

**Amt am Peenestrom**



**Integriertes Wärmenutzungskonzept**



**Wolgast  
Schule Heberleinstraße**

für das

**Amt „Am Peenestrom“  
Stadt Wolgast**

Burgstraße 6  
17438 Wolgast

durch die Arbeitsgemeinschaft

**Ingenieurbüro für Gebäudetechnik  
Dipl.-Ing. Christian Dinse**

Möskenweg 10a  
17454 Zinnowitz

**IPP ESN Power Engineering GmbH**

Rendsburger Landstraße 196 - 198  
24113 Kiel

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN .....</b>	<b>4</b>
2.1	WÄRMEBEDARF.....	4
2.2	STRUKTUR DES HEIZWÄRMEBEDARFES .....	4
2.3	DERZEITIGE CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN .....	5
<b>3</b>	<b>TECHNISCHES KONZEPT .....</b>	<b>5</b>
3.1	VERSORGUNGSVARIANTEN .....	5
3.1.1	VARIANTE BHKW .....	6
3.1.2	VARIANTE HOLZFEUERUNG .....	7
3.2	AUSLEGUNG UND BILANZEN .....	8
<b>4</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN .....</b>	<b>9</b>
4.1	INVESTITIONSSCHÄTZUNG .....	10
4.1.1	<i>Variante BHKW</i> .....	10
4.1.2	<i>Variante Holzpellets</i> .....	11
4.1.3	<i>Variante Holzhackschnitzel</i> .....	12
4.2	ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE ANSÄTZE.....	13
4.3	JÄHRLICHE BETRIEBSKOSTEN.....	14
4.4	ANLEGBARE KOSTEN .....	15
4.5	VERGLEICH DER VARIANTEN .....	16
<b>5</b>	<b>SENSITIVITÄTSANALYSEN.....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE VORGEHENSWEISE .....</b>	<b>20</b>

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die regionale Schule in der Heberleinstraße wurde als ein Wärmeschwerpunkt unter den öffentlichen Liegenschaften in Wolgast identifiziert. Im folgenden Konzept wurde untersucht, ob erneuerbare Energien und/oder Kraft-Wärme-Kopplung als alternative Wärmeversorgung der Schule aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht möglich sind.

Abbildung 1-1: Betrachtete Liegenschaften



## 2 Grundlagen

### 2.1 Wärmebedarf

Als Basis für die nachfolgenden Betrachtungen werden die Bestandsauswertungen in Form von DIN 18599 Berechnungen zu Grunde gelegt.

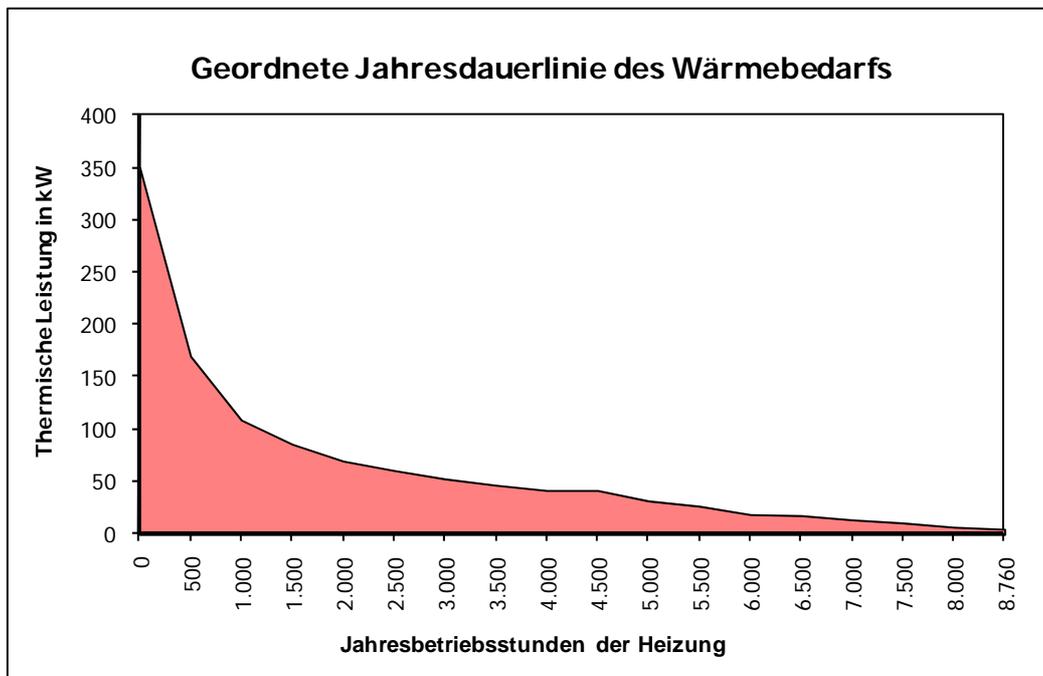
**Tabelle 2.1-1: Berechnete Wärmebedarfe**

Nutzwärmebedarf: Summe der Einzelanlagen ohne Gleichzeitigkeit	JVBS [h/a]	Wärmebedarf	
		Arbeit [MWh/a]	Leistung [kW]
Schule Heberleinstraße	1.400	492	350

### 2.2 Struktur des Heizwärmebedarfes

Für alle zentralen Betrachtungen wie z.B. Blockheizkraftwerke, Holzfeuerungen etc., ist die Struktur des Wärmebedarfes ein wichtiges Kriterium. Mit einer so genannten geordneten Jahresdauerlinie wird aufgezeigt wie sich der stündliche Wärmeleistungsbedarf eines Gebietes/Liegenschaft darstellt. Werden alle 8.760 Stundenleistungsbedarfe eines Jahres nach ihrer Größe sortiert so ergeben sich die nachfolgende Grafik.

**Abbildung 2.2-1: Struktur des Wärmebedarfes**



## 2.3 Derzeitige CO<sub>2</sub>-Emissionen

Nachfolgend sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeführt, welche sich auf Basis der derzeitigen dezentralen Wärmeversorgung mit Erdgaskesseln ergeben.

