht berücksichtigt.*

## 5.3 Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der untersuchten Varianten

### 5.3.1 Investitionskostenprognose

In Abbildung 26 sind die prognostizierten Investitionskosten der Varianten dargestellt.

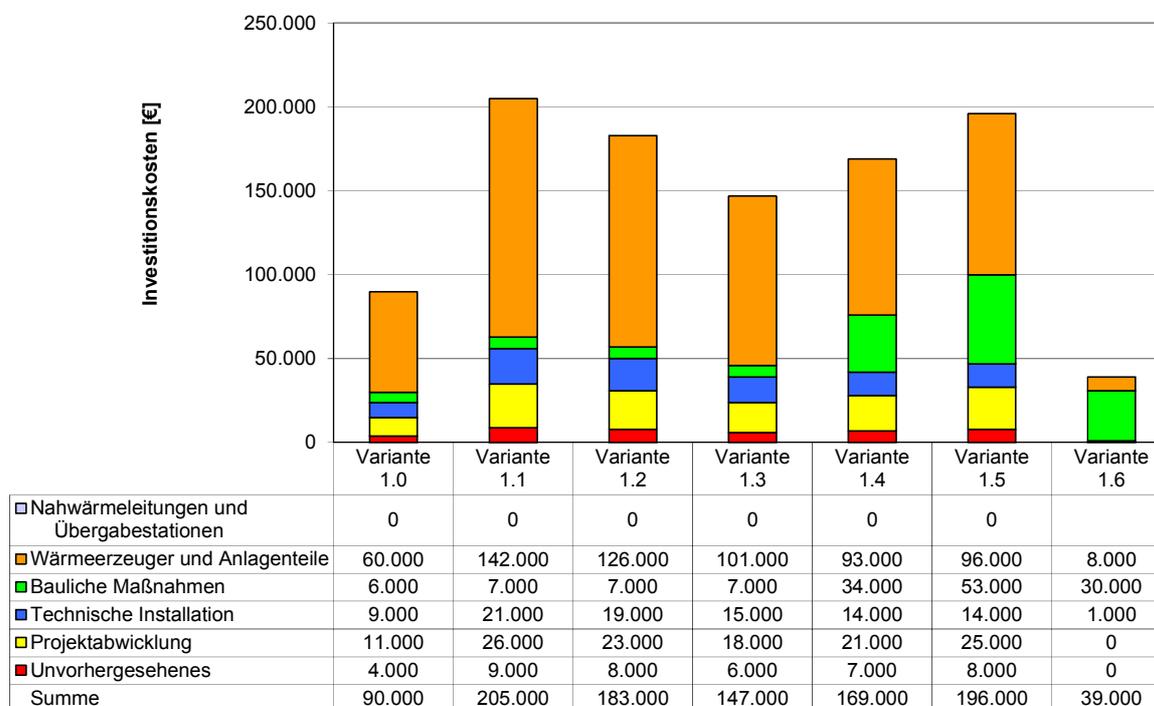


Abbildung 26: Die prognostizierten Investitionskosten der Varianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW Erdgas-BHKW	Erdgas-BHKW (50 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Erdgas-BHKW (33 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Pelletkessel Erdgaskessel	Hackgutkessel Erdgaskessel	Fernwärme

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für den Aufbau und die Errichtung einer modernen Energieversorgung nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren auf einer Kalkulation mit durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf einer konkreten Angebotsvorlage. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise – je nach Ausführungsstandard und Umfang – von den hier kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund wurden für die unterschiedlichen Varianten Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten darstellen.

### 5.3.2 Die jährlichen Einnahmen und Ausgaben

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten, den verbrauchsgebundenen Kosten und den sonstigen Kosten zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in Abbildung 27 grafisch dargestellt. Die verbrauchsgebundenen Kosten machen bei allen Varianten den größten Anteil aus.

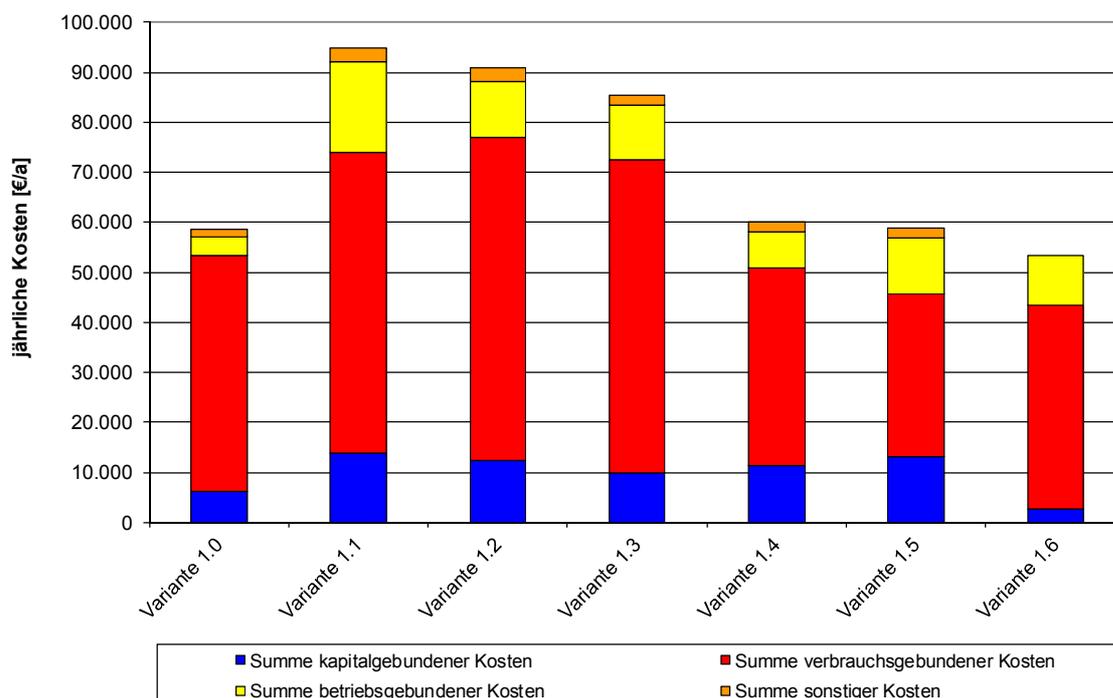


Abbildung 27: Die jährlichen Ausgaben der Varianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW Erdgas- BHKW	Erdgas- BHKW (50 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Erdgas- BHKW (33 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Pelletkessel Erdgaskessel	Hackgutkessel Erdgaskessel	Fernwärme

