

# Konzeption der Wärmeversorgung des Neubaugebietes „Rosenstraße Haßloch“

Mit freundlicher Unterstützung des:



## Rheinland-Pfalz

Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz  
Rheinland-Pfalz  
Datum: 25.01.2008

**Transferstelle Bingen · Am Langenstein 21 · 55411 Bingen · [www.tsb-energie.de](http://www.tsb-energie.de)**

**Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl**

Tel: 06721 / 98 4 24 16

Fax: 06721 / 98 4 24 29

[pohl@tsb-energie.de](mailto:pohl@tsb-energie.de)

**Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs**

Tel: 06721 / 98 4 24 20

Fax: 06721 / 98 4 24 29

[kriebs@tsb-energie.de](mailto:kriebs@tsb-energie.de)

im

*Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein*

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Ist-Analyse</b> .....	<b>5</b>
1.1 Wärmebedarf eines Einfamilienhauses im Neubaugebiet als Beispiel .....	7
1.2 Wärmebedarf in der Nahwärmeversorgung des Neubaugebiets .....	10
<b>2 Varianten zur Energieversorgung</b> .....	<b>12</b>
2.1 Erdgasbrennwertkessel.....	14
2.2 Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden .....	15
2.3 Luft/Wasser Wärmepumpe .....	17
2.4 Holzpelletsessel .....	18
2.5 Solarthermische Anlage .....	20
2.6 Nahwärmeversorgung .....	26
2.6.1 Holzhackschnitzelkessel .....	27
2.6.2 Motor-Blockheizkraftwerk .....	30
2.7 Fotovoltaik.....	31
<b>3 Energiebilanz</b> .....	<b>34</b>
<b>4 Emissionsbilanzen</b> .....	<b>37</b>
<b>5 Wirtschaftlichkeit</b> .....	<b>43</b>
5.1 Wirtschaftlichkeit zentrale Wärmeversorgung des Neubaugebiets.....	43
5.1.1 Wirtschaftlichkeit Holznahwärmevariante und BHKW-Varianten .....	43
5.1.2 Bestimmung Netzwärmepreis .....	48
5.1.3 Bestimmung anlegbarer Wärmegestehungspreis .....	52
5.2 Wirtschaftlichkeit solarthermische Anlage im Einfamilienhaus .....	53
5.3 Wirtschaftlichkeit Fotovoltaikanlage im Einfamilienhaus.....	57
5.4 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses.....	60
<b>6 Sensitivitätsanalyse</b> .....	<b>74</b>
<b>7 Zusammenfassung</b> .....	<b>77</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>82</b>



## Einleitung

In Haßloch ist ein Neubaugebiet geplant, welches im Norden durch die Rosenstrasse, im Osten durch den Harzofen, im Süden durch den Landwehrgraben und im Westen durch die Kirchgasse begrenzt wird. Das Gebiet ist 17 ha groß, wobei im Folgenden ein Teilgebiet von 9 ha betrachtet wird; dieses hat die östliche Begrenzung in Höhe des Neumühlweges. Das Gebiet weist 157 Baugrundstücke aus. Im Hinblick auf die Wärmeversorgung bestehen Überlegungen, regenerative Energien zum Einsatz zu bringen. Die Umsetzung ist in verschiedener Form möglich, zentrale Erzeugung mit Nahwärmenetz oder dezentrale Erzeugung in den Häusern.

Im Allgemeinen ist es schwierig, eine Nahwärmeversorgung von freistehenden Häusern wirtschaftlich darstellen zu können. Der Aufwand der Leitungsverlegung ist im Verhältnis zur Wärmeabnahme bei einem Neubau mit hohem Wärmedämmstandard hoch. Um die Wärmeabnahme zu sichern, ist ein Anschluss- und Benutzungszwang notwendig, weil so eine spezifisch günstigere Anlage ermöglicht wird.

Das Beispielhaus gehört der Klasse WA 1 an, entspricht einem Einfamilienhaus mit 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die Berechnungen beruhen auf diesem Beispielhaus, da diese Klasse die meisten Baugrundstücke beansprucht.

Als Wärmedämmstandard wird der 4-Liter-Haus-Standard mit 40 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a) als spezifischer Jahresheizwärmebedarf zu Grunde gelegt.

Auf Grundlage des Klimaschutzes und der Verknappung fossiler Brennstoffe werden Wärmeversorgungsanlagen für das Neubaugebiet in Haßloch herangezogen, die erneuerbare Energien nutzen wie z. B. eine solarthermische Anlage oder eine Wärmepumpe. Um die Varianten bewerten zu können, wird als Basisvariante eine Erdgasbrennwerttherme als aktueller Status angesetzt.

Basisvariante:	Erdgasbrennwerttherme
Variante 1:	Erdgasbrennwerttherme mit solarthermischer Anlage
Variante 2:	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) mit solarthermischer Anlage
Variante 3:	Luft/Wasser-Wärmepumpe mit solarthermischer Anlage
Variante 4:	Holzpelletskessel mit solarthermischer Anlage
Variante 5:	Nahwärme aus Biomassefeuerungsanlage, betrieben mit Holzhackschnitzel
Variante 6:	Nahwärme aus Erdgas-BHKW
Variante 7:	Nahwärme aus Bioerdgas-BHKW
Variante 8:	Nahwärme aus Tiefengeothermie

Die solarthermischen Anlagen in den dezentralen Varianten dienen zur Unterstützung der Raumheizung sowie der Trinkwassererwärmung.

Für die Nahwärmevarianten erfolgen eine erste Trassenplanung der Leitungen und die Festlegung des Standortes der Heizzentrale. Die Heizzentrale wird anhand des Wärmeleistungsbedarfs des Neubaugebietes dimensioniert.

In der abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt, um als Entscheidungshilfe dienen zu können.

## 1 Ist-Analyse

Das geplante Neubaugebiet liegt im Süden der Gemeinde Haßloch und umfasst 157 Baugrundstücke auf denen verschiedene Häuser der Klassen WA 1-7 geplant sind, die sich im Wesentlichen durch die Anzahl der Wohnungen unterscheiden. Es sind im Bebauungsplan Häuser mit einer Wohnung und bis zu sieben Wohnungen vorgesehen.

Das Luftbild zeigt den Umriss des Gebietes und die Lage in der Gemeinde:



Abbildung 1-1 Luftbild des Neubaugebiets in Haßloch (Quelle: Google Earth)

Geltungsbereich Bebauungsplan



Abbildung 1-2 Lageplan des Neubaugebiets

### 1.1 Wärmebedarf eines Einfamilienhauses im Neubaugebiet als Beispiel

Für ein Beispielhaus werden anhand eines festgelegten Dämmstandards und der angenommenen Fläche der Jahresheizwärmebedarf und die Heizleistung abgeschätzt. Der spezifische Jahresheizwärmebedarf von  $40 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$  wird für das Beispielhaus festgelegt. Diese Vorgaben sind besser als von EnEV gefordert (ca. 50 bis  $70 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$ ).

Der Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung wird unter Annahme eines 4-Personen-Haushalts abgeschätzt. Es wird angenommen, dass pro Person 35 l mit  $40^\circ\text{C}$  täglich verbraucht werden. Daraus berechnet sich der Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung zu  $1.800 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$ .

Die Berechnungen beruhen auf einem Einfamilienhaus mit  $150 \text{ m}^2$  und 4 Personen.

Nutzfläche	150 $\text{m}^2$
spez. Jahresheizwärmebedarf	40 $\text{kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2\text{a})$
Jahresheizwärmebedarf	6.000 $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	1.800 $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$
Jahreswärmebedarf	7.800 $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$

Tabelle 1-1 Abschätzung Jahreswärmebedarf Beispielhaus

Zur Abschätzung der Heizleistung der Wärmeerzeuger wird davon ausgegangen, dass die Trinkwassererwärmung im Durchlaufverfahren erfolgt und Vorrang vor der Raumheizung hat. Deswegen wird die Heizleistung der Wärmeerzeuger nur nach der Heizlast ausgelegt. Dazu wird eine spezifische Wärmeleistung von  $35 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2$  angesetzt. In der Trinkwassererwärmung nach dem Durchlaufverfahren ist eine entsprechend hohe Wärmeleistung des Wärmetauschers und ein entsprechend großes Volumen des Pufferspeichers vorzusehen. Das Pufferspeichervolumen hängt von der Heizanlage, die sowieso einen Pufferspeicher benötigen wie z. B. eine Wärmepumpe oder ein Holzpelletskessel, und den Temperaturen des Heizsystems ab.

Nutzfläche	150 $\text{m}^2$
spez. Wärmeleistung Raumheizung	35 $\text{W}_{\text{th}}/\text{m}^2$
Wärmeleistung	5 $\text{kW}_{\text{th}}$

Tabelle 1-2 Abschätzung Wärmeleistung zur Raumheizung Beispielhaus

Zusammengefasst stellt sich der Wärmebedarf des Beispielhauses wie folgt dar.

Nutzfläche	150 m <sup>2</sup>
Wärmeleistung	5 kW <sub>th</sub>
Jahreswärmebedarf	7.800 kWh <sub>th</sub> /a
Vollbenutzungsstunden	1.560 h/a

Tabelle 1-3 Daten zum Wärmebedarf Beispielhaus

Die monatliche Aufteilung des Wärmebedarfs mit der Unterscheidung zwischen Trinkwassererwärmung und Raumheizung stellt sich wie folgt dar.

**Monatliche Aufteilung des Jahreswärmebedarfs**

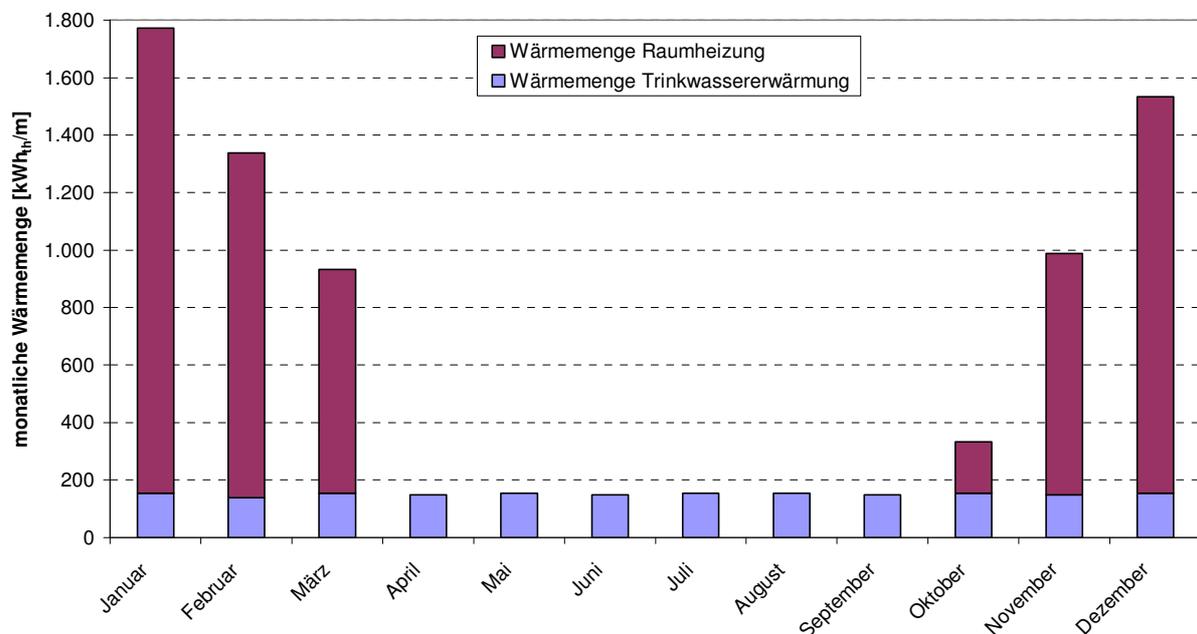


Abbildung 1-1 Monatliche Aufteilung des Jahreswärmebedarfs eines 4-Liter-Haus-Standards

Aufgrund des hohen Wärmedämmstandards verringert sich der Wärmebedarf insgesamt, und es verkürzt sich die Heizperiode auf Oktober bis März.

Ein Haus mit 40 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a) als spezifischer Jahresheizwärmebedarf (4-Liter-Haus-Standard) erfüllt in der Regel ein Kriterium für ein KfW-40-Energiesparhaus. Der spezifische Transmissionswärmeverlust dürfte um mindestens 45 % niedriger als der in der EnEV angegebene Höchstwert sein, was u. a. für ein KfW-40-Energiesparhaus gefordert wird. Die weitere Anforderung eines maximalen spezifischen Jahres-Primärenergiebedarfs von 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) wird durch die Auswahl der Anlagentechnik beeinflusst.

Diese Daten werden in den folgenden Berechnungen zu den verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten eines Einfamilienhauses zu Grunde gelegt. Allerdings wird bei den Varianten der Wärmepumpen eine andere Leistung unter Einbezug der Sperrzeiten berücksichtigt. Zur Untersuchung der beiden Nahwärmevarianten wird angenommen, dass alle Wohnungen in dem Neubaugebiet im Hinblick auf den Jahresheizwärmebedarf des Beispielhauses errichtet werden.

Der hohe Wärmedämmstandard ist eine wesentliche Voraussetzung für ein Niedertemperaturheizsystem, das mit niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen und großen Heizflächen wie z. B. Fußboden- oder Wandflächenheizung arbeitet. Die Vorlauftemperatur des Heizsystems sollte möglichst 35 °C betragen. Die Speichermasse eines Gebäudes beeinflusst die Beheizung mit Flächenheizung und deren Regelung.

Flächenheizungen geben ihre Wärme zum größten Teil als Strahlungswärme ab. Dadurch heizen sich alle Umgebungsflächen eines Raumes auf, sodass gegebenenfalls eine niedrigere Lufttemperatur ausreicht, um die im Raum empfundene Temperatur zu erhalten. Deswegen wäre in den Wänden und Decken eines Gebäudes eine hohe Speichermasse günstig. Die spezifische Wärmekapazität der verwendeten Baustoffe ist dazu entscheidend. Wegen der Trägheit der Flächenheizung liegt eine geringere Regelfähigkeit vor.

Zur Trinkwassererwärmung werden je nach Art des Verfahrens entsprechende Heizwassertemperaturen benötigt. Ausgehend von einer Trinkwarmwassertemperatur von ca. 40 °C (Duschen, Baden) ergeben sich bei einem Trinkwarmwasserspeicher etwa 45 bis 60 °C und beim Durchlaufverfahren rund 45 °C auf der Trinkwasserseite und 55 °C auf der Heizwasserseite.

## 1.2 Wärmebedarf in der Nahwärmeversorgung des Neubaugebiets

Mithilfe der angenommenen Daten zu einem Beispielhaus wird der gesamte Wärmebedarf im ersten Bauabschnitt des Neubaugebiets abgeschätzt. Dies ist die Grundlage zur Auslegung der Heizzentrale und des Nahwärmenetzes in der Nahwärmeversorgung.

Folgende Trassenführung des Nahwärmenetzes und Standort der Heizzentrale werden vorgeschlagen.



Abbildung 1-2 Lageplan 1. Bauabschnitt Neubaugebiet mit vorgeschlagenem Nahwärmenetz und Standort der Heizzentrale

Die aus diesem Trassenverlauf abgeschätzte Trassenlänge teilt sich wie folgt auf.

	Nahwärmetrasse	Hausanschluss	Gesamtnetz
Länge, gesamt	1.700 m	1.000 m	2.700 m

Tabelle 1-4 Abgeschätzte Trassenlänge Nahwärmenetz

Mit 316 Wohneinheiten ergibt sich eine spezifische Netzlänge von 8,5 m je Wohneinheit. Diese durchschnittliche, spezifische Netzlänge ist typisch für eine Reihenhausbauung. Nach Angaben des Fraunhofer Instituts UMSICHT<sup>1</sup> ergeben sich für eine Reihenhausbauung 6 bis 14 m je Wohneinheit. Für Einfamilienhausbauung liegt der Wert höher (14 – 25 m je Wohneinheit) und für Mehrfamilienhausbauung niedriger (2 – 6 m je Wohneinheit), sodass sich für den ersten Bauabschnitt mit Ein- und Mehrfamilienhäusern ein Durchschnittswert ergibt.

<sup>1</sup> Fraunhofer Institut Umwelt, Sicherheit, Energietechnik – UMSICHT: Nahwärme Forum, Netzdimensionierung, AGFW-Statistik über 843 Netze

Es wird davon ausgegangen, dass auf den 157 Grundstücken 316 Wohneinheiten errichtet werden. Diese benötigen im Nahwärmeverbund gleichzeitig nicht die gesamte zu installierende Heizleistung, sondern nur etwa 60 % der Gesamtleistung.

	Wärmeleistung [ $\text{kW}_{\text{th}}$ ]	Jahreswärmebedarf [ $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$ ]
316 Wohneinheiten	1.580	2.464.800
Gleichzeitige Wärmeleistung	980	
Nahwärmeverluste	54	394.200
Summe	1.033	2.859.000

Tabelle 1-5 Wärmeleistung und Jahreswärmebedarf im Nahwärmeverbund

Um den gesamten Jahreswärmebedarf im Nahwärmeverbund abdecken zu können, sind von der Heizzentrale insgesamt rund  $1.000 \text{ kW}_{\text{th}}$  als Wärmeleistung bereitzustellen.

Der durchschnittliche Wärmeabsatz des gesamten Nahwärmenetzes inklusive der Hausanschlussleitungen beträgt unter Annahme des 4-Liter-Haus-Standards etwa  $1 \text{ MWh}_{\text{th}}/(\text{ma})$ .

## 2 Varianten zur Energieversorgung

Für die Wärmeversorgung der Wohnungen im geplanten Neubaugebiet werden folgende Varianten, deren Technik kurz erläutert wird, untersucht. Um die Varianten bewerten zu können, wird als Basisvariante eine Erdgasbrennwerttherme als aktueller Status angesetzt. Im Rahmen der Klimaschutzgesetzgebung ist vorgesehen, die Energieeinsparverordnung zum 01.01.2009 dahin gehend zu verschärfen, dass der zulässige Primärenergieaufwand<sup>1</sup> um 30 % gegenüber dem derzeitigen Höchstwert abgesenkt wird und eine Nutzungspflicht erneuerbarer Energien mit einem Anteil von mindestens 15 % am Endenergiebedarf<sup>2</sup> eingeführt wird. Eine weitere Verschärfung des zulässigen Primärenergiebedarfs um 30 % ist für den 01.01.2011 geplant.

Auf dieser Grundlage werden Wärmeversorgungsanlagen für das Neubaugebiet in Haßloch herangezogen, die erneuerbare Energien nutzen wie z. B. eine solarthermische Anlage oder Wärmepumpe.

### Beispielhaus im Neubaugebiet

Basisvariante:	Erdgasbrennwerttherme
Variante 1:	Erdgasbrennwerttherme mit solarthermischer Anlage
Variante 2:	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) mit solarthermischer Anlage
Variante 3:	Luft/Wasser-Wärmepumpe mit solarthermischer Anlage
Variante 4:	Holzpelletskessel mit solarthermischer Anlage
Variante 5:	Nahwärme aus Biomassefeuerungsanlage, betrieben mit Holzhackschnitzel
Variante 6:	Nahwärme aus Erdgas-BHKW
Variante 7:	Nahwärme aus Bioerdgas-BHKW
Variante 8:	Nahwärme aus Tiefengeothermie

Da die Varianten 2 bis 4 die Nutzungspflicht in Bezug auf erneuerbare Energien auch ohne eine solarthermische Anlage erfüllen, werden diese auch ohne eine solarthermische Anlage untersucht.

Variante 2a:	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden)
Variante 3a:	Luft/Wasser-Wärmepumpe
Variante 4a:	Holzpelletskessel

---

<sup>1</sup> Primärenergiebedarf: Zusätzlich wird auch die Energiemenge in den vorgelagerten Prozessketten außerhalb der Systemgrenze des Gebäudes berücksichtigt, die bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils einzusetzenden Brennstoffe bzw. elektrische Energie aufzuwenden ist.

<sup>2</sup> Endenergiebedarf: Energiemenge, die zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung inklusive der Verluste und Hilfsenergie für den Anlagenbetrieb erforderlich ist, ermittelt an der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes.

Um eine vollständig regenerative Wärmeversorgung des Beispielhauses umsetzen zu können, werden als Zusatzvariante die Sole/Wasser-Wärmepumpe bzw. Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer solarthermischen Anlage und mit einer Fotovoltaikanlage betrachtet. Die Fotovoltaikanlage ist dazu so zu dimensionieren, dass die jährlich bereitgestellte elektrische Arbeit zusätzlich zum Ausgleich des regulären Strombedarfs der elektrischen Haushaltsgeräte den jährlichen Strombedarf der Wärmepumpenanlage deckt. Durch die sich im Jahr ändernde Solarstrahlung kann der Stromlastgang der Wärmepumpe und der elektrischen Geräte im Haushalt nicht mit einer Fotovoltaikanlage sondern nur in der Jahresbilanz abgedeckt werden. Der Stromüberschuss der Fotovoltaikanlage trägt dazu bei, dass es sich um ein Energiegewinnhaus handelt.

- Variante 2b: Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) mit solarthermischer Anlage und Fotovoltaikanlage
- Variante 3b: Luft/Wasser-Wärmepumpe mit solarthermischer Anlage und Fotovoltaikanlage

In Bezug auf den hohen Wärmedämmstandard des Beispielhauses ist das Heizsystem grundsätzlich auf niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen auszulegen. Zur Wärmeverteilung im Niedertemperaturheizsystem mit möglichst niedrigen Vorlauftemperaturen von 35°C können Fußbodenheizung, Wandflächenheizung oder Heiz- und Kühldecken eingesetzt werden. Dies ermöglicht beim Einsatz solarthermischer Anlagen zur Unterstützung der Raumheizung und Trinkwassererwärmung eine höhere solare Deckung des gesamten Wärmebedarfs eines Wohnhauses. Ein Niedertemperaturheizsystem führt beim Einsatz einer Wärmepumpe zu einem effektiveren Betrieb mit höherer Leistungs- und Jahresarbeitszahl. Die niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen führen bei Brennwertkesseln zu einer vollständigen Kondensation des Wasserdampfes im Abgas, sodass ein hoher Jahresnutzungsgrad erreicht werden kann. Außerdem wird durch Abgaskondensation bei Holzpelletskesseln und Holzhack-schnitzelheizungen der Feinstaub verringert.