**Tabelle 2.3-1: CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Derzeitige CO <sub>2</sub> -Emissionen	Wärme- bedarf Arbeit [MWh/a]	Brennstoff- bedarf [MWh <sub>HU</sub> /a]	Primär- energieträger	Emissions- faktor g CO <sub>2</sub> /kWh	CO <sub>2</sub> - Emissionen t CO <sub>2</sub> /a
Schule Heberleinstraße	492	547	Erdgas E	247	135

## 3 Technisches Konzept

### 3.1 Versorgungsvarianten

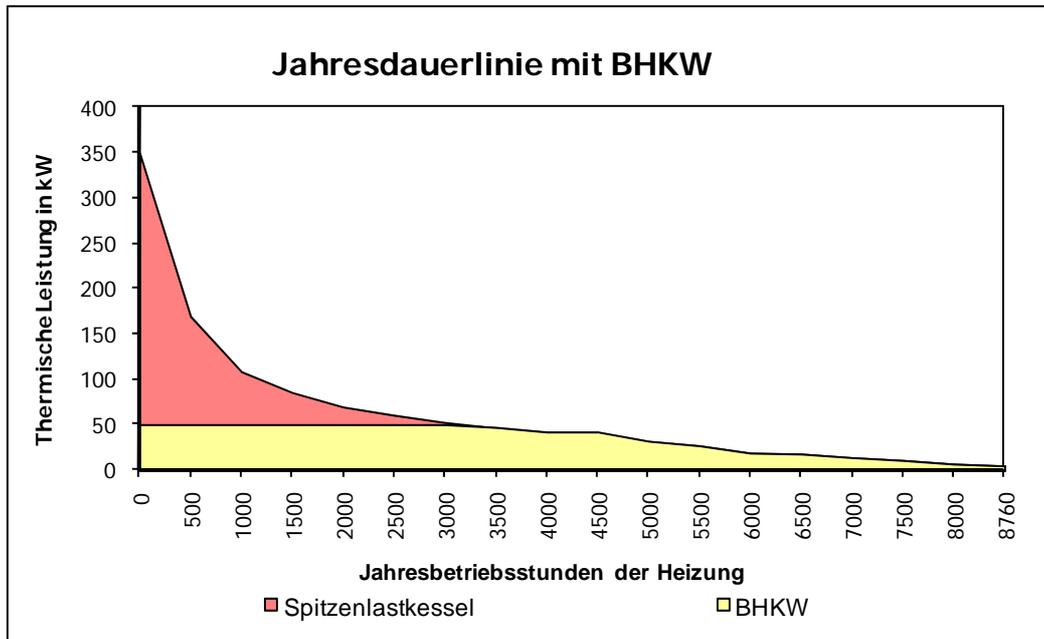
Es werden vier Varianten betrachtet:

- 1) Versorgung durch ein Erdgas-BHKW und einem Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung
- 2) Versorgung durch ein Bioerdgas-BHKW und einem Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung
- 3) Versorgung durch einen Holzpelletkessel und einem Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung
- 4) Versorgung durch einen Holzhackschnittelkessel und einem Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung

### 3.1.1 Variante BHKW

In dieser Modellrechnung wird eine modulare Wärmeversorgung durch ein BHKW-Modul in Verbindung mit einem Spitzenlastgaskessel vorgesehen. Es kann in diesem Gebiet ein BHKW mit einer thermischen Leistung von ca. 50kW installiert werden.

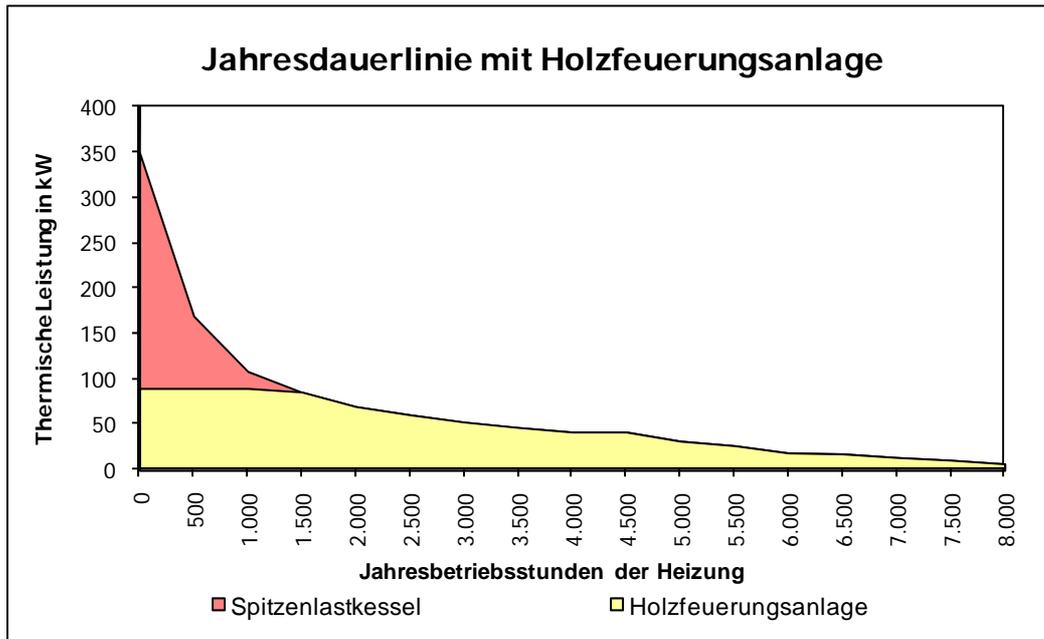
Abbildung 3.1-1: Struktur des Wärmebedarfes mit BHKW



### 3.1.2 Variante Holzfeuerung

In der Versorgungsvariante mit einer Holzfeuerung (Pellet oder Hackschnitzel) ist ein Biomassekessel mit einer thermischen Leistung von 90 kW im Einsatz.

Abbildung 3.1-2: Struktur des Wärmebedarfes mit Holzfeuerungsanlage



### 3.2 Auslegung und Bilanzen

Auf Basis der zuvor aufgezeigten Bedarfsstrukturen und der ermittelten Bedarfe erfolgte die Bilanzierung (Brennstoffbedarf, Wärme- und Stromerzeugung) für jede ausgewählte Versorgungstechnik. Um eine hohe Vollbenutzungszahl der einzelnen Anlagen zu erreichen wurden die technischen Anlagen mit Hilfe der Jahresdauerlinie für eine Grundlastdeckung ausgelegt. Die Abdeckung zu Spitzenlastzeiten wird in allen Varianten durch zusätzliche Gaskessel bewerkstelligt.