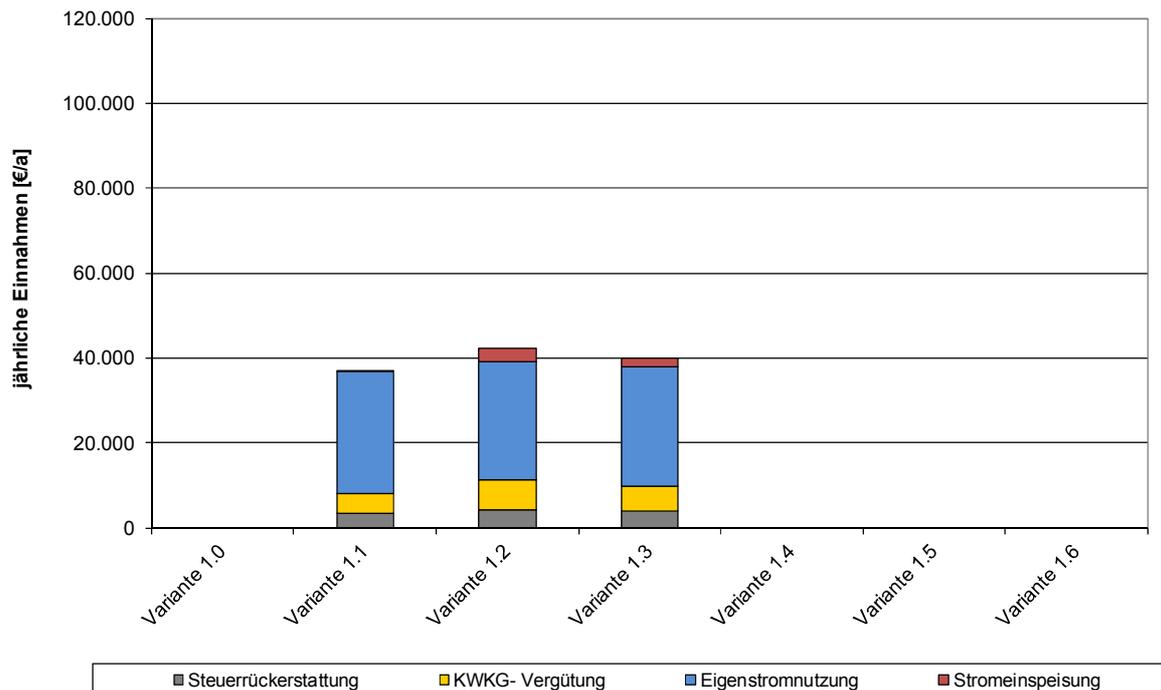
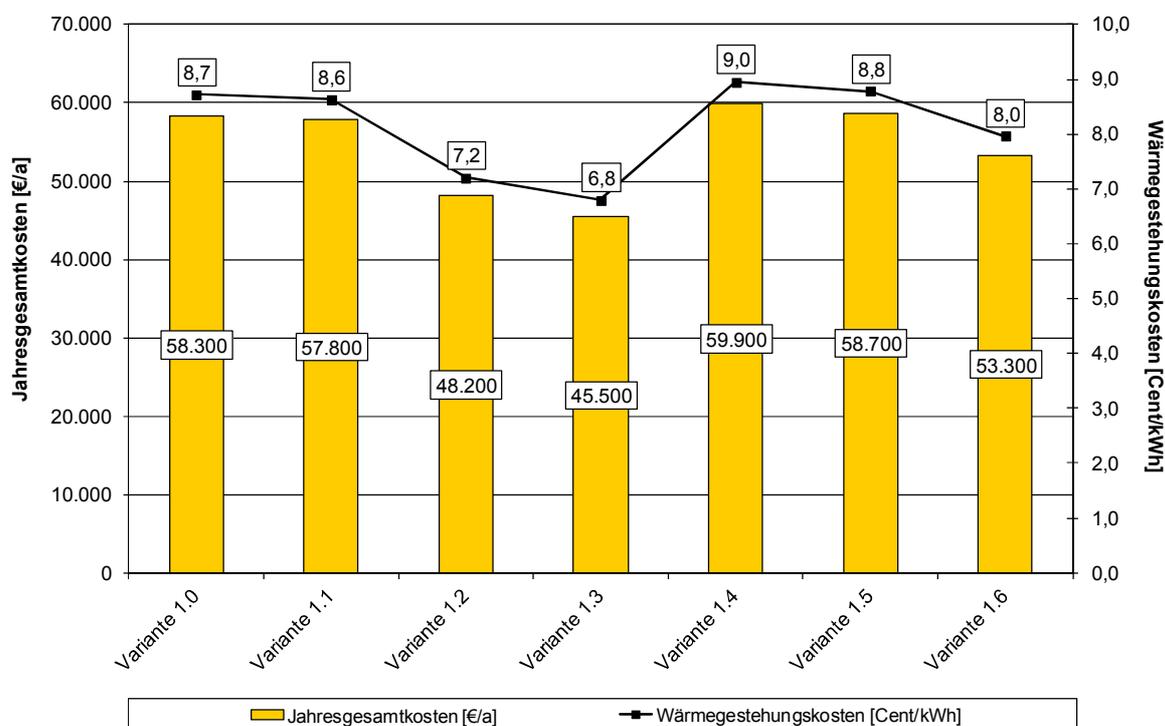


Abbildung 28: Die jährlichen Einnahmen der Varianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW Erdgas- BHKW	Erdgas- BHKW (50 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Erdgas- BHKW (33 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Pelletkessel Erdgaskessel	Hackgutkessel Erdgaskessel	Fernwärme

In den Varianten mit einem oder mehreren Erdgas-BHKW (Varianten 1.1, 1.2, 1.3) werden Einnahmen aus der Stromproduktion und der Einspeisung nach dem KWK- G durch Steuerrückerstattung, der Stromeinspeisung und dem KWK- Zuschlag erzielt. Zusätzlich werden durch die Eigenstromnutzung Einnahmen durch vermiedene Strombezugskosten generiert.

In Abbildung 29 sind die kalkulierten Jahresgesamtkosten der einzelnen Varianten dargestellt. Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen und sonstigen Kosten abzüglich der Einnahmen bzw. vermiedenen Strombezugskosten.



**Abbildung 29: Die Jahresgesamtkosten der Varianten**

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW Erdgas-BHKW	Erdgas-BHKW (50 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Erdgas-BHKW (33 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Pelletkessel Erdgaskessel	Hackgutkessel Erdgaskessel	Fernwärme

Die geringsten Jahresgesamtkosten weisen die Varianten 1.2 bzw. 1.3 mit einem Erdgas-BHKW auf. Variante 1.3 kann die Jahresgesamtkosten im Vergleich zur Variante 1.2 weiter senken. Hier kann ein höherer Eigenstromanteil des erzeugten BHKW-Stroms erreicht werden.

## 5.4 Die Sensitivitätsanalyse

Bei der Ermittlung der spezifischen Wärmegegestehungskosten wird über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg von konstanten Brennstoffpreisen (statisch) ausgegangen. Da dies in der Regel nicht der Fall ist, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, welche die Abhängigkeit der spezifischen Wärmegegestehungskosten von den Brennstoffkosten untersucht. Zusätzlich wird eine Änderung des Kapitaldienstes in die Betrachtung aufgenommen, um dessen Einfluss zu erfassen. Von den „statisch“ ermittelten Wärmegegestehungskosten ausgehend, werden prozentuale Steigerungen und Minderungen im Brennstoffpreis sowie in den Kapitalkosten berechnet und ihre Auswirkungen auf die Wärmegegestehungskosten ermittelt. Werden die jeweiligen Sensitivitätsanalysen der einzelnen Varianten untereinander verglichen, lässt sich eine Aussage hinsichtlich einer gegebenenfalls eintretenden Parität der Varianten in Abhängigkeit des Brennstoffes (oder der Kapitalkosten) treffen.