## 2.1 Erdgasbrennwertkessel

Da die Neubauten nach den Mindestvorgaben der Energieeinsparverordnung zu errichten sind und in der Ist-Analyse ein hoher Dämmstandard zu Grunde gelegt wird, sind zur Beheizung niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizsystems ausreichend. Die Vorlauf-temperatur der Flächenheizungen sollte soweit wie möglich minimiert werden. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für die Brennwertnutzung gegeben. Die niedrigen Rücklauftemperaturen ermöglichen die Ausnutzung der Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas (Brennwertnutzung), sodass der eingesetzte Brennstoff effizient genutzt wird.

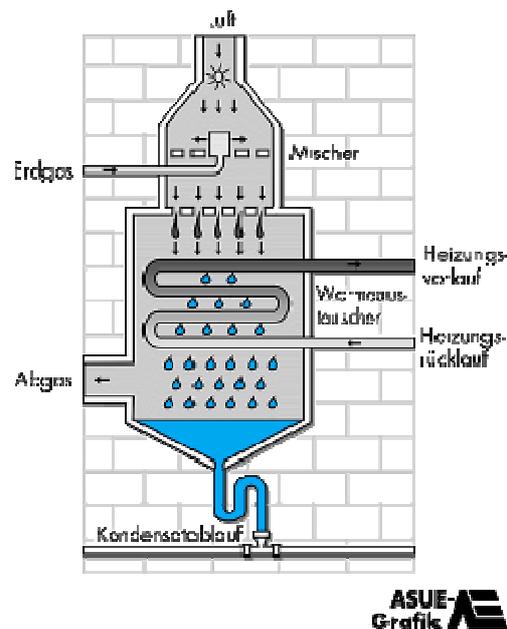


Abbildung 2-1 Schema zur Brennwertnutzung (Quelle: ASUE – Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.)

Zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung wird eine Erdgasbrennwert-Kombitherme ausgewählt, die das Trinkwasser im Durchlaufverfahren erwärmt.

## 2.2 Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden

Da die Neubauten nach den Mindestvorgaben der Energieeinsparverordnung zu errichten sind und in der Ist-Analyse ein spezifischer Jahresheizwärmebedarf von  $40 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$  zu Grunde gelegt wird, sind zur Beheizung niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizsystems ausreichend. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz einer Wärmepumpe gegeben.

Eine Wärmepumpe kann mithilfe einer niedrigtemperierten Umgebungswärme Wärme auf ein höheres Temperaturniveau anheben und diese zu Heizzwecken nutzen. Dazu ist hochwertige Antriebsenergie notwendig. Die gewonnene Nutzwärme sollte dabei ein Mehrfaches der Antriebsenergie betragen, um eine vernünftige Betriebsweise zu erhalten. Dieses Verhältnis, auch als Leistungszahl bekannt, ist von der Temperaturdifferenz der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur des Heizsystems abhängig. Aufgrund dessen sollte die Wärmequelle eine hohe Temperatur aufweisen und das Heizsystem eine möglichst niedrige Vorlauftemperatur besitzen. Großflächige Wärmeübertragungsflächen wie z. B. Fußboden- oder Wandflächenheizungen mit einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur bieten sich hierzu an. Für eine effiziente Betriebsweise der Wärmepumpe und zur Überbrückung von Sperrzeiten durch das Energieversorgungsunternehmen ist ein Pufferspeicher, welcher in dem solarthermischen Anlagenteil beinhaltet ist, vorzusehen.

Als Wärmequelle für die Wärmepumpe bietet sich das Erdreich an. Dazu werden entweder Erdsonden oder Erdkollektoren verlegt. Für das Beispielhaus werden Erdsonden in den weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt. Ab einer Tiefe von ca. 10 m hat der Erdboden eine relativ konstante und von der Jahreszeit unbeeinflusste Temperatur, was eine ideale Voraussetzung für eine Wärmequelle ist.

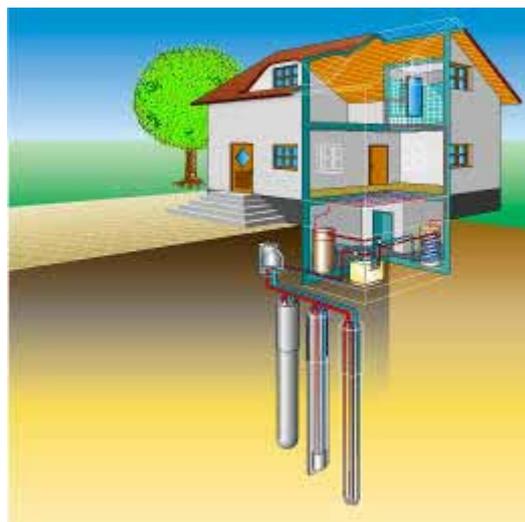


Abbildung 2-2 Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden  
(Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)

Wenn das Haus mit einer Wärmepumpenanlage beheizt wird, kann die Warmwasserbereitung ebenfalls mit einer Wärmepumpenanlage erfolgen. Zur Überbrückung der Sperrzeiten vom Energieversorger und für eine höhere Auslastung ist ein Pufferspeicher erforderlich. Mit

einem externen Wärmetauscher kann das Trinkwarmwasser im Durchlaufprinzip über den Pufferspeicher bereit werden.

Obwohl in der Regel der Betrieb einer Wärmepumpenanlage zur thermischen Nutzung des Untergrunds nicht zu nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt führt, muss das Arbeitsmittel so ausgewählt werden, dass im Schadensfall keine Umweltschädigung eintritt, wenn es in die Luft, den Boden und das Grundwasser gelangt.

Es wird davon ausgegangen, dass H-FKW-freie Wärmepumpen eingesetzt werden.

Für die Dimensionierung einer monovalent betriebenen Wärmepumpe ist zu beachten, dass Zuschläge für Sperrzeiten des Energieversorgungsunternehmens auf die erforderliche Wärmeleistung angerechnet werden müssen. Die Wärmepumpe kann trotz der solarthermischen Anlage als monovalent bezeichnet werden, da die Solarthermie nur zur Heizunterstützung dient. Die Stromzufuhr kann für maximal dreimal 2 Stunden innerhalb von 24 Stunden unterbrochen werden. Dies ist bei der Auswahl der Wärmepumpenleistung und des Pufferspeichers zu berücksichtigen.

Demnach wird für das Beispielhaus mit einem Wärmeleistungsbedarf von  $5 \text{ kW}_{\text{th}}$  eine Wärmeleistung mit mindestens  $6,7 \text{ kW}_{\text{th}}$  Wärmeleistung benötigt.

Unter der Annahme, dass am Standort das Erdreich eine mittlere Wärmeentzugsleistung von ca.  $50 \text{ W/m}$  für die Erdsonde aufweist, sind zwei Erdsonden mit einer Länge von rund  $60 \text{ m}$  für die Erschließung der Wärmequelle erforderlich.

Um eine vollständig regenerative Wärmeversorgung des Beispielhauses umsetzen zu können, wird als Zusatzvariante eine Wärmepumpe mit einer solarthermischen Anlage und mit einer Fotovoltaikanlage betrachtet. Für ein Null-Emissions- und Energiegewinnhaus ist die Fotovoltaikanlage so zu dimensionieren, dass die jährlich bereitgestellte elektrische Arbeit mindestens zusätzlich zum Ausgleich des regulären Strombedarfs der elektrischen Haushaltsgeräte den jährlichen Strombedarf der Wärmepumpenanlage deckt. Durch die sich im Jahr ändernde Solarstrahlung kann der Stromlastgang der Wärmepumpe und der elektrischen Haushaltsgeräte nicht mit einer Fotovoltaikanlage abgedeckt werden, sondern nur in der Jahresbilanz.

Die Dächer stellen sich damit als Kraftwerke dar, die neben dem Strombedarf des Hauses Überschussstrom bereitstellen.

### 2.3 Luft/Wasser Wärmepumpe

Da der Einsatz von Wärmepumpen, aufgrund des hohen Wärmedämmstandards und der daraus resultierenden niedrigen Vorlauftemperaturen, möglich ist, wird auch die Luft/Wasser Wärmepumpe betrachtet. Diese Bauweise der Wärmepumpe hat große Vorteile, da sie überall einsetzbar ist. Es muss keine Rücksicht auf die Bodenbeschaffenheit oder andere nachteilige Effekte der Erdreich-Wärmepumpe genommen werden. Allerdings ist bei Luft/Wasser Wärmepumpen eine Abtauvorrichtung notwendig, um bei Temperaturen unter  $+5^{\circ}\text{C}$  einer entstehenden Vereisung des Verdampfers entgegenzuwirken. Die Wärmequelle der Luft/Wasser Wärmepumpe ist überall unbegrenzt verfügbar und der Platzbedarf ist bei Innenaufstellung ohne Außenanlagen gering.

Die sonstigen Voraussetzungen, sowie Vor- und Nachteile der Wärmepumpe wurden bereits im vorherigen Kapitel genannt.

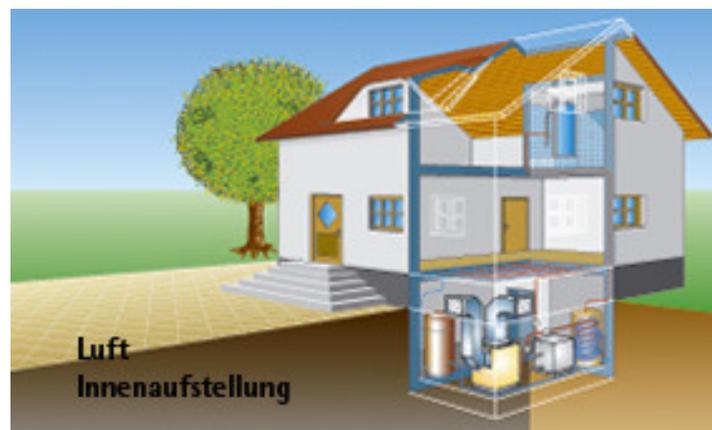


Abbildung 2-3 Wärmepumpenanlage Luft/Wasser Innenaufstellung  
(Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)

Um eine vollständig regenerative Wärmeversorgung des Beispielhauses umsetzen zu können, wird als Zusatzvariante eine Wärmepumpe mit einer solarthermischen Anlage und mit einer Fotovoltaikanlage betrachtet. Die Fotovoltaikanlage ist dazu so zu dimensionieren, dass die jährlich bereitgestellte elektrische Arbeit mindestens zusätzlich zum Ausgleich des regulären Strombedarfs der elektrischen Haushaltsgeräte den jährlichen Strombedarf der Wärmepumpenanlage deckt. Durch die sich im Jahr ändernde Solarstrahlung kann der Stromlastgang der Wärmepumpe und der elektrischen Haushaltsgeräte nicht mit einer Fotovoltaikanlage abgedeckt werden, sondern nur in der Jahresbilanz.

Die Dächer stellen sich damit als Kraftwerke dar, die neben dem Strombedarf des Hauses Überschussstrom bereitstellen.

## 2.4 Holzpelletskessel

Die Holzpellets werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder -spänen gefertigt. Sie besitzen einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm. Als Bindemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin und ggf. Speisestärke. In der DIN 51731 sind die Qualitätskriterien der Holzpellets festgelegt, so muss Ihr Heizwert mindestens  $4,9 \text{ kWh}_{\text{BS}}/\text{kg}$  betragen. Außerdem muss das Schüttgewicht  $650 \text{ kg}/\text{Sm}^3$  aufweisen und die Holzfeuchte darf 10 % nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhalts benötigen sie daher im Vergleich zu Holz hackschnitzel ein wesentlich geringeres Lagervolumen. Weitergehende Qualitätsanforderungen werden durch das DINplus-Zertifikat und die österreichische Norm M 7135 sichergestellt.

Die Holzpellets werden im Silowagen angeliefert und mit einem Schlauch ins Lager eingeblasen. Das Holzpelletslager sollte sich direkt neben dem Heizungsraum befinden, um lange Transportwege zu vermeiden. Als Lager kann ein Raum des zu beheizenden Gebäudes, ein Erdbunker, ein Container oder ein Silo eingesetzt werden.

Für Lagermengen bis zu 15 t eines festen Brennstoffs bestehen keine Anforderungen an Wände, Decken, Türen und Nutzen nach der Feuerungsanlagenverordnung. Ab 15 t sind die Lager nach baurechtlichen Vorgaben der Feuerungsanlagenverordnung auszuführen.

Unterschiedliche Austragungssysteme abhängig vom Holzpelletslager transportieren die Holzpellets aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Austragungsschnecken, Rührfederaustragung und Pendelschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen.

Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holzpellets in die Brennstoffmulde, wo sie unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bilden. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben.

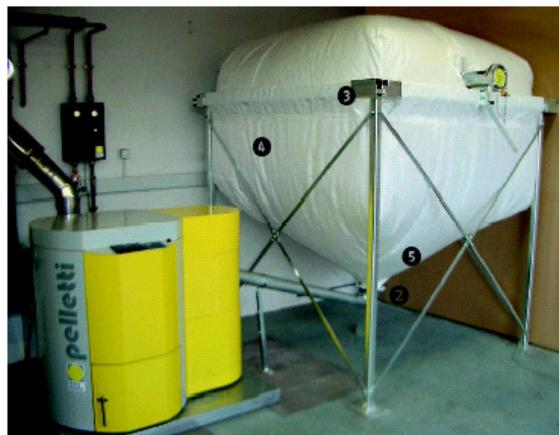


Abbildung 2-4 Holzpelletskessel mit Gewebesilo (Quelle: Soltec Energiekonzepte im System)

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärmeproduktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungsregelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

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

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalzhäufigkeit, und die Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

Auf dem Markt sind auch Holzpelletskessel mit Brennwerttechnik erhältlich.

Für das Beispielhaus wird angenommen, dass im Keller ein Heizraum und ein Lagerraum zur Installation eines Holzpelletskessels vorhanden sind.

## 2.5 Solarthermische Anlage

Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung zur Wärmeerzeugung genutzt. Die Nutzung erfolgt hauptsächlich zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung. Um eine möglichst hohe Ausbeute über ein Jahr zu erzielen, ist eine Neigung der Kollektormodule von 30 bis 45° notwendig. Die Abweichung der Kollektorebene aus der Südrichtung (Azimut) sollte 45° nicht überschreiten.

Üblicherweise kann eine Solaranlage in Wohngebäuden bis zu 60 % des jährlichen Warmwasserbedarfs decken (solare Deckungsrate). Die Anlage sollte so dimensioniert werden, dass der Wärmebedarf im Sommer gedeckt wird.

Die Auslegung der solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung ist im Hinblick auf die Auslastung innerhalb der Nutzungsdauer von 20 Jahren wichtig. Durch Generationenwechsel ändert sich über die Jahre die Anzahl der Bewohner eines Hauses. Dadurch liegt bei Familien mit Kindern wegen der größeren Personenzahl ein höherer Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung vor, während nach dem Auszug der Kinder sich dieser verringert. Durch die Raumheizungsunterstützung der solarthermischen Anlage ist diese auch bei einer sich ändernden Nutzungsstruktur eines Wohnhauses bedarfsgerecht ausgelegt. Dies würde auf eine solarthermische Anlage nur zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung nicht zutreffen.

Auf dem Markt sind verschiedene Systeme zu Solarkollektoren verfügbar (hauptsächlich Flach- oder Vakuum-Röhrenkollektoren). Diese unterscheiden sich im Aufbau, Wirkungsgrad und Preis.

Beim Flachkollektor dient ein flaches schwarz beschichtetes Kupferblech als Absorber. Auf der Rückseite sind kupferne Leitungen angebracht, welche direkt vom Wärmeträger durchflossen werden. Dieses System befindet sich meist in einem gedämmten Gehäuse, welches mit einer Glasplatte abgedeckt ist. Vakuum-Röhrenkollektoren bestehen aus mehreren evakuierten Glasröhren mit innen liegendem Absorber. Die Wärmeverluste werden minimiert. Bei gleicher Fläche liefern Röhrenkollektoren bis zu 40% mehr Ertrag als Flachkollektoren.



Abbildung 2-5 Flachkollektor und Vakuum-Röhrenkollektor (Quelle: Solarserver)

Je nach Wahl des zusätzlichen Heizsystems ist auf die hydraulische Schaltung und Auslegung des Pufferspeichers zu achten. Da eine solarthermische Anlage einen geringen Volumenstrom mit einer großen Temperaturspreizung aufweist, ist die Verbindung mit Systemen, die, wie z. B. eine Wärmepumpe, einen großen Volumenstrom mit kleiner Temperaturspreizung aufweisen, so auszuführen, dass beide Systeme sich nicht stören. Denn das Ziel ist, eine hohe solare Deckungsrate zur Unterstützung der Raumheizung und Trinkwassererwärmung sowie eine lange Laufzeit der Wärmepumpe zu erhalten.

Wenige Hersteller bieten Komplettpakete bestehend aus einer solarthermischen Anlage und einer Wärmepumpe mit einer optimalen Lösung an. Um Anlagen verschiedener Hersteller zusammen einsetzen zu können, ist die hydraulische Verschaltung entsprechend anzupassen.

Im Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007“ des Bundes-Wirtschaftsministeriums sind Förderungen für Solarkollektoranlagen vorgesehen. Für Solaranlagen zur kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung kann seit der Änderung des Marktanzreizprogramms vom 25. Juli 2007 ein Investitionszuschuss in Höhe von 105 € je angefangenem m<sup>2</sup> installierter Gesamtbruttokollektorfläche beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden. Dazu wird eine Mindestkollektorfläche von 9 m<sup>2</sup> bei Flachkollektoren und 7 m<sup>2</sup> bei Vakuumröhrenkollektoren gefordert. Außerdem muss das Pufferspeichervolumen mindestens 40 l/m<sup>2</sup> bei Flachkollektoren und 50 l/m<sup>2</sup> bei Vakuumröhrenkollektoren betragen.

Vorraussetzung für die Förderung ist, dass der jährliche Kollektorertrag von 525 kWh<sub>th</sub>/a bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % beträgt und der Kollektor die Kriterien des Umweltzeichens RAL-UZ73 (Stand 2004) erfüllt bzw. mit dem „Blauen „Engel“ ausgezeichnet ist. Für Solarkollektoren, die ab 2007 nach DIN EN 12975 geprüft werden, sind nur mit dem europäischen Prüfzeichen Solar Keymark förderfähig.

### Einsatz am Beispiel eines Einfamilienhauses

Zur Trinkwassererwärmung wird am Beispiel eines Einfamilienhauses aus hygienischen Gründen das Durchlaufverfahren zu Grunde gelegt. Im Gegensatz zu einem Trinkwarmwasserspeicher wird das Trinkwasser im Durchlaufverfahren nur dann erwärmt, wenn es direkt verbraucht wird. Dadurch wird nur eine geringe Trinkwarmwassermenge in den Leitungen und in dem Wärmeübertrager (Frischwassererwärmer) vorgehalten. Während in Trinkwarmwasserspeichern durch Korrosion, Schlammablagerung und einer längeren Verweilzeit des Trinkwarmwassers ein günstiges Temperaturniveau für die Vermehrung von Legionellen vorliegt, wird dies beim Durchlaufverfahren verringert. Außerdem sind zur Trinkwassererwärmung im Durchlaufverfahren niedrigere Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizsystems ausreichend, während ein Trinkwarmwasserspeicher einmal täglich auf 60°C aufgeheizt wird, sodass das Durchlaufverfahren auch für Wärmepumpen oder solarthermische Anlagen geeignet ist.



Abbildung 2-6 Schema zu solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung (Quelle: Wagner & Co. Solartechnik)

Alternativ dazu ist aus Gründen der Legionellenvermeidung eine dezentrale Trinkwassererwärmung mittels Wärmetauscher an den einzelnen Zapfstellen möglich. Mit einem solchen System liegen eine geringe Trinkwassermenge zur Aufheizung und eine kurze Aufheizzeit vor. Allerdings wird es für Wohnungen oder für Duschen z. B. in Sportlerheimen empfohlen, sodass der Einsatz einer dezentralen Trinkwassererwärmung für alle Trinkwarmwasserzapfstellen in einem Einfamilienhaus kein zusätzlicher Vorteil gegenüber dem Durchlaufverfahren darstellt.

Die Auslegung der solarthermischen Anlage erfolgt unter der Voraussetzung, dass in den Sommermonaten die Trinkwassererwärmung zu 100 % solar gedeckt wird. Mithilfe des Rechnerprogramms „GetSolar“ wurde mit den Klimadaten von Neustadt/Weinstraße eine Simulation zur Ermittlung des solaren Energiebeitrags durchgeführt. Folgende Werte gehen als Eingangsgröße in die Simulation mit Flachkollektoren ein. Für das Beispielhaus wird eine 15 m<sup>2</sup> große Flachkollektorfläche und als Alternative eine 12 m<sup>2</sup> große Vakuumröhrenkollektorfläche betrachtet. Damit sind die Anforderungen vom Marktanreizprogramm erfüllt. Es werden die Ergebnisse beider Anlagen angegeben.

	Flachkollektor	Vakuumröhrenkollektor
Gesamtmodulfläche	15 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup>
Neigung	45 °	45 °
Ausrichtung	Süd	Süd
<b>Pufferspeicher mit Frischwasserstation</b>		
Pufferspeichervolumen	1.000 l	1.500 l
Zapfleistung Frischwasserstation	25 l/min	25 l/min

Mit diesen Ausgangsdaten zeigte die Simulation, dass eine 15 m<sup>2</sup> große Flachkollektoranlage den Jahreswärmebedarf insgesamt zu 32 % abdecken würde und eine 12 m<sup>2</sup> große Vakuumröhrenkollektoranlage zu 35 %. Beide Varianten erzielen im Sommer eine 100 % Deckung des Wärmebedarfs zur Trinkwassererwärmung.

