

# Machbarkeitsstudie einer holzbasierten Nahwärmeversorgung für das Wohngebiet „In den Breitwiesen“



Wohngebiet „In den Breitwiesen“ - Blick von Süden in die Tilsitstraße (Quelle: TSB)

**Auftraggeber:** Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd  
Forstliche Versuchsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft  
Rheinland-Pfalz  
Hauptstraße 16  
D – 67705 Trippstadt-Schloss

**Auftragnehmer:** Innovations- und Transferinstitut Bingen GmbH  
Berlinstraße 107a  
55411 Bingen am Rhein  
Leiter: Prof. Dr. Gunter Schaumann  
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwanhäuser

Bingen, den 06. September 2002

## 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis .....	2
2	Einleitung.....	4
3	IST - Analyse .....	5
3.1	Gebäudebestand .....	5
3.2	Wärmebedarf.....	7
4	Holzhackschnitzel-Feuerung .....	8
5	Energiekonzept.....	11
5.1	Gaskessel (Variante 1) .....	14
5.2	Holzhackschnitzel- und Gasspitzenlastkessel (Variante 2) .....	14
5.3	HHS- und Gasspitzenlastkessel und Rapsöl BHKW (Variante 3).....	16
6	Wirtschaftlichkeit.....	18
6.1	Gaskessel (Variante 1) .....	18
6.1.1	Investitionskosten Variante 1.....	18
6.1.2	Kapitalgebundene Kosten Variante 1 .....	20
6.1.3	Betriebsgebundene Kosten Variante 1 .....	21
6.1.4	Verbrauchsgebundene Kosten Variante 1.....	22
6.1.5	Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten Variante 1 .....	23
6.2	Holzhackschnitzel- und Gasspitzenlastkessel (Variante 2) .....	24
6.2.1	Investitionskosten Variante 2.....	24
6.2.2	Kapitalgebundene Kosten Variante 2 .....	27
6.2.3	Betriebsgebundene Kosten Variante 2 .....	28
6.2.4	Verbrauchsgebundene Kosten Variante 2.....	29
6.2.5	Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten Variante 2 .....	30
6.3	HHS- und Gaskessel und Rapsöl-BHKW (Variante 3) .....	31
6.3.1	Investitionskosten Variante 3.....	31
6.3.2	Kapitalgebundene Kosten Variante 3 .....	33
6.3.3	Betriebsgebundene Kosten Variante 3.....	34
6.3.4	Verbrauchsgebundene Kosten Variante 3.....	36
6.3.5	Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten Variante 3 .....	38
6.4	Zusammenfassung und Vergleich Variante 1, 2 und 3 .....	39
6.5	Sensitivitätsanalyse .....	40
6.6	CO <sub>2</sub> – Emission - Bilanz .....	41

7	Untersuchung zur Nutzung von Solarenergie .....	43
7.1	Dachflächen.....	43
7.2	Wirtschaftlichkeit Solarthermie .....	44
7.2.1	Investition Solarthermie .....	44
7.2.2	Kapitalgebundene Kosten Solarthermie .....	44
7.2.3	Betriebsgebundene Kosten Solarthermie.....	45
7.2.4	Verbrauchsgebundene Kosten Solarthermie.....	45
7.2.5	Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten .....	46
8	Zusammenfassung .....	48
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	50

## 2 Einleitung

Mit der vorliegenden Machbarkeitsstudie soll untersucht werden, inwieweit die Gebäude der Gemeinnützigen Wohnungsbaugesellschaft mbH Zweibrücken (GEWOBAU) im Wohngebiet „In den Breitwiesen“ über eine holzbasierte Nahwärmeversorgung erschlossen werden können. Derzeit werden die einzelnen Wohneinheiten über Gaseinzelöfen und Durchlauferhitzer mit Raumwärme und Brauchwarmwasser versorgt. Im Zuge der Aufwertung der Wohnanlage und der Anpassung an die gestiegenen Komfortansprüche wird eine Alternative zur Versorgung mit Gas gesucht.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird aufgezeigt, ob der Einsatz einer Holzhackschnitzel-Heizzentrale im Vergleich zu einer Gas-Heizzentrale zur Wärmeerzeugung aus wirtschaftlicher Sicht realisiert werden kann. Der Holzhackschnitzel-Kessel würde dabei zur Deckung der Grund- und Mittellast und ein Gas-Kessel für die Spitzenlastabdeckung eingesetzt werden.

Daneben wird der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) auf Rapsölbasis untersucht. Mit einem solchen BHKW wird ein Teil des Wärme- und Strombedarfs durch die Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt.

Ebenfalls wird dargestellt, inwieweit sich die Gebäude der Gemeinnützigen Wohnungsbaugesellschaft mbH zur Nutzung der Sonnenenergie in Form von Solaranlagen zur Brauchwarmwassererwärmung eignen.

### 3 IST - Analyse

#### 3.1 Gebäudebestand

Im Wohngebiet „In den Breitwiesen“ werden insgesamt 14 Wohn- und 5 Nebengebäude (Garagen) von der GEWOBAU bewirtschaftet. In den Wohngebäuden stehen 213 Wohneinheiten zur Verfügung. Bei allen Gebäuden sind seit der Errichtung in den sechziger Jahren keine Sanierungsmaßnahmen an den Dächern und Außenwänden durchgeführt worden. Die Fenster (vgl. Abbildung 3-1) und Eingangstüren (vgl. Abbildung 3.1-2) aller Gebäude wurden Anfang der neunziger Jahre gegen Thermoplen Fenster mit Zwei-Scheiben-Isolierverglasung und Kunststoffrahmen ausgetauscht. Die Fenster sind mit außenliegenden Rollladenkästen ausgestattet.



Abbildung 3-1 Thermoplen Fenster



Abbildung 3-2 Eingangstür

Bei zwei Gebäuden in der Tilsitstraße (Hausnummer 39 und 58 / 60 / 62) wurde im Jahr 2000 nachträglich eine 8 cm Außendämmung angebracht. Die Firma ispo hat für den ungedämmten und für den gedämmten Wandaufbau eine Wärmeschutzberechnung durchgeführt.

Schichtmaterial	Dicke [m]	lambda [W/(mK)]
Gipsputz	0,015	0,35
Hochlochziegel	0,300	0,73
Außenputz	0,015	0,87
Wandstärke	0,330	
U-Wert [W/(m²K)]		1,56

Tabelle 3-1 Wandaufbau ungedämmter Zustand

Schichtmaterial	Dicke [m]	lambda [W/(mK)]
Gipsputz	0,015	0,35
Hochlochziegel	0,300	0,73
Außenputz	0,015	0,87
ispo Dämmplatte	0,080	0,04
ispo min. Beschichtung	0,006	0,31
Wandstärke	0,416	
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]		0,38

Tabelle 3-2 Wandaufbau gedämmter Zustand

Mit einer Außendämmung dieser oder vergleichbarer Art kann der Wärmebedarf der Gebäude deutlich gesenkt werden.

Außendämmung  
mit mineralischer  
Beschichtung



Abbildung 3-3 Außendämmung im Eingangsbereich

Die nachträgliche Außendämmung von Gebäuden ist in der Regel kostenintensiv; die GEWOBAU sieht daher auch in Zukunft von einer derartigen Maßnahme für weitere Gebäude ab.

### 3.2 Wärmebedarf

Zur Ermittlung des Wärmebedarfs der Wohneinheiten wurde die Statistik des Gasverbrauch vom 01. Januar 2001 bis 31. Dezember 2001 für das Wohngebiet Tilsitstraße der Stadtwerke Zweibrücken (Angabe in Verbrauch kWh) zugrunde gelegt.

Dabei wurden von Seiten der TSB folgende Festlegungen getroffen:

1. Die Angaben der Stadtwerke Zweibrücken werden als Kilowattstunden Brennstoff ( $\text{kWh}_{\text{BS}}$ ) verstanden.
2. Der spezifische Gasverbrauch wird nur aus den Verbrauchsangaben berechnet, die mit einem Wert größer 5.000  $\text{kWh}_{\text{BS}}$  pro Wohneinheit angegeben sind.
3. Insgesamt werden 213 Wohneinheiten über ein Nahwärmesystem versorgt.
4. Pro Wohneinheit werden 59,65  $\text{m}^2$  beheizte Wohnfläche angenommen.
5. Der spezifische Gasverbrauch versteht sich für den Bedarf zur Raumheizung und zur Brauchwarmwasserbereitung.
6. Als spezifischer Gasverbrauch wurde unter den o.g. Bedingungen ein Verbrauch von 179,73  $\text{kWh}_{\text{BS}}/\text{m}^2 \text{ a}$  angesetzt.

Unter den genannten Bedingungen ergeben sich die folgende Werte:

beheizte Fläche	213 x 59,65 $\text{m}^2$	= <b>12.706 <math>\text{m}^2</math></b>
Gasverbrauch	12.706 $\text{m}^2$ x 179,73 $\text{kWh}/\text{m}^2$	= 2.283.649 $\text{kWh}_{\text{BS}}$
	gerundet	= <b>2,28 <math>\text{MWh}_{\text{BS}}</math></b>

Tabelle 3-3 Gasverbrauch und beheizte Fläche

Für die weiteren Berechnungen wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Belegung der Wohneinheiten wird mit 90 Prozent angesetzt, so dass mit insgesamt 193 Wohneinheiten gerechnet wird.
- Für die Ermittlung des Gesamtwärmebedarfs inklusive Warmwasserbereitung werden 2.050.521, gerundet 2.050.000  $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$  angesetzt



## 4 Holzhackschnitzel-Feuerung

Holzhackschnitzel (HHS) sind etwa streichholzschachtelgroße Holzstücke, die mit speziellen Hackmaschinen aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) hergestellt werden. Durch die Schütffähigkeit der HHS ist der Transport, die Lagerung und die Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Eine automatische Beschickung sowie eine automatische Entaschung und Regelung gewährleisten daher einen kontinuierlichen Betrieb der HHS-Anlage ohne großen Bedienungsanfang.

Die Anforderungen an die Lagerung sowie die Größe des HHS-Lagers und die Wahl des Austragungssystems werden primär durch die Brennstofffeuchte, die zu lagernde Menge und sekundär durch die zur Verfügung stehenden Flächen und die örtlichen Gegebenheiten bestimmt. Das HHS-Lager kann als Silo (z.B. Fahr- bzw. Turmsilo), als Bunker oder als eigenes Gebäude ausgeführt werden. Alternativ dazu kann der Brennstoff auch in Containern geliefert werden.

Aus dem HHS-Lager werden kontinuierlich die Hackschnitzel zum Ofen transportiert. Hierzu werden Schubböden, Teleskopfräsen oder Austragschnecken, die eine automatische Entleerung des Lagers ermöglichen, eingesetzt.