**Tabelle 3.2-1: Auslegung und Energiebilanzen**

		Variante 1:	Variante 2:	Variante 3:	Variante 4:	Einheit
<b>Auslegungsdaten</b>		Erdgas-BHKW	Bioerdgas-BHKW	Holzpellets	Holz hackschnitzel	
Gesamter Nutzwärmebedarf	ca.	492	492	492	492	MWh <sub>Nutz</sub> /a
Spitzenleistung gesamt	ca.	350	350	350	350	kW
<b><u>BHKW:</u></b>						
Thermische Leistung	ca.	50	50	-	-	kW <sub>th</sub>
Elektrische Leistung	ca.	20	20	-	-	kW <sub>el</sub>
Brennstoffleistung bezogen auf H <sub>u</sub>	ca.	75	75	-	-	kW <sub>Hu</sub>
Jahresvollbenutzungsstunden	ca.	5.890	5.890	-	-	h/a
Erzeugte thermische Arbeit	ca.	295	295	-	-	MWh <sub>th</sub> /a
Erzeugte elektrische Arbeit	ca.	118	118	-	-	MWh <sub>el</sub> /a
Gesamter Brennstoffeinsatz bez. auf H <sub>u</sub>	ca.	442	442	-	-	MWh <sub>Hu</sub> /a
<b><u>Holzfeuerungsanlage:</u></b>						
Thermische Leistung	ca.	-	-	90	90	kW <sub>th</sub>
Brennstoffleistung bezogen auf H <sub>u</sub>	ca.	-	-	100	100	kW <sub>Hu</sub>
Jahresvollbenutzungsstunden	ca.	-	-	4.220	4.220	h/a
Erzeugte thermische Arbeit	ca.	-	-	380	380	MWh <sub>th</sub> /a
Gesamter Brennstoffeinsatz bez. auf H <sub>u</sub>	ca.	-	-	422	422	MWh <sub>Hu</sub> /a
<b><u>Erdgas-Spitzenlastkessel</u></b>						
Thermische Leistung	ca.	350	350	350	350	kW <sub>th</sub>
Erzeugte thermische Arbeit	ca.	198	198	112	112	MWh <sub>th</sub> /a
Eta Kesselanlage	ca.	90%	90%	90%	90%	
Gesamter Brennstoffeinsatz bez. auf H <sub>u</sub>	ca.	219	219	125	125	MWh <sub>Hu</sub> /a

## 4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

In diesem Abschnitt soll untersucht und dargestellt werden, welche Investitionen zur Einbindung und zum Betrieb dieser Anlagen erforderlich sind, und mit welchen Kosten gerechnet werden muss.

Alle Betrachtungen werden auf Basis einer Vollkostenbetrachtung, das heißt unter Berücksichtigung aller Kosten wie z.B für

- Kapital,
- Wartung, Reparatur, Instandsetzung,
- Betriebsmittel,
- Primärenergie (Erdgas),
- Stromgutschrift,
- Wärmegutschrift,
- Personal,
- Steuern, Versicherung, etc.

durchgeführt.

## 4.1 Investitionsschätzung

In den nachfolgenden Tabellen werden die in Ansatz gebrachten Investitionen aufgezeigt. Als erste Abschätzung wurden bei der IPP ESN vorliegende Erfahrungswerte, spezifische Ansätze, Listenpreise und im Haus der IPP ESN vorliegende Richtpreisangebote von Hersteller verwendet.

### 4.1.1 Variante BHKW

		Variante BHKW
<b>Investitionen</b>		
Unvorhergesehenes	10%	
Planung, Gutachten etc.	10%	
<b>Investitionen BHKW</b>		
BHKW-Modul	ca.	45.000 €
Wärmespeicher-Größe (ca. 1Std Laufzeit)	ca.	2 m <sup>3</sup>
Wärmespeicher Kosten	ca.	2.000 €
Elektrische Anbindung, Trafo, etc.	ca.	10.000 €
Unvorhergesehenes	ca.	5.700 €
Zwischensumme	ca.	62.700 €
Planung, Gutachten etc.	ca.	6.300 €
<b>Gesamte Investitionen BHKW</b>	<b>ca.</b>	<b>69.000 €</b>
<b>Investitionen Kesselanlagen und Peripherie</b>		
Benötigte Kesselleistung	ca.	350 kW
Investition Kessel	ca.	45.000 €
Schornsteinanlage, inkl. Anbindung, Fundament etc.	ca.	20.000 €
Zwischensumme	ca.	65.000 €
Unvorhergesehenes	ca.	6.500 €
Zwischensumme	ca.	71.500 €
Planung, Gutachten etc.	ca.	7.200 €
<b>Gesamte Investitionen Kessel</b>	<b>ca.</b>	<b>78.700 €</b>
<b>Gesamte Investitionen</b>	<b>ca.</b>	<b>147.700 €</b>

### 4.1.2 Variante Holzpellets

		Variante Pellets
<b>Investitionen</b>		
Unvorhergesehenes	10%	
Planung, Gutachten etc.	10%	
<b>Investitionen Pelletkessel</b>		
Invest Pelletkessel	ca.	50.000 €
Wärmespeicher-Größe	ca.	5 m <sup>3</sup>
Wärmespeicher kosten	ca.	5.000 €
Benötigter Pelletbunker (2x füllen/Monat )		10 m <sup>3</sup>
Kosten Pelletbunker	ca.	8.000 €
Unvorhergesehenes	ca.	6.300 €
Zwischensumme	ca.	69.300 €
Planung, Gutachten etc.	ca.	6.930 €
<b>Gesamte Investitionen Pelletkessel</b>	<b>ca.</b>	<b>76.230 €</b>
<b>Investitionen Kesselanlagen und Peripherie</b>		
Benötigte Kesselleistung	ca.	350 kW
Investition Kessel	ca.	45.000 €
Schornsteinanlage, inkl. Anbindung, Fundament etc.		20.000 €
Zwischensumme	ca.	65.000 €
Unvorhergesehenes	ca.	6.500 €
Zwischensumme	ca.	71.500 €
Planung, Gutachten etc.	ca.	7.150 €
<b>Gesamte Investitionen Kessel</b>	<b>ca.</b>	<b>78.650 €</b>
<b>Gesamte Investitionen</b>	<b>ca.</b>	<b>155.000 €</b>