		Flachkollektor	Vakuumröhrenkollektor
		15 m <sup>2</sup> 1.000 l	12 m <sup>2</sup> 1.500 l
Wärmemenge zum solaren Heizen	kWh <sub>th</sub> /a	1.700	1.900
Wärmemenge zur solaren Trinkwassererwärmung	kWh <sub>th</sub> /a	800	850
Wärmemenge gesamt	kWh <sub>th</sub> /a	2.500	2.750
<b>Solare Deckungsrate</b>			
Raumheizung + Trinkwassererwärmung	%	32	35
Raumheizung	%	28	32
Trinkwassererwärmung	%	44	47
Trinkwassererwärmung Sommer	%	100	100

Tabelle 2-1 Ergebnisse Simulation solarthermische Anlage

Monatliche Aufteilung der Wärmemenge zur Trinkwassererwärmung

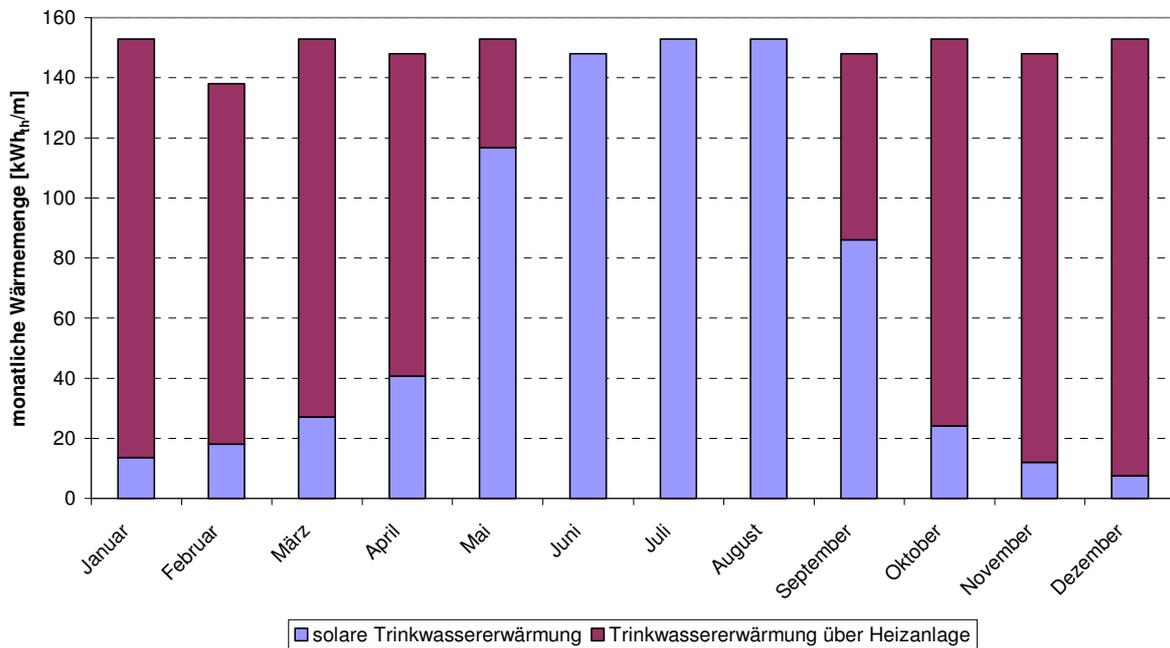


Abbildung 2-7 Monatliche Aufteilung der Wärmemenge zur Trinkwassererwärmung (Flachkollektor)

Monatliche Aufteilung Wärmemenge Raumheizung

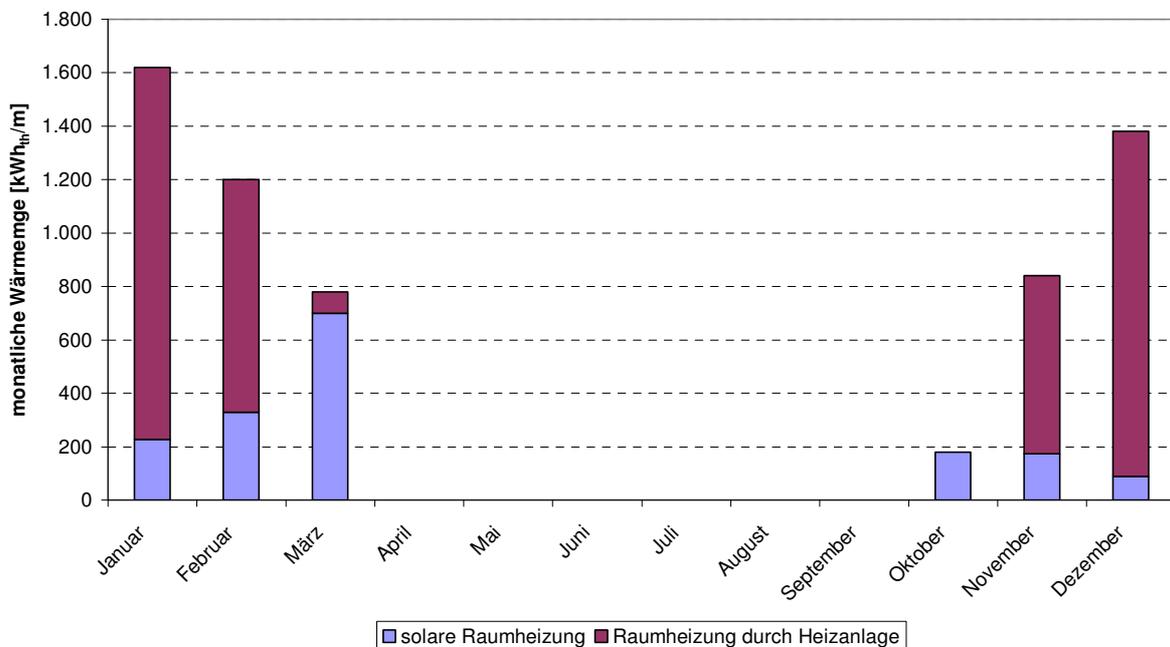


Abbildung 2-8 Monatliche Aufteilung der Wärmemenge zur Raumheizung (Flachkollektor)

Durch den geringeren Jahresheizwärmebedarf und die verkürzte Heizperiode ergibt sich eine verhältnismäßig geringe solare Deckung von 28 % des Jahresheizwärmebedarfs.

Insgesamt stellt sich am Beispiel eines Einfamilienhauses die solare Deckung des Jahreswärmeebedarfs wie folgt dar.

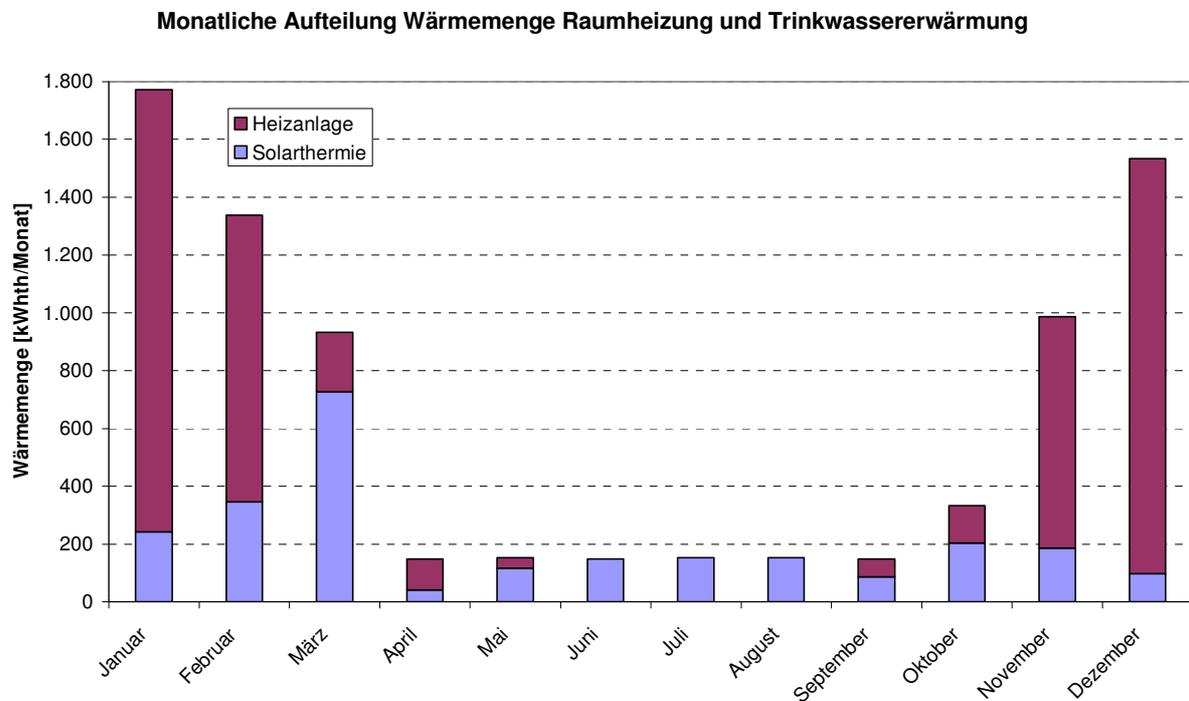


Abbildung 2-9 Monatliche Aufteilung der Wärmemenge zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung (Flachkollektor)

Die solare Deckungsrate des gesamten Jahreswärmeebedarfs beträgt 32 %.

## 2.6 Nahwärmeversorgung

Zur Nahwärmeversorgung des Neubaugebiets werden der Standort einer Heizzentrale und eine Trassenführung vorgeschlagen. Zur Abdeckung des Jahreswärmebedarfs im Nahwärmeverbund sind von der Heizzentrale rund 1.000 kW<sub>th</sub> bereitzustellen.

Aufgrund des hohen Wärmedämmstandards, der zu Grunde gelegt wurde, ist für einen wirtschaftlichen Betrieb der Nahwärme wichtig, dass alle Gebäude an das Nahwärmenetz angebunden werden, um einen hohen Wärmeabsatz zu erreichen. Dazu ist ein Anschluss- und Benutzungszwang notwendig.

In der Gemeindeordnung Rheinland-Pfalz<sup>1</sup> werden Angaben zum §26 der Anschluss- und Benutzungszwang in Bezug auf ein Nahwärmenetz genannt. Unter der Voraussetzung des Gemeinwohls kann eine Gemeinde den Anschlusszwang z. B. an eine Fernheizung vorschreiben. Ebenso verhält es sich mit dem Benutzungszwang, der unter der Voraussetzung des Gemeinwohls vorgeschrieben werden kann. Der Anschluss- und Benutzungszwang kann Ausnahmen vorsehen und sich auf bestimmte Teilgebiete einer Gemeinde oder bestimmte Gruppen von Grundstücken oder Personen beschränken.

Zur Wärmebereitstellung im Nahwärmeverbund werden verschiedene Anlagensysteme unterschieden. In einer Variante wird eine Biomassefeuerungsanlage, die Holzhackschnitzel als Brennstoff nutzt, betrachtet. Ein solcher Holzhackschnitzelkessel dient der Grundlastabdeckung, während als Spitzenlastkessel ein Heizölkessel eingesetzt wird. Für diese Wärmeversorgung erfolgt eine vollständige Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Als weitere Möglichkeiten werden ein Erdgas-BHKW zur Grundlast und Erdgaskessel als Spitzenlast untersucht. Ergänzend dazu wird anstelle des Erdgas-BHKW ein Bioerdgas-BHKW eingesetzt. Es wird vorausgesetzt, dass das Biogas, das auf Erdgasqualität aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist ist, über die Erdgasleitung bezogen wird und als Brennstoff in einem BHKW eingesetzt wird. Zur Erdgasvariante wird ebenfalls eine vollständige Wirtschaftlichkeitsberechnung aufgestellt. Im Vergleich dazu wird für die Bioerdgasvariante unter Voraussetzung von Kostengleichheit zur günstigsten Heizzentrale ein anlegbarer Bioerdgaspreis bestimmt.

Eine weitere Variante stellt die Nutzung der Wärme aus der Tiefengeothermie dar. Für die Betrachtungen wird angenommen, dass die Wärmeversorgung durch Tiefengeothermie gesichert ist, indem aus Gründen der Versorgungssicherheit eine konventionelle Wärmeversorgungsanlage z. B. Erdgaskessel vorhanden ist. In einer Wirtschaftlichkeitsberechnung wird ein anlegbarer Wärmepreis für die Wärmelieferung ermittelt, sodass die zugehörige Technik nicht näher betrachtet wird.

Im Folgenden wird die Technik eines Biomassekessels und eines BHKW kurz erläutert.

---

<sup>1</sup> Gemeindeordnung (GemO) in der Fassung vom 31. Januar 1994 (GVBl. S. 153), zuletzt geändert durch Gesetz vom 2. Dezember 2003 (GVBl. S. 390)

## 2.6.1 Holzhackschnitzelkessel

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holzhackschnitzel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schütffähigkeit der Holzhackschnitzel sind deren Transport, die Lagerung und die automatische Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Aufgrund dessen ist ein kontinuierlicher Betrieb eines Biomassekessels ohne großen Bedienungsaufwand gewährleistet.

Das Lager der Holzhackschnitzel wird nach dem gewählten Austragungssystem, der Brennstofffeuchte und die zu lagernde Menge bestimmt. Außerdem sind die örtlichen Gegebenheiten für die Anforderungen an das Lager zu berücksichtigen. Neben Silos (z. B. Fahr- bzw. Tunnelsilo) und Bunker kann der Brennstoff im Gebäude gelagert werden. Alternativ dazu können die Holzhackschnitzel in Container geliefert werden.

Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holzhackschnitzel aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Schubböden, Teleskopfräsen oder Austragungsschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, oder einen Kratzkettenförderer zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen. Dadurch kann die Gefahr des Zusetzens der Förderschnecke durch die Holzhackschnitzel vermieden werden.

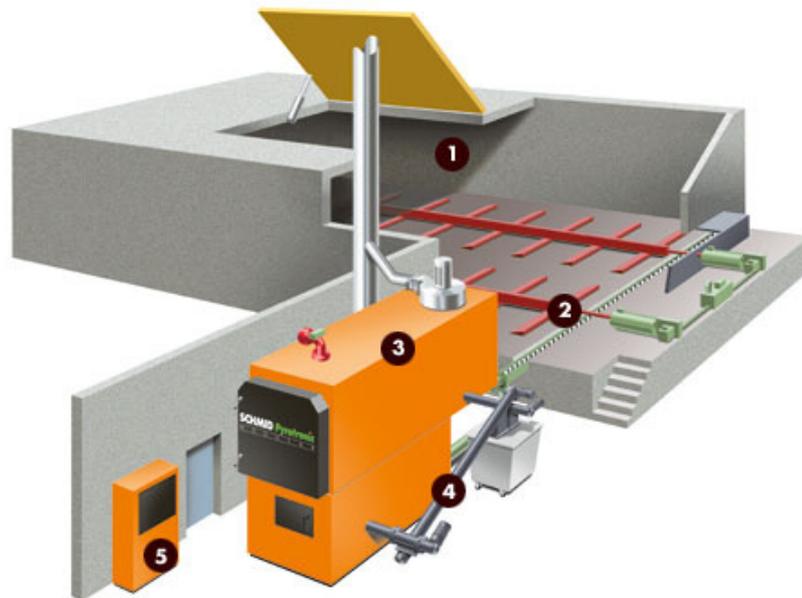


Abbildung 2-10 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung  
(Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holzhackschnitzel in die Brennstoffmulde, wo sie unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bilden. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben. Eine Rostfeuerung ermöglicht dagegen eine Vortrocknung von Holzhackschnitzel mit einer etwas höheren Restfeuchte,

indem der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über den Rost geführt werden, getrocknet wird.

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärmeproduktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungsregelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einen oder mehreren Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab etwa 500 kW<sub>th</sub> werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt. Ein Abgaswärmetauscher trägt ebenfalls zur Staubabscheidung bei, der den Wasserdampf im Rauchgas kondensiert und so Wärme zurück gewinnt.

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalzhäufigkeit, und die Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrieben, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Investitionskosten möglichst niedrig zu halten. Der Biomassekessel wird zur Abdeckung einer Grund- und Mittellast ausgelegt, während ein erdgas- oder heizölbefuehrter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird.

Neben Holzhackschnitzel als Waldholz oder unbehandeltes Industrierestholz kann auch zerkleinertes Landschaftspflegegrün zur Verfeuerung in einem Biomassekessel eingesetzt werden.

Für diese Heizzentrale wird angenommen, dass Holzhackschnitzel aus Nadelholz mit 30 % Holzfeuchte, die für trocken gelagerte Holzhackschnitzel üblich ist, als Brennstoff eingesetzt werden.

Um lange Transportwege zu vermeiden, sollte sich das Holzhackschnitzellager direkt neben der Heizzentrale befinden.

Die erforderliche Lagergröße berechnet sich nach dem Brennstoffbedarf, der notwendig ist, um die Holzfeuerungsanlage an 5 bis 10 Tagen unter Vollast zu betreiben. Aufgrund des LKW-Ladevolumens können zwischen etwa 40 und 80 Sm<sup>3</sup> angeliefert werden.

Als Standort der Heizzentrale bietet sich die öffentliche Grünfläche südlich der Planstraße A an. Dort kann das Heizhaus errichtet werden, in dem der Holzhackschnitzelkessel und ein Heizölkessel zur Spitzenlastabdeckung installiert sowie das Holzhackschnitzellager und Heizöltanklager eingerichtet werden kann. Ausgehend von dem Heizhaus werden über Nahwärmeleitungen die Gebäude im ersten Bauabschnitt des Neubaugebiets an das Wärmenetz angebunden.

Da das Gelände, das als Standort der Heizzentrale vorgeschlagen wurde, eben ist, muss das Holzhackschnitzellager als Erdbunker ausgeführt werden. Das Lager wird durch Abkippen des LKWs gefüllt. Zur Brennstoffaustragung bietet sich im Lager ein Schubboden und zum Transport in den Kessel ein Kratzkettenförderer an, sodass der Biomassekessel im Erdgeschoss der Heizzentrale installiert werden kann.

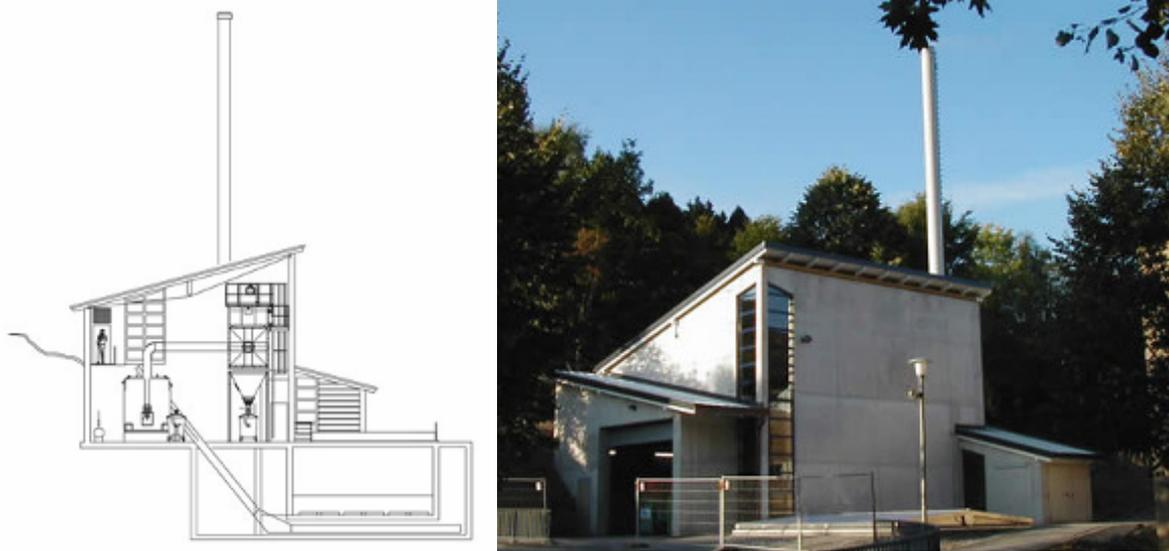


Abbildung 2-11 Schema und Ansicht einer Heizzentrale (Quelle: Seeger Engineering AG)

Die erforderliche Heizleistung der Heizzentrale teilt sich auf einen Holzhackschnitzelkessel mit etwa  $400 \text{ kW}_{\text{th}}$  und einen Erdgaskessel mit ca.  $600 \text{ kW}_{\text{th}}$  auf.

Um außerhalb der Heizperiode Emissionsfreiheit (Sommer-Smog) zu erhalten, könnte eine solarthermische Anlage in der Heizzentrale zum Einsatz kommen. Passend zur Anlagentechnik mit einem ca.  $10 \text{ m}^3$  großen Pufferspeicher in der Heizzentrale wäre eine etwa  $250 \text{ m}^2$  große Flachkollektorfläche notwendig. Allerdings ergab eine Simulation, dass eine solche Anlagenkombination nicht ausreicht, um den Wärmebedarf zur Trinkwassererwärmung in den Sommermonaten vollständig decken zu können. Es könnten rund 40 % des Bedarfs gedeckt werden. Für eine 100 % Abdeckung ist eine größere Anlage erforderlich, was mit einer neuen Anlagenkonzeption verbunden wäre und hier nicht weiter untersucht wird.

## 2.6.2 Motor-Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt. Die freiwerdende Wärme des Motors kann in das Wärmenetz eingespeist werden. Die Kraft-Wärme-Kopplung ermöglicht eine effizientere Nutzung des eingesetzten Brennstoffs, da zusätzlich zur Stromerzeugung die entstehende Abwärme nutzbar ist.

Ein wärmegeführter Betrieb des Blockheizkraftwerks ermöglicht eine Grundlastabdeckung des Wärmebedarfs; der gleichzeitig erzeugte Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist. Für die Einspeisung ins öffentliche Netz wird für Anlagen die Erdgas oder Heizöl als Brennstoff nutzen eine Vergütung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz gezahlt. Wenn Biomasse wie z. B. Biogas oder Pflanzenöl als Brennstoff in einem BHKW eingesetzt wird erfolgt die Vergütung des eingespeisten Stroms nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz.



Abbildung 2-12 Motor-BHKW (Quelle: Fa. Comuna Metall)

Um ein Blockheizkraftwerk wirtschaftlich zu betreiben, wird es so ausgelegt, dass sich möglichst hohe Vollbenutzungsstunden ergeben. Damit dies erreicht werden kann, ist ein Pufferspeicher vorzusehen, der vom Blockheizkraftwerk geladen werden kann, wenn keine Wärmeabnahme vom Heizsystem stattfindet.