Exemplarisch ist in Abbildung 30 eine Sensitivitätsanalyse dargestellt. Statisch berechnet, ergeben sich Wärmegegestehungskosten von 16,1 Cent/kWh (1). Auf der X-Achse sind die prozentualen Änderungen des Parameters, hier des Brennstoffpreises, angegeben. Steigt der Brennstoffpreis um 50% (2), steigen auch die Wärmegegestehungskosten von 16,1 Cent/kWh auf 22,9 Cent/kWh (3).

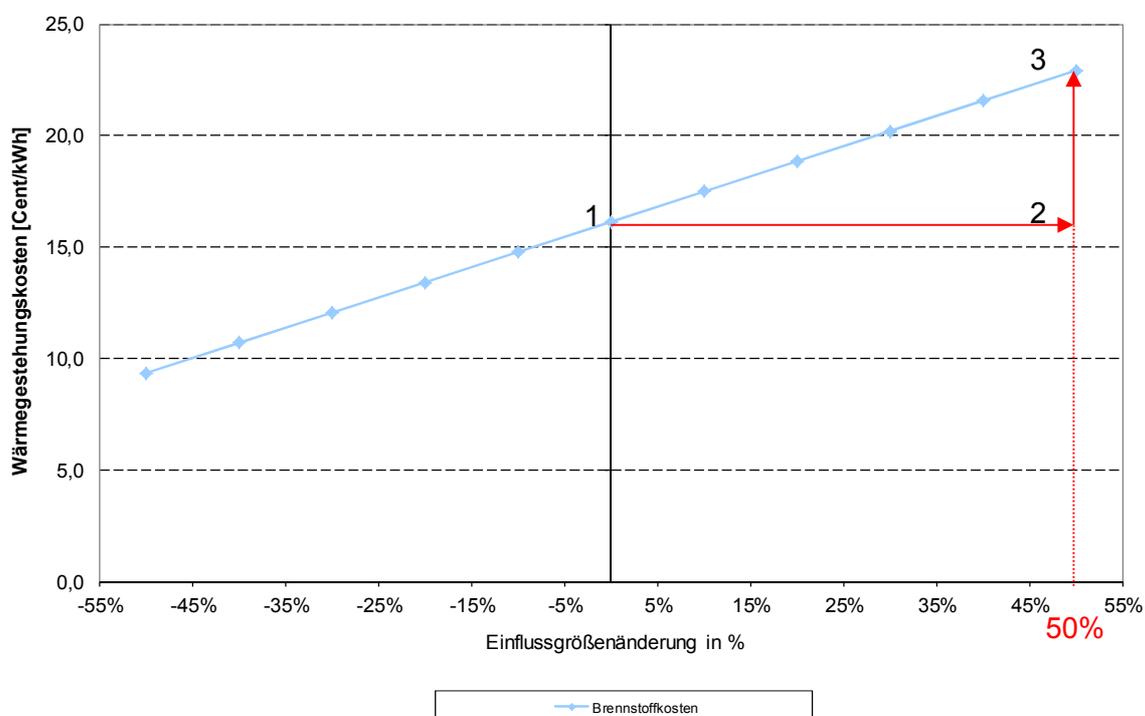
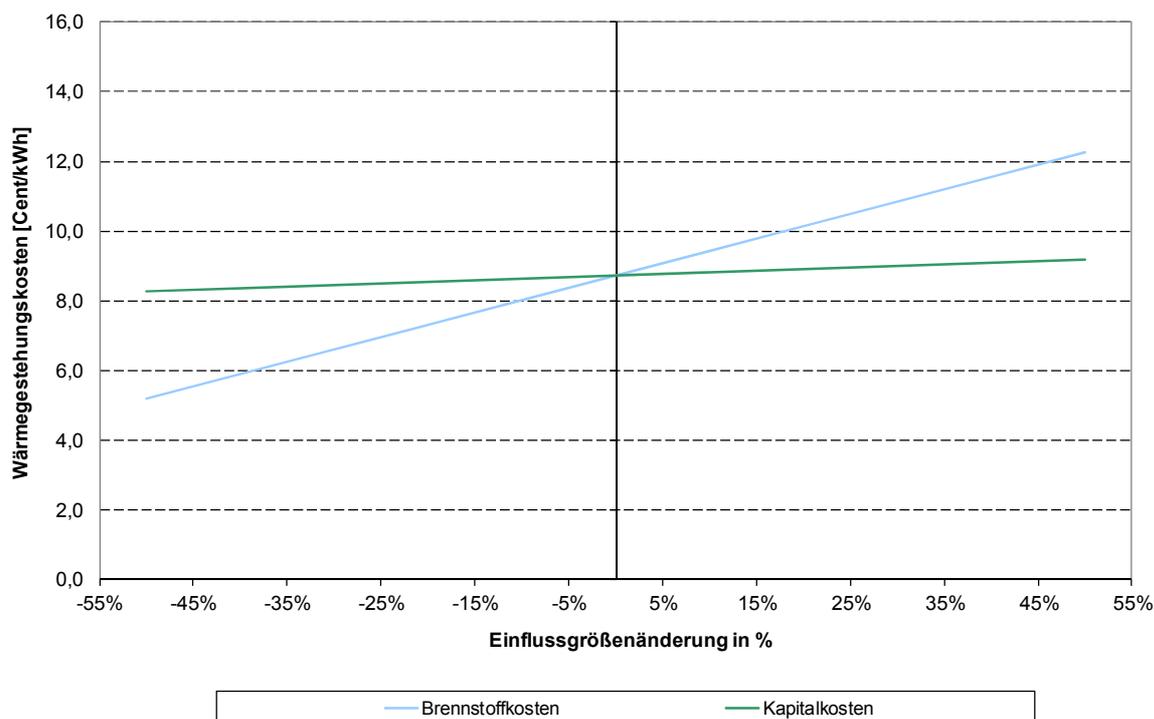


Abbildung 30: Exemplarische Sensitivitätsanalyse

### Variation der kapitalgebundenen bzw. Investitionskosten:

In Abbildung 31 ist der Einfluss der Investitionskosten auf die Jahresgesamtkosten dargestellt. Fallen z. B. in der Variante 1.0 um 20 % größere Investitionskosten an, so steigen Jahresgesamtkosten um lediglich rund 0,2 Cent/kWh. Bei einer Brennstoffpreissteigerung von rund 20% steigen die Wärmegestehungskosten bereits um rund 1,7 Cent/kWh.



**Abbildung 31: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.0 (Erdgasfeuerung)**

In Abbildung 32 ist der Einfluss der Kapitalkosten sowie des Brennstoffpreises auf die Wärmegestehungskosten der Variante 1.1 dargestellt. Ebenfalls mit dargestellt ist der Einfluss des Brennstoffpreises auf die Referenzvariante. So kann ein direkter Vergleich bei steigenden Brennstoffpreisen mit der Referenzvariante erfolgen. Es wird deutlich, dass die Variante 1.1 bereits im Ausgangszustand geringfügig geringere Wärmegestehungskosten aufweist als die Erdgasfeuerung. Bei steigenden Energiepreisen steigen die spezifischen Wärmepreise der Variante 1.1 deutlich schneller als bei der Variante 1.0. Die Wärmegestehungskosten eines Erdgas-BHKW sind neben den Brennstoffbezugspreisen auch von Strombezugspreisen abhängig – Eigenstromnutzung. Es ergibt sich hier unter der Maßgabe steigender Energiekosten (Strom- und Erdgaspreise) ein weitestgehend konstanter Wärmepreis.