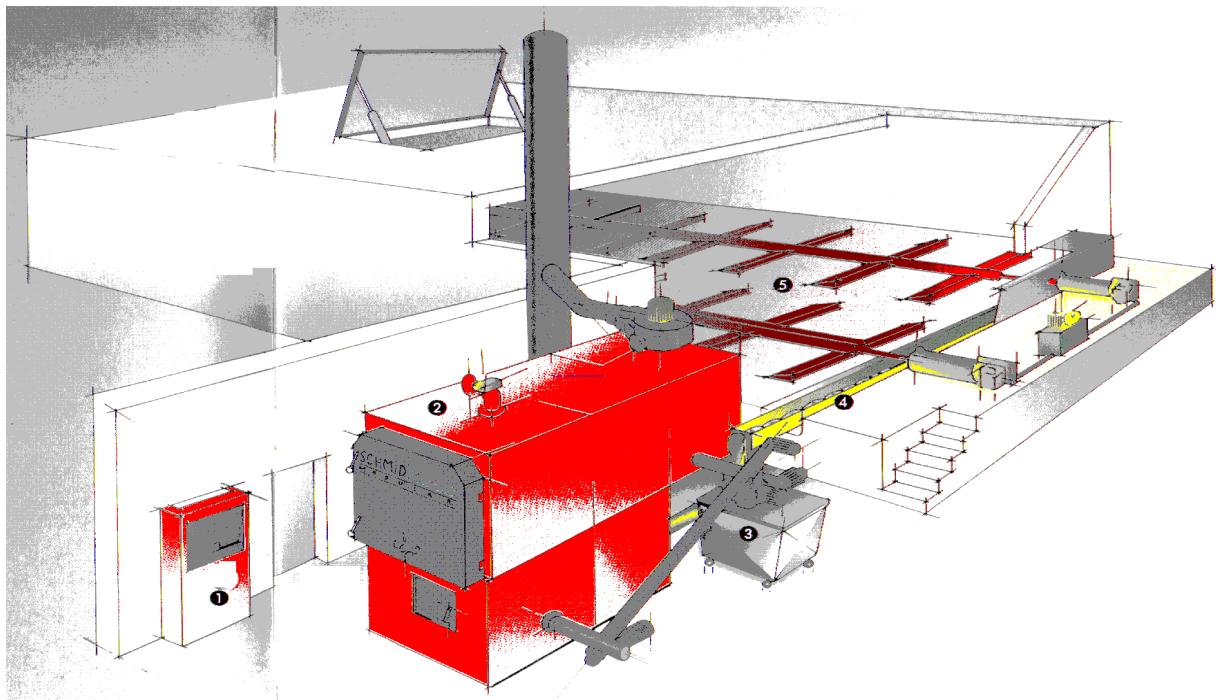


Abbildung 4-1 Schubbodenaustragung mit HHS-Heizung (Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)



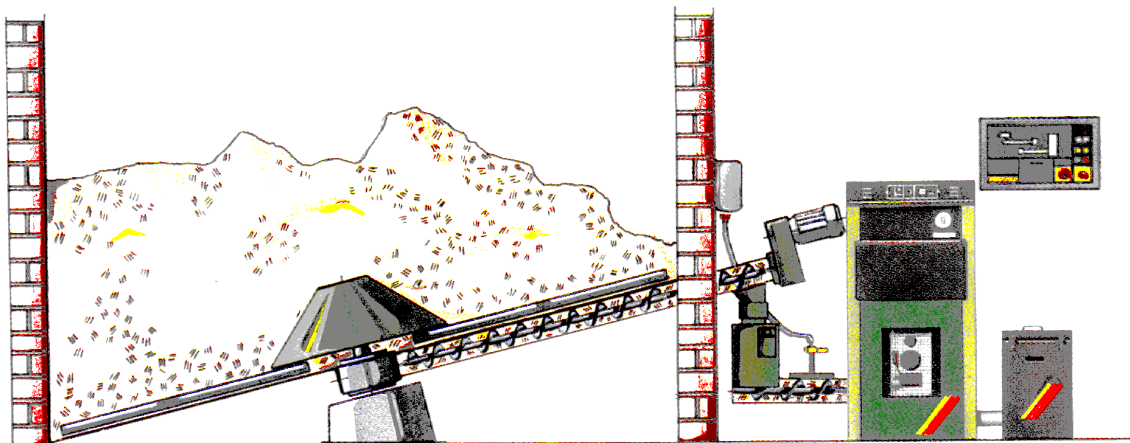


Abbildung 4-2 Austragschnecke mit HHS-Heizung (Fa. Herz, A-Sebersdorf)

Nach der Siloaustragung übernehmen Beschickungssysteme die Aufgabe, das Brennmaterial zur Feuerung zu befördern. Die letzte der Förderschnecken wird auch Dosierschnecke genannt, weil über diese Schnecke die Leistung der Heizung geregelt werden kann. Grundsätzlich sollte das Hackschnitzelsilo möglichst nah am Ofen angeordnet sein. Dadurch können die Transportschnecken kurz gehalten werden und das Risiko des „Brennstoffverklemmens“ sinkt.

Der mit der Dosierschnecke in die Brennkammer gebrachte Brennstoff wird in die Brennstoffmulde geschoben und dort unter Zufuhr von Luft verbrannt. Die Restverbrennung der Gase erfolgt unter Sekundärluftzugabe in der Brennkammer über der Mulde. Die heißen Brenngase übertragen dann über Wärmetauscher ihre Energie an das Heizmedium Wasser. Für den vorgesehenen Leistungsbereich werden bevorzugt Unterschub- und Vorofenfeuerung eingesetzt.

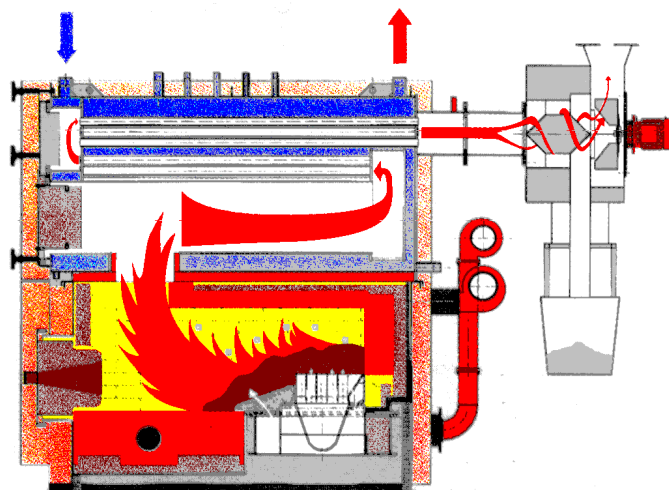


Abbildung 4-3 Verbrennungskammer, Kessel und Staubabscheider (Fa. Mawera, Lindau)

Zu einer modernen Holzfeuerungsanlage gehört auch ein Regelungskonzept. Man unterscheidet die Leistungsregelung, die auf die Anpassung der Wärmeproduktion an den geforderten Wärmebedarf zielt und die Verbrennungsregelung, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einem oder mehreren Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab ca. 500 kW<sub>th</sub> werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt.

### Auslegung:

Da Holzkessel etwa zweimal so teuer sind wie vergleichbare Gas/Ölkessel, werden sie üblicherweise nur für den Grund- und Mittellastbedarf ausgelegt. Dies hat jährlich hohe Vollbenutzungsstunden des Holzkessels zur Folge, so dass die Investitionssumme auf mehr Betriebsstunden verteilt wird und zu einer günstigen Amortisationszeit führt.

Für den in Rede stehenden Anwendungsfall in einem Wohngebiet kann die Heizungszentrale wie in der Abbildung 4-4 realisiert werden, um eine günstige Lage des HHS-Silos zu dem Kessel zu erreichen und eine problemlose Anlieferung der Holzhackschnitzel zu ermöglichen.

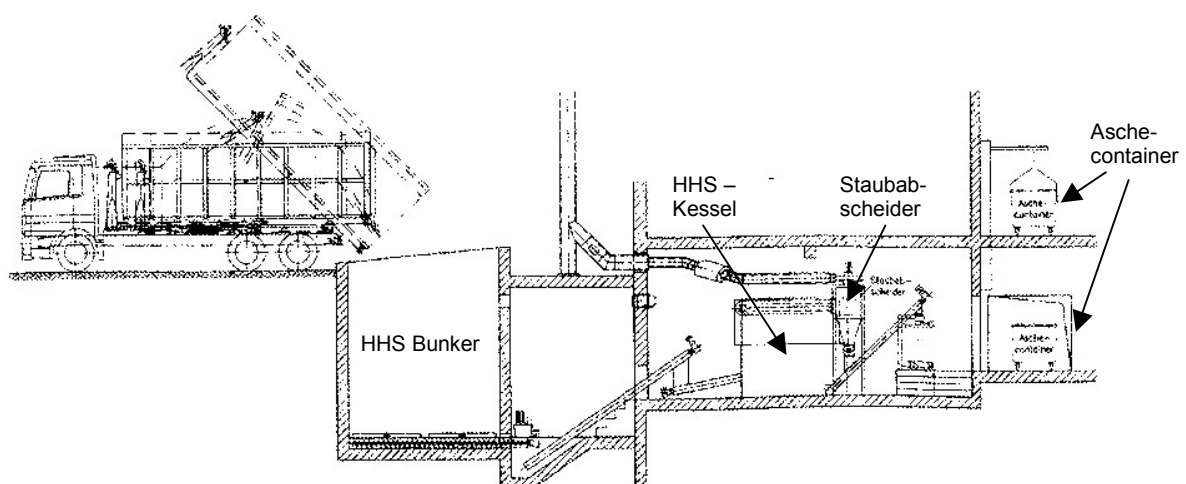


Abbildung 4-4 Schnitt durch ein Holzheizzentrale (Quelle: Holzfiber, Wirtschaftsministerium BaWü)

## 5 Energiekonzept

Im nachfolgenden Kapitel werden drei verschiedene Varianten der Wärmeversorgung für das Wohngebiet „In den Breitwiesen“ vorgestellt. Die Variante 1 betrachtet die Wärmeversorgung mit zwei Gaskesseln. Im Vergleich dazu wurde die Versorgung mit einem Holzhackschnitzelkessel für die Grundlastversorgung und einem Gaskessel für die Spitzenlastabdeckung, die als Variante 2 bezeichnet wird, untersucht. Bei der im folgenden genannten Variante 3 wird zusätzlich ein mit Rapsöl betriebenes Klein-Blockheizkraftwerk installiert.

Die Versorgungsvarianten basieren auf der Erschließung der von der GEWOBAU verwalteten Gebäude über ein Nahwärmesystem. In Abbildung 5-1 ist das Wohngebiet und die Trassenführung für die Nahwärmeleitung eingezeichnet.

Bei der Auslegung des Nahwärmenetzes wurde davon ausgegangen, dass das Wohngebäude in der Masurenstraße Hausnummer 2 / 4 ebenfalls in das System eingebunden wird, obschon für diese Anbindung allein 144 m Nahwärmeleitung verlegt werden müssen.

Für die Versorgung der Gebäude wird eine gesamte thermische Leistung von 1.220 kW<sub>th</sub> installiert. In dieser Kalkulation sind die zu erwartenden Netzverluste bereits einbezogen. Mit dieser Leistung wird der Bedarf an Raumwärme und Brauchwarmwasser in Höhe von ca. 2.050.000 kWh<sub>th</sub>/a abgedeckt.