Nach dem Energiesteuergesetz wird aufgrund der Kraft-Wärme-Kopplung in einer ortsfesten Anlage mit einem Jahresnutzungsgrad größer als 70 % eine Rückerstattung der Energiesteuer, früher als Mineralölsteuer bezeichnet, gewährt.

Für die Bioerdgasvariante wird davon ausgegangen, dass das Bioerdgas mit Erdgasqualität ins Erdgasnetz eingespeist wird und aus dem Erdgasnetz für die Brennstoffversorgung des BHKW bezogen wird. Die Abrechnung wird über eine Bilanzrechnung erfolgen.

## 2.7 Fotovoltaik

Fotovoltaik ist der Weg, Licht direkt in elektrischen Strom umzuwandeln. Wird Silizium dem Licht ausgesetzt, entsteht eine elektrische Spannung. Forscher machten diese Entdeckung nutzbar und entwickelten die ersten Solarzellen.

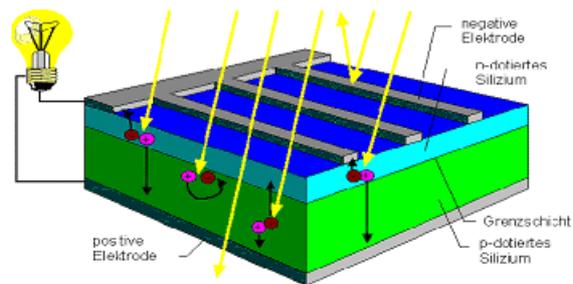


Abbildung 2-13 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

Bei den Solarzellen unterscheidet man nach drei Typen: monokristalline, polykristalline und amorphe (Dünnschicht) Solarzellen.

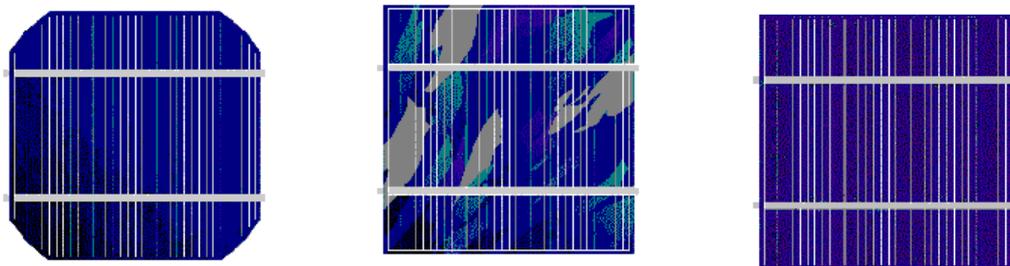


Abbildung 2-14 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)

Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr einen nahezu gleichbleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Fotovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Fotovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann.

Fotovoltaikmodule werden in Größen bis zu 3 m<sup>2</sup> angeboten. Mit 10 - 15 kg/m<sup>2</sup> stellen sie echte Leichtgewichte dar und bedürfen daher in der Regel keiner verstärkenden Maßnahmen an der Dachstatik. Es gibt auch sogenannte Solardachziegel, die geschindelt anstelle der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können. Mittlerweile sind komplette Dachelemente als PV-Modul ausgebildet. Die einzelnen Fotovoltaikmodule werden mit Gleichstromkabeln verbunden und ergeben den Solargenerator.

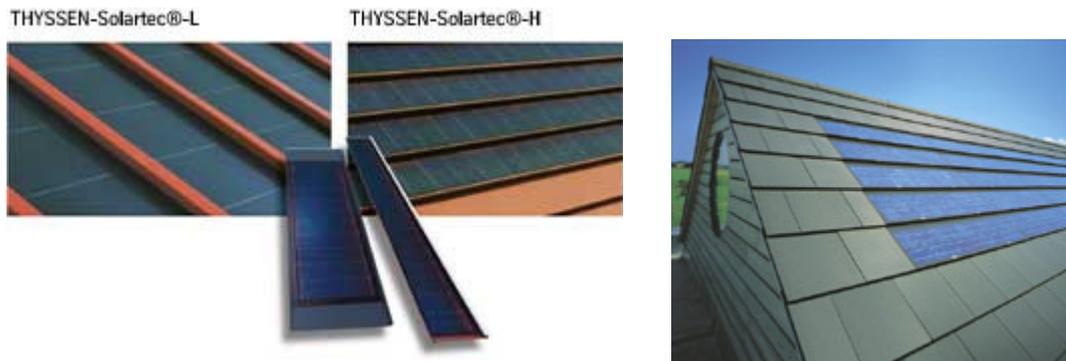


Abbildung 2-15 Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

Netzgekoppelte Anlagen sind über den Wechselrichter mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden. Der Strom aus der Fotovoltaikanlage wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und vom Stromversorger vergütet.



Abbildung 2-16 Schemazeichnung und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

Eine Fotovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung ( $\text{kW}_{\text{Peak}}$ ) eine Dachfläche von rund  $10 \text{ m}^2$  (bei Verwendung mono- oder polykristalliner Solarzellen). Der meiste Solarstrom wird erzeugt, wenn das Dach nach Süden ausgerichtet ist und eine Neigung von  $30^\circ$  hat. Eine Ausrichtung der Fotovoltaikmodule nach Süd-West oder Süd-Ost verringert den Solarertrag um weniger als 10 %. Das gleiche gilt für Dachneigung von  $10^\circ$  bzw.  $60^\circ$ . Eine Verschattung der Fotovoltaikmodule durch Schornsteine oder Bäume sollte unbedingt vermieden werden, da dadurch der Ertrag reduziert wird.

Die Montage von Fotovoltaikanlagen muss nicht genehmigt werden. Wie auch bei thermischen Solaranlagen sollte die Errichtung der Baubehörde formlos angezeigt werden. Ist das Gebäude denkmalgeschützt, ist eine Genehmigung einzuholen. Der Installateur meldet die PV-Anlage beim zuständigen Energieversorger an.

Um eine vollständig regenerative Wärmeversorgung des Beispielhauses umsetzen zu können, wird als Zusatzvariante die Sole/Wasser-Wärmepumpe bzw. Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer solarthermischen Anlage und mit einer Fotovoltaikanlage betrachtet. Die Fotovoltaikanlage ist dazu so zu dimensionieren, dass die jährlich bereitgestellte elektrische Arbeit zusätzlich zum Ausgleich des regulären Strombedarfs der elektrischen Haushaltsgeräte den jährlichen Strombedarf der Wärmepumpenanlage deckt. Durch die sich im Jahr ändernde Solarstrahlung kann der Stromlastgang der Wärmepumpe und der elektrischen Geräte im Haushalt nicht mit einer Fotovoltaikanlage sondern nur in der Jahresbilanz abgedeckt werden. Der Stromüberschuss der Fotovoltaikanlage trägt dazu bei, dass es sich um ein Energiegewinnhaus handelt.

Die beiden Fotovoltaikanlagen wurden mithilfe eines Simulationsprogramms so ausgewählt, dass sie den Jahresstrombedarf inklusive des Hilfsenergiebedarfs der jeweiligen Variante decken können. Es wurde von einer reinen Südausrichtung mit 45° Dachneigung ausgegangen. Die Berechnungen beruhen auf den Wetterdaten für den Standort Neustadt an der Weinstraße.

		Sole/Wasser- Wärmepumpe (Erdsonden) + Solarthermie + Fotovoltaik	Luft/Wasser- Wärmepumpe + Solarthermie + Fotovoltaik
Jahresstrombedarf Haushalt <sup>1</sup>	kWh <sub>el</sub> /a	4.430	4.430
Heisanlage	kWh <sub>el</sub> /a	1.121	1.057
Summe	kWh <sub>el</sub> /a	5.551	5.487
Modulfläche Fotovoltaik	m <sup>2</sup>	49,6	49,6
Generatorleistung	kW <sub>p</sub>	6,84	6,84
Strombereitstellung Fotovoltaik	kWh <sub>el</sub> /a	5.708	5.708

Tabelle 2-2 Auslegung Fotovoltaikanlage

<sup>1</sup> VDEW – Verband der Elektrizitätswirtschaft: VDEW zur Energieeffizienz, Stromverbrauch der Haushalte wächst gering, 18.09.2006

### 3 Energiebilanz

Für das Beispielhaus wird eine Energiebilanz zur dezentralen und zentralen Wärmeversorgung aufgestellt.

<b>Einfamilienhaus</b>		Basisvariante Erdgasbrenn- werttherme  Erdgas	Variante 1 Erdgasbrenn- werttherme Solarthermie  Erdgas + Solar	Variante 2 Sole/Wasser- Wärmepumpe Solarthermie  Strom + Solar	Variante 3 Luft/Wasser- Wärmepumpe Solarthermie  Strom + Solar	Variante 4 Holzpel- letsessel Solarthermie  Holzpellets + Solar	Variante 5-8 Nahwärme
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	7.800	7.800	7.800	7.800	7.800	7.800
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	5	5	5	5	5	5
Wärmebereitstellung Solarthermie	kWh <sub>th</sub> /a		2.500	2.500	2.500	2.500	
Wärmebereitstellung Heizanlage	kWh <sub>th</sub> /a	7.800	5.300	5.300	5.300	5.300	7.800
Jahresnutzungsgrad	%	97	97			90	
Jahresarbeitszahl				3,56	2,73		
Erdgasbedarf	kWh <sub>Ho</sub> /a	8.845	6.010				
Holzpelletsbedarf	kg/a (Sm <sup>3</sup> /a)					1.202 (1,9)	
Nahwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a						7.800
Strombedarf Wärmepumpe	kWh <sub>el</sub> /a			1.489	1.941		
Strombedarf Solarthermie	kWh <sub>el</sub> /a		68	68	68	68	
Strombedarf Hilfsenergie	kWh <sub>el</sub> /a	128	102	296		129	60
Strombedarf gesamt	kWh <sub>el</sub> /a	128	170	1.853	2.009	197	60

Tabelle 3-1 Energiebilanz Einfamilienhaus im Neubaugebiet

Die Jahresarbeitszahl der Sole/Wasser- und der Luft/Wasser-Wärmepumpe wurde nach den Normwerten und Berechnungen in der DIN V 4701-10 angesetzt. Dies erscheint im Vergleich zu real existierenden Anlagen zu gut. Allerdings ist den Studien zu bestehenden Anlagen nicht nachvollziehbar, auf welcher Anlagenkonfiguration und Betriebsweise die Jahresarbeitszahlen beruhen.

Es ist zu beachten, dass die Jahresarbeitszahl in der Anlagenkombination aus Luft/Wasser-Wärmepumpe und solarthermischer Anlage voraussichtlich nicht die Jahresarbeitszahl einer einzelnen Luft/Wasser-Wärmepumpe erreicht, da im Winter die niedrigsten Außenlufttemperaturen vorliegen und keine wesentliche solarthermische Unterstützung der Wärmeerzeugung möglich ist.

Der Hilfsenergiebedarf der unterschiedlichen Anlagen wurde nach den Normwerten in der DIN V 4701-10 berechnet. Die Normwerte beruhen auf Geräten, deren energetische Qualität dem unteren Durchschnitt des Marktniveaus entspricht. Für die Sole/Wasser-Wärmepumpe muss der Hilfsenergiebedarf zum Antrieb der Solepumpe berücksichtigt werden, während für die Luft/Wasser-Wärmepumpe kein Hilfsenergiebedarf zum Antrieb des Außenluftventilators berücksichtigt werden, da dieser schon in der Jahresarbeitszahl berücksichtigt ist.

Da die Varianten 2 bis 4 die Nutzungspflicht in Bezug auf erneuerbare Energien auch ohne eine solarthermische Anlage erfüllen, werden diese ohne eine solche Anlage untersucht.

<b>Einfamilienhaus</b>		Variante 2 Sole/Wasser- Wärmepumpe Strom	Variante 3 Luft/Wasser- Wärmepumpe Strom	Variante 4 Holzpelletskessel  Holzpellets
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	7.800	7.800	7.800
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	5	5	5
Jahresnutzungsgrad	%			90
Jahresarbeitszahl <sup>1</sup>		3,56	2,73	
Holzpelletsbedarf	kg/a (Sm <sup>3</sup> /a)			1.769 (2,72)
Strombedarf Wärmepumpe	kWh <sub>el</sub> /a	2.191	2.857	
Hilfsenergie	kWh <sub>el</sub> /a	363		276
gesamt	kWh <sub>el</sub> /a	2.554	2.857	276

Tabelle 3-2 Energiebilanz Einfamilienhaus im Neubaugebiet  
Variante 2 bis 4 ohne Solarthermie

<sup>1</sup> Die Jahresarbeitszahl der Sole/Wasser- und der Luft/Wasser-Wärmepumpe wurde nach den Normwerten und Berechnungen in der DIN V 4701-10 angenommen. In verschiedenen Studien (u. a. Lokale Agenda 21 – Gruppe Umwelt/Energie Lahr) zu bestehenden Anlagen werden Jahresarbeitszahlen genannt, allerdings ist nicht nachvollziehbar auf welcher Anlagenkonfiguration und Betriebsweise die Jahresarbeitszahlen beruhen.

Außerdem werden auch für die zentralen Varianten (Holzhackschnitzelkessel, Erdgas-BHKW, Bioerdgas-BHKW) die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen bestimmt.

		Variante 5 Biomassekessel Erdgaskessel HHS + Erdgas	Variante 6 Erdgas-BHKW Erdgaskessel Erdgas	Variante 7 Bioerdgas-BHKW Erdgaskessel Bioerdgas + Erdgas
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	2.859.000	2.859.000	2.859.000
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	1.000	1.000	1.000
Wärmeleistung Biomassekessel	kW <sub>th</sub>	400		
Erdgaskessel	kW <sub>th</sub>	600	800	800
BHKW	kW <sub>th</sub>		200	200
Wärmebereitstellung Biomassekessel	MWh <sub>th</sub> /a	1.600		
Erdgaskessel	MWh <sub>th</sub> /a	1.259	1.659	1.659
BHKW	MWh <sub>th</sub> /a		1.200	1.200
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel	%	80		
Erdgaskessel	%	93	92	92
thermischer Wirkungsgrad BHKW	%		59	59
HHS-Bedarf	Sm <sup>3</sup> /a	2.307		
Erdgasbedarf	MWh <sub>Ho</sub> /a	1.489	1.984	1.984
Erdgasbedarf BHKW	MWh <sub>Ho</sub> /a		2.237	
Bioerdgasbedarf BHKW	MWh <sub>Ho</sub> /a			2.237
Strombedarf Hilfsenergie	kWh <sub>el</sub> /a	73.180	57.180	57.180

Tabelle 3-3 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung

Um ein Vorratsvolumen für einen fünftägigen Vollastbetrieb des Holzhackschnitzelkessels von etwa 70 Sm<sup>3</sup> vorhalten zu können, ist ein Lagervolumen mit ca. 90 m<sup>3</sup> erforderlich. Damit ist die Größe des Erdbunkers festgelegt.

Im Vergleich dazu wären zur Wärmeversorgung des Neubaugebiets ausschließlich mit dezentralen Erdgas-Brennwert-Kombithermen (Basisvariante) jährlich 254.103 m<sup>3</sup>/a (2.541 MWh<sub>HU</sub>/a bzw. 2.795 MWh<sub>Ho</sub>/a) als Erdgasmenge notwendig.

## 4 Emissionsbilanzen

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz. Dazu wird je nach eingesetztem Brennstoff bzw. Strom das spezifische CO<sub>2</sub>-Äquivalent nach GEMIS<sup>1</sup> zu Grunde gelegt.

Um für die Nahwärmeversorgung eines Beispielhauses die CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen bestimmen zu können, werden zunächst die spezifischen CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen der verschiedenen Nahwärmevarianten ermittelt und auf die Nahwärmemenge ohne Nahwärmeverluste bezogen.

Unter Anrechnung der CO<sub>2</sub>-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzhackschnitzel benötigten Energie ergibt sich für Holzhackschnitzel eine spezifische CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission von 58,4 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>BS</sub>. Die spezifische CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission beträgt für Erdgas 254,1 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>HU</sub> und für Strom (Stromnetz Deutschland) 682,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>. Es werden allerdings nur für die Variante mit Biomassekessel und Erdgas-BHKW die Emissionen berechnet, da zu Bioerdgas in Erdgasqualität und zur Tiefengeothermie keine Daten vorliegen.

		Variante 5 Biomassekessel Erdgaskessel HHS + Erdgas	Variante 6 Erdgas-BHKW Erdgaskessel Erdgas
Holzhackschnitzelbedarf	MWh <sub>HU</sub> /a	2.000	
Erdgasbedarf Kessel	MWh <sub>HU</sub> /a	1.354	1.803
Erdgasbedarf BHKW	MWh <sub>HU</sub> /a		2.034
Strombereitstellung BHKW	MWh <sub>el</sub> /a		600
Hilfsenergiebedarf Strom	MWh <sub>el</sub> /a	73	57
CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen	t/a	511	604
Jahreswärmebedarf	MWh <sub>th</sub> /a	2.465	2.465
spez. CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen	g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>th</sub>	207,2	245,3

Tabelle 4-1 Bestimmung CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen Nahwärmevarianten

<sup>1</sup> GEMIS 4.14 Stand September 2002 und GEMIS 4.2 Stand Oktober 2004

Für das Beispielhaus stellt sich damit die CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionsbilanz wie folgt dar. Es ist zu berücksichtigen, dass unter Anrechnung der CO<sub>2</sub>-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzpellets benötigten Energie sich für Holzpellets eine spezifische CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission von 70,1 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>BS</sub> ergibt. Zur Bewertung der Varianten mit einer Fotovoltaikanlage wird als spezifische CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission 129,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> für Strom mit polykristallinen Fotovoltaikmodulen angesetzt.

<b>Einfamilienhaus</b>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen
<b>Basisvariante:</b> Erdgasbrennwert-Therme, Erdgas	2.130 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 1:</b> Erdgasbrennwert-Therme + Solarthermie, Erdgas + Solar	1.504 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 2:</b> Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde) + Solarthermie, Strom + Solar	1.264 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 3:</b> Luft/Wasser-Wärmepumpe + Solarthermie, Strom + Solar	1.731 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 4:</b> Holzpelletskessel + Solarthermie, Holzpellets + Solar	547 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 5:</b> Nahwärme mit HHS-Kessel und Erdgaskessel, HHS + Erdgas	1.657 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 6:</b> Nahwärme mit Erdgas-BHKW und Erdgaskessel, Erdgas	1.954 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 2a:</b> Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde), Strom	1.743 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 3a:</b> Luft/Wasser-Wärmepumpe, Strom	1.950 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 4a:</b> Holzpelletskessel, Holzpellets	796 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 2b:</b> Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde) + Solarthermie + Fotovoltaik, Strom + Solar	240 kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Variante 3b:</b> Luft/Wasser-Wärmepumpe + Solarthermie + Fotovoltaik, Strom + Solar	260 kg CO <sub>2</sub> /a

Tabelle 4-2 Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz Einfamilienhaus

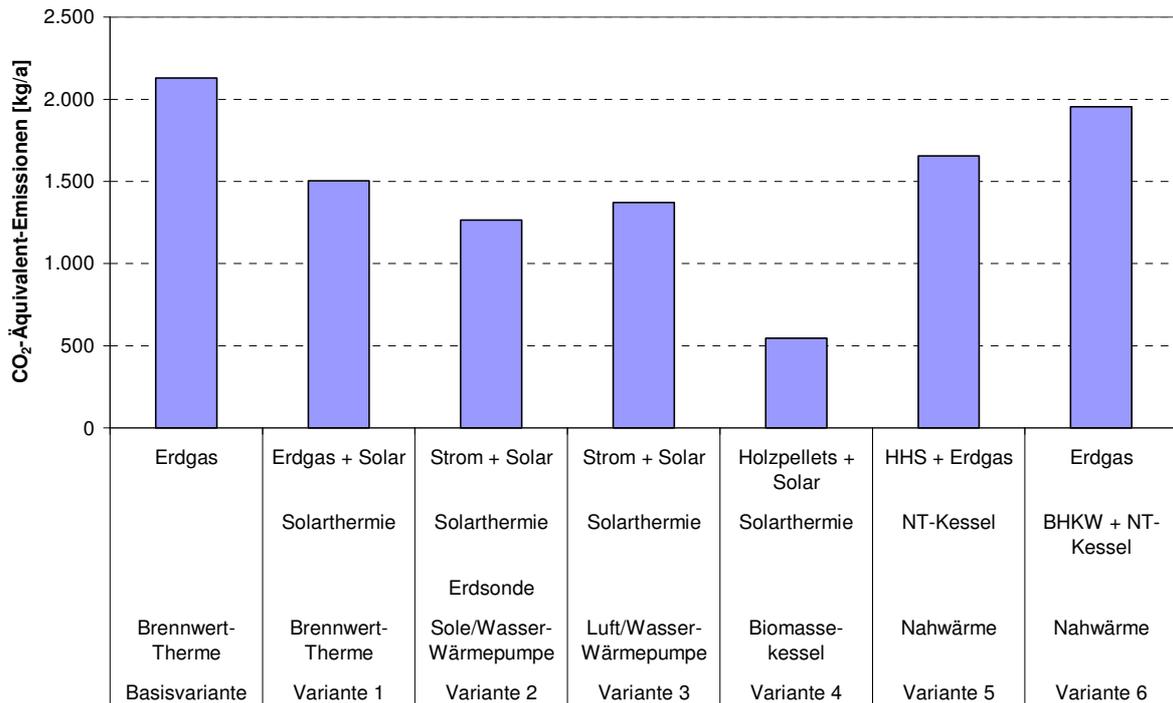


Abbildung 4-1 Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz Einfamilienhaus  
Basisvariante und Variante 1 bis 6