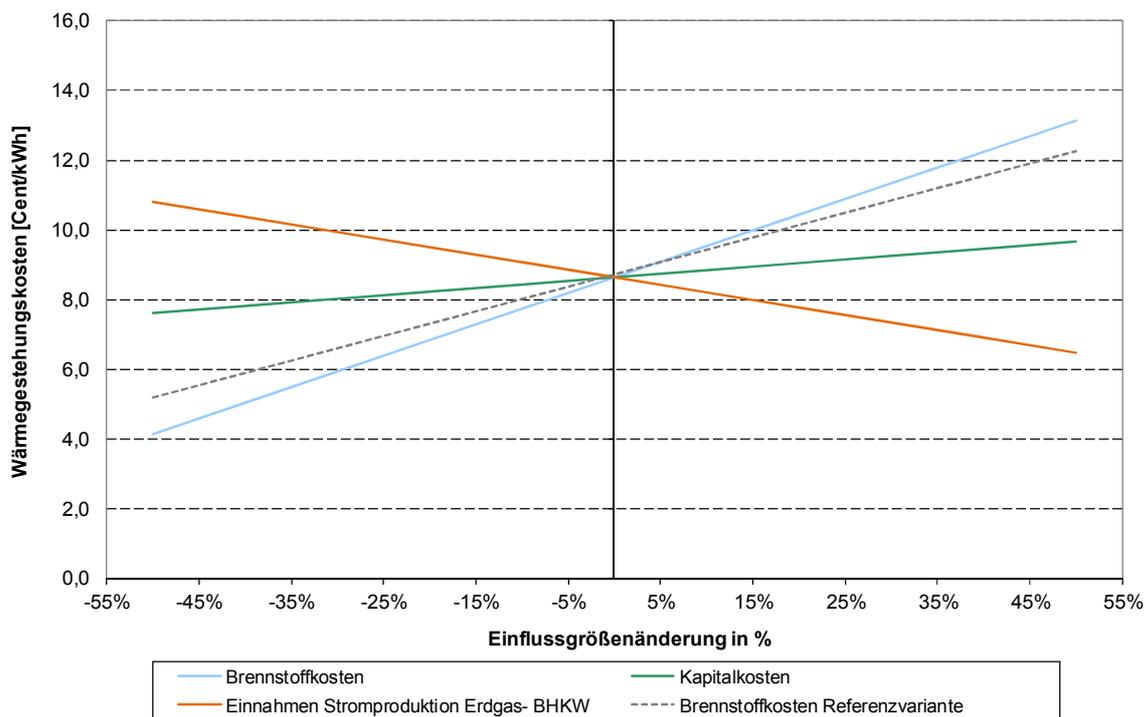


Abbildung 32: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.1 (Mini-BHKW-Module)

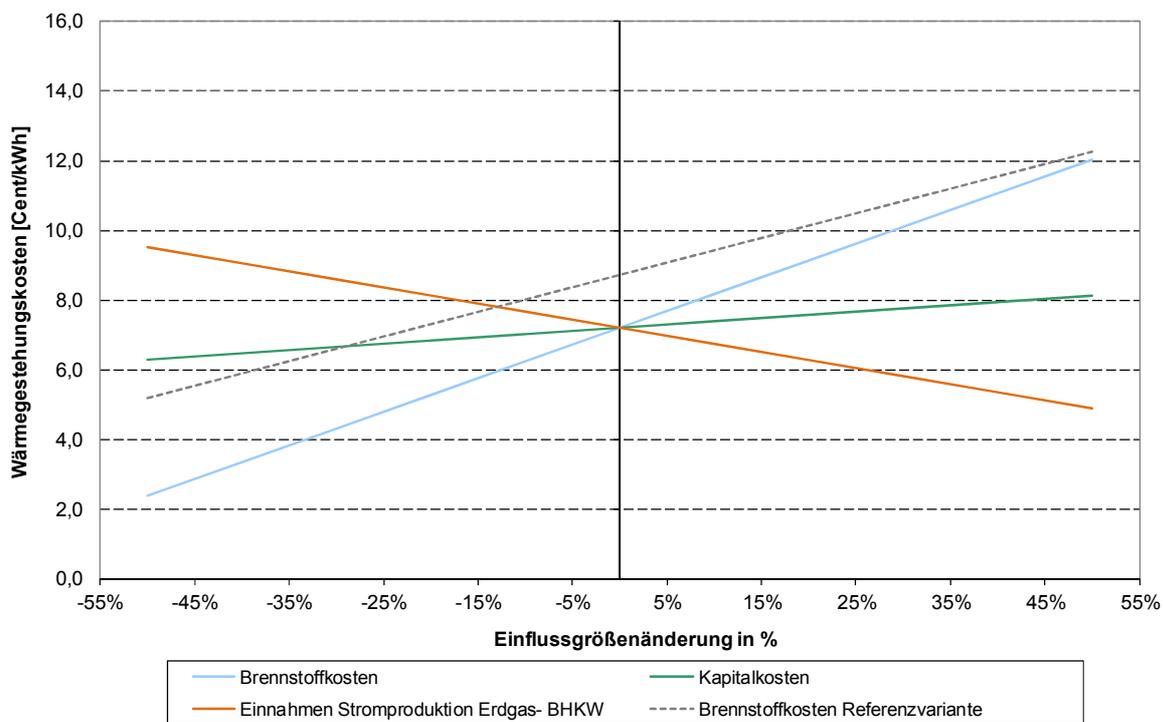


Abbildung 33: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.2 Erdgas-BHKW (93 kW<sub>th</sub>, 50 kW<sub>el</sub>)

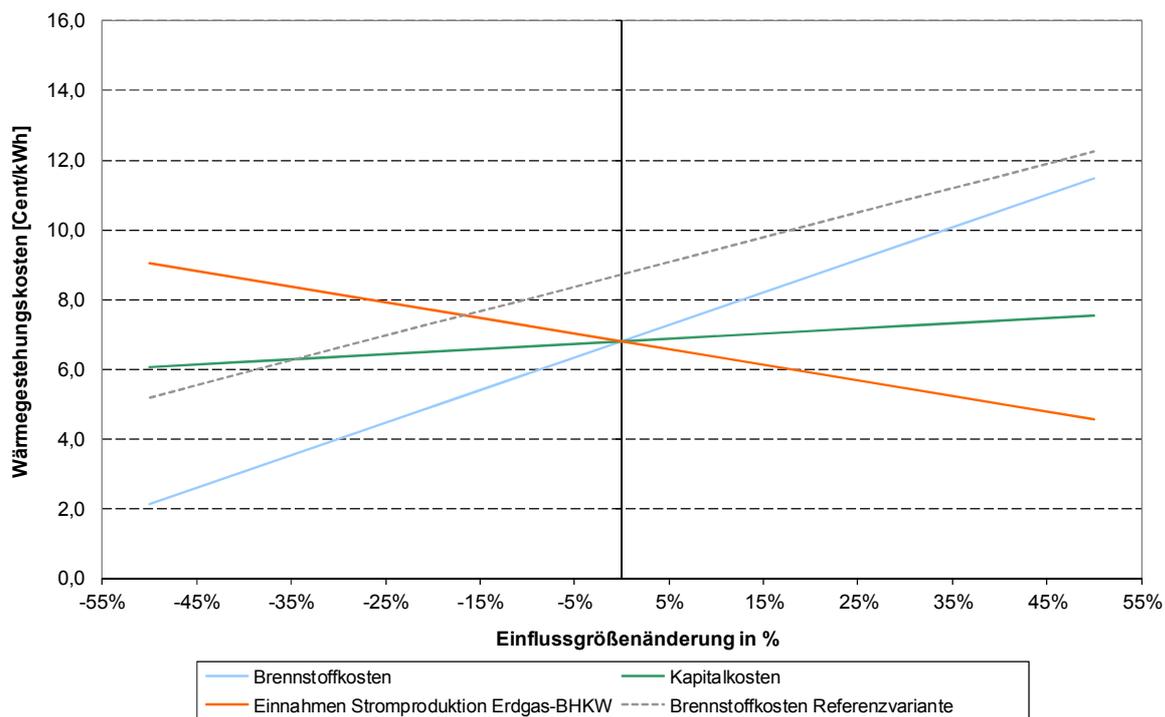


Abbildung 34: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.3 (Erdgas-BHKW 33kW<sub>el</sub>, 64 kW<sub>th</sub>)