<b>Jahreswärmebedarf</b>	<b>2.050.000 kWh<sub>th</sub>/a</b>
<b>Thermische Gesamtleistung</b>	<b>1,22 MW<sub>th</sub></b>



--- Nahwärmeleitung  
 ● Hausübergabestation

Abbildung 5-1 Wohngebiet „In den Breitwiesen“



## Nahwärmesystem

Die Versorgung des Wohngebietes erfolgt in der vorliegenden Arbeit über ein Nahwärmesystem. Zur Ermittlung der Investitionskosten wird angenommen, dass ein flexibles Kunststoffmantelrohr mit Vor- und Rücklaufleitung verlegt wird. Bei der Verlegung wird vorausgesetzt, dass die Möglichkeit besteht die Nahwärmeleitungen durch die Gebäudekeller zu verlegen. Dementsprechend wurde nach Leitungsverlegung im Keller, in unbefestigtem Grund und in befestigtem Grund unterschieden. Für die Erschließung wurden die folgenden Leitungslängen aus den zur Verfügung gestellten Lageplänen ermittelt.

Nahwärmeleitung Keller	610 m
Nahwärmeleitung unbefestigter Grund	325 m
Nahwärmeleitung befestigter Grund	160 m
Gesamtlänge Nahwärmesystem	1.095 m

Tabelle 5-1 Länge der Nahwärmeleitungen

Die Erschließung der einzelnen Gebäude erfolgt über indirekt eingebundene Kompakt-Hausstationen mit integrierter Warmwasserbereitung (Speicher).

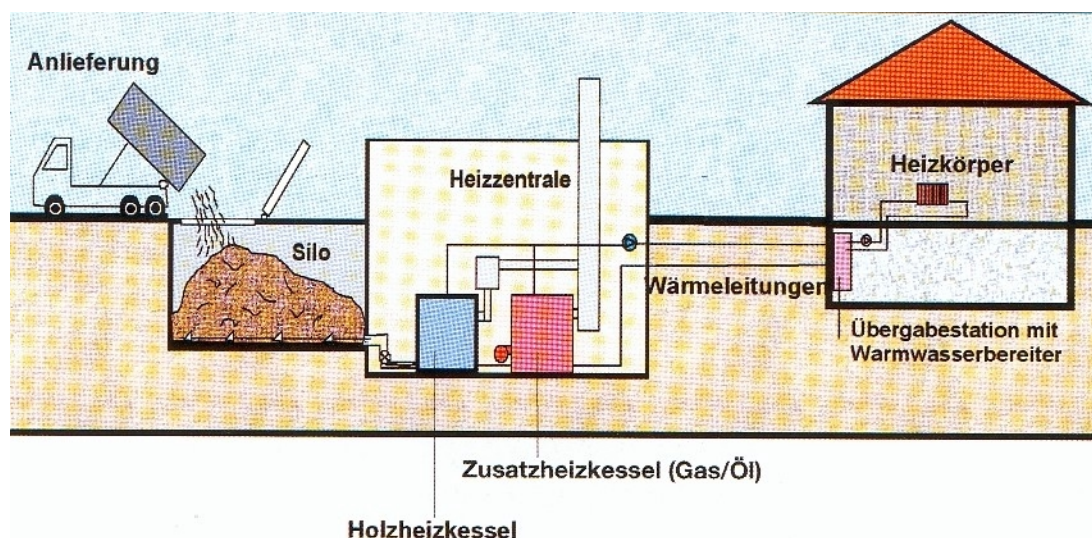


Abbildung 5-2 Einbindung der Gebäude in das Nahwärmesystem

## 5.1 Gaskessel (Variante 1)

Bei einer von den Wärmeerzeugern abzudeckenden Leistung von ca. 1,20 MW<sub>th</sub> werden zwei 600 kW<sub>th</sub> Gaskessel in einer neu zu errichtenden Heizzentrale installiert.

<b>Gaskessel</b>	<b>1.200 kW<sub>th</sub></b>
<b>Jahreswärmebedarf</b>	<b>2.050.000 kWh<sub>th</sub>/a</b>
Anteil Gas (100 %)	2.050.000 kWh <sub>th</sub> /a
Jahresnutzungsgrad Gas	85 %
Jahresbrennstoffverbrauch Gas	2.410.000 kWh <sub>BS Hu</sub> /a

## 5.2 Holzhackschnitzel- und Gasspitzenlastkessel (Variante 2)

Bei dieser Variante wird in einer neu zu errichtende Heizzentrale ein Holzhackschnitzelkessel zur Abdeckung der Grundlast und ein Gaskessel zur Abdeckung der Spitzenlast eingesetzt.

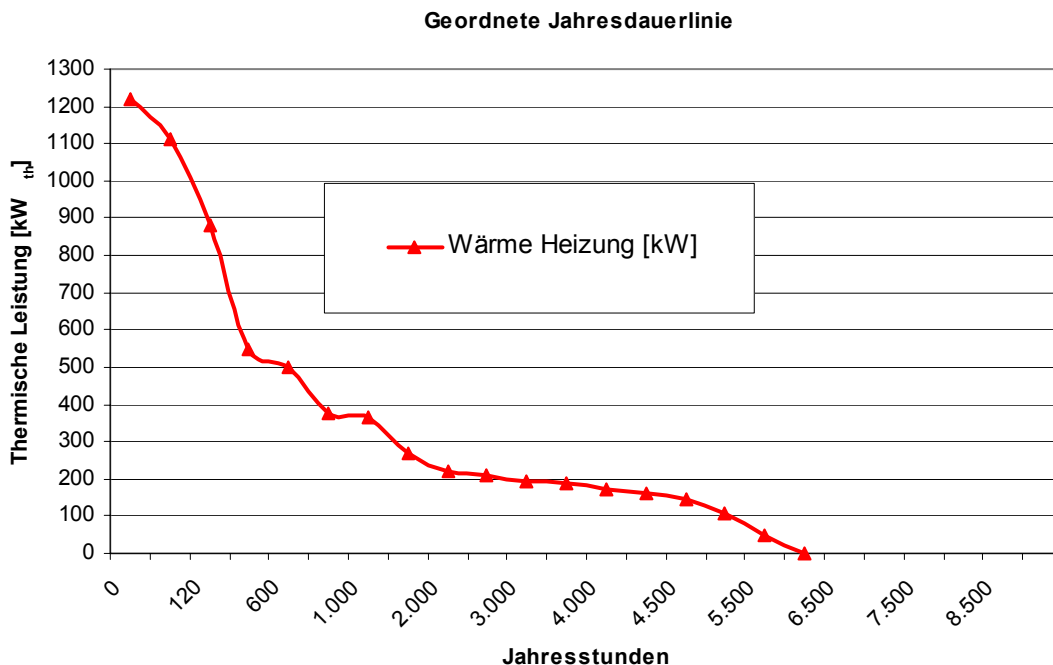


Abbildung 5-3 Jahresdauerlinie Heizenergiebedarf

In der Abbildung 5-3 ist eine mögliche Jahresdauerlinie des Wohngebietes dargestellt. Zu sehen ist, dass lediglich zu geringen Zeiten (in diesem Fall ca. 1.000 Stunden) ein Spitzenbedarf größer 400 kW<sub>th</sub> abgedeckt werden muss. Der über das Jahr



gleichbleibende Bedarf zur Brauchwarmwasserdeckung kann durch einen Grundlastkessel bereitgestellt werden.

Bei einer von den Wärmeerzeugern abzudeckenden Leistung von ca. 1,20 MW<sub>th</sub> werden ein 400 kW<sub>th</sub> Holzhackschnitzelkessel und ein 800 kW<sub>th</sub> Gaskessel installiert.

<b>HHS – Kessel</b>	<b>400 kW<sub>th</sub></b>
<b>Gas – Spitzenlastkessel</b>	<b>800 kW<sub>th</sub></b>
<b>Jahreswärmebedarf</b>	<b>2.050.000 kWh<sub>th</sub>/a</b>
Anteil HHS (84 %)	1.722.000 kWh <sub>th</sub> /a
Anteil Gas (16 %)	328.000 kWh <sub>th</sub> /a
Jahresnutzungsgrad Holz	82 %
Jahresnutzungsgrad Gas	85 %
Jahresbrennstoffverbrauch Holz	2.100.000 kWh <sub>BS</sub> /a = 2.220 Sm <sup>3</sup> = 550 t/a
Jahresbrennstoffverbrauch Gas	386.000 kWh <sub>BS Hu</sub> /a = 38.600 m <sup>3</sup> /a

### Lagerung der Holzhackschnitzel:

Aufgrund der besonderen Lage der Heizzentrale in einem Wohngebiet kommt ein unterirdischer Bunker in Frage, der mit einem Schiebedeckel zur Befüllung des Lagers per LKW und zum Schutz der Hackschnitzel vor äußeren Einflüssen ausgestattet ist. Der Bunker selber wird nicht zu groß dimensioniert, um eventuell entstehende Geruchsbelastung durch Abbauprodukte während zu langen Lagerzeiten zu minimieren.

Um einen Anteil von 84 % am Jahreswärmebedarf durch HHS decken zu können, sind jährlich ca. 2.220 Sm<sup>3</sup> bzw. rund 550 t Holzhackschnitzel mit einer Holzfeuchte von 30 % erforderlich. Die Austragung aus dem Bunker geschieht mittels hydraulischer Schubböden. Für die erforderliche Bunkergröße werden zwei Schubstangen eingesetzt die wechselweise durch Vor- und Rückhub das Material aus dem Bunker in eine Querfördereinrichtung befördern. Hierzu wird ein Kratzkettenförderer mit zwei Ketten eingesetzt. Der Kratzkettenförderer ist besonders robust und eignet sich daher auch zum störungsfreien Betrieb größerer Brennstoffqualitäten. Bei einer Länge der Schubstangen von 10 m, einer Breite von 5 m und einer Schütthöhe von 2,5 m

können ca. 120 m<sup>3</sup> bevorratet werden. Damit lassen sich rund 7 Volllasttage überbrücken. Im Laufe eines Jahres muss der Bunker 17 bis 19 mal befüllt werden.

### HHS – Kessel/Feuerung:

Über die Einschub-Vorrichtung mit Rückbrandsicherung und Löschwassereinrichtung werden die Holzhackschnitzel in den Kessel befördert. Es wird ein Dreizug-Kessel mit Vor- und Rückschubrostfeuerung eingesetzt. Diese Feuerung bietet eine hohe Betriebssicherheit und ist wartungsarm. Der ausziehbare Rost reduziert zudem die Stillstandzeiten sowie die Kosten bei der Revision. Der Kessel lässt sich im Bereich von 30 – 100 % der Nennleistung regeln. Eine automatische Entaschung räumt Asche und Staubansammlungen aus der Brennkammer und den Heizregistern in einen Aschebehälter.

### 5.3 HHS- und Gasspitzenlastkessel und Rapsöl BHKW (Variante 3)

Diese Variante beinhaltet die Integration eines mit Rapsöl betriebenen Klein-BHKW neben einem Holzhackschnitzelkessel und dem Gasspitzenlastkessel. Für die Brennstoffversorgung ist zusätzlich ein Rapsöl-Bunker vorzusehen.

Der vom BHKW erzeugte Strom wird überwiegend in das öffentliche Netz eingespeist und mit 10,1 Cent/kWh<sub>el</sub> nach dem EEG<sup>1</sup> vergütet. Bei einer von den einzelnen Wärmeerzeugern abzudeckenden Leistung von ca. 1,2 MW<sub>th</sub> werden 750 kW<sub>th</sub> vom Gasspitzenlastkessel, 400 kW<sub>th</sub> vom HHS-Kessel und 67 kW<sub>th</sub> von dem Klein-BHKW abgedeckt.