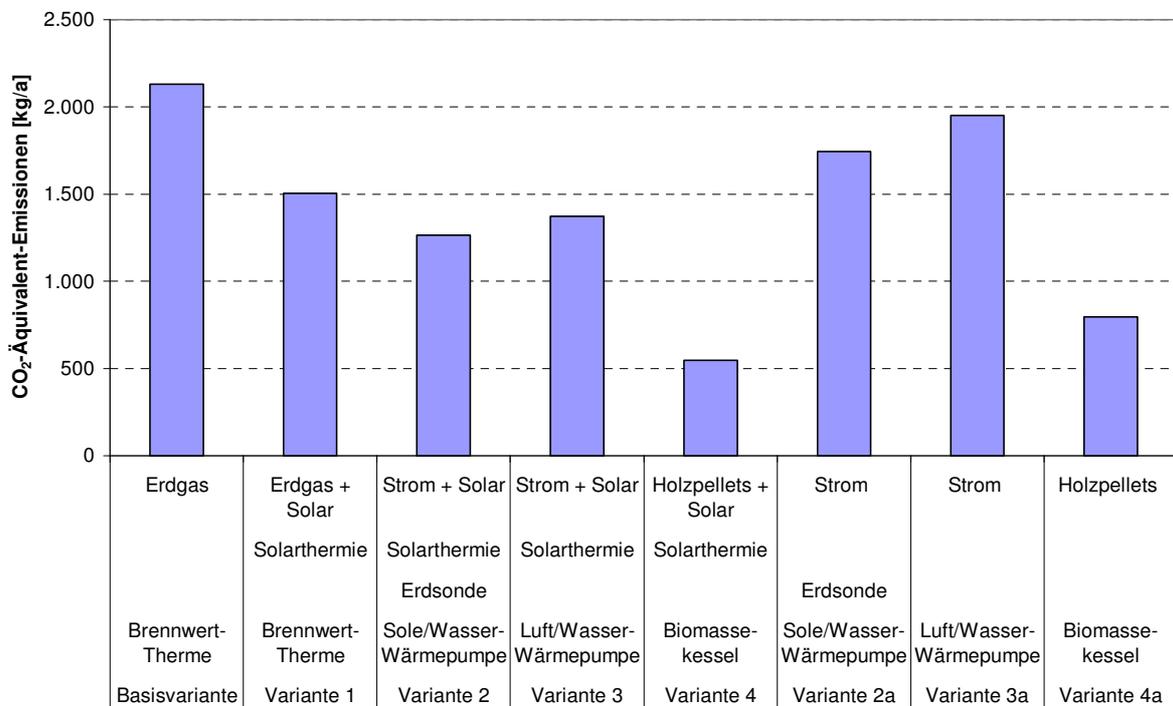


Abbildung 4-2 Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz Einfamilienhaus  
Basisvariante und Variante 1 bis 4a

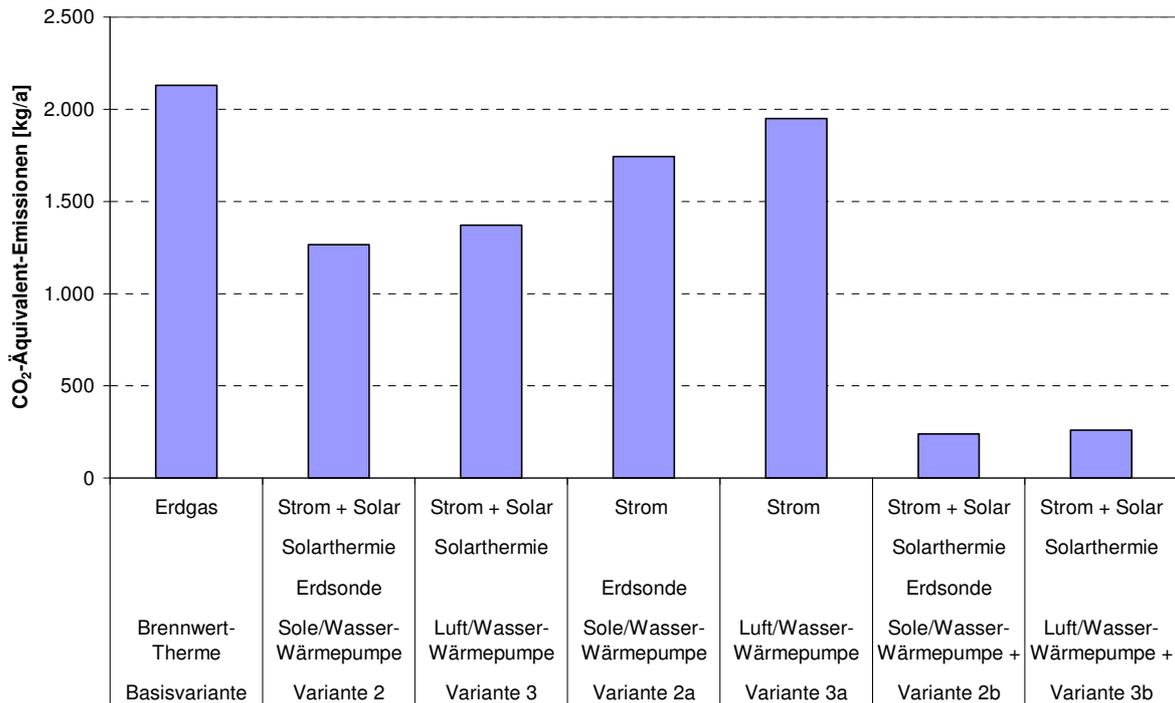


Abbildung 4-3 Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz Einfamilienhaus Basisvariante und Wärmepumpenvarianten

Die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen weisen eine dezentrale Wärmeversorgung des Beispielhauses mit einer Sole/Wasser- oder Luft/Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit einer solarthermischen Anlage und einer Fotovoltaikanlage auf. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen liegen für die Nahwärmeversorgung auf Basis von Holzhackschnitzel so hoch, weil der Biomassekessel nur etwa zu 56 % den Jahreswärmebedarf abdeckt und der Erdgaskessel die restlichen 44 %, sodass die Holzhackschnitzel gerade die höheren CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen durch das Erdgas ausgleichen und so vergleichbare CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen wie für eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme vorliegen.

In einer lokalen Betrachtung sind die beiden Wärmepumpen emissionsfrei, da nur Strom als Energieträger eingesetzt wird.

Neben den CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen sind außerdem NO<sub>x</sub>- und Feinstaubemissionen in einer umfassenden Emissionsbetrachtung zu beachten.

Die im Verhältnis zu den übrigen Wärmeversorgungsvarianten höheren NO<sub>x</sub>- und Feinstaubemissionen treten bei der Verbrennung von Holzpellets und Holz hackschnitzel auf.

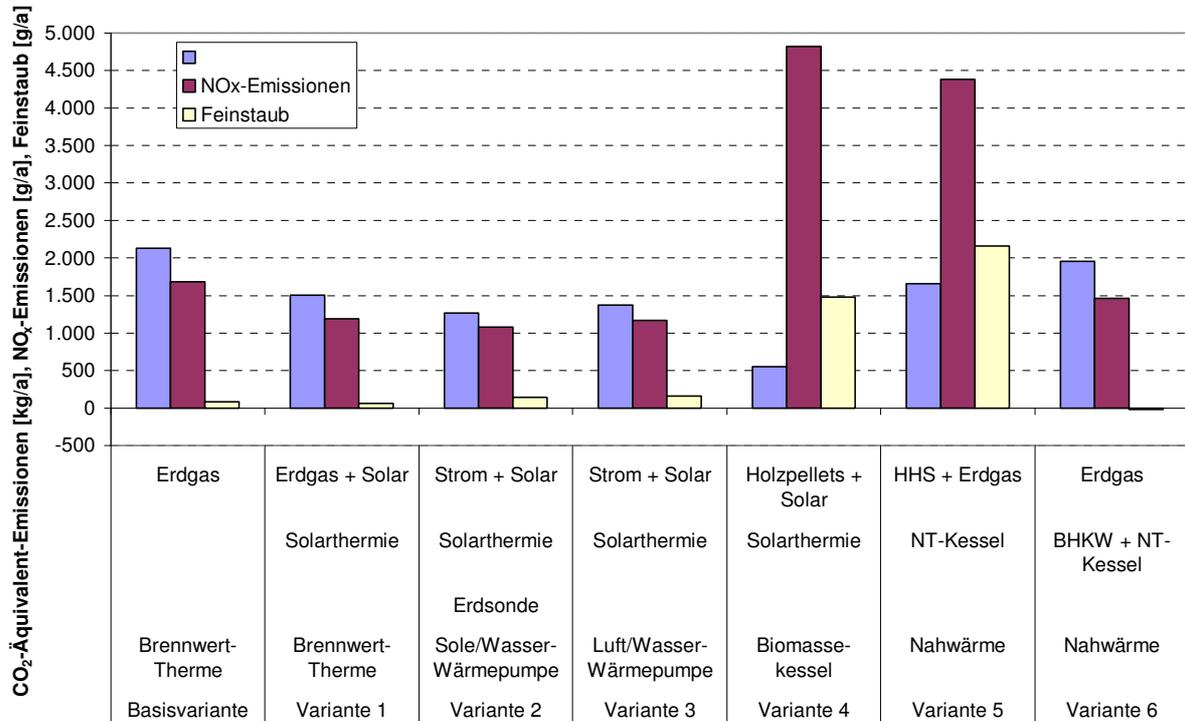


Abbildung 4-4 CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen, NO<sub>x</sub>-Emissionen und Feinstaub Wärmeversorgung Einfamilienhaus, Basisvariante und Variante 1 bis 6

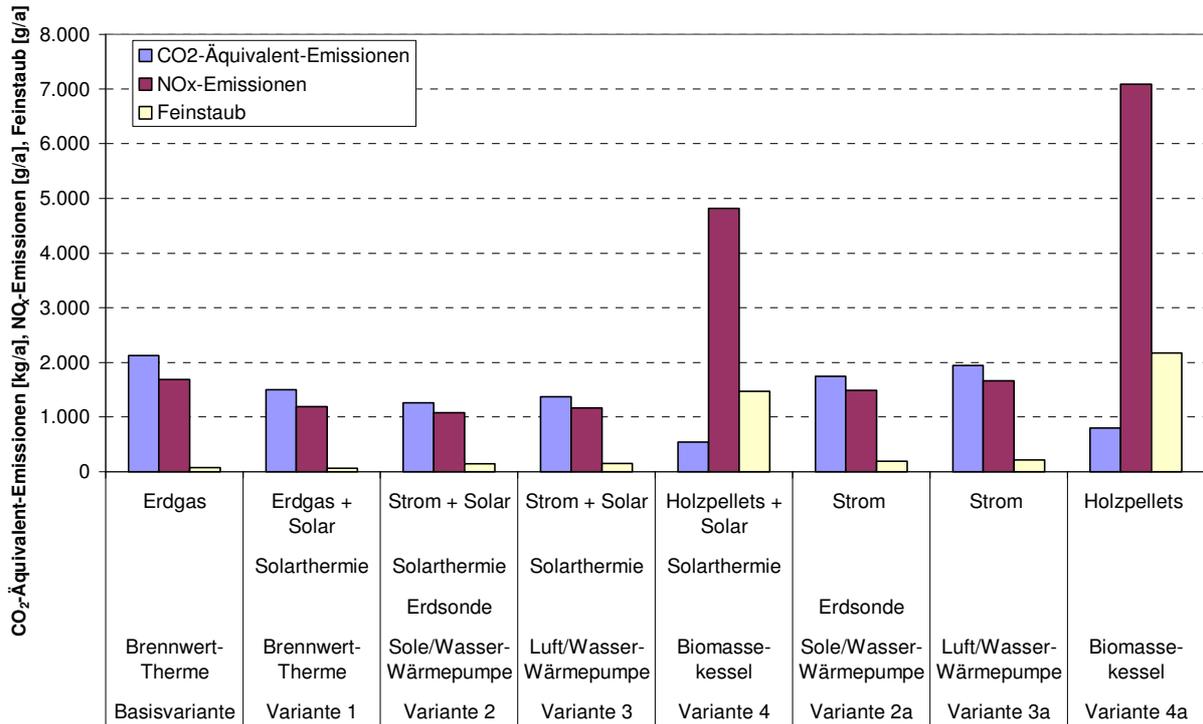


Abbildung 4-5 CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen, NO<sub>x</sub>-Emissionen und Feinstaub Wärmeversorgung Einfamilienhaus, Basisvariante und Variante 1 bis 4a

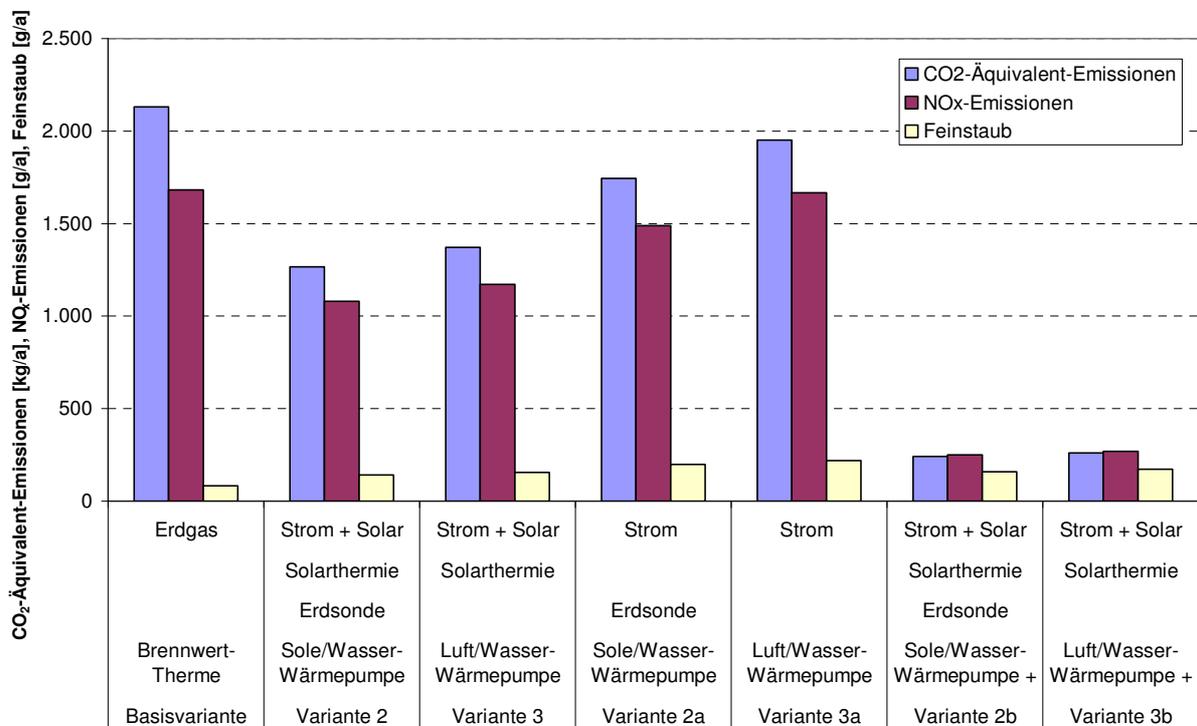


Abbildung 4-6 CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen, NO<sub>x</sub>-Emissionen und Feinstaub Wärmeversorgung Einfamilienhaus, Basisvariante und Wärmepumpenvarianten

## 5 Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden am Beispiel eines Einfamilienhauses im Neubaugebiet die unterschiedlichen Varianten zur Wärmeversorgung verglichen. Es wird sowohl eine dezentrale als auch eine zentrale Wärmeversorgung untersucht.

Um die Nahwärmeversorgung für ein Beispielhaus wirtschaftlich betrachten zu können, wird zunächst die Wirtschaftlichkeit der zentralen Wärmeversorgungsvarianten aufgestellt. Der daraus ermittelte Wärmepreis wird dann zur Berechnung der Nahwärmeversorgung eines Einfamilienhauses eingesetzt.

### 5.1 Wirtschaftlichkeit zentrale Wärmeversorgung des Neubaugebiets

Zur zentralen Wärmeversorgung werden verschiedene Wirtschaftlichkeitsberechnungen aufgestellt. Zunächst wird für die Holzhackschnitzelvariante, die Erdgas-BHKW-Variante und die Bioerdgas-BHKW-Variante der Wärmepreis ermittelt.

Unabhängig von der Wärmeversorgungsanlage wird der Netzwärmepreis berechnet, der für alle Nahwärmevarianten gleich ist. Sie unterscheiden sich nur im Wärmegestehungspreis durch die jeweilige Wärmeversorgungsanlage. Der günstigste Wärmegestehungspreis stellt gleichzeitig den anlegbaren Wärmegestehungspreis für die Tiefengeothermievariante dar.

#### 5.1.1 Wirtschaftlichkeit Holznahwärmevariante und BHKW-Varianten

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Der Wärmepreis berechnet sich aus den Jahreskosten bezogen auf die benötigte Wärmemenge.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als  $100 \text{ kW}_{\text{th}}$  ein Tilgungszuschuss von  $24 \text{ €/kW}_{\text{th}}$  und maximal  $60.000 \text{ €}$  im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien beantragt werden, wenn auch ein Nahwärmenetz errichtet wird, das zu mindestens 50 % mit regenerativer Wärme gespeist wird. Abhängig vom nachgewiesenen Mindestwärmeabsatz wird ein Tilgungszuschuss von  $100 \text{ €}$  je m Trasse bei  $3 \text{ MWh}$  je m Trasse und Jahr (maximal  $150.000 \text{ €}$ ) und ein Tilgungszuschuss von  $50 \text{ €}$  je m Trasse bei  $1,5 \text{ MWh}$  je m Trasse und Jahr (maximal  $75.000 \text{ €}$ ) auf Antrag gewährt.

Der durchschnittliche Mindestwärmeabsatz beträgt etwa  $1 \text{ MWh}_{\text{th}}/(\text{ma})$ , sodass kein Tilgungszuschuss für das Nahwärmenetz zu erwarten ist.

Antragsberechtigt sind Privatpersonen, freiberuflich Tätige, kleine und mittlere private gewerbliche Unternehmen (nach Definition der Europäischen Gemeinschaft), Unternehmen, an denen mehrheitlich Kommunen beteiligt sind sowie gleichzeitig die KMU-Schwellenwerte unterschreiten, weitere juristische Personen des öffentlichen Rechts und gemeinnützige Investoren. Der Antragsteller ist Eigentümer, Pächter oder Mieter des Grundstücks, auf dem Anlage errichtet werden soll. Davon ausgenommen sind Kontraktoren.

Aktuelle Konditionen (Stand 27.07.2007) zum KfW-Darlehen „Förderung erneuerbare Energien“ betragen für private Antragsteller und Kommunen u. a. eine maximale Laufzeit von 20 Jahren mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren, maximal 10 Jahren Zinsbindungsfrist und 4,91 % effektivem Zinssatz.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird aus Sicht der Gemeindewerke Haßloch GmbH, die der Betreiber wäre, durchgeführt. Aufgrund der Vorzugsteuerabzugsberechtigung der Gemeindewerke werden die Kosten ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz (Betreiber der Heizzentrale)	8 % <sup>1</sup>
Zinssatz KfW-Kredit	4,91 % <sup>2</sup>
Abschreibungsdauer Biomassekessel	18 Jahre
Abschreibungsdauer Erdgas-NT-Kessel	18 Jahre
Abschreibungsdauer Erdgas-BHKW	10 Jahre
Abschreibungsdauer Erdgasanschluss	30 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmenetz	40 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

spez. HHS-Preis	25 €/MWh <sub>th</sub> zzgl. 7 % MwSt. 27 €/Sm <sup>3</sup> zzgl. 7 % MwSt. <sup>3</sup> 162,5 €/t <sub>atro</sub> zzgl. 7 % MwSt. <sup>4</sup>
durchschnittlicher Erdgaspreis	4,5 Ct/kWh <sub>Ho</sub> zzgl. MwSt. <sup>5</sup>
durchschnittlicher Bioerdgaspreis	8,18 Ct/kWh <sub>Ho</sub> zzgl. MwSt. <sup>6</sup>
durchschnittlicher Strompreis	14 Ct/kWh <sub>el</sub> zzgl. MwSt. <sup>7</sup>

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

<sup>1</sup> TSB: Annahme

<sup>2</sup> KfW-Kredit zum KfW-Programm Erneuerbare Energien, 20 Jahre Laufzeit, max. 3 tilgungsfreie Anlaufjahre, max. 10 Jahre Zinsbindungsfrist, Stand 27.07.2007

<sup>3</sup> HIB – Handels- und Informationssystem Biomasse Rheinland-Pfalz: HHS aus Nadelholz mit 30 % Holzfeuchte Heizwert 867 kWh/Sm<sup>3</sup>

<sup>4</sup> HIB – Handels- und Informationssystem Biomasse Rheinland-Pfalz: HHS aus Nadelholz absolut trocken Heizwert 5,2 kWh/kg

<sup>5</sup> Herr Müller, Gemeindewerke Haßloch GmbH: Richtpreis für Heizzentrale mit ca. 1.300 kW<sub>BS</sub> und 4,5 MWh<sub>Ho</sub>/a zzgl. MwSt.

<sup>6</sup> Herr Birkle, Gemeindewerke Haßloch GmbH: Bioerdgaspreis

<sup>7</sup> TSB: Annahme

Wartung Heizkessel	2 % der Investition (Heizkessel)
spez. Wartungskosten BHKW	1,70 Ct/kWh <sub>el</sub> zzgl. MwSt.
spez. Kosten Ascheentsorgung	126 €/t zzgl. MwSt.
spez. Personalkosten	29 €/h zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Biomassekessel	160 €/a zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Heizöl-/Erdgaskessel	101 €/a zzgl. MwSt.
sonstige Kosten (Verwaltung, Steuern, Versicherungen, allgemeine Abgaben)	0,7 % der Gesamtinvestition

### Bestimmung Rückerstattung Energiesteuer

Energiesteuer Erdgas	0,55 Ct/kWh <sub>Ho</sub>
----------------------	---------------------------

### Bestimmung Einspeisevergütung BHKW-Strom

Zur Bestimmung der Einspeisevergütung ist zwischen einem Erdgas-BHKW und einem Bioerdgas-BHKW zu unterscheiden, denn für ein Erdgas-BHKW ist die Zuschlagszahlung im KWK-Gesetz und für ein Bioerdgas-BHKW im EEG festgelegt.

Aufgrund des am 01. April 2002 in Kraft getretene KWK-Gesetz erhalten neue kleine Anlagen größer 50 kW<sub>el</sub> bis zu 2.000 kW<sub>el</sub> (Inbetriebnahme ab 01.04.2002) bis 2010 eine degressive Zuschlagszahlung.