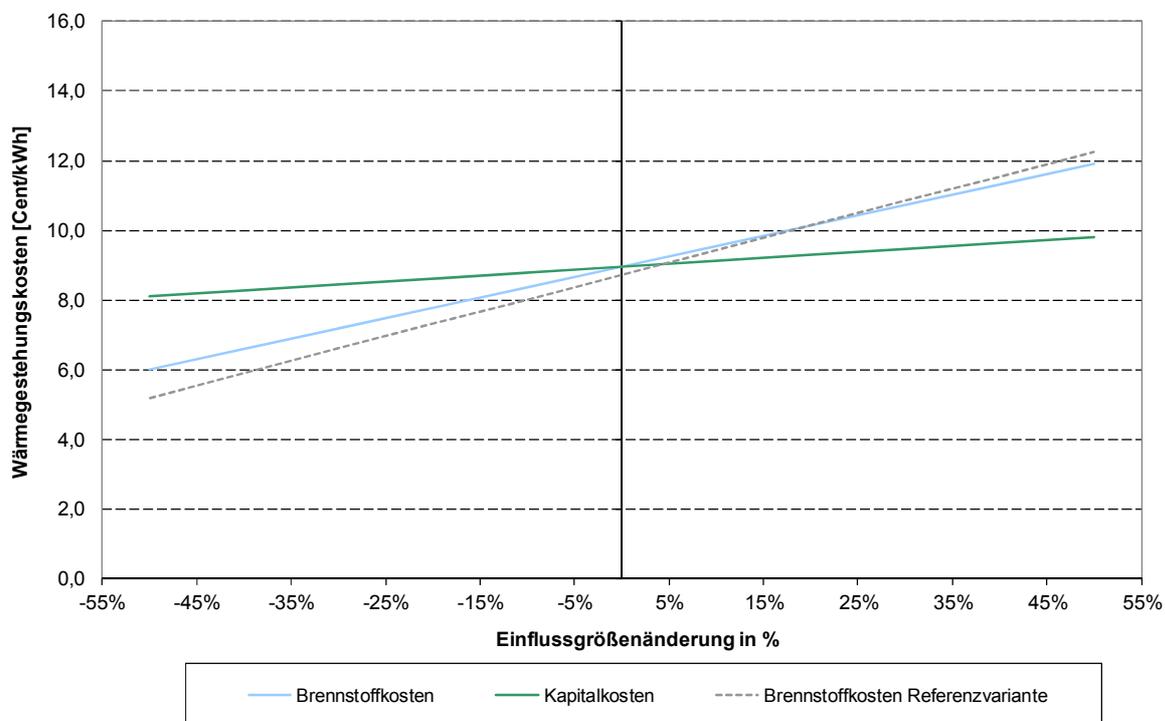


Abbildung 35: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.4 (Pelletkessel)

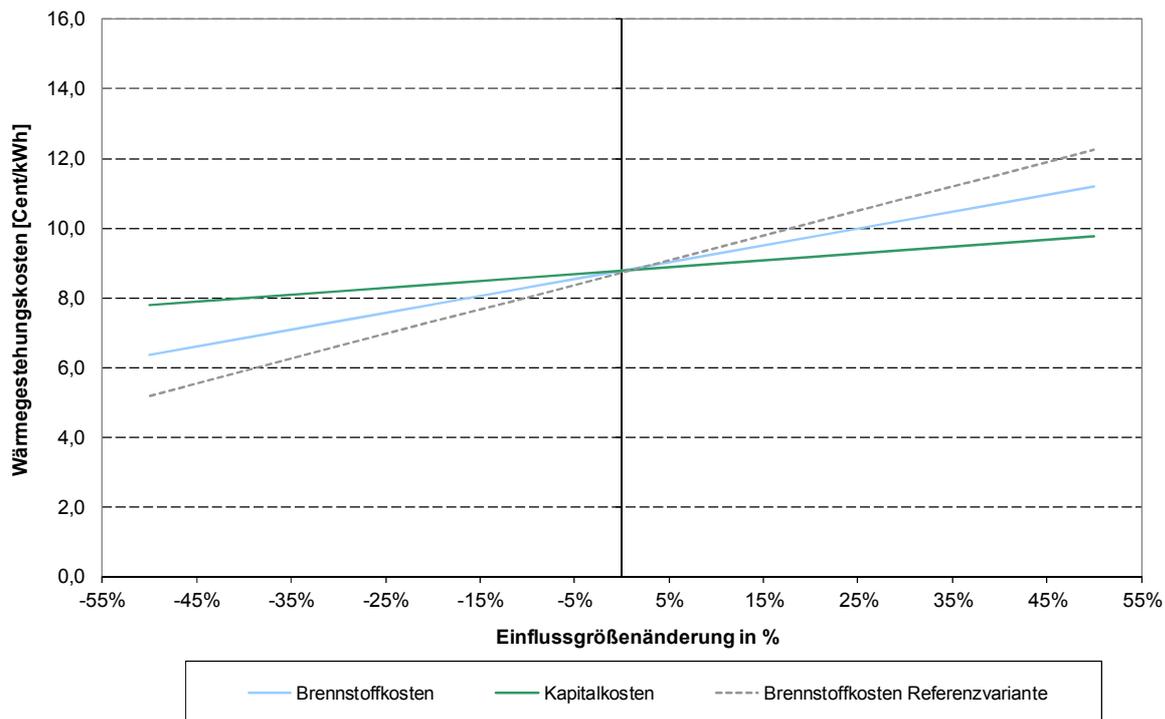


Abbildung 36: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.5 (Hackgutkessel)