#### 4.1.3 Variante Holzhackschnitzel

		Variante Hackschnitzel
<b>Investitionen</b>		
Unvorhergesehenes	10%	
Planung, Gutachten etc.	10%	
<b>Investitionen Hackschnitzelkessel</b>		
Hackschnitzelkessel	ca.	65.000 €
Wärmespeicher-Größe	ca.	5 m <sup>3</sup>
Wärmespeicher kosten	ca.	5.000 €
Benötigter Hackschnitzelbunker (2x füllen/Monat )		30 m <sup>3</sup>
Kosten Hackschnitzelbunker	ca.	15.000 €
Unvorhergesehenes	ca.	8.500 €
Zwischensumme	ca.	93.500 €
Planung, Gutachten etc.	ca.	9.350 €
<b>Gesamte Investitionen Hackschnitzelkessel</b>	<b>ca.</b>	<b>102.850 €</b>
<b>Investitionen Kesselanlagen und Peripherie</b>		
Benötigte Kesselleistung	ca.	350 kW
Investition Kessel	ca.	45.000 €
Schornsteinanlage, inkl. Anbindung, Fundament etc.		20.000 €
Zwischensumme	ca.	65.000 €
Unvorhergesehenes	ca.	6.500 €
Zwischensumme	ca.	71.500 €
Planung, Gutachten etc.	ca.	7.150 €
<b>Gesamte Investitionen Kessel</b>	<b>ca.</b>	<b>78.650 €</b>
<b>Gesamte Investitionen</b>	<b>ca.</b>	<b>182.000 €</b>

## 4.2 Energiewirtschaftliche Ansätze

Zur Durchführung der energiewirtschaftlichen Betrachtungen sind eine Vielzahl von Eingabewerten erforderlich. Die in Ansatz gebrachten Werte zeigen die folgenden Tabellen.

Investitionen						
Fernwärmetrasse			400 € / m			
Hausanschlussstationen (Durchschnitt)			5.000 € / Station			
Kapitalgebundene Kosten						
Zinssatz			ca.	5	% / Jahr	
<u>Kapitaldienstfaktoren (Annuitätische Betrachtung):</u>						
			Betrachtungszeitraum:			
BHKW	15	Jahre	==>	9,63%	/ Jahr	
Pellet- / Hackschnitzelanlagen	20	Jahre	==>	8,02%	/ Jahr	
Erdgas-Kesselanlagen	20	Jahre	==>	8,02%	/ Jahr	
Fernwärmenetz	30	Jahre	==>	6,51%	/ Jahr	
Wartung/Reparatur/Versicherung/Betrieb						
BHKW (Vollwartung)			ca.	3,2	Ct/kWh <sub>el</sub>	
Kesselanlagen			ca.	3,5%	je Jahr v.d. Inv.	
Wärmenetz			ca.	0,5%	je Jahr v.d. Inv.	
Steuern/Versicherung			ca.	1,0%	je Jahr v.d. Inv.	
Personalkosten (Ansatz)						
Durchschnittl. Stundensatz	40 €/Stunde					
<u>Personalaufwand</u>						
BHKW	1 Stunde pro Woche				2.080 € / Jahr	
Pelletkessel	3 Stunden pro Woche				6.240 € / Jahr	
Hackschnitzelkessel	5 Stunden pro Woche				10.400 € / Jahr	
Energie- und Hilfsstoffkosten						
<u>Brennstoffpreise:</u>						
<u>Bioerdgas</u>						
Arbeitspreis inkl. aller Nebenkosten					8,50 Ct/kWh <sub>Ho</sub>	
bei	1,10	Ho/Hu	==>	9,35	Ct/kWh <sub>Hu</sub>	
<u>Erdgas</u>						
Arbeitspreis inkl. aller Nebenkosten					3,70 Ct/kWh <sub>Ho</sub>	
bei	1,10	Ho/Hu	==>	4,07	Ct/kWh <sub>Hu</sub>	
<u>Holzpellets</u>						
Heizwert	5,0 kWh / kg				228 € / Tonne	
Volumen pro Tonne	1,53 Sm <sup>3</sup> / t		==>	4,56	Ct / kWh	
	0,31 Sm <sup>3</sup> / MWh					
<u>Holz hackschnitzel</u>						
Heizwert	3,39 kWh / kg				88 € / Tonne	
Volumen pro Tonne	4,00 Sm <sup>3</sup> / t		==>	2,60	Ct / kWh	
	1,18 Sm <sup>3</sup> / MWh					
Stromgutschrift						
<u>Einspeisevergütung gemäß KWKG:</u>						
Elektrische Leistung	KWK-Bonus	Vergütung EVU	vermeidene Netznutzung	vermiedener Strombezug		
bis : 50 kW <sub>el</sub>	5,11	4,10	0,68	19,80	Ct/kWh <sub>el</sub>	
bis : 2.000 kW <sub>el</sub>	2,10	4,10	0,68	19,80	Ct/kWh <sub>el</sub>	
<u>Strombedarfsdeckung durch BHKW:</u>						
				ca.	50%	
--> eingespeister Anteil des BHKW-Strom				ca.	50%	
<u>Einspeisevergütung gemäß EEG bei Inbetriebnahme 2011:</u>						
Elektrische Leistung	Basis-Vergütung	KWK Bonus	NawaRo-Bonus	Gülle-Bonus	Summe	
bis : 150 kW <sub>el</sub>	11,44	2,94	6,86	3,92	25,16	Ct/kWh <sub>el</sub>
bis : 500 kW <sub>el</sub>	9,00	2,94	6,86	0,98	19,78	Ct/kWh <sub>el</sub>
Sonstiges						
Erdgassteuerrückerstattung (BHKW-Betrieb)			0,55		Ct/kWh <sub>Ho</sub>	
Erdgassteuerrückerstattung (Kesselanlage)			0,22		Ct/kWh <sub>Ho</sub>	
Emissionsfaktor Holz hackschnitzel			0		g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Hu</sub>	
Emissionsfaktor Bioerdgas			0		g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Hu</sub>	
Emissionsfaktor bezogen auf Stromeinspeisung BHKW			590		g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Hu</sub>	
Emissionsfaktor Erdgas			247		g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Hu</sub>	
Emissionsfaktor Heizöl			311		g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Hu</sub>	
Alle Preise und Ansätze sind ohne MwSt						

### 4.3 Jährliche Betriebskosten

Nachfolgend werden die jährlichen Kosten bestimmt und dargestellt.