Erdgas-BHKW	
Einspeisevergütung EVU <sup>1</sup>	4,10 Ct/kWh <sub>el</sub>
Einsparung durch vermiedene Netznutzung <sup>2</sup>	1,03 Ct/kWh <sub>el</sub>
Zuschlag nach KWK-Gesetz 2007	2,10 Ct/kWh <sub>el</sub>
Summe	6,70 C/t/kWh <sub>th</sub>

Nach dem Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004 erhalten u. a. Bioerdgas-BHKW gestaffelt nach der elektrischen Leistung eine Mindesteinspeisevergütung mit einem Aufschlag für nachwachsenden Rohstoff, für Kraft-Wärme-Kopplung und für die Technologie, dass das Biogas auf Erdgasqualität aufbereitet ist. Die Mindesteinspeisevergütung hängt vom Inbetriebnahmejahr ab.

Die Einspeisevergütung vom Energieversorger ist mit dem durchschnittlichen Preis für Baseload-Strom des jeweils letzten Quartals festgesetzt. Dadurch ändert sich die Einspeisevergütung alle drei Monate. Hier wird allerdings der Durchschnittspreis der letzten vier Quartale von III 2005 bis II 2006 angesetzt.

Bioerdgas-BHKW: Einspeisevergütung nach EEG 2006 20,99 Ct/kWh<sub>el</sub>

<sup>1</sup> EEX: Durchschnittspreis Baseload-Strom der vier Quartal III 2006 bis II 2007

<sup>2</sup> Gemeindewerke Haßloch GmbH

Die abgeschätzten Investitionskosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben. Sie stellen durchschnittliche Investitionskosten dar. Die Investitionskosten nach angeforderten Angeboten können niedriger und höher sein. Sie hängen vom jeweiligen Hersteller und dem gewählten Modell sowie von der Detailausführung in dem jeweiligen Gebäude ab.

Die Investitionskosten für die BHKW-Varianten sind identisch, da für das Bioerdgas angenommen wird, dass es auf Erdgasqualität aufbereitet ist.

In der Investitionskostenaufstellung sind keine Kosten für den Grundstückerwerb enthalten.

Zentrale Wärmeversorgung	Variante 5 Biomassekessel Erdgaskessel HHS + Erdgas	Variante 6 / 7 BHKW Erdgaskessel Erdgas bzw. Bioerdgas
<b>Maschinentechnik</b>		
Holz hackschnitzelkessel mit Lageraustragung, Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	138.900 €	
Erdgaskessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	50.900 €	71.600 €
Erdgas-BHKW mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		124.300 €
<b>Erdgasanschluss</b>		
Erdgasanschluss	5.000 €	5.000 €
<b>Nahwärmenetz</b>		
Nahwärmeleitungen inkl. Erdarbeiten und Verlegung	698.000 €	698.000 €
<b>Bautechnik</b>		
Heizhaus inkl. Technikinstallation	184.500 €	102.500 €
HHS-Lager als Erdbunker	54.100 €	
Außenanlagen	9.400 €	9.400 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>		
Planung, Unvorhergesehenes	171.100 €	151.600 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>1.311.900 €</b>	<b>1.162.400 €</b>
Tilgungszuschuss Biomassekessel	9.600 €	
<b>Gesamtinvestition inkl. Tilgungszuschuss</b>	<b>1.302.300 €</b>	

Tabelle 5-1 Investitionskosten zentrale Wärmeversorgung

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu den beiden Nahwärmevarianten sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Der daraus ermittelte Wärmepreis wird in der Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Nahwärmelieferung an ein Einfamilienhaus als Durchschnittspreis angesetzt.

Die ausführliche Tabelle ist aus dem Anhang zu entnehmen.

		Variante 5 Biomassekessel Erdgaskessel HHS + Erdgas	Variante 6 Erdgas-BHKW Erdgaskessel Erdgas	Variante 7 Bioerdgas-BHKW Erdgaskessel Bioerdgas + Erdgas
<b>Investitionskosten<sup>1</sup></b>	€	<b>1.311.900</b>	<b>1.162.400</b>	<b>1.162.400</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	€	<b>1.302.300</b>		
Kapitalkosten	€/a	119.495	112.003	112.003
inkl. Zuschuss	€/a	118.730		
Verbrauchskosten	€/a	117.466	198.108	280.440
Betriebskosten	€/a	15.438	21.900	21.900
<b>Summe Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>252.399</b>	<b>332.011</b>	<b>414.343</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	<b>€/a</b>	<b>251.634</b>		
Gutschrift Stromvergütung	€/a		43.380	125.940
Gutschrift Rückerstattung Energiesteuer	€/a		12.305	
<b>Summe Erlöse</b>	<b>€/a</b>		<b>55.685</b>	<b>125.940</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>252.399</b>	<b>276.326</b>	<b>288.403</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	<b>€/a</b>	<b>251.634</b>		
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	2.464.800	2.464.800	2.464.800
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>10,2</b>	<b>11,2</b>	<b>11,7</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>10,2</b>		

Tabelle 5-2 Wirtschaftlichkeit Nahwärmevarianten

Zur zentralen Wärmeversorgung stellt sich ein Biomassekessel am günstigsten von den Varianten dar.

<sup>1</sup> ohne Grundstückskosten für Heizzentrale

### 5.1.2 Bestimmung Netzwärmepreis

Unabhängig von der Wärmeerzeugungsanlage in der Heizzentrale wird ein spezifischer Wärmepreis für das Nahwärmenetz ermittelt. Dieser ist für alle Nahwärmevarianten gleich. Die Nahwärmevarianten unterscheiden sich lediglich im spezifischen Wärmegestehungspreis, der nur die Wärmeerzeugungsanlage berücksichtigt.

Der spezifische Netzwärmepreis berechnet sich wie folgt.

Zentrale Wärmeversorgung	Nahwärmenetz
<b>Nahwärmenetz</b>	
Nahwärmeleitungen inkl. Erdarbeiten und Verlegung	698.000 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>	
Planung, Unvorhergesehenes	104.700 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>802.700 €</b>

Tabelle 5-3 Investitionskosten Nahwärmenetz

		Nahwärmenetz
<b>Investitionskosten</b>	<b>€</b>	<b>802.700</b>
Kapitalkosten	€/a	70.766
Verbrauchskosten	€/a	4.085
Betriebskosten	€/a	5.619
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>80.470</b>
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	2.464.800
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>3,3</b>

Tabelle 5-4 Bestimmung des Netzwärmeprices

Zu dem Netzwärmepreis von 3,3 Ct/kWh<sub>th</sub> ist noch der spezifische Wärmegestehungspreis für die entsprechende Wärmeerzeugung aufzuschlagen.

Der Netzwärmerpreis wird im Wesentlichen durch den Wärmeabsatz über das Nahwärmenetz bestimmt. Unter der Annahme, dass sich die Investitionskosten für den Nahwärmeverbund für unterschiedliche Wärmedämmstandards der Gebäude nicht ändert, werden für Wärmedämmstandards mit einem spezifischen Jahresheizwärmebedarf von 100 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a) bis 20 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a) ein Netzwärmerpreis berechnet.

spez. Jahresheizwärmebedarf kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	Jahresheizwärmebedarf kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	Jahreswärmebedarf kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
100	15.000	1.800	16.800
80	12.000	1.800	13.800
60	9.000	1.800	10.800
40	6.000	1.800	7.800
20	3.000	1.800	4.800

Tabelle 5-5 Jahreswärmebedarf eines Einfamilienhauses mit unterschiedlichem Wärmedämmstandard

Mit der Hochrechnung auf den ersten Bauabschnitt des Neubaugebiets wird geprüft, ob der Mindestwärmeabsatz erreicht wird, um einen Tilgungszuschuss für das Nahwärmenetz mit 2.700 m Trassenlänge beantragen zu können.

spez. Jahresheizwärmebedarf kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	Jahreswärmebedarf kWh <sub>th</sub> /a	Jahreswärmebedarf inkl. Netzverluste kWh <sub>th</sub> /a	spez. Wärmeabsatz kWh <sub>th</sub> /(ma)
100	5.308.800	5.786.600	1.966
80	4.360.800	4.840.500	1.615
60	3.412.800	3.890.600	1.264
40	2.464.800	2.859.200	913
20	1.516.800	1.926.300	562

Tabelle 5-6 Bestimmung spez. Wärmeabsatz für unterschiedliche Wärmedämmstandards

Nach dem Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007“ kann ein Tilgungszuschuss von 100 € je m Trasse bei 3.000 kWh je m Trasse und Jahr (maximal 150.000 €) und 50 € je m Trasse bei 1.500 MWh je m Trasse und Jahr (maximal 75.000 €) beantragt werden. Demnach kann nur für einen Wärmedämmstandard von 100 bis 80 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a) mit mindestens 1,5 MWh<sub>th</sub>/(ma) spezifischen Wärmeabsatz ein Tilgungszuschuss berücksichtigt werden. Der Tilgungszuschuss für den 2,7 km Nahwärmeverbund beläuft sich auf 75.000 €.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die oben genannten Investitionskosten für alle Varianten angesetzt.

		100 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	80 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	60 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	40 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	20 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
<b>Investitionskosten</b>	€	<b>802.700</b>	<b>802.700</b>	<b>802.700</b>	<b>802.700</b>	<b>802.700</b>
<b>inkl. Tilgungszuschuss</b>	€	<b>727.700</b>	<b>727.700</b>			
Kapitalkosten	€/a	70.766	70.766	70.766	70.766	70.766
inkl. Tilgungszuschuss	€/a	64.794	64.794			
Verbrauchskosten	€/a	8.267	6.915	5.558	4.085	2.752
Betriebskosten	€/a	5.619	5.619	5.619	5.619	5.619
<b>Jahreskosten</b>	€/a	<b>84.652</b>	<b>83.300</b>	<b>81.943</b>	<b>80.470</b>	<b>79.137</b>
<b>inkl. Tilgungszuschuss</b>	€/a	<b>78.680</b>	<b>77.328</b>			
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	5.308.800	4.360.800	3.412.800	2.464.800	1.516.800
<b>Netzwärmepreis</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>3,3</b>	<b>5,2</b>
<b>inkl. Tilgungszuschuss</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>			

Tabelle 5-7 Netzwärmepreis für unterschiedliche Wärmedämmstandards

Je höher der Wärmedämmstandard ist, desto größer ist der spezifische Netzwärmepreis, wenn die Investitionskosten konstant gehalten werden und der Jahreswärmebedarf sich verringert.

Der Anteil der Jahreskosten für das Nahwärmenetz bezogen auf die Gesamtjahreskosten der zentralen Wärmeversorgung für den 4-Liter-Haus-Standard stellt sich für die drei Varianten wie folgt dar.

<b>4-Liter-Haus-Standard</b>		Variante 5 Biomassekessel Erdgaskessel HHS + Erdgas	Variante 6 BHKW Erdgaskessel Erdgas	Variante 7 BHKW Erdgaskessel Bioerdgas + Erdgas
Jahreskosten inkl. Tilgungszuschuss gesamt	€/a	171.164	195.856	207.933
Jahreskosten Nahwärmenetz	€/a	80.470	80.470	80.470
Anteil Jahreskosten Nahwärmenetz an Gesamtjahreskosten	%	32	29	28

Tabelle 5-8 Anteil Jahreskosten Nahwärmenetz an Gesamtjahreskosten für den 4-Liter-Haus-Standard

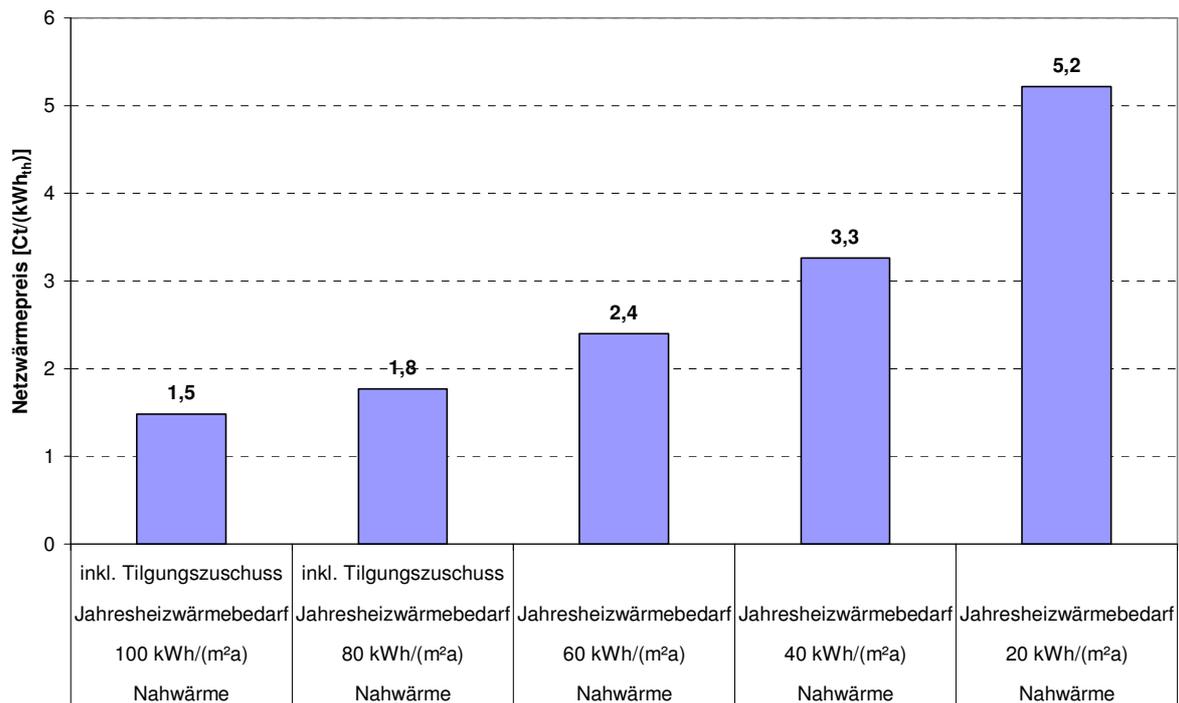


Abbildung 5-1 Netzwärmepreise für unterschiedliche Wärmedämmstandards

Das Diagramm zeigt, dass der spezifische Netzwärmepreis unter Voraussetzung derselben Investitionskosten nicht linear sondern exponentiell mit dem Wärmedämmstandard zunimmt.

### 5.1.3 Bestimmung anlegbarer Wärmegestehungspreis

Der Wärmegestehungspreis inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer für die Variante 5 (Biomassekessel), die Variante 6 (Erdgas-BHKW) und Variante 7 (Bioerdgas-BHKW) wird wie folgt bestimmt.

		Variante 5 Biomassekessel Erdgaskessel  HHS + Erdgas	Variante 6 Erdgas- BHKW Erdgaskessel  Erdgas	Variante 7 Bioerdgas- BHKW Erdgaskessel  Bioerdgas + Erdgas
Gesamtwärmepreis <sup>1</sup>	Ct/kWh <sub>th</sub>	10,2	11,2	11,7
Netzwärmepreis	Ct/kWh <sub>th</sub>	3,3	3,3	3,3
Wärmegestehungspreis	Ct/kWh <sub>th</sub>	6,9	7,9	8,4

Tabelle 5-9 Bestimmung Wärmegestehungspreis

Den günstigeren Wärmegestehungspreis erreicht Variante 5 mit einem Holzhackschnitzelkessel. Dieser Wärmegestehungspreis (6,9 Ct/kWh<sub>th</sub> inkl. MwSt.) stellt somit den anlegbaren Wärmegestehungspreis für die Variante mit Tiefengeothermie dar.

Durch die Wärmeauskopplung des Thermalwassers nach dem Kraftwerksprozess zur Fernwärmeversorgung wird die zusätzliche Nutzung mit 1 Ct/kWh<sub>th</sub> für den Betreiber als spezifischer Wärmepreis bewertet. Es ist zu berücksichtigen, dass aus Gründen der Versorgungssicherheit eine konventionelle Kesselanlage als Redundanzanlage erforderlich ist, die den Wärmegestehungspreis entsprechend erhöht. Der Wärmegestehungspreis der Geowärme kann bis zu 6,9 Ct/kWh<sub>th</sub> inkl. MwSt. im Vergleich zur kostengünstigsten zentralen Wärmeversorgung (Holzhackschnitzelvariante) erzielen.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Beispiel eines Einfamilienhauses werden folgende Gesamtwärmepreise zzgl. MwSt. für die Nahwärmelieferung angesetzt.

Gesamtwärmepreis <sup>1</sup> Variante 5 (Biomassekessel + Erdgaskessel)	10,2	Ct/kWh <sub>th</sub>
Gesamtwärmepreis <sup>1</sup> Variante 6 (Erdgas-BHKW + Erdgaskessel)	11,2	Ct/kWh <sub>th</sub>
Gesamtwärmepreis <sup>1</sup> Varianten 7 (Bioerdgas-BHKW + Erdgaskessel)	11,7	Ct/kWh <sub>th</sub>

Für die Wärmeversorgung mit Tiefengeothermie wird unter Annahme eines anlegbaren Gesamtwärmepreises, der dem Gesamtwärmepreis der Variante 5 (Biomassekessel) entspricht, keine separate Berechnung durchgeführt.

<sup>1</sup> Grundstückskosten für Heizzentrale nicht berücksichtigt

## 5.2 Wirtschaftlichkeit solarthermische Anlage im Einfamilienhaus

Im Kapitel zur solarthermischen Anlage wurde darauf eingegangen, dass eine solarthermische Anlage zur Unterstützung der Raumheizung und Trinkwassererwärmung in einem Einfamilienhaus mit etwa 6 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und ein 500 l Pufferspeicher ausreichen. Während als Voraussetzung für die Beantragung eines Zuschusses 9 m<sup>2</sup> Kollektorfläche genannt werden. Beide Anlagen erreichen nach der Simulation eine 100 % Deckung des Trinkwasserbedarfs in den Sommermonaten.

Eine wirtschaftliche Bewertung erfolgt durch die Bestimmung der Jahreskosten.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Der Wärmepreis berechnet sich aus den Jahreskosten bezogen auf die nutzbare Solarwärme.

Nach ergänzenden Änderung vom 25. Juli 2007 des Marktanzreizprogramms „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007“ kann für Solarkollektoranlagen zur kombinierten Warmwassererwärmung und Raumheizung ein Investitionszuschuss in Höhe von 105 € je angefangenem m<sup>2</sup> installierter Gesamtbruttokollektorfläche beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden. Dazu wird eine Mindestkollektorfläche von 9 m<sup>2</sup> bei Flachkollektoren und 7 m<sup>2</sup> bei Vakuumröhrenkollektoren gefordert. Außerdem muss das Pufferspeichervolumen mindestens 40 l/m<sup>2</sup> bei Flachkollektoren und 50 l/m<sup>2</sup> bei Vakuumröhrenkollektoren betragen.

Voraussetzung für die Förderung ist, dass der jährliche Kollektorertrag von 525 kWh<sub>th</sub>/a bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % beträgt und der Kollektor die Kriterien des Umweltzeichens RAL-UZ73 (Stand 2004) erfüllt bzw. mit dem „Blauen „Engel“ ausgezeichnet ist.

Für Solarkollektoren, die ab 2007 nach DIN EN 12975 geprüft werden, sind nur die mit dem europäischen Prüfzeichen Solar Keymark förderfähig.

Nach dem Programm „Ökologisch Bauen“ der KfW-Förderbank kann für den Einbau von Heizungstechnik auf Basis erneuerbarer Energien, Kraft-Wärme-Kopplung und Nah-/ und Fernwärme bei Neubauten u. a. eine solarthermische Anlage finanziert werden. Antragsberechtigt sind Träger von Investitionsmaßnahmen für selbstgenutzte oder vermietete Wohngebäude. Aktuelle Konditionen (Stand 18.09.2007) zum KfW-Kredit „Ökologisch Bauen“ für Heizungstechnik betragen mit einer maximalen Laufzeit von 20 Jahren mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren, maximal 10 Jahren Zinsbindungsfrist und 4,58 % effektivem Zinssatz.

In der folgenden Wirtschaftlichkeitsrechnung ist der Zinssatz auf 5 % gerundet.

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	5 %
Abschreibungsdauer solarthermische Anlage	20 Jahre
Abschreibung Pufferspeicher	25 Jahre
Abschreibungsdauer Trinkwassererwärmung	
Durchflussverfahren	12 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis	19,04 Ct/kWh <sub>el</sub> inkl. MwSt. <sup>1</sup>
-------------------------------	-----------------------------------------------------

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung solarthermische Anlage	0,5 % der Investition
--------------------------------	-----------------------

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben. Sie stellen durchschnittliche Investitionskosten dar. Die Investitionskosten nach angeforderten Angeboten können niedriger und höher sein.

	15 m <sup>2</sup> Flachkollektor 1.000 l Pufferspeicher	12 m <sup>2</sup> Vakuum- röhrenkollektor 1.500 l Pufferspeicher
<b>Maschinentchnik</b>		
Solarthermische Anlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	7.000 €	11.100 €
Pufferspeicher mit Zubehör inkl. Montage	1.300 €	2.400 €
<b>Trinkwassererwärmung</b>		
Trinkwassererwärmung im Durchflussverfahren	3.100 €	3.100 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>		
Planung, Unvorhergesehenes	1.700 €	2.500 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>13.100 €</b>	<b>19.100 €</b>
Investitionszuschuss Solarthermie	1.575 €	1.260 €
<b>Gesamtinvestition inkl. Zuschuss</b>	<b>11.525 €</b>	<b>17.840 €</b>

Tabelle 5-10 Investitionskosten Solarthermie

<sup>1</sup> Gemeindewerke Haßloch GmbH: Stromtarif Haushaltsbedarf

Der Wärmepreis für die beiden unterschiedlichen Solarvarianten wird mithilfe der Jahreskosten bestimmt.

		<b>15 m<sup>2</sup> Flachkollektor</b>	<b>12 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektor</b>
		<b>1.000 l</b>	<b>1.500 l</b>
		<b>Pufferspeicher</b>	<b>Pufferspeicher</b>
<b>Investitionskosten inkl. MwSt.</b>	<b>€</b>	<b>13.100</b>	<b>19.100</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	<b>€</b>	<b>11.525</b>	<b>17.840</b>
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	1.167	1.652
inkl. Zuschuss und MwSt.	€/a	1.041	1.550
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	13	20
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	32	50
<b>Jahreskosten inkl. MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>1.212</b>	<b>1.722</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>1.086</b>	<b>1.620</b>
Wärmemenge Solarertrag	kWh <sub>th</sub> /a	2.500	2.750
<b>Wärmepreis inkl. MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>48,5</b>	<b>62,6</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>43,4</b>	<b>58,9</b>

Tabelle 5-11 Wirtschaftlichkeit solarthermische Anlage

Der Wärmepreis für eine Flachkollektoranlage beträgt 43,4 Ct/kWh<sub>th</sub> inklusive eines Zuschusses und für ein Vakuumröhrenkollektoranlage 58,9 Ct/kWh<sub>th</sub> inklusive eines Zuschusses. Die Jahreskosten der Vakuumröhrenkollektoranlage liegen um etwa 49 % höher als die Jahreskosten der Flachkollektoranlage.