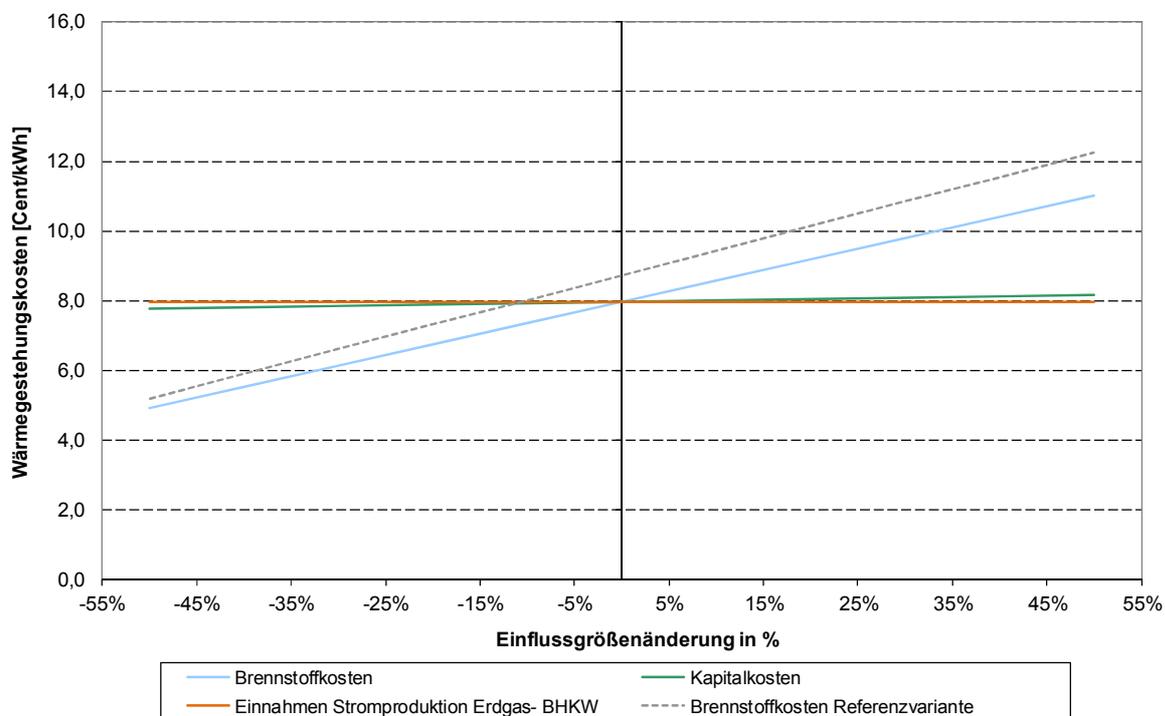


Abbildung 37: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.6 (Fernwärme)

## 5.5 Berücksichtigung möglicher Förderungen

Im Rahmen der Umsetzung ökologischer Energieversorgungsvarianten werden teilweise von verschiedenen Stellen Zuschüsse bzw. verbilligte Zinskredite, etc. gewährt. Die einzelnen möglichen Fördermaßnahmen sind im Kapitel 4.2 detailliert beschrieben. Grundsätzlich gilt zu beachten, dass die hier dargestellten Förderungen keinen Anspruch auf Gewährung und Vollständigkeit der berücksichtigten Fördermittel besteht. Die Gewährung ist bei dem jeweiligen Fördergeber immer eine Einzelfallentscheidung.

Für die in der Studie untersuchten Energieversorgungsvarianten können folgende Förderungen beantragt werden.

**Tabelle 10: Die mögliche Förderung der einzelnen Energieversorgungsvarianten**

	Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
<b>Technische Anlagen</b>							
Biomasse [€]					3.000	3.000	
Pufferbonus [€]					1.500	1.500	
TFZ [€]					41.250	41.250	
Mini- KWK [€]							
<b>maximale Projektförderung</b> [€]	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45.750</b>	<b>45.750</b>	<b>0</b>

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW	Erdgas-BHKW (50 kW <sub>el</sub> )	Erdgas-BHKW (33 kW <sub>el</sub> )	Pelletkessel	Hackgutkessel	Fernwärme
	Erdgas-BHKW	Erdgaskessel	Erdgaskessel	Erdgaskessel	Erdgaskessel	

Aufgrund der oben dargestellten Förderungen können die Investitionskosten für die Biomassekessel (Pellet bzw. Hackgut) um rund 45.800 € gesenkt werden. Die hierdurch entstehende Einsparung kann die spezifischen Wärmegestehungskosten um rund 0,5 Cent/kWh senken. In Tabelle 11 sind die Jahresgesamtkosten ohne und mit Förderung dargestellt.

**Tabelle 11: Die Auswirkung der Fördermittel auf die Wärmegestehungs- und Jahresgesamtkosten**

	Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
	<b>ohne Förderungen</b>						
Wärmegestehungskosten [Ct/kWh]	8,7	8,6	7,2	6,8	9,0	8,8	8,0
Jahresgesamtkosten [€/a]	58.300	57.800	48.200	45.500	59.900	58.700	53.300
	<b>mit Förderungen</b>						
Wärmegestehungskosten [Ct/kWh]	8,7	8,6	7,2	6,8	8,5	8,3	8,0
Jahresgesamtkosten [€/a]	58.300	57.800	48.200	45.500	56.800	55.600	53.300
Einsparung [%]	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW Erdgas- BHKW	Erdgas- BHKW (50 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Erdgas- BHKW (33 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Pelletkessel Erdgaskessel	Hackgutkessel Erdgaskessel	Fernwärme

Wie aus obiger Tabelle ersichtlich ist, können die Förderungen für die Biomassewärmeerzeuger das Gesamtbild nicht verändern. So zeigt sich der Einsatz eines wärmegeführten Erdgas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 33 kW – unter den getroffenen Annahmen – am wirtschaftlichsten.

## 6 Die CO<sub>2</sub>- Bilanz der Energieversorgungsvarianten

Für die verschiedenen neuen Energieversorgungsvarianten wird zur Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit eine Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durchgeführt. Dabei wird neben dem jährlichen Brennstoffbedarf auch der Hilfsenergiebedarf (elektrische Energie) berücksichtigt. Für den Strom aus der Kraft-Wärme-Kopplung wird eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift angesetzt, da dieser Strom aus dem öffentlichen Netz ersetzt. Die CO<sub>2</sub>- Äquivalente wurden mit Hilfe der GEMIS- Datenbank ermittelt. [CO<sub>2</sub>-Äquivalente GEMIS 4.9].

<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach GEMIS 4.9 und eigenen Berechnungen IfE; 07/2014</b>	
<b>Brennstoff</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalent (Gesamte Prozesskette) [g/kWh]</b>
<b>Strom</b>	<b>624</b>
<b>Erdgas</b>	<b>240</b>
<b>Holzpellets</b>	<b>18</b>
<b>Hackschnitzel</b>	<b>14</b>
<b>Fernwärme</b>	<b>47</b>