Tabelle 4.3-1: Jährliche Betriebskosten

Grundlagen:		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
		Erdgas-BHKW	Bioerdgas-BHKW	Holzpellets	Holz hackschnitzel	
Nutzwärmebedarf	ca.	492	492	492	492	MWh <sub>th</sub> /a
Leistungsbedarf	ca.	350	350	350	350	kW
<b>Wärmeerzeugung:</b>						
BHKW	ca.	295	295	-	-	MWh <sub>th</sub> /a
Holzfeuerung	ca.	-	-	380	380	MWh <sub>th</sub> /a
<b>Stromerzeugung:</b>						
Stromerzeugung im BHKW	ca.	118	118	-	-	MWh <sub>el</sub> /a
<b>Brennstoffbedarf:</b>						
Brennstoffeinsatz BHKW	ca.	442	442	-	-	MWh <sub>HU</sub> /a
Brennstoffeinsatz Holzfeuerung	ca.	-	-	422	422	MWh <sub>HU</sub> /a
Brennstoffeinsatz Spitzenlastkessel	ca.	219	219	125	125	MWh <sub>HU</sub> /a
<b>Investitionen</b>		<b>147.700</b>	<b>147.700</b>	<b>154.900</b>	<b>181.500</b>	<b>€</b>
BHKW inkl. Peripherie	ca.	69.000	69.000	-	-	€
Holzfeuerungsanlage inkl. Peripherie	ca.	-	-	76.230	102.850	€
Spitzenlastkessel	ca.	78.700	78.700	78.650	78.650	€
<b>Jahreskosten:</b>		<b>50.000</b>	<b>73.300</b>	<b>49.840</b>	<b>49.200</b>	<b>€/a</b>
<b>Kapitalkosten (gesamt)</b>						
BHKW inkl. Peripherie	ca.	6.648	6.648	-	-	€/a
Holzfeuerungsanlage inkl. Peripherie	ca.	-	-	6.117	8.253	€/a
Spitzenlastkessel	ca.	6.315	6.315	6.311	6.311	€/a
<b>Wartung, Reparatur, Instandsetzung (gesamt)</b>						
BHKW inkl. Peripherie	ca.	3.770	3.770	-	-	€/a
Holzfeuerungsanlage inkl. Peripherie	ca.	-	-	2.668	3.600	€/a
Spitzenlastkessel	ca.	2.755	2.755	2.753	2.753	€/a
<b>Steuern/Versicherung</b>						
BHKW	ca.	1.500	1.500	1.500	1.800	€/a
<b>Personalkosten</b>						
BHKW	ca.	2.100	2.100	6.240	10.400	€/a
<b>Brennstoffkosten (gesamt)</b>						
BHKW	ca.	26.900	50.200	24.300	16.000	€/a
Holzfeuerungsanlage	ca.	17.979	41.304	-	-	€/a
Spitzenlastkessel	ca.	-	-	19.243	10.961	€/a
Spitzenlastkessel	ca.	8.931	8.931	5.074	5.074	€/a
<b>Gutschriften:</b>		<b>23.700</b>	<b>30.130</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>€/a</b>
Stromgutschrift gemäß EEG	ca.	-	29.600	-	-	€/a
Stromgutschrift gemäß KWKG-Gesetz	ca.	5.800	-	-	-	€/a
Selbstgenutzter Strom (vermiedene Kosten + KWKG-Bonus)	ca.	14.700	-	-	-	€/a
Energiesteuerrückerstattung BHKW-Betrieb	ca.	2.670	-	-	-	€/a
Energiesteuerrückerstattung Erdgaskessel	ca.	530	530	300	300	€/a
<b>Summe Wärmegestehungskosten (netto)</b>		<b>26.300</b>	<b>43.170</b>	<b>49.540</b>	<b>48.900</b>	<b>€/a</b>
<b>Wärmegestehungskosten spezifisch (netto)</b>		<b>53,50</b>	<b>87,70</b>	<b>100,70</b>	<b>99,40</b>	<b>€/MWh<sub>th</sub></b>

#### 4.4 Anlegbare Kosten

Als Referenzvariante werden die **derzeitigen Vollkosten** für eine dezentrale Wärmeversorgung mittels Erdgaskessel betrachtet. Beim Vergleich der spezifischen Wärmegestehungskosten und der CO<sub>2</sub>-Emissionen der verschiedenen Varianten kann die Referenzvariante als Basiswert herangezogen werden (sog. anlegbare Kosten). Die gewählten Ansätze und die resultierenden Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