Die statische Amortisationszeit wird anhand des vermiedenen Erdgasverbrauchs einer Brennwerttherme ermittelt.

		<b>15 m<sup>2</sup> Flachkollektor</b>	<b>12 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektor</b>
		<b>1.000 l Pufferspeicher</b>	<b>1.500 l Pufferspeicher</b>
Wärmemenge Solarertrag	kWh <sub>th</sub> /a	2.500	2.750
eingesparte Erdgasmenge	kWh <sub>Ho</sub> /a	2.835	3.119
vermiedene Erdgaskosten inkl. MwSt.	€/a	167	184
Investitionskosten inkl. inkl. Zuschuss und MwSt.	€	11.525	17.840
statische Amortisation	a	68,9	96,9

Tabelle 5-12 Bestimmung der statischen Amortisation

Auf der Basis eingesparter Erdgaskosten liegt mit den heutigen Energiepreisen die statische Amortisation mit ca. 70 Jahren für die Flachkollektoranlage und die rund 100 Jahre der Vakuumröhrenkollektoranlage über der rechnerischen Nutzungsdauer. Aufgrund dieser Wirtschaftlichkeitsberechnung wird davon ausgegangen, dass die Flachkollektoranlage zum Einsatz kommt.

Zur Berechnung der dynamischen Amortisationszeit wird eine Erdgaspreissteigerung berücksichtigt. Dazu wird angenommen, dass sich die Preissteigerung für Verbraucherpreise im Haushalt von 1997 bis 2006 in den nächsten Jahren fortsetzt. Die Verbraucherpreise für Strom im Haushalt wurden aus der Aufstellung „Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes, Deutschland“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie<sup>1</sup> entnommen.

Verbraucherpreise Haushalte

Erdgas 1997: 30,78 Ct/m<sup>3</sup>

Erdgas 2006: 54,40 Ct/m<sup>3</sup>

Preissteigerung 1997 – 2006: 76,7 %

Jährliche Preissteigerung: 2,9 %

Auf dieser Grundlage ergeben sich für die Flachkollektoranlage rund 38 Jahre dynamische Amortisation und für die Vakuumröhrenkollektoranlage etwa 47 Jahre.

<sup>1</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes, Deutschland, Stand 11.04.2007, Quellen: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Statistisches Bundesamt, Eurostat, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Mineralölwirtschaftsverband, Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft

### 5.3 Wirtschaftlichkeit Fotovoltaikanlage im Einfamilienhaus

Um eine vollständig regenerative Wärmeversorgung des Beispielhauses umsetzen zu können, wird zusätzlich zu einer Sole/Wasser-Wärmepumpe bzw. Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer solarthermischen Anlage eine Fotovoltaikanlage betrachtet. Die Fotovoltaikanlage ist dazu so dimensioniert, dass die jährlich bereitgestellte elektrische Arbeit zusätzlich zum Ausgleich des regulären Strombedarfs der elektrischen Haushaltsgeräte den jährlichen Strombedarf der Wärmepumpenanlage deckt. Durch die sich im Jahr ändernde Solarstrahlung kann der Stromlastgang der Wärmepumpe und der elektrischen Geräte im Haushalt nicht mit einer Fotovoltaikanlage sondern nur in der Jahresbilanz abgedeckt werden. Der Stromüberschuss der Fotovoltaikanlage trägt dazu bei, dass es sich um ein Energiegewinnhaus handelt.

Durch die Alterung der Fotovoltaikanlage tritt eine Degradation des Wirkungsgrads auf. Es ist davon auszugehen, dass innerhalb 20 Jahre eine Degradation in Höhe von rund 10% auftritt. So verringert sich von Jahr zu Jahr die Stromvergütung bei einer konstanten Einspeisevergütung.

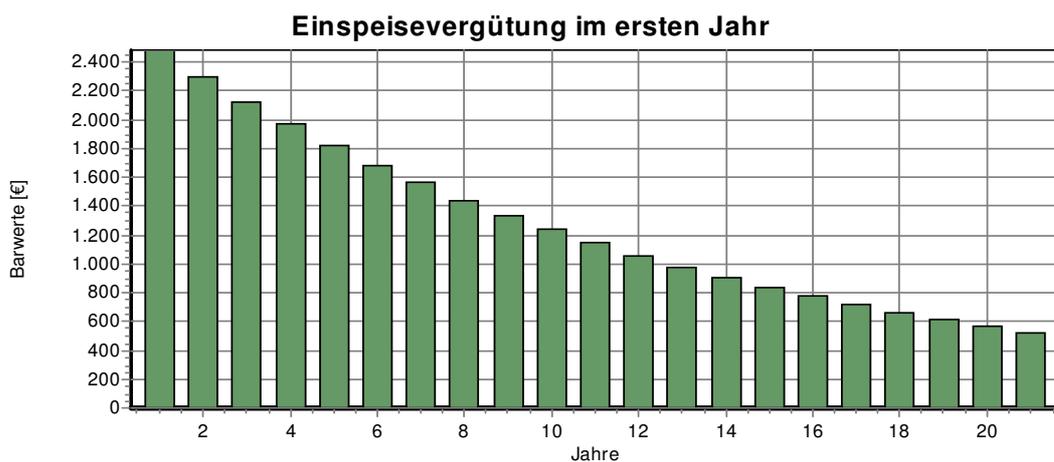


Abbildung 5-2 Auswirkungen der Degradation auf die jährliche Einspeisevergütung  
6,84 kW<sub>P</sub> Fotovoltaikanlage

In der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die maximalen Investitionskosten für eine 7,5 % Rendite der Fotovoltaikanlage bestimmt. Folgende Rahmenbedingungen werden zu Grunde gelegt.

Es besteht die Möglichkeit über das Programm „Solartstrom erzeugen“ der KfW-Förderbank einen zinsgünstigen Kredit zu beantragen. Bis zu 50.000 € werden für Fotovoltaikanlagen gefördert. Antragsberechtigt sind Privatpersonen, Freiberufler, Landwirte, gewerbliche und gemeinnützige Investoren. Aktuelle Konditionen (Stand 27.07.2007) zum KfW-Darlehen „Solartstrom erzeugen“ betragen u. a. eine maximale Laufzeit von 20 Jahren mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren, maximal 10 Jahren Zinsbindungsfrist und 5,42 % effektivem Zinssatz.

Rendite	7,5 %
Zinssatz	5,42 %
Betriebsgebundene Kosten	0,7 % der Investitionskosten
Einspeisevergütung Inbetriebnahme 2008	46,75 Ct/kWh <sub>el</sub>

Die Einspeisevergütung des Fotovoltaikstroms ist im Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG) vom 21.07.2004 festgelegt. Die Mindestvergütung für Fotovoltaikstrom von Anlagen, die ausschließlich an oder auf einem Gebäude installiert sind, beträgt für eine Leistung bis 30 kW 46,75 Ct/kWh<sub>el</sub>. Die Mindestvergütung werden beginnend mit 2005 jährlich jeweils für nach diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 5 % des für die im Vorjahr neu in Betrieb genommenen Anlagen maßgeblichen Werts gesenkt und auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet. 2006 erhöht sich der Prozentsatz auf 6,5 %. Die Mindestvergütung wird für die Dauer von 20 Jahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres gezahlt.

Nach der Kapitalwertmethode werden alle Zahlungen sowie die Einspeisevergütung auf einen bestimmten Zeitpunkt abgezinst. Hier ist dazu das 21ste Betriebsjahr der Fotovoltaikanlage gewählt, da innerhalb diesem Zeitraum (20 Kalenderjahre zuzüglich des Inbetriebnahmehjahres) eine Einspeisevergütung nach dem EEG gezahlt wird.

Das Diagramm zeigt den Kassenbestand innerhalb des gewählten Zeitraums für die Fotovoltaikanlage.

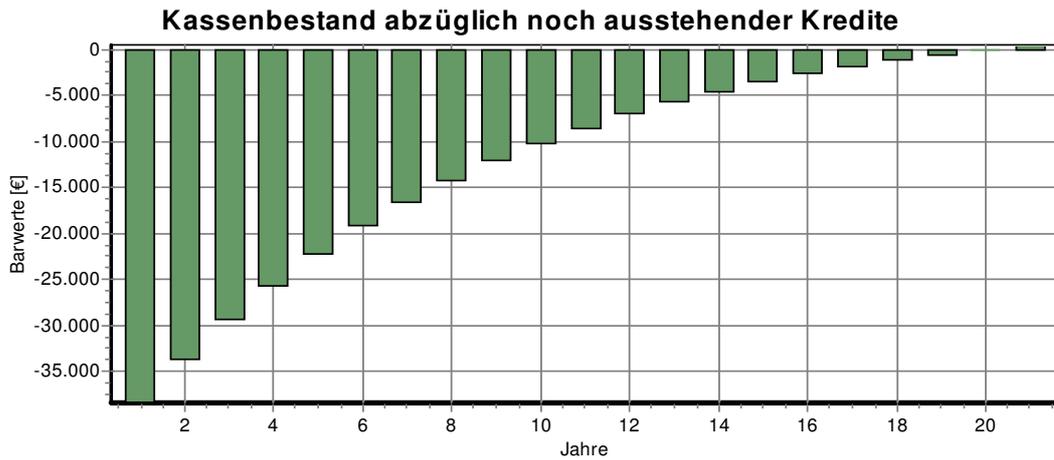


Abbildung 5-3 Kassenbestand (kumulierter Cash Flow) Fotovoltaikanlage

Um eine 7,5 % Rendite innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 20 Jahren der Fotovoltaikanlage zu erhalten, dürfen die Investitionskosten höchstens 28.300 € netto betragen. Dies entspricht einem spezifischen Preis von 4.137 €/kW<sub>p</sub> netto.

#### 5.4 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Der Wärmepreis berechnet sich aus den Jahreskosten bezogen auf die benötigte Wärmemenge.

Nach der ergänzenden Änderung vom 25. Juli 2007 des Marktanzreizprogramms „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung zwischen 8 und 100 kW<sub>th</sub> und bei Verbrennung von Holzpellets ein Investitionszuschuss von 36 €/kW<sub>th</sub> und mindestens 1.500 € beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden.

Nach der Änderung vom 25. Juli 2007 kann für Solarkollektoranlagen zur kombinierten Warmwassererwärmung und Raumheizung ein Investitionszuschuss in Höhe von 105 € je angefangenem m<sup>2</sup> installierter Gesamtbruttokollektorfläche beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden.

Nach dem Programm „Ökologisch Bauen“ der KfW-Förderbank kann der Einbau von Heizungstechnik auf Basis erneuerbarer Energien, Kraft-Wärme-Kopplung und Nah-/ und Fernwärme bei Neubauten finanziert werden. U. a. werden folgende Anlagen finanziert:

- Solarthermische Anlagen, ggf. inklusive Einbau von Zentralheizungen auf Basis von Heizöl/Erdgas (Brennwertkessel)
- Biomasseanlagen: automatisch beschickte Zentralheizungsanlagen, die ausschließlich mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Hierzu zählen Holzpellets, Holzhackschnitzel, Biokraftstoffe, Biogas
- Wärmepumpen (nach DIN V 4701-10)
- Erdwärmeübertrager
- Wärmeübergabestationen und Rohrnetz bei Nah- und Fernwärme

Außerdem wird beim Einbau stets ein hydraulischer Abgleich gefordert.

Antragsberechtigt sind Träger von Investitionsmaßnahmen für selbstgenutzte oder vermietete Wohngebäude. Aktuelle Konditionen (Stand 18.09.2007) zum KfW-Kredit „Ökologisch Bauen“ für Heizungstechnik betragen mit einer maximalen Laufzeit von 20 Jahren mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren, maximal 10 Jahren Zinsbindungsfrist und 4,58 % effektivem Zinssatz.

In der folgenden Wirtschaftlichkeitsrechnung ist der Zinssatz auf 5 % gerundet.

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	5 %
Abschreibungsdauer Erdgas-Brennwert-Kombitherme	18 Jahre
Abschreibungsdauer Erdgasanschluss	30 Jahre
Abschreibungsdauer Wärmepumpe	20 Jahre
Abschreibungsdauer Hausübergabestation	30 Jahre
Abschreibungsdauer solarthermische Anlage	20 Jahre
Abschreibungsdauer Erdsonden	40 Jahre
Abschreibung Pufferspeicher	25 Jahre
Abschreibungsdauer Trinkwassererwärmung Durchflussverfahren	12 Jahre
Abschreibungsdauer Erdgasanschluss	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Erdgas Einfamilienhaus	5,90 Ct/kWh <sub>Ho</sub> inkl. MwSt. <sup>1</sup>
Grundpreis Erdgas Einfamilienhaus	179,06 €/a inkl. MwSt. <sup>1</sup>
Arbeitspreis HT Strom Wärmepumpe	15,00 Ct/kWh <sub>el</sub> inkl. MwSt. <sup>2</sup>
Arbeitspreis NT Strom Wärmepumpe	13,45 Ct/kWh <sub>el</sub> inkl. MwSt. <sup>2</sup>
Grundpreis Strom Wärmepumpe	72,83 €/a inkl. MwSt. <sup>2</sup>
durchschnittlicher Strompreis	19,04 Ct/kWh <sub>el</sub> inkl. MwSt. <sup>3</sup>
spez. Wärmepreis <sup>4</sup> Nahwärme Biomassekessel inkl. Tilgungszuschuss	10,2 Ct/kWh <sub>th</sub> zzgl. MwSt. <sup>5</sup>
spez. Wärmepreis <sup>1</sup> Nahwärme Erdgas-BHKW	11,2 Ct/kWh <sub>th</sub> zzgl. MwSt.
spez. Wärmepreis <sup>1</sup> Nahwärme Bioerdgas-BHKW	11,7 Ct/kWh <sub>th</sub> zzgl. MwSt.

<sup>1</sup> Gemeindewerke Haßloch GmbH: Erdgastarif Raumheizung 4.001 – 15.000 kWh/a ab 01.06.2007

<sup>2</sup>: Gemeindewerke Haßloch GmbH: Stromtarif Wärmepumpe ab 01.01.2007

<sup>3</sup> Gemeindewerke Haßloch GmbH: Stromtarif Haushaltsbedarf

<sup>4</sup> Grundstückskosten der Heizzentrale nicht berücksichtigt

<sup>5</sup> Wirtschaftlichkeitsberechnung zentrale Wärmeversorgung

**Bestimmung betriebsgebundene Kosten**

Wartung Brennwert-Kombitherme	1 % der Investition
Wartung Wärmepumpe	1 % der Investition
Wartung Holzpelletskessel	2 % der Investition
Wartung Hausübergabestation	1 % der Investition
Wartung solarthermische Anlage	0,5 % der Investition
spez. Kosten Ascheentsorgung	150 €/t inkl. MwSt.
Emissionsüberwachung Brennwert-Kombitherme	100 €/a inkl. MwSt.
Emissionsüberwachung Holzpelletskessel	170 €/a inkl. MwSt.

Die abgeschätzten Investitionskosten nach Katalogpreisen sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben. Sie stellen durchschnittliche Investitionskosten dar. Die Investitionskosten nach angeforderten Angeboten können niedriger und höher sein. Sie hängen vom jeweiligen Hersteller und dem gewählten Modell sowie von der Detailausführung in dem jeweiligen Gebäude ab.

	<b>Basisvariante</b> Erdgas-Brennwert-Kombitherme	<b>Variante 1</b> Erdgas-Brennwerttherme Solarthermie	<b>Variante 2</b> Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) Solarthermie
<b>Maschinentechnik</b>			
Erdgas-Brennwert-Kombitherme mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	7.400 €	7.300 €	
Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme			11.800 €
Solarthermische Anlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		7.000 €	7.000 €
Pufferspeicher mit Zubehör inkl. Montage		1.300 €	1.600 €
<b>Trinkwassererwärmung</b>			
Trinkwassererwärmung im Durchflussverfahren		3.100 €	3.100 €
<b>Erdgasanschluss</b>			
Erdgasanschluss	1.800 €	1.800 €	
<b>Erdsonden</b>			
Erdsonden mit Zubehör inkl. Bohrung und Montage			9.500 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes	1.400 €	3.100 €	5.000 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>10.600 €</b>	<b>23.600 €</b>	<b>38.000 €</b>
Investitionszuschuss Solarthermie		1.575 €	1.575 €
<b>Gesamtinvestition inkl. Zuschuss</b>		<b>22.025 €</b>	<b>36.425 €</b>

Tabelle 5-13 Investition Einfamilienhaus Basisvariante bis Variante 2

Für das Beispielhaus wird angenommen, dass im Keller ein Heizraum und ein Lagerraum zur Installation eines Holzpelletskessels vorhanden sind, sonst wären Kosten für den zusätzlichen Raumbedarf noch zu berücksichtigen.

	<b>Variante 3</b> Luft/Wasser- Wärmepumpe Solarthermie	<b>Variante 4</b> Holzpelletskessel Solarthermie	<b>Variante 5 - 7</b> Hausübergabe- station
<b>Maschinentchnik</b>			
Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	14.500 €		
Holzpelletskessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		14.800 €	
Indirekte Hausübergabestation mit Trinkwarmwasserspeicher inkl. Montage und Inbetriebnahme			8.000 €
Solarthermische Anlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	7.000 €	7.000 €	
Pufferspeicher mit Zubehör inkl. Montage	1.600 €	1.300 €	
<b>Trinkwassererwärmung</b>			
Trinkwassererwärmung im Durchflussverfahren	3.100 €	3.100 €	
<b>Holzpelletslager<sup>1</sup></b>			
Holzpelletsgewebesilo mit Zubehör inkl. Montage		2.000 €	
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes	3.900 €	4.200 €	1.200 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>30.100 €</b>	<b>32.400 €</b>	<b>9.200 €</b>
Investitionszuschuss Solarthermie	1.575 €	1.575 €	
Investitionszuschuss Biomassekessel		1.500 €	
<b>Gesamtinvestition inkl. Zuschuss</b>	<b>28.525 €</b>	<b>29.325 €</b>	

Tabelle 5-14 Investitionskosten Einfamilienhaus Variante 3 bis Variante 7

<sup>1</sup> Es sind keine Investitionskosten für den Raumbedarf des Holzpelletslagers im Haus berücksichtigt.

Für die drei Varianten ohne solarthermische Anlage sind ebenfalls die Investitionskosten aufgeführt.

	<b>Variante 2a</b> Sole/Wasser- Wärmepumpe (Erdsonden)	<b>Variante 3a</b> Luft/Wasser- Wärmepumpe	<b>Variante 4a</b> Holzpellets- kessel
<b>Maschinentechnik</b>			
Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	11.800 €		
Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		14.500 €	
Holzpelletskessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme			14.800 €
Pufferspeicher mit Zubehör inkl. Montage	1.400 €	1.400 €	1.100 €
<b>Trinkwassererwärmung</b>			
Trinkwassererwärmung im Durchflussverfahren	3.100 €	3.100 €	3.100 €
<b>Erdsonden</b>			
Erdsonden mit Zubehör inkl. Bohrung und Montage	9.500 €		
<b>Holzpelletslager<sup>1</sup></b>			
Holzpelletsgewebesilo mit Zubehör inkl. Montage			2.000 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes	3.900 €	2.900 €	3.200 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>29.700 €</b>	<b>21.900 €</b>	<b>24.200 €</b>
Investitionszuschuss Biomassekessel			1.500 €
<b>Gesamtinvestition inkl. Zuschuss</b>			<b>22.700 €</b>

Tabelle 5-15 Investitionskosten Einfamilienhaus Variante 2a bis Variante 4a

<sup>1</sup> Es sind keine Investitionskosten für den Raumbedarf des Holzpelletslagers im Haus berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu den Wärmeversorgungsvarianten sind in der folgenden Tabelle inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt. Die ausführliche Tabelle ist aus dem Anhang zu entnehmen.

<b>Einfamilienhaus</b>		<b>Basisvariante</b>	<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>	<b>Variante 4</b>	<b>Variante 5</b>	<b>Variante 6</b>	<b>Variante 7</b>
		Erdgas- Brennwert- Kombitherme	Erdgas- Brennwert- therme Solarthermie	Sole/Wasser- Wärmepumpe (Erdsonden) Solarthermie	Luft/Wasser- Wärmepumpe  Solarthermie	Holzpellets- kessel  Solarthermie	Nahwärme Biomasse- kessel	Nahwärme Erdgas- BHKW	Nahwärme Bioerdgas- BHKW
<b>Investitionskosten<sup>1</sup></b>	€	<b>10.600</b>	<b>23.600</b>	<b>38.000</b>	<b>30.100</b>	<b>32.400</b>	<b>9.200</b>	<b>9.200</b>	9.200
<b>inkl. Zuschuss</b>	€		<b>22.025</b>	<b>36.425</b>	<b>28.525</b>	<b>29.325</b>			
Kapitalkosten	€/a	885	2.044	3.007	2.564	2.846	636	636	636
inkl. Zuschuss	€/a		1.918	2.881	2.438	2.591			
Verbrauchskosten	€/a	725	566	357	367	254	962	1.085	1.173
inkl. Förderung	€/a						959		
Betriebskosten	€/a	168	199	139	164	508	80	80	80
<b>Jahreskosten</b>	€/a	<b>1.778</b>	<b>2.809</b>	<b>3.503</b>	<b>3.095</b>	<b>3.608</b>	<b>1.678</b>	<b>1.801</b>	<b>1.889</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	€/a		<b>2.683</b>	<b>3.377</b>	<b>2.969</b>	<b>3.353</b>	<b>1.675</b>		
Verbrauchs- und Betriebskosten	€/a	893	765	497	531	763	1.042	1.165	1.253
inkl. Zuschuss							1.039		
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	7.800	7.800	7.800	7.800	7.800	7.800	7.800	7.800
<b>Wärmepreis</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>	<b>22,8</b>	<b>36,0</b>	<b>44,9</b>	<b>39,7</b>	<b>46,3</b>	<b>21,5</b>	<b>23,1</b>	<b>24,2</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>		<b>34,4</b>	<b>43,3</b>	<b>38,1</b>	<b>43,0</b>	<b>21,5</b>		

Tabelle 5-16 Wirtschaftlichkeit Einfamilienhaus

<sup>1</sup> Es sind keine Investitionskosten für den Raumbedarf des Holzpelletslagers im Haus berücksichtigt.