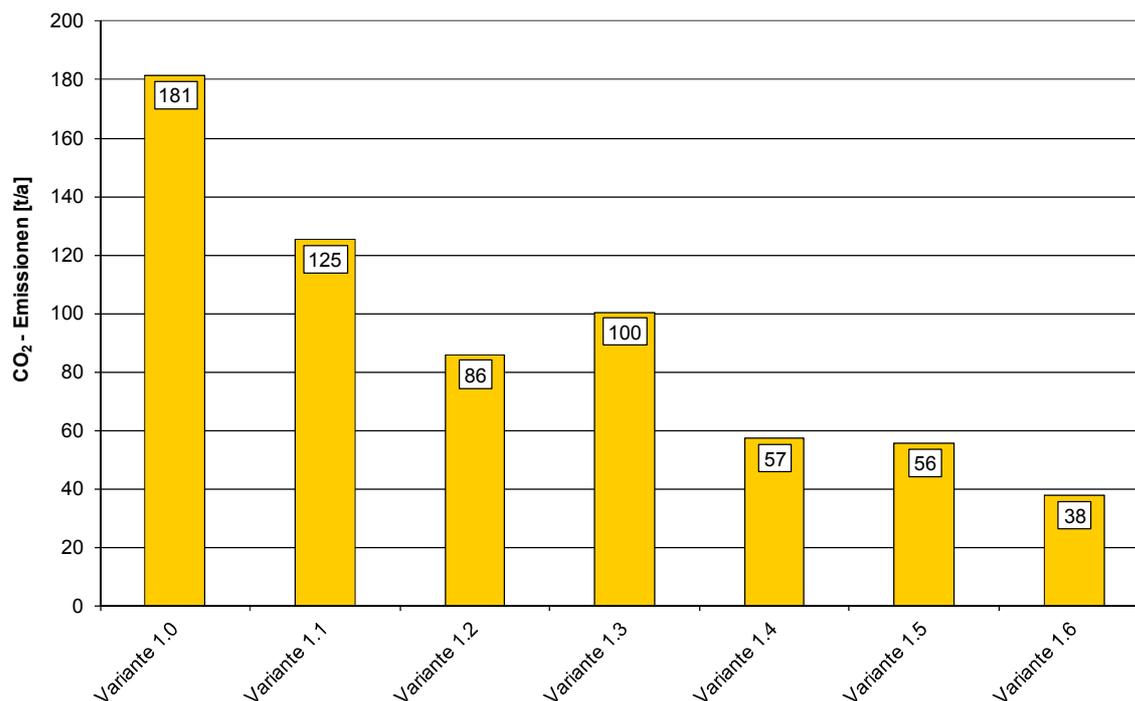


Abbildung 38: Die CO<sub>2</sub>- Bilanz der Energieversorgungsvarianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW Erdgas-BHKW	Erdgas-BHKW (50 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Erdgas-BHKW (33 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Pelletkessel Erdgaskessel	Hackgutkessel Erdgaskessel	Fernwärme

Die höchsten CO<sub>2</sub>- Emissionen ergeben sich bei der Referenzvarianten 1.0, da hier nur der fossile Energieträger Erdgas eingesetzt wird. Die geringsten Kohlendioxidemissionen weist die Varianten 1.6 auf. Im Gesamtvergleich kann mit jeder Energieversorgungsvariante der CO<sub>2</sub>- Ausstoß gegenüber der Variante 1.0 gesenkt werden.

## 7 Zusammenfassung mit Handlungsempfehlung

Im vorliegenden Energiekonzept für das BRK Altenwohn- und Pflegeheim in Bad Neustadt an der Saale wurde zunächst der energetische Ist- Zustand erfasst. Es werden jährlich ca. 1.420.000 kWh Primärenergie verbraucht. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß beträgt rund 326 Tonnen pro Jahr.

Das Gebäude soll komplett saniert und an die Anforderungen eines modernen Pflegeheimes angepasst werden. Hierzu ist geplant die Zimmeraufteilung zu überarbeiten, die komplette Wärmeversorgung zu erneuern und den energetischen Standard zu optimieren.

Im Rahmen der Studie wurden in einem zweiten Schritt die Einsparpotentiale ermittelt, die sich durch eine hochwertige energetische Gebäudesanierung ergeben. Es hat sich gezeigt, dass der Endenergieverbrauch um fast 30% gesenkt werden kann. Die einzelnen Sanierungsschritte amortisieren sich im Bereich von 25 bis 40 Jahren. In Abstimmung mit dem Bauherrn wurde festgelegt, dass alle geplanten Sanierungsmaßnahmen für die weiteren Berechnungen berücksichtigt werden sollen.

Für die Dimensionierung künftiger Energieversorgungsvarianten muss eine Aufstockung berücksichtigt werden. Aufgrund der Umstrukturierung und neuen Flächenaufteilung fallen im Bestandsbau Pflegezimmer weg, die in einer Aufstockung untergebracht werden sollen. In Summe müssen nach der Sanierung und Erweiterung ein jährlicher Heizwärmebedarf von rund 668.000 kWh/a zur Verfügung gestellt werden.

Auf dem künftigen Wärmebedarf aufbauend wurden verschiedene Energieversorgungsvarianten entwickelt und detailliert untersucht. Für folgende Varianten wurde eine Vollkostenrechnung in Anlehnung an die VDI 2067 durchgeführt:

- Variante 1.0: Erdgaskessel (Referenz)
- Variante 1.1: Mini-BHKW-Module mit Spitzenlastkessel
- Variante 1.2: Erdgas-BHKW (93kW<sub>th</sub>, 50kW<sub>el</sub>) mit Eigenstromnutzung und Spitzenlastkessel
- Variante 1.3: Erdgas-BHKW (64kW<sub>th</sub>, 33kW<sub>el</sub>) mit Eigenstromnutzung und Spitzenlastkessel
- Variante 1.4: Pelletkessel (ggf. mit Spitzenlastkessel)
- Variante 1.5: Hackgutkessel (ggf. mit Spitzenlastkessel)
- Variante 1.6: Fernwärmeanschluss

Neben der ökonomischen Vertretbarkeit der einzelnen Versorgungskonzepte wurden auch die ökologischen Auswirkungen im Rahmen einer CO<sub>2</sub>-Bilanz betrachtet. In Nachfolgender Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und der CO<sub>2</sub>-Bilanz zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 12: Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und CO<sub>2</sub>- Bilanz**

		Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
<b>ohne mögliche Förderungen</b>								
Investitionskosten	[€]	91.000	205.000	183.000	148.000	170.000	197.000	40.000
Jahresgesamtkosten	[€]	59.000	58.000	49.000	46.000	60.000	59.000	54.000
Wärme-gestehungskosten	[Ct/kWh]	8,7	8,6	7,2	6,8	9,0	8,8	8,0
<b>mit möglichen Förderungen</b>								
max. Projektförderung	[€]	0	0	0	0	45.750	45.750	0
Jahresgesamtkosten	[€]	59.000	58.000	49.000	46.000	57.000	56.000	54.000
Wärme-gestehungskosten	[Ct/kWh]	8,7	8,6	7,2	6,8	8,5	8,3	8,0
CO <sub>2</sub> -Emissionen	[t/a]	180	125	85	100	55	55	40

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5	Variante 1.6
2 x Erdgaskessel	4 x Erdgas-BHKW Erdgas- BHKW	Erdgas- BHKW (50 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Erdgas- BHKW (33 kW <sub>el</sub> ) Erdgaskessel	Pelletkessel Erdgaskessel	Hackgutkessel Erdgaskessel	Fernwärme

Aus obiger Tabelle ist ersichtlich, dass die günstigste Energieversorgung mit der Installation eines Erdgas- BHKW mit einer elektrischen Leistung von rund 33 kW realisiert werden kann. Die Jahresgesamtkosten liegen bei rund 46.000 €. Im Vergleich zur Referenzvariante 1.0 sind die Jahreskosten um rund 13.000 € niedriger als bei einer klassischen Versorgung mit einem Erdgaskessel. Im Vergleich zur aktuell installierten Wärmeerzeugung (Variante 1.1) können die Jahreskosten um rund 12.000 € gesenkt werden. Auch im Hinblick auf die langfristige Sicherung geringer Wärme-gestehungskosten wurde im Rahmen der Sensitivitätsanalyse deutlich gezeigt, dass aufgrund der kombinierten Strom- und Wärme-gestehungskosten die Energiekosten bei gleichzeitig steigenden Strom- und Gaspreisen die Wärme-gestehungskosten weitestgehend konstant gehalten werden können. Zwingend erforderlich hierfür ist ein hoher Eigenstromanteil des erzeugten BHKW-Stroms.