<b>Gasspitzenlastkessel</b>	<b>750 kW<sub>th</sub></b>
<b>HHS-Kessel</b>	<b>400 kW<sub>th</sub></b>
<b>Klein-BHKW (Rapsöl)</b>	<b>67 kW<sub>th</sub> / 50 kW<sub>el</sub></b>
<b>Jahreswärmebedarf</b>	<b>2.050.000 kWh<sub>th</sub>/a</b>
Anteil Gas (16 %)	328.000 kWh <sub>th</sub> /a
Anteil HHS (70 %)	1.435.000 kWh <sub>th</sub> /a
Anteil Rapsöl (14%)	287.000 kWh <sub>th</sub> /a
Jahresnutzungsgrad Gaskessel	85 %
Jahresnutzungsgrad HHS-Kessel	82 %
Jahresnutzungsgrad BHKW	85 %

<sup>1</sup> EEG - Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energie; Paragraph 5

Jahresbrennstoffverbrauch Gas	386.000 kWh <sub>BS</sub> /a = 38.600 m <sup>3</sup> /a
Jahresbrennstoffverbrauch Holz	1.751.000 kWh <sub>BS</sub> /a = 1.850 Sm <sup>3</sup> = 460 t/a
Jahresbrennstoffverbrauch Rapsöl	598.000 kWh <sub>BS</sub> /a = 63 m <sup>3</sup> /a

### Lagerung der HHS:

Im Vergleich zur Variante 2 verringert sich der Holzhackschnitzelbedarf geringfügig. Um einen Anteil von 70 % am Jahreswärmebedarf durch HHS decken zu können sind, bei einer Holzfeuchte von 30%, jährlich ca. 1.850 Sm<sup>3</sup> bzw. 460 t erforderlich. Im Laufe eines Jahres muss unter diesen Bedingungen ein 120 m<sup>3</sup> Holzhackschnitzelbunker ca. 16 mal befüllt werden.

## 6 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird in Anlehnung an die VDI 2067 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“ durchgeführt. Aus dieser VDI werden die üblichen Abschreibungszeiten für derartige Anlagen entnommen.

### 6.1 Gaskessel (Variante 1)

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden zunächst die Investitionskosten, aufgeschlüsselt nach den Systemgruppen Nahwärmeleitung, Hausübergabestation und Heizzentrale zusammengestellt. Die angegebenen Kosten verstehen sich ohne Mehrwertsteuer; diese wird bei der Zusammenstellung der Gesamtinvestitionen ausgewiesen.

#### 6.1.1 Investitionskosten Variante 1

##### Investition Nahwärmeleitung:

Kunststoff-Mantelrohr, unbefestigter Grund	97.500 EUR
Kunststoff-Mantelrohr, befestigter Grund	68.800 EUR
Kunststoff-Mantelrohr, Keller	146.400 EUR
Unvorhergesehenes	15.600 EUR
Planung, Bauleitung	32.800 EUR

**Investition Nahwärmeleitung 361.100 EUR**

##### Investition Hausübergabestation:

Kompakt-Hausstationen für indirekte Einbindung incl. Warmwasserbereitung (34 Stück)	124.100 EUR
Montage	34.000 EUR
Unvorhergesehenes	7.900 EUR
Planung, Bauleitung	16.600 EUR

**Investition Hausübergabestation 182.600 EUR**

### Investitionen Heizzentrale (Gebäude)

Gebäude zur Aufstellung der Kessel inkl. Ver- und Entsorgungsanschluß	43.400 EUR
Unvorhergesehenes	2.170 EUR
Planung, Bauleitung	4.600 EUR

**Investition Heizzentrale (Gebäude) 50.170 EUR**

### Investition Heizzentrale (Technik)

Gaskessel (1.200 kW <sub>th</sub> ) inkl. Sicherheitseinrichtung und Schalldämmung	60.000 EUR
Regeltechnik, Verkabelung, Verrohrung, Dämmung	66.400 EUR
Schornstein	27.600 EUR
Unvorhergesehenes	7.700 EUR
Planung, Bauleitung	16.200 EUR

**Investition Gasspitzenlastkessel 177.900 EUR**

### Zusammenstellung:

Investition Nahwärmeleitung	361.100 EUR
Investition Hausübergabestation	182.600 EUR
Investition Heizzentrale (Gebäude)	50.170 EUR
<u>Investition Gasspitzenlastkessel</u>	<u>177.900 EUR</u>
<b>Gesamtinvestitionen Netto</b>	<b>771.600 EUR</b>
Mehrwertsteuer (16%)	123.500 EUR
 Gesamtinvestition Brutto	 895.100 EUR

### 6.1.2 Kapitalgebundene Kosten Variante 1

Aus der Investitionssumme werden die kapitalgebundenen Kosten als Annuität bei einem Zinssatz von 6 % und der jeweiligen spezifischen Nutzungsdauer nach DIN 2067 berechnet.

#### Kapitalgebundene Kosten Bau (Nahwärmeleitung, Heizzentrale)

Abschreibungsdauer	50 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Bau</b>	<b>23.800 EUR/a</b>

#### Kapitalgebundene Kosten Technik (Kessel, Hausübergabestationen)

Abschreibungsdauer	20 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Technik</b>	<b>29.000 EUR/a</b>

#### Kapitalgebundene Kosten Planung (alle Positionen)

Abschreibungsdauer	15 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Planung</b>	<b>7.200 EUR/a</b>

#### Zusammenstellung:

Kapitalgebundene Kosten Bau	23.800 EUR/a
Kapitalgebundene Kosten Technik	29.000 EUR/a
<u>Kapitalgebundene Kosten Planung</u>	<u>7.200 EUR/a</u>
<b>Kapitalgebundene Kosten Netto</b>	<b>60.000 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	9.600 EUR/a
 Kapitalgebundene Kosten Brutto	 69.600 EUR/a



### 6.1.3 Betriebsgebundene Kosten Variante 1

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Wartung und Instandhaltung der Anlagen- und baulichen Investitionen sowie Verwaltungskosten.

#### Betriebsgebundene Kosten Gaskessel

Betriebskostenanteil ohne Planung	2,5 %
<b>Betriebsgebundene Kosten Gas</b>	<b>4.100 EUR/a</b>

#### Betriebsgebundene Kosten Nahwärmenetz und Gebäude

Betriebskostenanteil ohne Planung	1,0 %
<b>Betriebsgebundene Kosten Gebäude</b>	<b>3.800 EUR/a</b>

#### Betriebsgebundene Kosten Verwaltung und Planung

Kostenanteil Verwaltung von Gesamtinvest	1,0 %
<b>Verwaltungskosten</b>	<b>7.700 EUR/a</b>

#### Zusammenstellung:

Betriebsgebundene Kosten Gaskessel	4.100 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Gebäude	3.900 EUR/a
<u>Betriebsgebundene Kosten Verwaltung</u>	<u>7.700 EUR/a</u>
<b>Betriebsgebundene Kosten Netto</b>	<b>15.700 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	2.500 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Brutto	18.200 EUR/a

#### 6.1.4 Verbrauchsgebundene Kosten Variante 1

Die verbrauchsgebundenen Kosten werden anhand des Brennstoffverbrauches und der für den Betrieb notwendigen Hilfsenergie gebildet.

##### Verbrauchsgebundene Kosten Gaskessel

Arbeitspreis	0,029 EUR/kWh <sub>BS HO</sub>
Hilfsenergiekosten (von Verbrauch)	1,5 %
Leistungspreis	7.700 EUR/a
Gaskosten	77.000 EUR/a
<u>Hilfsenergie</u>	<u>1.100 EUR/a</u>
<b>Verbrauchsgebundene Kosten Gas</b>	<b>85.800 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	13.800 EUR/a
Verbrauchsgebundene Kosten Brutto	99.400 EUR/a

### 6.1.5 Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten Variante 1

#### Jahresgesamtkosten

Kapitalgebundene Kosten	60.000 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten	15.700 EUR/a
<u>Verbrauchsgebundene Kosten</u>	<u>85.800 EUR/a</u>
<b>Jahresgesamtkosten Netto</b>	<b>161.500 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	25.840 EUR/a
 Jahresgesamtkosten Kosten Brutto	 187.340 EUR/a

#### Wärmegestehungskosten

Jahreswärmebedarf	2.050.000 kWh <sub>th</sub>
Gesamte beheizte Wohnfläche	11.435 m <sup>2</sup>
Wohnfläche pro Wohneinheit (WE)	59,65 m <sup>2</sup>
Jahres-Wärmebedarf pro WE	161,76 kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a
 Wärmegestehungskosten (Netto)	 0,078 EUR/kWh <sub>th</sub>
 <b>Wärmegestehungskosten (Brutto)</b>	 <b>0,091 EUR/kWh<sub>th</sub></b>
Wärmegestehungskosten pro WE pro Jahr	877,73 EUR/a
Wärmegestehungskosten pro Monat und WE	73,14 EUR/Monat WE
<b>Wärmegestehungskosten pro Monat und m<sup>2</sup></b>	<b>1,23 EUR/Monat m<sup>2</sup></b>

#### **Fazit:**

Wird das Wohngebiet über ein Nahwärmesystem mit Gaskesseln versorgt, ist ein spezifischer Wärmepreis (brutto) von 0,091 EUR/kWh<sub>th</sub> zu erwarten. Bezogen auf einen Quadratmeter Wohnfläche sind Wärmegestehungskosten für Brauchwarmwasser und Raumwärme von 1,23 EUR/Monat und m<sup>2</sup> zu erwarten.

## 6.2 Holzhackschnitzel- und Gasspitzenlastkessel (Variante 2)

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden zunächst die Investitionskosten, aufgeschlüsselt nach den Systemgruppen Nahwärmeleitung, Hausübergabestation und Heizzentrale zusammengestellt. Die angegebenen Kosten verstehen sich ohne Mehrwertsteuer; diese wird bei der Zusammenstellung der Gesamtinvestitionen ausgewiesen.