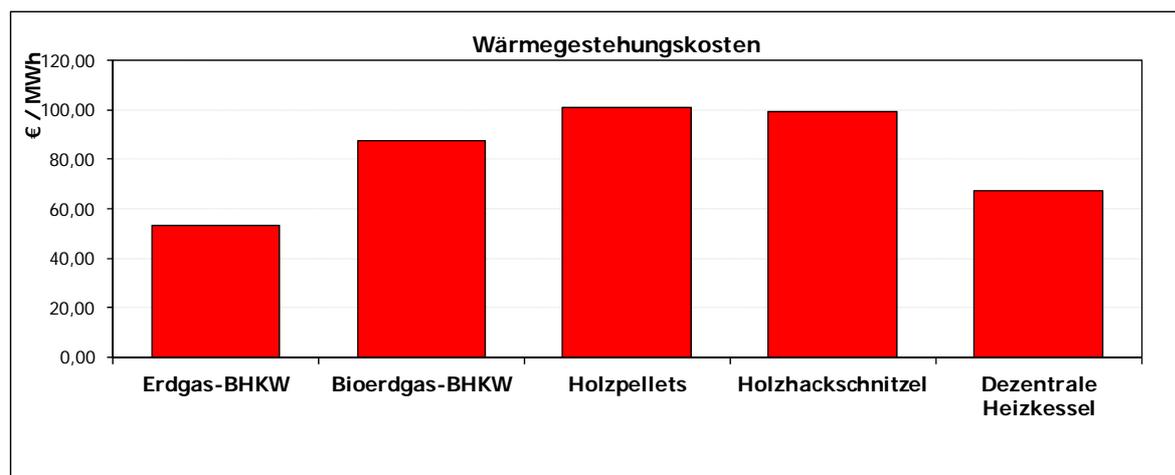
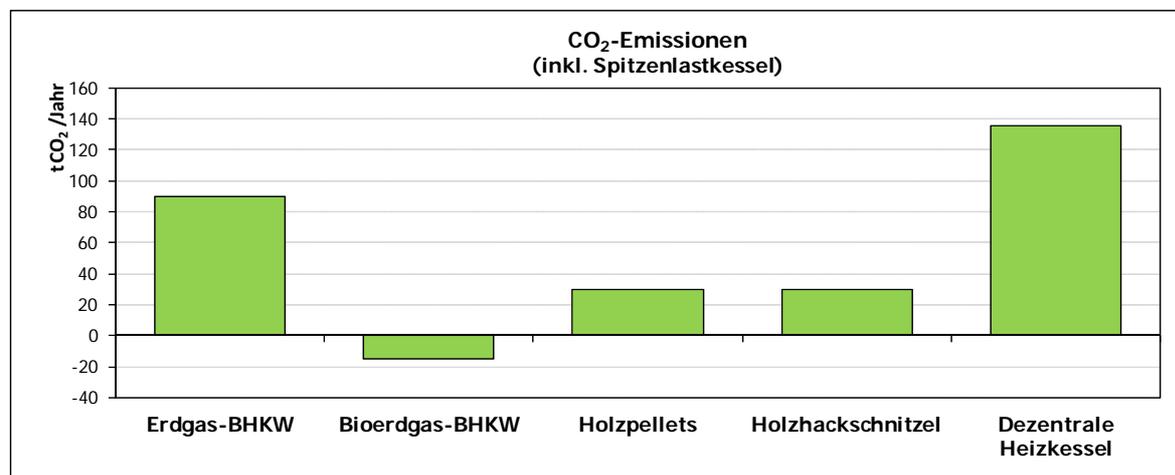
Tabelle 4.4-1: Anlegbare Kosten

<b>Ansätze</b>		
<b>Wärmeerzeuger / Bilanzen</b>	<b>Heizkessel Erdgas</b>	<b>Dimension</b>
Nutzwärmebedarf Arbeit	492	MWh/a
Jahresnutzungsgrad Erzeuger	90%	
Leistungsbedarf	350	kW
Umrechnung Ho/Hu	1,10	
Brennstoffbedarf Arbeit	601	MWh <sub>Ho</sub> /a
<b>Betriebswirtschaftliche Ansätze</b>		
<b>Investitionen</b>		
Wärmeerzeuger (inkl. Schornsteinanlage, Montage etc.)	65.000	€
Sonstiges (Planung, Unvorhergesehenes etc.)	14.000	€
<b>Brennstoffpreis</b>		
Erdgas (Arbeitspreis inkl. Nebenkosten)	4,7	Ct/kWh <sub>Ho</sub>
<i>bei 1,10 Ho/Hu =&gt;</i>	5,2	Ct/kWh <sub>Hu</sub>
Heizöl	-	€/Liter
<i>bei 10 kWh/Liter =&gt;</i>	-	Ct/kWh <sub>Hu</sub>
<b>Wärmegestehungskosten dezentrale Heizkessel</b>		
<b>Vollkostenvergleich</b>	<b>Heizkessel Erdgas</b>	<b>Dimension</b>
<b>Gesamte Investitionen</b> (Incl. Sonstiges, Nebenkosten etc.)	<b>79.000</b>	€
<b>Jährliche Ausgaben</b>		
<b>Kapitalkosten</b> (Annuitätisch)	<b>6.300</b>	€ /a
<b>Brennstoffkosten</b>		
Arbeit	<b>23.120</b>	€ /a
<b>Wartung / Reparatur / Instandsetzung</b>	<b>2.800</b>	€ /a
<b>Steuern/Versicherung</b>	<b>790</b>	€ /a
<b>Jährliche Wärmekosten</b>	<b>33.010</b>	€/a
<b>Spezifische Wärmekosten</b> ca.	<b>67,09</b>	€ /MWh

### 4.5 Vergleich der Varianten

Die nachfolgenden Tabellen zeigen den Vergleich der betrachteten Wärmeversorgungsvarianten in Bezug auf Wärmegestehungskosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen.

	Variante 1 Erdgas-BHKW	Variante 2 Bioerdgas-BHKW	Variante 3 Holzpellets	Variante 4 Holzhackschnitzel	Anlegbare Kosten Dezentrale Heizkessel	Dimension
spezifische Wärmegestehungskosten	53,50	87,70	100,70	99,40	67,09	€/ MWh
CO <sub>2</sub> -Emissionen (inkl. Spitzenlastkessel)	90	-15	30	30	135	t CO <sub>2</sub> /a
eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen	45	150	105	105	-	t CO <sub>2</sub> /a
Kosten je eingesparte Tonne CO <sub>2</sub>	584	288	472	466	-	€/ t CO <sub>2</sub> a



## 5 Sensitivitätsanalysen

Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit sind Ansätze für Investitionen und Bezugskosten für Brennstoffe gewählt bzw. in Ansatz gebracht worden.

Damit die Auswirkungen (Chancen/Risiken) wesentlicher Veränderungen dieser Ansätze abgeschätzt werden können, wurde eine Sensitivitätsanalyse dieser Parameter durchgeführt. Variiert wurde der Basiswert (100 %) im Bereich von +/- 50 % in 10 % Schritten.

Die Kurven stellen die Variation/Auswirkung einer Veränderung der Ansätze dar.

Je steiler eine Linie verläuft, desto größer ist auch die Auswirkung einer Veränderung (Variation).