Fazit: Die detaillierte Gebäudeuntersuchung hat gezeigt, dass im Bereich der Gebäudehüllfläche deutliche Einsparpotentiale vorhanden sind, die in Rücksprache mit dem Bauherrn genutzt werden sollen. Es ist eine energieeffiziente Sanierung anzustreben. In

Kombination eines sanierten Gebäudes unter Berücksichtigung der Erweiterung ist die Installation eine Erdgas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 33 kW die wirtschaftlichste Energieversorgung für das Altenwohn- und Pflegeheim in Bad Neustadt an der Saale.

*HINWEIS: Im Rahmen weiterer Detailplanungen der Innensanierung und Überprüfung der Statik hat sich gezeigt, dass im Gebäude viele Unterzüge vorhanden sind. Dies müssten durch die Haustechnik (neue Heizleitung, Rohrkanäle für Lüftungstechnik, Schächte für weitere Installationen) aufwendig umfahren werden. Zusätzlich sind aufgrund erforderlicher Schächte statische Verstärkungen erforderlich. Dies führt zu einem deutlichen Kostenanstieg der geplanten Sanierung. Dies übersteigt nach erster Prognose des Architekten die Kosten für einen alternativen Gebäudeneubau deutlich. Im weiteren Vorgehen soll daher durch das beauftragte Architekturbüro und den Bauherrn im Detail geprüft werden, ob ein Ersatzneubau die Kosten deutlich senken kann.*

*Im Bestandsgebäude erfolgt somit keine Aufstockung des Gebäudes. Die energetischen Sanierungen sollen teilweise umgesetzt. Es ergibt sich daher nur eine geringfügige Änderung des künftigen Heizwärmebedarfs. Die in der Studie erstellten Berechnungen können somit auf das teilsanierte Bestandsgebäude ohne Einschränkungen übertragen werden.*

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Installierte Standardstufenpumpen.....	9
Abbildung 2: Der monatliche Allgemiestromverbrauch (Bezug aus dem Stromnetz).....	11
Abbildung 3: Der elektrische Stromlastgang für das Jahr 2013.....	12
Abbildung 4: Der Stromlastgang des Monat März 2013.....	13
Abbildung 5: Der Stromlastgang des Monat August 2013.....	13
Abbildung 6: Energieverbrauchskennwerte in Altenheimen [Quelle: EnergieAgentur.NRW].	14
Abbildung 7: Einsparpotential bei Leuchtstofflampen .....	20
Abbildung 8: Heizkreise mit und ohne hydraulischen Abgleich .....	24
Abbildung 9: Die Endenergieeinsparpotentiale .....	29
Abbildung 10: Die Netto-Investitionskosten und die Amortisationsdauer der Sanierungsmaßnahmen .....	30
Abbildung 11: Die Umweltwirkungen der Sanierungsmaßnahmen.....	30
Abbildung 12: Die thermische Jahresdauerlinie des Pflegeheims nach der Sanierung und mit Aufstockung .....	32
Abbildung 13: Auszug 1 aus dem Planungstool Lüftungskonzept [Quelle: Planungstool Bundesverband für Wohnungslüftung e.V. und Berechnungen IfE] .....	34
Abbildung 14: Auszug 2 aus dem Planungstool Lüftungskonzept [Quelle: Planungstool Bundesverband für Wohnungslüftung e.V. und Berechnungen IfE] .....	35
Abbildung 15: Wärmebrückendetail „Auskragende Balkonplatte“ .....	37
Abbildung 16: Wärmebrückendetail „Auskragende Balkonplatte“ mit WDVS .....	38
Abbildung 17: Wärmebrückendetail „Auskragende Balkonplatte“ mit WDVS und zusätzlicher Balkonumdämmung .....	39
Abbildung 18: Die Jahresdauerlinie mit der Versorgung im Ist-Zustand.....	41
Abbildung 19: Die Jahresdauerlinie mit Mini-BHKW-Module und Erdgasspitzenlastkessel...42	
Abbildung 20: Die Jahresdauerlinie mit Erdgas-BHKW (50 kW <sub>el</sub> , 93 kW <sub>th</sub> ) und Erdgasspitzenlastkessel.....	44
Abbildung 21: Die Jahresdauerlinie mit Erdgas-BHKW (33kW <sub>el</sub> , 64kW <sub>th</sub> ) und Erdgasspitzenlastkessel.....	46
Abbildung 22: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.4 (Pelletkessel).....	48

Abbildung 23: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.5 (Hackgutkessel).....	50
Abbildung 24: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.6 (Fernwärme).....	52
Abbildung 25: Der KWK- Index an der Strombörse EEX [Stand: 10.2015].....	58
Abbildung 26: Die prognostizierten Investitionskosten der Varianten.....	64
Abbildung 27: Die jährlichen Ausgaben der Varianten.....	65
Abbildung 28: Die jährlichen Einnahmen der Varianten.....	66
Abbildung 29: Die Jahresgesamtkosten der Varianten.....	67
Abbildung 30: Exemplarische Sensitivitätsanalyse.....	68
Abbildung 31: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.0 (Erdgasfeuerung).....	69
Abbildung 32: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.1 (Mini-BHKW-Module).....	70
Abbildung 33: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.2 Erdgas-BHKW (93 kW <sub>th</sub> , 50 kW <sub>el</sub> ) ..	70
Abbildung 34: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.3 (Erdgas-BHKW 33kW <sub>el</sub> , 64 kW <sub>th</sub> ) ...	71
Abbildung 35: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.4 (Pelletkessel).....	71
Abbildung 36: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.5 (Hackgutkessel).....	72
Abbildung 37: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.6 (Fernwärme).....	72
Abbildung 38: Die CO <sub>2</sub> - Bilanz der Energieversorgungsvarianten.....	76

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die installierten Wärmeerzeuger .....	6
Tabelle 2: Der Erdgasverbrauch der letzten Jahre für die Gebäudebeheizung .....	7
Tabelle 3: Der Erdgasverbrauch der letzten Jahre für den Küchenbetrieb .....	7
Tabelle 4: Die BHKW- Laufzeiten .....	8
Tabelle 5: Der Stromverbrauch der letzten Jahre .....	10
Tabelle 6: Die CO <sub>2</sub> - und Primärenergiebilanz im Ausgangszustand .....	15
Tabelle 7: Die Gebäudebewertung des Pflegeheimes Bad Neustadt [Quelle: eigene Berechnungen und Anton Gottwalt – Beratender Ingenieur für Bauwesen und Statik 1982] .....	16
Tabelle 8: Das Einsparpotential beim Tausch einer Grundfos UPE 32 - 60 .....	23
Tabelle 9: Der Heizwärmebedarf vor und nach den Sanierungsmaßnahmen .....	31
Tabelle 10: Die mögliche Förderung der einzelnen Energieversorgungsvarianten.....	73
Tabelle 11: Die Auswirkung der Fördermittel auf die Wärmegestehungs- und Jahresgesamtkosten .....	74
Tabelle 12: Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und CO <sub>2</sub> - Bilanz .....	78