### 6.2.1 Investitionskosten Variante 2

#### Investition Nahwärmeleitung:

Kunststoff-Mantelrohr, unbefestigter Grund	97.500 EUR
Kunststoff-Mantelrohr, befestigter Grund	68.800 EUR
Kunststoff-Mantelrohr, Keller	146.400 EUR
Unvorhergesehenes	15.600 EUR
Planung, Bauleitung	32.800 EUR

**Investition Nahwärmeleitung 361.100 EUR**

#### Investition Hausübergabestation:

Kompakt-Hausstationen für indirekte Einbindung incl. Warmwasserbereitung (34 Stück)	124.100 EUR
Montage	34.000 EUR
Unvorhergesehenes	7.900 EUR
Planung, Bauleitung	16.600 EUR

**Investition Hausübergabestation 182.600 EUR**

### Investitionen Heizzentrale (Gebäude)

Gebäude zur Aufstellung der Kessel inkl. Ver- und Entsorgungsanschluß	53.000 EUR
Unvorhergesehenes	2.700 EUR
Planung, Bauleitung	5.600 EUR

**Investition Heizzentrale (Gebäude) 61.300 EUR**

### Investition Heizzentrale (Technik)

Gasspitzenlastkessel (800 kW <sub>th</sub> ) inkl. Sicherheitseinrichtung und Schalldämmung	40.000 EUR
Regeltechnik, Verkabelung, Verrohrung, Dämmung	44.300 EUR
Schornstein	18.400 EUR
Unvorhergesehenes	5.200 EUR
Planung, Bauleitung	10.200 EUR

**Investition Gasspitzenlastkessel 118.100 EUR**

HHS - Kessel (400 kW <sub>th</sub> ) inkl. Rauchgasreinigung	50.000 EUR
Einschubvorrichtung, Schubstangenaustragung, Antriebe, Transportschnecken, Kamin	40.500 EUR
Steuerung	11.000 EUR
Bunker	18.100 EUR
Montage	10.200 EUR
Unvorhergesehenes	6.500 EUR
Planung, Bauleitung	13.600 EUR

**Investition HHS – Kessel 149.900 EUR**

<i>Förderung 75 EUR/kW<sub>th</sub></i>	<i>30.000 EUR</i>
<i>Investition HHS – Kessel incl. Förderung</i>	<i>119.900 EUR</i>

### Zusammenstellung:

Investition Nahwärmeleitung	361.100 EUR
Investition Hausübergabestation	182.600 EUR
Investition Heizzentrale (Gebäude)	61.300 EUR
Investition Gasspitzenlastkessel	118.100 EUR
<u>Investition HHS – Kessel</u>	<u>149.900 EUR</u>
<b>Gesamtinvestitionen Netto</b>	<b>873.000 EUR</b>
Mehrwertsteuer (16%)	139.680 EUR
Gesamtinvestition Brutto	1.012.680 EUR



## 6.2.2 Kapitalgebundene Kosten Variante 2

Aus der Investitionssumme werden die kapitalgebundenen Kosten als Annuität bei einem Zinssatz von 6 % und der jeweiligen spezifischen Nutzungsdauer nach VDI 2067 berechnet.

### Kapitalgebundene Kosten Bau (Nahwärmeleitung, Heizzentrale)

Abschreibungsdauer	50 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Bau</b>	<b>24.400 EUR/a</b>

### Kapitalgebundene Kosten Technik (Kessel, Hausübergabestationen)

Abschreibungsdauer	20 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Technik</b>	<b>35.800 EUR/a</b>

### Kapitalgebundene Kosten Planung (alle Positionen)

Abschreibungsdauer	15 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Planung</b>	<b>8.200 EUR/a</b>

### Zusammenstellung:

Kapitalgebundene Kosten Bau	24.400 EUR/a
Kapitalgebundene Kosten Technik	35.800 EUR/a
<u>Kapitalgebundene Kosten Planung</u>	<u>8.200 EUR/a</u>
<b>Kapitalgebundene Kosten Netto</b>	<b>68.400 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	11.000 EUR/a
 Kapitalgebundene Kosten Brutto	 79.400 EUR/a

### 6.2.3 Betriebsgebundene Kosten Variante 2

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Wartung und Instandhaltung der Anlagen- und baulichen Investitionen sowie Verwaltungskosten.

#### Betriebsgebundene Kosten Gasspitzenlastkessel

Betriebskostenanteil ohne Planung	2,5 %
<b>Betriebsgebundene Kosten Gas</b>	<b>2.700 EUR/a</b>

#### Betriebsgebundene Kosten HHS-Kessel

Betriebskostenanteil ohne Planung	2,5 %
Betriebsgebundene Kosten Invest HHS	3.400 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Personal	2.400 EUR/a
<b>Betriebsgebundene Kosten HHS-Kessel</b>	<b>5.800 EUR/a</b>

#### Betriebsgebundene Kosten Nahwärmenetz und Gebäude

Betriebskostenanteil ohne Planung	1,0 %
<b>Betriebsgebundene Kosten Gebäude</b>	<b>3.900 EUR/a</b>

#### Betriebsgebundene Kosten Verwaltung und Planung

Kostenanteil Verwaltung von Gesamtinvest	1,0 %
<b>Verwaltungskosten</b>	<b>8.700 EUR/a</b>

#### Zusammenstellung:

Betriebsgebundene Kosten Gaskessel	2.700 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten HHS-Kessel	5.800 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Gebäude	3.900 EUR/a
<u>Betriebsgebundene Kosten Verwaltung</u>	<u>8.700 EUR/a</u>
<b>Betriebsgebundene Kosten Netto</b>	<b>21.100 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	3.400 EUR/a
 Betriebsgebundene Kosten Brutto	 24.500 EUR/a

## 6.2.4 Verbrauchsgebundene Kosten Variante 2

Die Verbrauchsgebundenen Kosten werden anhand des Brennstoffverbrauches, der für den Betrieb notwendigen Hilfsenergie gebildet.

### Verbrauchsgebundene Kosten Gasspitzenlastkessel

Arbeitspreis	0,029 EUR/kWh <sub>BS HO</sub>
Hilfsenergiekosten (von Verbrauch)	1,5 %
Leistungspreis	5.200 EUR/a
Gaskosten	13.550 EUR/a
Hilfsenergie	200 EUR/a
<b>Verbrauchsgebundene Kosten Gas</b>	<b>18.880 EUR/a</b>

### Verbrauchsgebundene Kosten HHS - Kessel

HHS-Preis (incl. Fracht)	50,00 EUR/t <sub>utro</sub>
Hilfsenergiekosten (von Verbrauch)	5,0 %
HHS-Kosten	27.640 EUR/a
Hilfsenergie	1.400 EUR/a
<b>Verbrauchsgebundene Kosten HHS</b>	<b>29.040 EUR/a</b>

### Zusammenstellung:

Verbrauchsgebundene Kosten Gas	18.880 EUR/a
<u>Verbrauchsgebundene Kosten HHS</u>	<u>29.040 EUR/a</u>
<b>Verbrauchsgebundene Kosten Netto</b>	<b>47.920 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	7.670 EUR/a
Verbrauchsgebundene Kosten Brutto	55.590 EUR/a

## 6.2.5 Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten Variante 2

### Jahresgesamtkosten

Kapitalgebundene Kosten	68.400 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten	21.100 EUR/a
<u>Verbrauchsgebundene Kosten</u>	<u>47.920 EUR/a</u>
<b>Jahresgesamtkosten Netto</b>	<b>137.420 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	21.990 EUR/a
 Jahresgesamtkosten Kosten Brutto	 159.410 EUR/a

### Wärmegestehungskosten

Jahreswärmebedarf	2.050.000 kWh <sub>th</sub>
Gesamte beheizte Wohnfläche	11.435 m <sup>2</sup>
Wohnfläche pro Wohneinheit (WE)	59,65 m <sup>2</sup>
Jahres-Wärmebedarf pro WE	161,76 kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a
 Wärmegestehungskosten (Netto)	 0,0668 EUR/kWh <sub>th</sub>
<b>Wärmegestehungskosten (Brutto)</b>	<b>0,0776 EUR/kWh<sub>th</sub></b>
<i>Wärmegestehungskosten (Brutto)inkl. Förderung</i>	<i>0,0764 EUR/kWh<sub>th</sub></i>
Wärmegestehungskosten pro WE pro Jahr	748,33 EUR/a
Wärmegestehungskosten pro Monat und WE	62,36 EUR/Monat WE
<b>Wärmegestehungskosten pro Monat und m<sup>2</sup></b>	<b>1,05 EUR/Monat m<sup>2</sup></b>
<i>Wärmegestehungskosten pro Monat und m<sup>2</sup></i>	<i>1,03 EUR/Monat m<sup>2</sup></i>

### Fazit:

Wird das Wohngebiet über ein Nahwärmesystem mit einem Holzhackschnitzelkessel und einem Gasspitzenlastkessel versorgt, ist ein spezifischer Wärmepreis (brutto) von 0,0776 EUR/kWh<sub>th</sub> zu erwarten. Bezogen auf einen Quadratmeter Wohnfläche sind Wärmegestehungskosten für Brauchwarmwasser und Raumwärme von 1,05 EUR/Monat und m<sup>2</sup> zu erwarten.

Berücksichtigt man die Förderung über das Programm des Wirtschaftsministerium „Förderung Erneuerbarer Energien“ mit 75 EUR/kWh<sub>th</sub> für den Einsatz des HHS-Kessels sind Wärmegestehungskosten in Höhe von 1,03 EUR/Monat m<sup>2</sup> zu erwarten.

### 6.3 HHS- und Gaskessel und Rapsöl-BHKW (Variante 3)

Für diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden zunächst die Investitionskosten, aufgeschlüsselt nach den Systemgruppen Nahwärmeleitung, Hausübergabestation und Heizzentrale zusammengestellt. Die angegebenen Kosten verstehen sich ohne Mehrwertsteuer; diese wird bei der Zusammenstellung der Gesamtinvestitionen ausgewiesen. Die Investitionskosten unterscheiden sich zu der Variante 1 im Wesentlichen durch die Aufwendungen für ein Rapsöl-BHKW.

#### 6.3.1 Investitionskosten Variante 3

##### Investition Nahwärmeleitung

Kunststoff-Mantelrohr, unbefestigter Grund	97.500 EUR
Kunststoff-Mantelrohr, befestigter Grund	68.800 EUR
Kunststoff-Mantelrohr, Keller	146.400 EUR
Unvorhergesehenes	15.600 EUR
Planung, Bauleitung	32.800 EUR

**Investition Nahwärmeleitung 361.100 EUR**

##### Investition Hausübergabestation

Kompakt-Hausstationen für indirekte Einbindung incl. Warmwasserbereitung (34 Stück)	124.100 EUR
Montage	34.000 EUR
Unvorhergesehenes	7.900 EUR
Planung, Bauleitung	16.600 EUR

**Investition Hausübergabestation 182.600 EUR**

### Investitionen Heizzentrale (Gebäude)

Gebäude zur Aufstellung der Kessel inkl. Ver- und Entsorgungsanschluß	65.000 EUR
Unvorhergesehenes	3.250 EUR
Planung, Bauleitung	6.800 EUR

**Investition Heizzentrale (Gebäude) 75.050 EUR**

### Investition Heizzentrale (Technik)

Gasspitzenlastkessel (750 kW <sub>th</sub> ) inkl. Sicherheitseinrichtung und Schalldämmung	37.500 EUR
Regeltechnik, Verkabelung, Verrohrung, Dämmung	41.500 EUR
Schornstein	17.200 EUR
Unvorhergesehenes	4.800 EUR
Planung, Bauleitung	9.600 EUR

**Investition Gasspitzenlastkessel 110.600 EUR**

HHS - Kessel (400 kW <sub>th</sub> ) inkl. Rauchgasreinigung	50.000 EUR
Einschubvorrichtung, Schubstangenaustragung, Antriebe, Transportschnecken, Kamin	40.500 EUR
Steuerung	11.000 EUR
Bunker	18.100 EUR
Montage	10.200 EUR
Unvorhergesehenes	6.500 EUR
Planung, Bauleitung	13.600 EUR

**Investition HHS – Kessel 149.900 EUR**

<i>Förderung 75 EUR/kW<sub>th</sub></i>	<i>30.000 EUR</i>
<i>Investition HHS – Kessel incl. Förderung</i>	<i>119.900 EUR</i>

Rapsöl-BHKW (50 kW <sub>el</sub> /67kW <sub>th</sub> )	85.600 EUR
Kamin	5.250 EUR
Rapsölerdtank	7.700 EUR
Montage	1.500 EUR
Unvorhergesehenes	5.000 EUR
Planung, Bauleitung	10.500 EUR
<b>Investition Rapsöl-BHKW</b>	<b>115.550 EUR</b>

### Zusammenstellung:

Investition Nahwärmeleitung	361.100 EUR
Investition Hausübergabestation	182.600 EUR
Investition Heizzentrale (Gebäude)	75.050 EUR
Investition Gasspitzenlastkessel	110.600 EUR
Investition HHS – Kessel	149.900 EUR
<u>Investition Rapsöl-BHKW</u>	<u>115.550 EUR</u>
<b>Gesamtinvestitionen Netto</b>	<b>994.800 EUR</b>
Mehrwertsteuer (16%)	160.000 EUR
 Gesamtinvestition Brutto	 1.154.800 EUR

### 6.3.2 Kapitalgebundene Kosten Variante 3

Aus der Investitionssumme werden die kapitalgebundenen Kosten als Annuität bei einem Zinssatz von 6 % und der jeweiligen spezifischen Nutzungsdauer nach VDI 2067 berechnet.