Beispiel:

- 1 Die in Ansatz gebrachten Brennstoffkosten (Basis 60 €/MWh) steigen um 30% gegenüber dem Basiswert. In diesem Fall legt man eine senkrechte Linie bei 130% an und geht diese bis zum Schnittpunkt mit der geneigten Linie entlang.
- 2 Im Schnittpunkt der 130%-Linie mit der geneigten Linie der betrachteten Variante legt man eine waagerechte Linie an. Geht man diese waagerechte Linie entlang zur y-Achse des Diagramms, kann man dort die „neuen“ Wärmegestehungskosten ablesen. Die Wärmegestehungskosten würden in diesem Beispiel auf 80 €/MWh steigen.

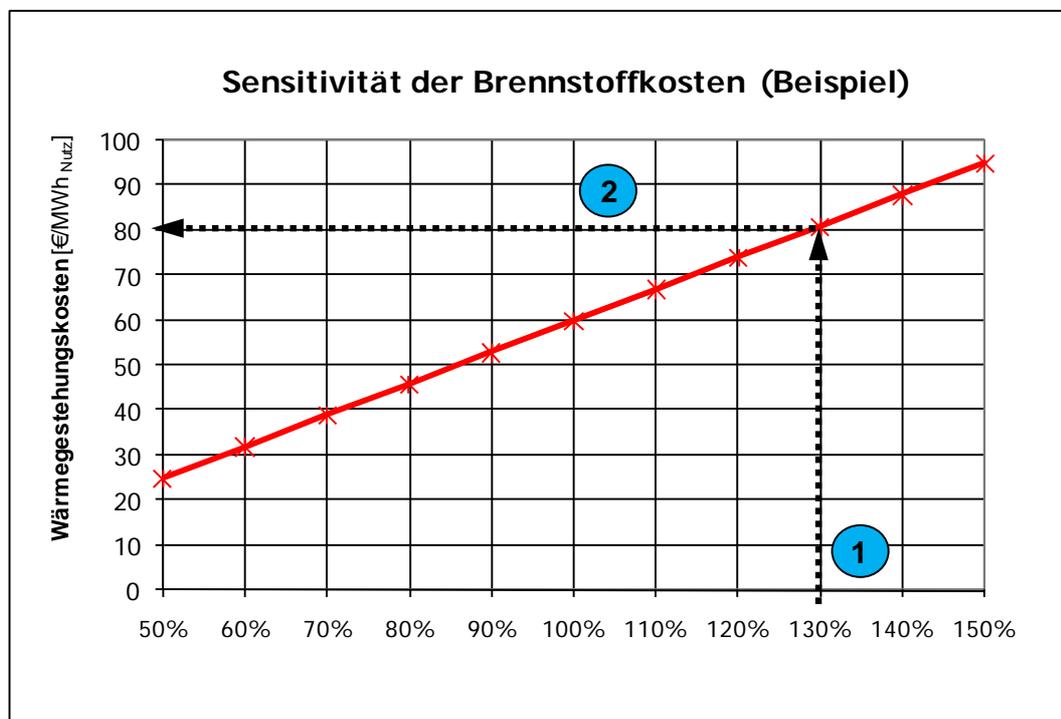
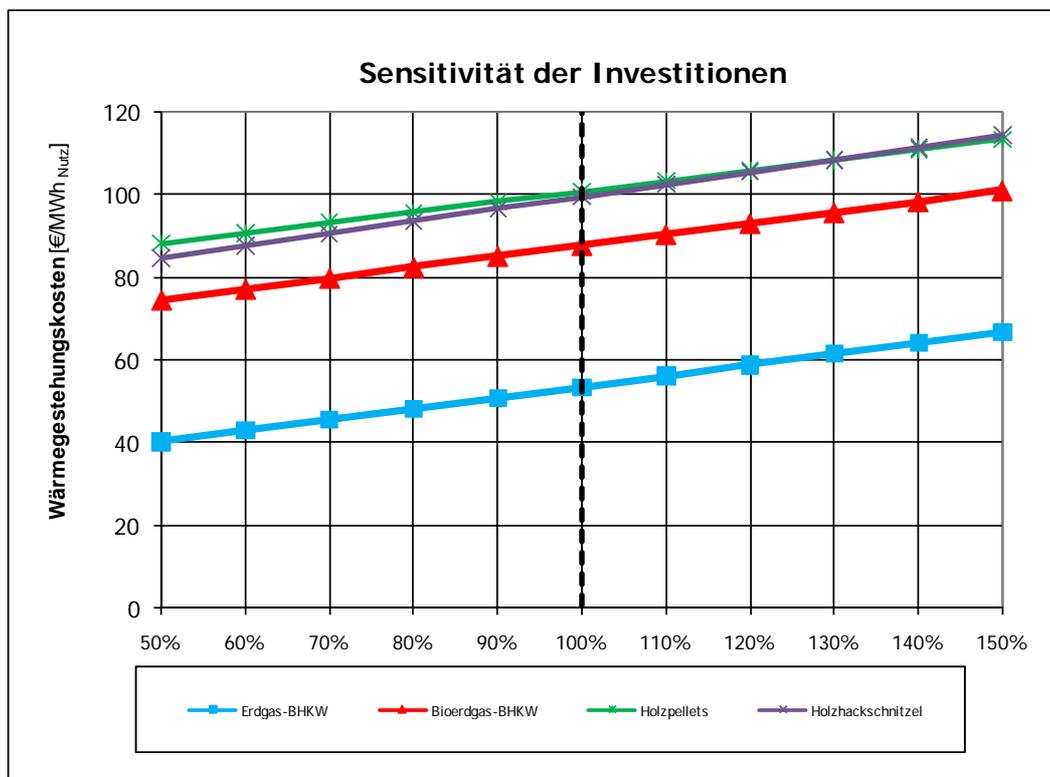
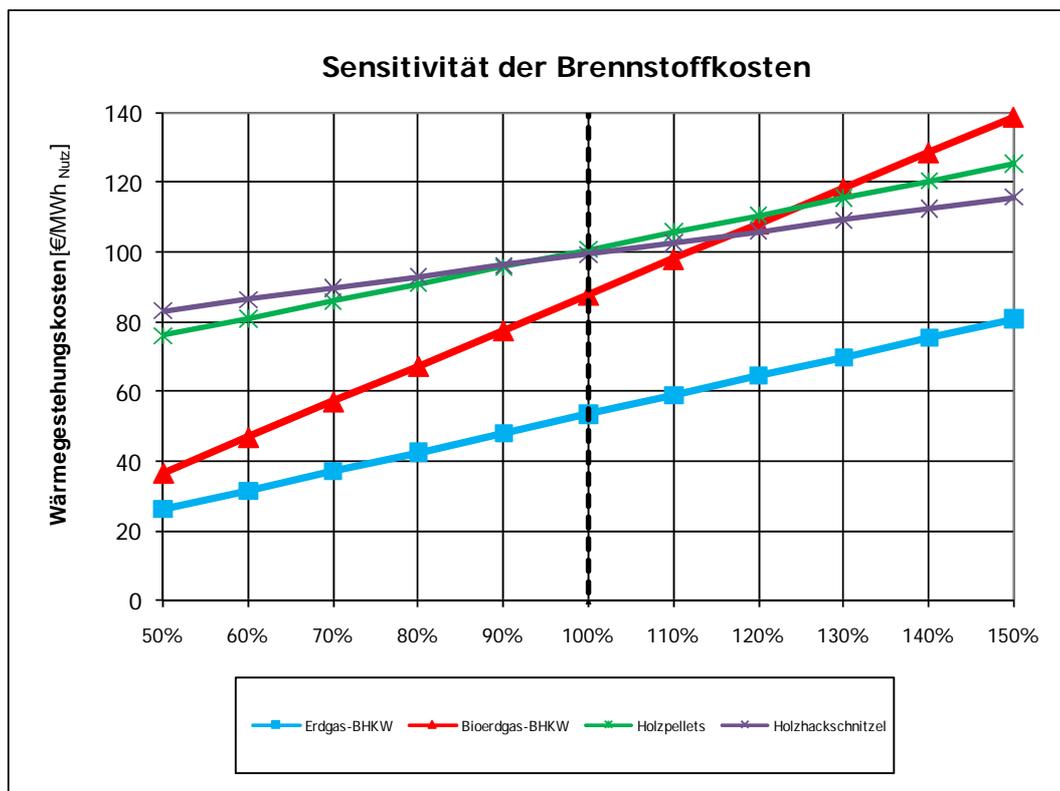