#### Kapitalgebundene Kosten Bau (Nahwärmeleitung, Heizzentrale)

Abschreibungsdauer	50 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Bau</b>	<b>25.200 EUR/a</b>



### Kapitalgebundene Kosten Technik (Kessel, Hausübergabestationen)

Abschreibungsdauer	20 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Technik</b>	<b>44.300 EUR/a</b>

### Kapitalgebundene Kosten Planung (alle Positionen)

Abschreibungsdauer	15 Jahre
Zinsfuß	6 %
<b>Kapitalgebundene Kosten Planung</b>	<b>9.300 EUR/a</b>

### Zusammenstellung:

Kapitalgebundene Kosten Bau	25.200 EUR/a
Kapitalgebundene Kosten Technik	44.300 EUR/a
<u>Kapitalgebundene Kosten Planung</u>	<u>9.300 EUR/a</u>
<b>Kapitalgebundene Kosten Netto</b>	<b>78.800 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	12.600 EUR/a
Kapitalgebundene Kosten Brutto	91.408 EUR/a

### 6.3.3 Betriebsgebundene Kosten Variante 3

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Wartung und Instandhaltung der Anlagen- und baulichen Investitionen sowie Verwaltungskosten.

#### Betriebsgebundene Kosten Gasspitzenlastkessel

Betriebskostenanteil ohne Planung	2,5 %
<b>Betriebsgebundene Kosten Gas</b>	<b>2.500 EUR/a</b>

#### Betriebsgebundene Kosten HHS-Kessel

Betriebskostenanteil ohne Planung	2,5 %
Betriebsgebundene Kosten Invest HHS	3.400 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Personal	2.400 EUR/a
<b>Betriebsgebundene Kosten HHS-Kessel</b>	<b>5.800 EUR/a</b>

### Betriebsgebundene Kosten Rapsöl-BHKW

Betriebskosten BHKW (Vollwartungsvertrag)	0,018 EUR/kWh <sub>el</sub>
Jahresarbeit el. (Stromlieferung)	214.000 kWh <sub>el</sub> /a
<b>Betriebsgebundene Kosten Rapsöl-BHKW</b>	<b>3.850 EUR/a</b>

### Betriebsgebundene Kosten Nahwärmenetz und Gebäude

Betriebskostenanteil ohne Planung	1,0 %
<b>Betriebsgebundene Kosten Gebäude</b>	<b>4.000 EUR/a</b>

### Betriebsgebundene Kosten Verwaltung und Planung

Kostenanteil Verwaltung von Gesamtinvest	1,0 %
<b>Verwaltungskosten</b>	<b>9.950 EUR/a</b>

### Zusammenstellung:

Betriebsgebundene Kosten Gaskessel	2.500 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten HHS-Kessel	5.800 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Rapsöl-BHKW	3.850 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Gebäude	4.000 EUR/a
<u>Betriebsgebundene Kosten Verwaltung</u>	<u>9.950 EUR/a</u>
<b>Betriebsgebundene Kosten Netto</b>	<b>26.100 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	4.180 EUR/a
 Betriebsgebundene Kosten Brutto	 30.030 EUR/a

### 6.3.4 Verbrauchsgebundene Kosten Variante 3

Die Verbrauchsgebundenen Kosten werden anhand des Brennstoffverbrauches, der für den Betrieb notwendigen Hilfsenergie gebildet.

#### Verbrauchsgebundene Kosten Gasspitzenlastkessel

Arbeitspreis	0,029 EUR/kWh <sub>BS HO</sub>
Hilfsenergiekosten (von Verbrauch)	1,5 %
Leistungspreis	4.800 EUR/a
Gaskosten	13.5500 EUR/a
Hilfsenergie	200 EUR/a
<b>Verbrauchsgebundene Kosten Gas</b>	<b>18.550 EUR/a</b>

#### Verbrauchsgebundene Kosten HHS - Kessel

HHS-Preis (incl. Fracht)	50,00 EUR/t <sub>utro</sub>
Hilfsenergiekosten (von Verbrauch)	5,0 %
HHS-Kosten	23.000 EUR/a
Hilfsenergie	1.200 EUR/a
<b>Verbrauchsgebundene Kosten HHS</b>	<b>24.200 EUR/a</b>

#### Verbrauchsgebundene Kosten Rapsöl-BHKW

Preis natives Rapsöl	0,40 EUR/l
Hilfsenergiekosten (von Rapsölkosten)	2,5 %
Vergütung nach EEG §5	0,101 EUR/kWh <sub>el</sub>
Jahresarbeit el. (Stromlieferung)	214.000 kWh <sub>el</sub> /a
Rapsöl Kosten	25.250 EUR/a
Hilfsenergiekosten	630 EUR/a
Vergütung Stromlieferung	- 21.580 EUR/a
<b>Verbrauchsgebundene Kosten BHKW</b>	<b>4.300 EUR/a</b>

**Zusammenstellung:**

Verbrauchsgebundene Kosten Gas	18.550 EUR/a
Verbrauchsgebundene Kosten HHS	24.200 EUR/a
<u>Verbrauchsgebundene Kosten Rapsöl</u>	<u>4.300 EUR/a</u>
<b>Verbrauchsgebundene Kosten Netto</b>	<b>47.050 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	7.530 EUR/a
Verbrauchsgebundene Kosten Brutto	54.580 EUR/a

### 6.3.5 Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten Variante 3

#### Jahresgesamtkosten

Kapitalgebundene Kosten	78.800 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten	26.750 EUR/a
<u>Verbrauchsgebundene Kosten</u>	<u>47.050 EUR/a</u>
<b>Jahresgesamtkosten Netto</b>	<b>152.600 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	24.420 EUR/a
Jahresgesamtkosten Kosten Brutto	177.020 EUR/a

#### Wärmegestehungskosten

Jahreswärmebedarf	2.050.000 kWh <sub>th</sub>
Gesamte beheizte Wohnfläche	11.435 m <sup>2</sup>
Wohnfläche pro Wohneinheit (WE)	59,65 m <sup>2</sup>
Jahres-Wärmebedarf pro WE	161,76 kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a
Wärmegestehungskosten (Netto)	0,074 EUR/kWh <sub>th</sub>
<b>Wärmegestehungskosten (Brutto)</b>	<b>0,0859 EUR/kWh<sub>th</sub></b>
<i>Wärmegestehungskosten (Brutto) inkl. Förderung</i>	<i>0,0838 EUR/kWh<sub>th</sub></i>
Wärmegestehungskosten pro WE pro Jahr	828,49 EUR/a
Wärmegestehungskosten pro Monat und WE	63,04 EUR/Monat WE
<b>Wärmegestehungskosten pro Monat und m<sup>2</sup></b>	<b>1,16 EUR/Monat m<sup>2</sup></b>
<i>Wärmegestehungskosten pro Monat und m<sup>2</sup></i>	<i>1,12 EUR/Monat m<sup>2</sup></i>

#### Fazit:

Wird das Wohngebiet über ein Nahwärmesystem mit einem Holzhackschnitzelkessel, einem Gasspitzenlastkessel und einem Rapsöl-BHKW versorgt, ist ein spezifischer Wärmepreis (brutto) von 0,0859 EUR/kWh<sub>th</sub> zu erwarten. Bezogen auf einen Quadratmeter Wohnfläche sind Wärmegestehungskosten für Brauchwarmwasser und Raumwärme von 1,16 EUR/Monat und m<sup>2</sup> zu erwarten. Wird eine Förderung der HHS-Anlage in die Berechnung mit einbezogen, kann mit spezifischen Kosten in Höhe von 1,12 EUR/Monat und m<sup>2</sup> gerechnet werden.

## 6.4 Zusammenfassung und Vergleich Variante 1, 2 und 3

		Variante 1	Variante 2	Variante 3
Investition	EUR	771.600	873.000	994.800
Kapitalkosten	EUR/a	69.600	68.400	78.800
Betriebskosten	EUR/a	18.200	21.100	26.100
Verbrauchskosten	EUR/a	85.800	47.920	47.050
Stromerlös	EUR/a	-	-	21.580
Jahreskosten netto	EUR/a	173.600	137.420	152.600
Jahreskosten brutto		201.400	159.410	177.020
Nutzwärme	kWh <sub>th</sub>	2.050.000		
Gesamte beheizte Wohnfläche	m <sup>2</sup>	11.435		
Wohnfläche pro Wohneinheit (WE)	m <sup>2</sup>	59,65		
Jahres-Wärmebedarf pro WE	kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a	161,76		
Wärmegestehungskosten (WGK) netto	Cent/kWh <sub>th</sub>	0,078	0,067	0,074
WGK (brutto)	Cent/kWh <sub>th</sub>	0,091	0,077	0,086
WGK (brutto) inkl. Förderung	Cent/kWh <sub>th</sub>		0,076	0,084
WGK pro WE und Jahr (brutto)	EUR/a	877,73	748,33	828,49
WGK pro WE und Monat (brutto)	EUR/Monat WE	73,14	62,36	69,04
WGK pro Monat und m <sup>2</sup> (brutto)	EUR/Monat m <sup>2</sup>	1,23	1,05	1,16
WGK pro Monat und m <sup>2</sup> (brutto) inkl. Förderung	EUR/Monat m <sup>2</sup>	-	1,03	1,12

Tabelle 6-1 Zusammenfassung/Vergleich Variante 1,2 und 3

## 6.5 Sensitivitätsanalyse

In der folgenden Sensitivitätsbetrachtung wird untersucht, wie sich der Wärmepreis bezogen auf einen Quadratmeter Wohnfläche [€/Monat m<sup>2</sup>] im Vergleich zu den drei berechneten Varianten verhält. Dies erfolgt durch Verändern beeinflussbarer Kosten. Hier werden die Verbrauchskosten variiert, da diese stärker beeinflussbar sind als z. B. die Betriebskosten. Zur Sensitivitätsbetrachtung werden innerhalb einer Preisspanne für Brennstoffe der zugehörige Wärmepreis berechnet.

### Sensitivitätsanalyse

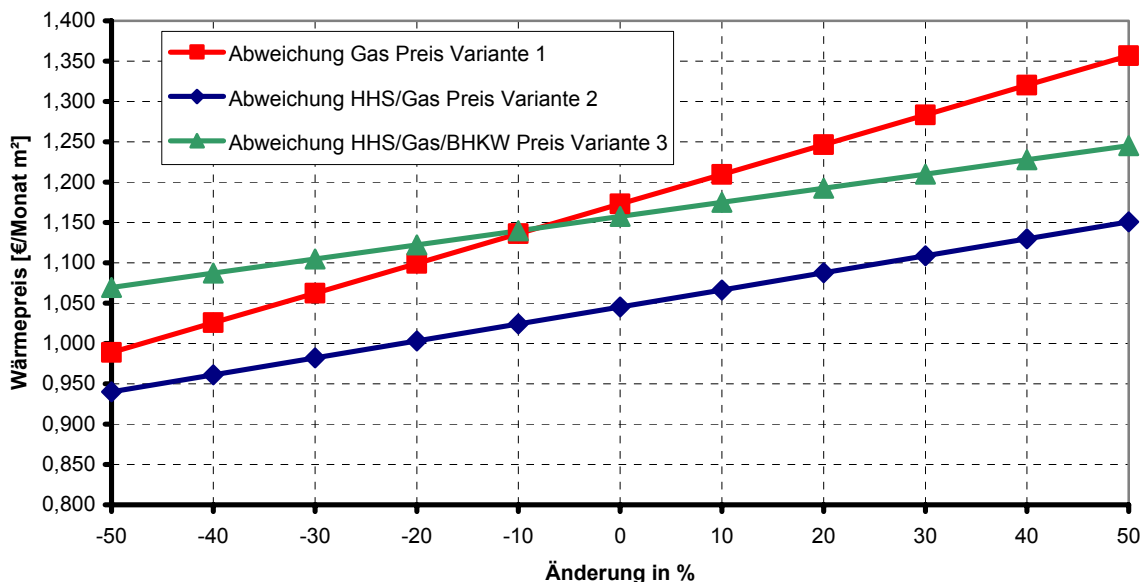


Abbildung 6-1 Sensitivitätsanalyse

Als Basis für die Sensitivitätsanalyse wurden die derzeitigen Brennstoffkosten, ausgehend von den derzeitigen Brennstoffpreisen von 0,029 €/kWh<sub>HU</sub> für Gas, 50 €/t für HHS, 0,4 €/l für Rapsöl zugrunde gelegt. Dargestellt sind die jeweiligen Wärmepreise ohne Förderung.

Der Wärmepreis der Variante 2 nähert sich erst bei einem HHS-Preis von 75 €/t dem Niveau der Variante 3. In diesem Bereich wirkt sich die Vergütung des eingespeisten Stroms nach dem EEG auf die Verbrauchskosten der Variante 3 verstärkt aus. Annähernde Kostengleichheit zwischen der Variante 1 und 2 würde dann eintreten, wenn der HHS-Preis um ca. 25 % steigen und der Gaspreis um ca. 20 % fallen würde.



**Fazit:**

Bei einer Variation des HHS-Preises um +/- 50% bleibt die in dieser Untersuchung betrachtete Variante 2, bestehend aus einem HHS-Kessel und einem Gas-Spitzenlastkessel die wirtschaftlichste Variante.

**6.6 CO<sub>2</sub> – Emission - Bilanz**

Die ökologische Bewertung der dargestellten Varianten erfolgt anhand der CO<sub>2</sub>-Emission.

Unter Anrechnung der CO<sub>2</sub>-Neutralität der Biomasse Holz und unter Berücksichtigung der zur Herstellung der HHS benötigten Energie ergibt sich für die verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten nachstehende Bilanz. Bei der Bilanzierung wurde ebenfalls die CO<sub>2</sub> –Neutralität der Biomasse Rapsöl unter Berücksichtigung der zur Herstellung und Aufbereitung benötigten Energie beachtet.

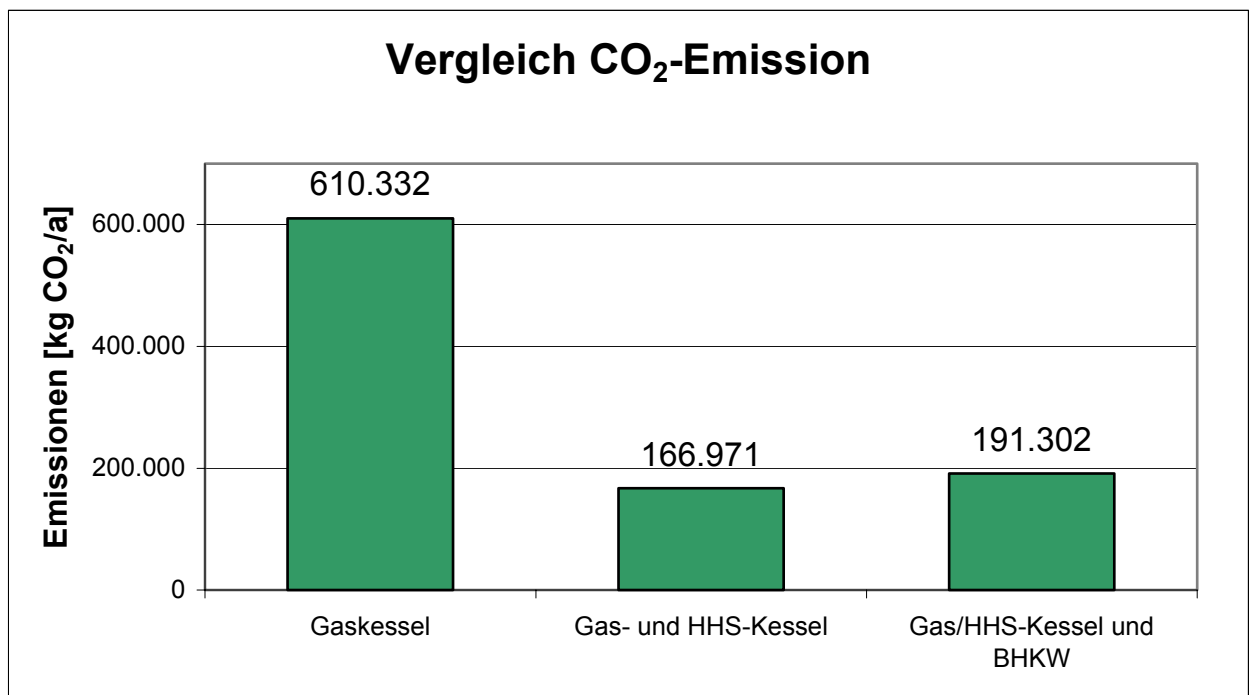


Abbildung 6-2 Vergleich CO<sub>2</sub>-Emission

Wird das Wohngebiet mit dem fossilen Energieträger Gas (Variante 1) versorgt, werden pro Jahr ca. 610 Tonnen CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre abgegeben. Der Einsatz eines

Holzhackschnitzelkessels als Grundlastkessel (Variante 2) bewirkt eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emission um ca. 72 % gegenüber der alleinigen Versorgung durch einen Gaskessel. Der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoss wird auf ca. 170 Tonnen reduziert.

Aufgrund der geringfügig höheren Aufwendungen für die Herstellung und Aufbereitung von Rapsöl liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Variante 3 bei ca. 178 Tonnen pro Jahr und damit über denen der Variante 2, so dass die Variante 2 unter ökologischen Gesichtspunkten eine etwas bessere Lösung darstellt.

## 7 Untersuchung zur Nutzung von Solarenergie

Die Untersuchung zur Nutzung der Solarenergie erfolgt nach der Einschätzung der Eignung der Gebäude bezüglich Ihrer Dachneigung und Ausrichtung und dem daraus resultierenden Ertrag.

Mittels einer überschlägigen Kostenschätzung wird der spezifische Wärmepreis der Solaranlage ermittelt.

Für die Betrachtung wird angenommen, dass Flachkollektoren direkt auf die Hausdächer montiert werden und die solaren Gewinne über den in der Hausübergabestation integrierten Speicher eingespeist werden.

Für die Kostenermittlung werden die Ergebnisse der Studie des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi) „Solarthermie 2000“ mit den Teilprogrammen „Große solarthermische Anlagen zur Trinkwassernutzung“ und „Solare Nahwärme“ herangezogen. Die dort untersuchten Anlagen haben eine Mindestgröße von 100 m<sup>2</sup>.

### 7.1 Dachflächen

Die zur Verfügung stehenden Dachflächen sind für die Nutzung der Solarenergie aufgrund Ihrer Neigung und Ausrichtung (der überwiegenden Flächen) nur bedingt für eine erfolgreiche Nutzung geeignet. Für die nach Westen orientierten Dachflächen des Wohngebietes ist aufgrund einer Horizontüberhöhung mit einer längeren Verschattung im Winter und in den Übergangszeiten zu rechnen.

Die Dachneigung beträgt lediglich ca. 20°; dies stellt zum einen den Vorteil dar, dass in den Sommermonaten (höherer Sonnenstand) mit vergleichsweise guten Ertragswerten zu rechnen ist, in der Übergangszeit und im Winter werden hingegen nur geringfügige Gewinne zu verbuchen sein. Nachteil dieser geringen Neigung ist, dass die Selbstreinigung der Kollektoren durch Regen vermindert wird und dadurch geringere Erträge aufgrund einer stärkeren Verschmutzung der Kollektoren zu erwarten sind.

Ausrichtung	Vorhandene Fläche [m <sup>2</sup> ]	Notwendige Fläche [m <sup>2</sup> ] (60% Deckung BWW)
Süden/Westen	2.974	446
Solarertrag	500 kWh/m <sup>2</sup> a	
Reduktionsfaktor Ausrichtung / Neigung	1,45 bzw. 1,2	
Reduktionsfaktor Ertrag	0,9	

Tabelle 7-1 Grundlagen Solarwärme

## 7.2 Wirtschaftlichkeit Solarthermie

### 7.2.1 Investition Solarthermie

Flachkollektoren	79.000 EUR
Sparrenanker/Trägersystem	28.000 EUR
Speicher/Wärmetauscher	28.000 EUR
Regelung	12.800 EUR
Montage/Verrohrung	28.000 EUR
Sonstiges (Einbindung etc.)	43.300 EUR
<u>Planung</u>	<u>35.700 EUR</u>
<b>Investition Solarthermie</b>	<b>254.800 EUR</b>
Mehrwertsteuer (16%)	40.770 EUR
<i>Förderung</i>	<i>25.000 EUR</i>
Gesamtinvestition Brutto	295.570 EUR
<i>Gesamtinvestition Brutto mit Förderung</i>	<i>270.570 EUR</i>

### 7.2.2 Kapitalgebundene Kosten Solarthermie

Aus der Investitionssumme werden die kapitalgebundenen Kosten als Annuität bei einem Zinssatz von 6 % und der jeweiligen spezifischen Nutzungsdauer in Anlehnung an die VDI 2067 berechnet.

#### Kapitalgebundene Kosten Technik

Abschreibungsdauer	20 Jahre
Zinsfuß	6 %
Kapitalgebundene Kosten Technik	19.100 EUR/a

#### Kapitalgebundene Kosten Planung

Abschreibungsdauer	15 Jahre
Zinsfuß	6 %
Kapitalgebundene Kosten Planung	3.700 EUR/a

#### Zusammenstellung:

Kapitalgebundene Kosten Technik	19.100 EUR/a
<u>Kapitalgebundene Kosten Planung</u>	<u>3.700 EUR/a</u>
<b>Kapitalgebundene Kosten Netto</b>	<b>22.800 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	3.650 EUR/a
Kapitalgebundene Kosten Brutto	26.450 EUR/a
<i>Kapitalgebundene Kosten Brutto mit Förderung</i>	<i>23.220 EUR/a</i>

### 7.2.3 Betriebsgebundene Kosten Solarthermie

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Wartung und Instandhaltung der Solaranlage.