Abbildung 5-1: Sensitivität der Investitionen



In Abbildung 5-1 ist die Änderung der Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit der Investitionen dargestellt. Eine Änderung der Investitionen wirkt sich relativ gering auf die Wärmegestehungskosten aus, eine Änderung von 30% der nötigen Investitionen bewegt die Wärmegestehungskosten nur um ca. 10% in dieselbe Richtung.

Abbildung 5-2: Sensitivität der Brennstoffkosten



In Abbildung 5-2 ist die Änderung der Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit der Brennstoffkosten dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Wärmegestehungskosten der Variante „Bioerdgas-BHKW“ bei steigenden Brennstoffkosten steiler ansteigen als bei der Variante „Erdgas-BHKW“, d.h. auf Grund des hohen Anteils der Brennstoffkosten für Bioerdgas an den gesamten Jahreskosten dieser Variante haben die Bezugsbedingungen für Bioerdgas relativ starken Einfluss auf die Höhe der Wärmegestehungskosten. Ein günstiges Angebot für Bioerdgas würde die Wärmegestehungskosten entsprechend reduzieren können.

Bei einem Bezug von Holz hackschnitzeln oder Holzpellets aus eigenen Ressourcen ist davon auszugehen dass die Brennstoffkosten niedriger sind als die hier angenommenen Bezugsbedingungen. Für diesen Fall können die sich ergebenden Wärmegestehungskosten ebenfalls in Abbildung 5-2 abgelesen werden. Können die Brennstoffkosten durch eigene Produktion von Holz hackschnitzeln bzw. Holzpellets z.B. um 30% reduziert werden, so würden sich Wärmegestehungskosten in einer Größenordnung von ca. 90 €/MWh ergeben.

## 6 Zusammenfassung und weitere Vorgehensweise

Im vorliegenden integrierten Wärmenutzungskonzept für die Schule Heberleinstraße in Wolgast wurde untersucht, ob erneuerbare Energien und/oder Kraft-Wärme-Kopplung aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht Vorteile gegenüber der derzeitigen Wärmeversorgung bieten.

Hierzu wurden folgende Varianten betrachtet:

- Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW)
  - mit Erdgas
  - mit Bioerdgas
- Regenerative Energieträger
  - Holzpellets
  - Holzhackschnitzel

Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass der Einsatz eines mit Erdgas betriebenen BHKW mit ca. 20 kW elektrische Leistung technisch und wirtschaftlich möglich ist. Mit den in Ansatz gebrachten Kosten und Investitionen sind Wärmegestehungskosten in einer Größenordnung von ca. 54-55 €/MWh zu erwarten. Die jährlichen Wärmekosten könnten somit um ca. 7.000 € reduziert werden. Die damit verbundene Emissionsreduzierung gegenüber der derzeitigen Wärmeversorgung beträgt rund 45 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass durch den Einsatz eines BHKWs mit dem Brennstoff Bioerdgas „negative“ CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben, d.h. dass mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden als erzeugt werden. Bedingt durch den CO<sub>2</sub>-neutralen Brennstoff Bioerdgas und der durch die Stromeinspeisung des BHKWs vermiedenen Emissionen in konventionellen Kraftwerken können somit ca. 150 t CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr eingespart werden. Jedoch liegen bei dieser Variante die Wärmegestehungskosten mit ca. 88 €/MWh rund 20 € über den anlegbaren Kosten.

Die Varianten mit einer Holzfeuerung sind aus wirtschaftlicher Sicht nicht empfehlenswert, da die Wärmegestehungskosten hier mit ca. 100 €/MWh deutlich über den anlegbaren Kosten von 67 €/MWh liegen. Dem gegenüber steht jedoch eine mögliche Reduzierung der derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 105 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Zusammenfassend wird empfohlen mit allen Akteuren (Schulträger, potentielle Contractinggeber, etc.) die Realisierung einer mit Erdgas betriebenen BHKW-Anlage weiter zu verfolgen. Im nächsten Schritt sind die gewählten Ansätze mit dem Schulträger und dem potentiellen Contractor abzustimmen. Stimmen die Beteiligten den Ansätzen zu, so muss in einer vertiefenden Planungsstufe die technische Umsetzung und die Höhe der erforderlichen Investitionen verifiziert werden.