Betriebskostenanteil von Invest	2,5 %
<b><u>Betriebsgebundene Kosten</u></b>	<b>6.400 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	1.024 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten Brutto	7.424 EUR/a

### 7.2.4 Verbrauchsgebundene Kosten Solarthermie

Die verbrauchsgebundenen Kosten werden proportional zu der gewonnenen Wärme, durch die für den Betrieb notwendige Hilfsenergie ermittelt.

#### Verbrauchsgebundene Kosten

Hilfsenergiekosten	0,005 EUR/kWh <sub>th</sub>
<b><u>Verbrauchsgebundene Kosten</u></b>	<b>720 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	120 EUR/a
Verbrauchsgebundene Kosten Brutto	840 EUR/a

## 7.2.5 Jahresgesamt- und Wärmegegestehungskosten

### Jahresgesamtkosten

Kapitalgebundene Kosten	22.800 EUR/a
Betriebsgebundene Kosten	6.400 EUR/a
<u>Verbrauchsgebundene Kosten</u>	<u>720 EUR/a</u>
<b>Jahresgesamtkosten Netto</b>	<b>29.920 EUR/a</b>
Mehrwertsteuer (16%)	4.800 EUR/a
Jahresgesamtkostenkosten Brutto	34.720 EUR/a
<i>Jahresgesamtkostenkosten Brutto mit Förderung</i>	<i>30.718 EUR/a</i>

## Wärmegestehungskosten

Jahreswärmegewinn <sup>2</sup>	144.000 kWh <sub>th</sub>
Gesamte beheizte Wohnfläche	11.435 m <sup>2</sup>
Wohnfläche pro Wohneinheit (WE)	59,65 m <sup>2</sup>
BWW-Bedarf	240.000 kWh <sub>th</sub> /a
BWW-Bedarf (60% solare Deckung)	144.000 kWh <sub>th</sub> /a
BWW-Bedarf pro m <sup>2</sup>	12,5 kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a
Wärmegestehungskosten (Netto)	0,21 EUR/kWh <sub>th</sub>
<b>Wärmegestehungskosten (Brutto)</b>	<b>0,241 EUR/kWh<sub>th</sub></b>
Wärmegestehungskosten pro WE pro Jahr	180,00 EUR/a
Wärmegestehungskosten pro Monat und WE	15,00 EUR/Monat WE
<b>Wärmegestehungskosten pro Monat und m<sup>2</sup></b>	<b>0,251 EUR/Monat m<sup>2</sup></b>
<i>Wärmegestehungskosten pro Monat und m<sup>2</sup></i>	<i>0,223 EUR/Monat m<sup>2</sup></i>

### Fazit:

Wird mit einer Solarkollektoranlage mit einer Fläche von ca. 450 m<sup>2</sup> der Brauchwarmwasserbedarf in Höhe von 240.000 kWh<sub>th</sub> pro Jahr zu 60 % über die Kollektoranlage gedeckt, wird diese Wärme zu einem Preis von 0,241 EUR/kWh<sub>th</sub> erzeugt. Bezogen auf den Quadratmeter Wohnfläche bedeutet dies, das 0,251 EUR/Monat m<sup>2</sup> zusätzlich zur Warmwasseraufbereitung angesetzt werden müssen. Wir dabei die Förderung über das Bundesamt für Wirtschaft mit 92 €/m<sup>2</sup> Kollektorfläche bzw. für diesen Fall maximal 25.000 € Zuschuss für die gesamte Anlage angesetzt, sind Wärmegestehungskosten in Höhe von 0,223 EUR/Monat m<sup>2</sup> zu erwarten.

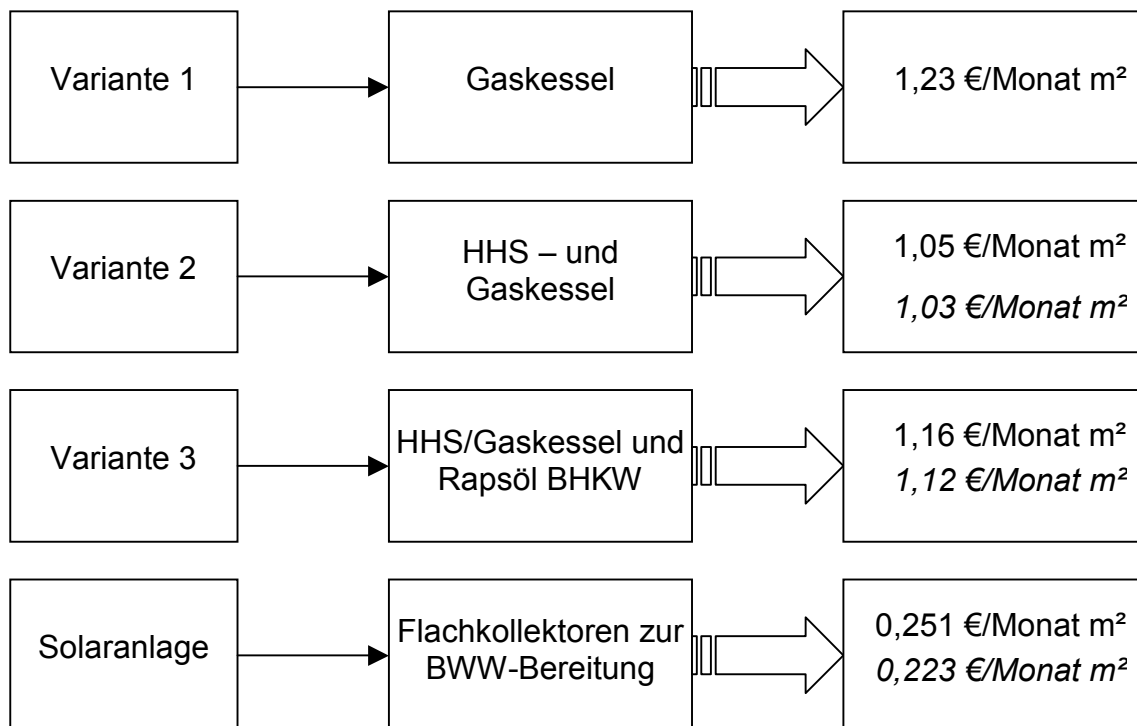
---

<sup>2</sup> Der Jahresgewinn ist auf 60 % des BWW-Bedarf ausgelegt (Kollektorgröße)



## 8 Zusammenfassung

In dieser Machbarkeitsstudie einer holzbasierten Nahwärmeversorgung für das Wohngebiet „In den Breitwiesen“ wurden die in der folgenden Grafik dargestellten Varianten der Wärmeversorgung untersucht und dabei deren spezifischer Wärmepreis bestimmt.



Dabei wurden die Wärmepreise die sich aus einer Kalkulation mit einer Förderung der HHS-Anlage bzw. der Solaranlage ergeben kursiv gedruckt.

Unter den gegebenen Bedingungen ergibt sich für die Variante 2 mit **1,05 €/Monat m<sup>2</sup>** ein deutlicher Kostenvorteil gegenüber der Variante 1 mit **1,23 €/Monat m<sup>2</sup>**.

Für die Variante 3 ergibt sich ein Wärmepreis von **1,16 €/Monat m<sup>2</sup>** im Vergleich zu der Variante 2, der sich aufgrund höherer Kapitalkosten für das BHKW ergibt. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass für die Holzhackschnitzel ein Preis von 50 Euro pro Tonne angesetzt wurde. Dieser ist an der oberen Grenze der derzeit zu erwartenden Holzhackschnitzelpreise angesiedelt, sodass die spezifischen Preise für die Varianten 2 und 3 eine obere Grenze darstellen.

Neben den wirtschaftlichen Vorteilen werden bei der Variante 2 auch die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von ca. 170 Tonnen pro Jahr verursacht. Damit werden im Vergleich zur Variante 1 mit ca. 610 Tonnen pro Jahr 72% weniger CO<sub>2</sub> an die Umwelt abgegeben. Aufgrund der geringfügig höheren Aufwendungen für die Herstellung und Aufbereitung von Rapsöl liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Variante 3 bei

ca. 178 Tonnen pro Jahr und damit über denen der Variante 2, so dass sich die Variante 2 unter ökologischen Gesichtspunkten als die günstigste Lösung herausstellt. Bezüglich der Nutzung der Solarenergie konnte festgestellt werden, dass die zur Verfügung stehenden Dachflächen ausreichen, um eine durchschnittliche Abdeckung des jährlichen BWW-Bedarfs von 60 % mit einer Kollektorfläche von ca. 460 m<sup>2</sup> zu erreichen. Die genannten Standortnachteile (Orientierung nach Westen, geringer Neigungswinkel) können durch eine Anpassung der Fläche ausgeglichen werden. Bezogen auf den Quadratmeter Wohnfläche wurde ein Wärmepreis für die solare Brauchwarmwasserbereitung von **0,223 €/Monat m<sup>2</sup>** ermittelt, sofern die derzeitige Bundesförderung für Solaranlagen mit einem Höchstzuschuss von 25.000 € in Anspruch genommen werden kann. Dieser Preis liegt im Vergleich zu den Wärmegestellungskosten für Brauchwarmwasser auf fossiler Basis um ca. 50% höher.

Das Wohnbaugebiet „In den Breiwiesen“ stellt günstige Voraussetzungen für die Durchführung eines Wärmeversorgungskonzeptes dar, dass durch die Kombination einer Versorgung mit überwiegend Holzhackschnitzeln (Variante 2) und einer Nutzung der Solarenergie für das Land Rheinland-Pfalz als Pilotprojekt eingestuft werden kann.

## 9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 3-1 Thermopen Fenster	Abbildung 3-2 Eingangstür.....	5
Abbildung 3-3 Außendämmung im Eingangsbereich .....		6
Abbildung 4-1 Schubbodenaustragung mit HHS-Heizung (Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon) .....		8
Abbildung 4-2 Austragschnecke mit HHS-Heizung (Fa. Herz, A-Sebersdorf) .....		9
Abbildung 4-3 Verbrennungskammer, Kessel und Staubabscheider (Fa. Mawera, Lindau) .....		9
Abbildung 4-4 Schnitt durch ein Holzheizzentrale (Quelle: Holzfibel, Wirtschaftsministerium BaWü)..		10
Abbildung 5-1 Wohngebiet „In den Breitwiesen“ .....		12
Abbildung 5-2 Einbindung der Gebäude in das Nahwärmesystem.....		13
Abbildung 5-3 Jahresdauerlinie Heizenergiebedarf.....		14
Abbildung 6-1 Sensitivitätsanalyse .....		40
Abbildung 6-2 Vergleich CO <sub>2</sub> -Emission .....		41
Tabelle 3-1 Wandaufbau ungedämmter Zustand .....		5
Tabelle 3-2 Wandaufbau gedämmter Zustand .....		6
Tabelle 3-3 Gasverbrauch und beheizte Fläche.....		7
Tabelle 5-1 Länge der Nahwärmeleitungen.....		13
Tabelle 6-1 Zusammenfassung/Vergleich Variante 1,2 und 3 .....		39
Tabelle 7-1 Grundlagen Solarwärme.....		43