Der Variantenvergleich zur Wärmeversorgung eines beispielhaften Einfamilienhauses im Neubaugebiet zeigt, dass von den dezentralen Wärmeversorgungsvarianten eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Die Jahreskosten der übrigen dezentralen Varianten liegen bei heutigen Kosten um 41 % (Luft/Wasser-Wärmepumpe) und bis zu 90 % (Sole/Wasser-Wärmepumpe oder Holzpelletskessel mit jeweils solarthermischer Anlage) höher.

Dies beruht darauf, dass Neubauten nach der Energieeinsparverordnung einen vorgegebenen Wärmedämmstandard einhalten müssen. Für das Musterhaus ist ein 4-Liter-Haus-Standard zu Grunde gelegt. Dadurch liegt ein verhältnismäßig geringer Jahreswärmebedarf vor, und es wird eine niedrige Wärmeleistung benötigt. Die hohen Investitionskosten für Anlagen, die erneuerbare Energien nutzen, können aufgrund des geringen Jahreswärmebedarfs nicht mit den niedrigen Verbrauchskosten ausgeglichen werden.

Beide Nahwärmevarianten erzielen vergleichbare Jahreskosten wie eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme. Grundstückskosten für die Heizzentrale wurden nicht berücksichtigt. Von allen untersuchten Varianten liegen für die Nahwärmeversorgung auf Basis eines Holz hackschnitzelkessels die niedrigsten Jahreskosten vor.

Im Nahwärmeverbund kann durch die Größe des Baugebiets mit entsprechendem Jahreswärmebedarf der Vorteil einer hohen Auslastung eines Holz hackschnitzelkessels bzw. eines BHKW genutzt werden. Die hohen Kapitalkosten für solche Anlagen können so über geringere Verbrauchs- und Betriebskosten ausgeglichen werden.

Für die Varianten mit einer Erdgas-Brennwerttherme ist zu berücksichtigen, dass der Arbeits- und Grundpreis für Erdgas nach dem aktuellen Tarif der Gemeindewerke Haßloch GmbH entsprechend der Erdgasbezugsmenge ausgewählt wurde. Für ein Neubaugebiet sind die Tarifpreise zu hinterfragen. Durch den hohen Wärmedämmstandard wird ein niedrigerer Erdgasabsatz in einem Neubaugebiet als in bestehender Bebauung vorliegen. Dadurch wird der Anteil der Fixkosten wie z. B. die Verlegungskosten der Erdgasleitungen an den Gesamtkosten größer sein, sodass sich für das Neubaugebiet eigentlich ein spezifisch höherer Preis ergeben müsste.

Im Diagramm sind die Jahreskosten der Varianten nach Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten aufgeschlüsselt.

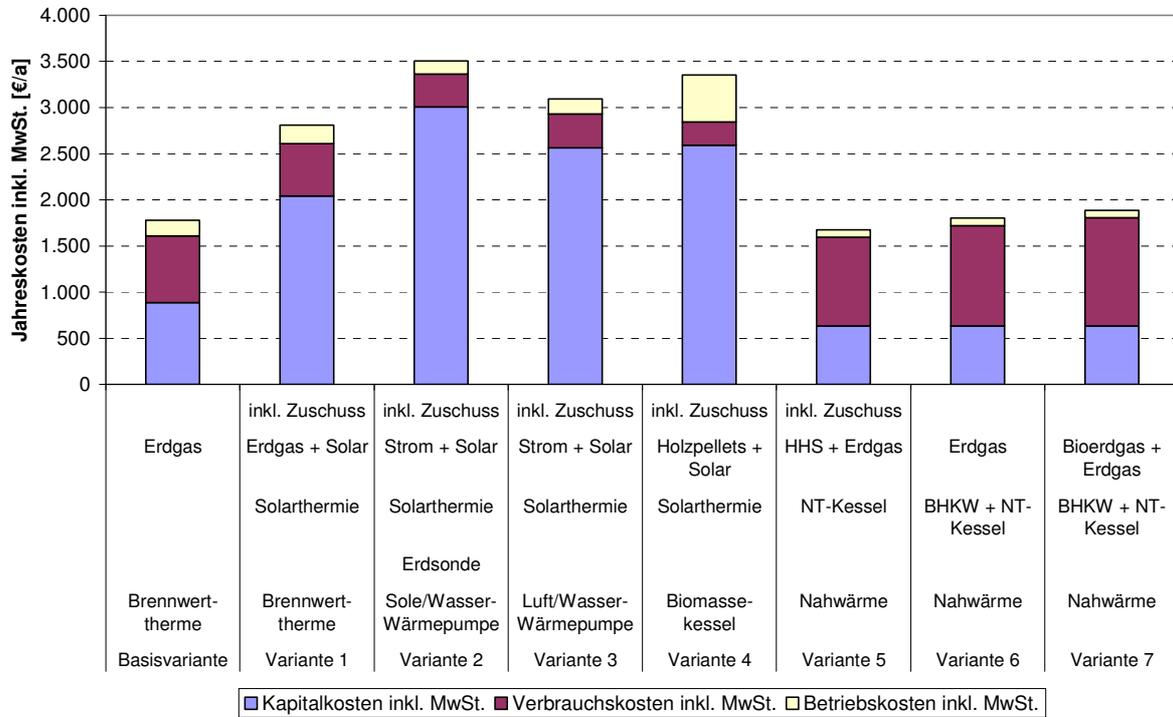


Abbildung 5-4 Jahreskosten Einfamilienhaus

Die Abbildung zeigt, dass die Kapitalkosten in den dezentralen Varianten den wesentlichen Anteil an den Jahreskosten einnehmen.

Da hohe Jahreskosten für die Varianten mit einer solarthermischen Anlage vorliegen, wird für diese Varianten eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ohne die solarthermische Anlage durchgeführt. Dies betrifft folgende Varianten.

- Variante 2a: Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden)
- Variante 3a: Luft/Wasser-Wärmepumpe
- Variante 4a: Holzpelletskessel

Die abgeschätzten Investitionskosten für die Varianten ohne eine solarthermische Anlage sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	<b>Variante 2a</b> Sole/Wasser- Wärmepumpe (Erdsonden)	<b>Variante 3a</b> Luft/Wasser- Wärmepumpe	<b>Variante 4a</b> Holzpellets- kessel
<b>Maschinentchnik</b>			
Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	11.800 €		
Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		14.500 €	
Holzpelletskessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme			14.800 €
Pufferspeicher mit Zubehör inkl. Montage	1.400 €	1.400 €	1.100 €
<b>Trinkwassererwärmung</b>			
Trinkwassererwärmung im Durchflussverfahren	3.100 €	3.100 €	3.100 €
<b>Erdsonden</b>			
Erdsonden mit Zubehör inkl. Bohrung und Montage	9.500 €		
<b>Holzpelletslager<sup>1</sup></b>			
Holzpelletsgewebesilo mit Zubehör inkl. Montage			2.000 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes	3.900 €	2.900 €	3.200 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>29.700 €</b>	<b>21.900 €</b>	<b>24.200 €</b>
Investitionszuschuss Biomassekessel			1.500 €
<b>Gesamtinvestition inkl. Zuschuss</b>			<b>22.700 €</b>

Tabelle 5-17 Investitionskosten Variante 2 bis Variante 4 ohne solarthermische Anlage

<sup>1</sup> Es sind keine Investitionskosten für den Raumbedarf des Holzpelletslagers im Haus berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu den Wärmeversorgungsvarianten ohne solarthermische Anlage sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die ausführliche Tabelle ist aus dem Anhang zu entnehmen.

Einfamilienhaus		Variante 2a Sole/Wasser- Wärmepumpe (Erdsonden)	Variante 3a Luft/Wasser- Wärmepumpe	Variante 4a Holzpellets- kessel
<b>Investitionskosten inkl. MwSt.<sup>1</sup></b>	<b>€</b>	<b>29.700</b>	<b>21.900</b>	<b>24.200</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	<b>€</b>			<b>22.700</b>
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	2.325	1.892	2.173
inkl. Zuschuss und MwSt.	€/a			2.045
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	459	486	371
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	107	132	477
<b>Jahreskosten inkl. MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>2.891</b>	<b>2.510</b>	<b>3.021</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	<b>€/a</b>			<b>2.893</b>
Verbrauchs- und Betriebskosten	€/a	566	619	848
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	7.800	7.800	7.800
<b>Wärmepreis inkl. MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>37,1</b>	<b>32,2</b>	<b>38,7</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>			<b>37,1</b>

Tabelle 5-18 Wirtschaftlichkeit Einfamilienhaus Variante 2a bis Variante 4a  
ohne solarthermische Anlage

Im Vergleich zur Basisvariante mit 22,8 Ct/kWh<sub>th</sub> als Wärmepreis ergeben sich für die Wärmepumpen- und Holzpelletsvarianten ohne solarthermische Anlage bei den heutigen Preisen um etwa 41 % bis zu 70 % höhere Wärmepreise.

<sup>1</sup> Es sind keine Investitionskosten für den Raumbedarf des Holzpelletslagers im Haus berücksichtigt.

Im Diagramm sind die Jahreskosten für alle Varianten zur Wärmeversorgung eines Beispielhauses mit Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten dargestellt.

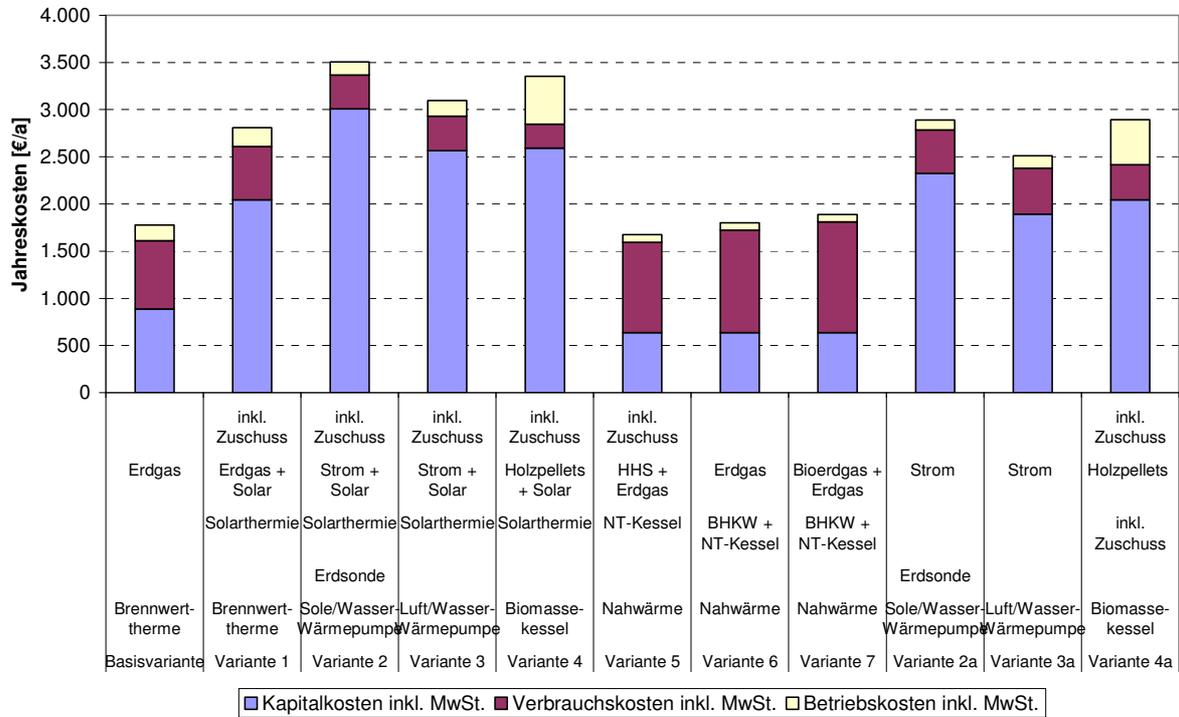


Abbildung 5-5 Vergleich Jahreskosten für alle Varianten zur Wärmeversorgung eines Einfamilienhaus

Um die erforderlichen Gesamtinvestitionen für den ersten Bauabschnitt im Neubaugebiet bewerten zu können, wird unter Annahme des aktuellen Status für alle 316 Wohneinheiten eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme angenommen.

Die Gesamtinvestitionskosten belaufen sich dann auf 3.349.600 € inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer. Es ergeben sich 22,8 Ct/kWh<sub>th</sub> als Wärmepreis für die Wärmeversorgung des ersten Bauabschnitts im Neubaugebiet mit Erdgas-Brennwert-Kombithermen. Die jährliche Erdgasmenge würde sich auf rund 2.541 MWh<sub>Hu</sub>/a (2.795 MWh<sub>Ho</sub>/a) belaufen.

Aufgrund der zukünftigen Anforderungen hinsichtlich der Wärmeversorgung neuer Wohnhäuser entfällt die Basisvariante mit einer Erdgas-Brennwert-Kombitherme. Alle übrigen Varianten können mindestens 15 % des Endenergiebedarfs mit erneuerbaren Energien abdecken.

Derzeit erfordern die Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Mehrkosten. Im Vergleich zu einer Erdgas-Brennwertkombitherme als Referenzanlage wird geprüft, nach wie vielen Jahren sich die Mehrinvestitionen über die geringeren jährlichen Verbrauchs- und Betriebskosten statisch amortisieren.

<b>Einfamilienhaus</b>		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>	<b>Variante 4</b>	<b>Variante 2a</b>	<b>Variante 3a</b>	<b>Variante 4a</b>
		Erdgas-Brennwerttherme Solarthermie	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) Solarthermie	Luft/Wasser-Wärmepumpe  Solarthermie	Holzpellets-kessel  Solarthermie	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden)	Luft/Wasser-Wärmepumpe	Holzpellets-kessel
Mehrinvestitionskosten inkl. Zuschuss und MwSt.	€	11.425	25.825	17.925	18.725	19.100	11.300	12.100
eingesparte Verbrauchs- und Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	302	502	500	237	327	274	45
statische Amortisation	a	38	51	36	79	58	41	271

Tabelle 5-19 Berechnung der statischen Amortisation zu den Mehrinvestitionskosten

Über die eingesparten Verbrauchs- und Betriebskosten können sich die Mehrinvestitionskosten der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien nicht innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer statisch amortisieren.

## 6 Sensitivitätsanalyse

In einer Sensitivitätsanalyse wird die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten abhängig vom Wärmedämmstandard der Neubauten dargestellt. Als Dämmstandard wird als spezifischer Jahresheizwärmebedarf 100, 80, 60, 40 und 20 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a) angesetzt. Daraus resultiert zusammen mit dem Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung folgender Jahresgesamtwärmebedarf.

spez. Jahresheizwärmebedarf [kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)]	Jahresgesamtwärmebedarf [kWh <sub>th</sub> /a]	Heizleistung [kW <sub>th</sub> ]
100	16.800	10
80	13.800	8
60	10.800	7
40	7.800	5
20	4.800	5

Tabelle 6-1 Wärmebedarf unterschiedlicher Dämmstandards des Beispielhauses

Die Berechnungen zur Energiebilanz und zur Wirtschaftlichkeit<sup>1</sup> wurden für alle Wärmeversorgungsvarianten in den unterschiedlichen Wärmedämmstandards durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Diagrammen dargestellt.

Wärmeversorgungsvarianten Einfamilienhaus

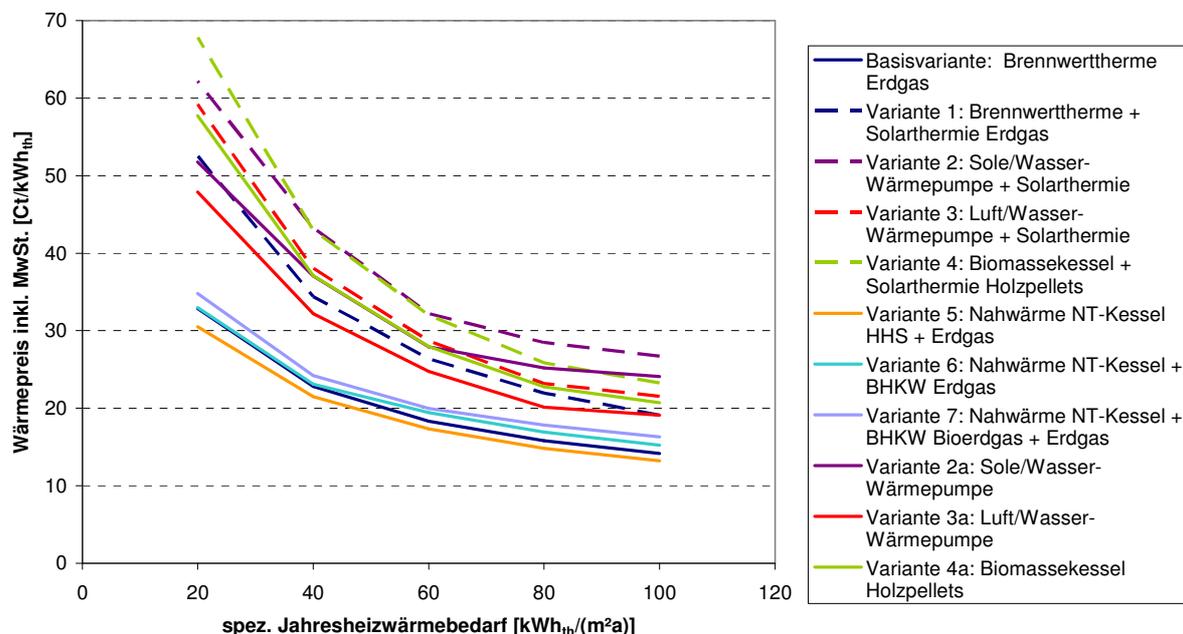


Abbildung 6-1 Sensitivität Wärmepreis Wärmeversorgungsvarianten Einfamilienhaus

Je besser der Wärmedämmstandard ist, desto höher liegt der Wärmepreis der unterschiedlichen Varianten. Unabhängig vom Wärmedämmstandard ergeben sich für die Holznahwär-

<sup>1</sup> Grundstückskosten für Heizzentrale nicht berücksichtigt

mevariante und die Erdgas-BHKW-Nahwärmevariante sowie die Brennwerttherme die niedrigsten Wärmepreise.

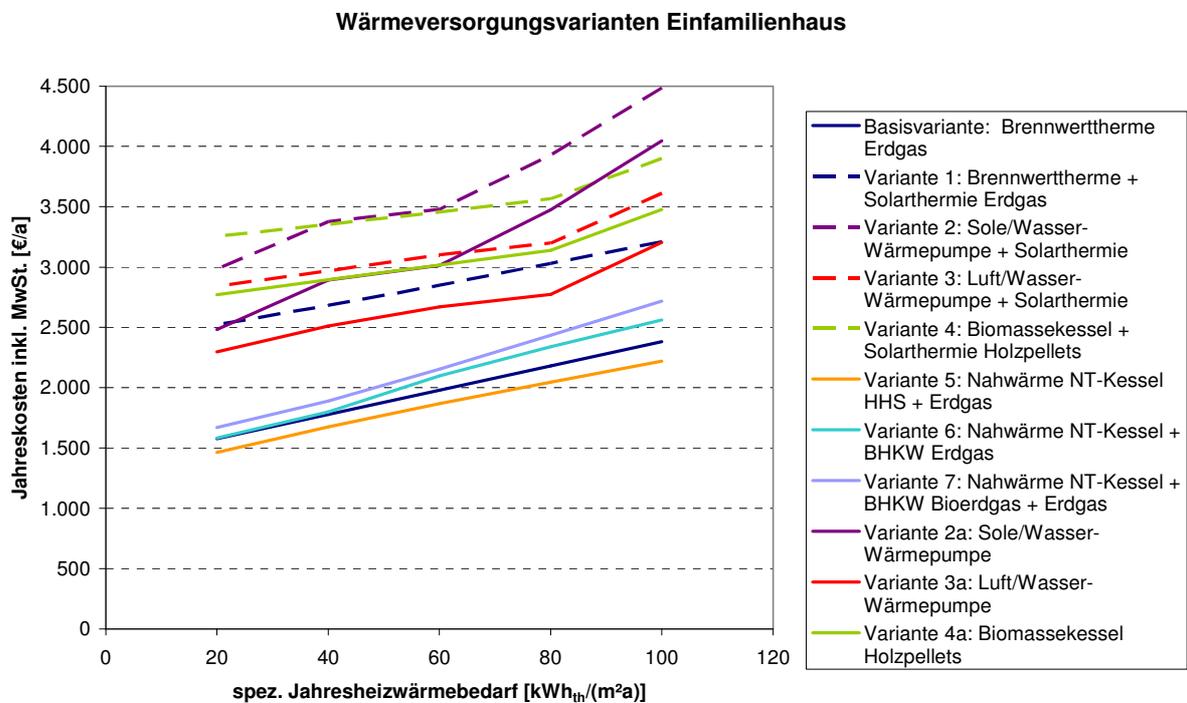


Abbildung 6-2 Sensitivität Jahreskosten Wärmeversorgungsvarianten Einfamilienhaus

Je niedriger der spezifische Jahresheizwärmebedarf ist, desto geringer sind die Jahreskosten<sup>1</sup> der unterschiedlichen Wärmeversorgungsvarianten. Die kapitalintensiven Varianten und die Varianten mit geringen Energiepreisen sind weniger vom Wärmedämmstandard abhängig, was sich in einer geringeren Steigung der Geraden im Diagramm zeigt.

Die Knicke in den Geraden beruhen darauf, dass die gleichen Investitionskosten für die Anlage bei unterschiedlichem Wärmedämmstandard angesetzt werden, weil sich teilweise die erforderliche Leistungsgröße kaum unterscheiden und die Hersteller ihre Anlagen in verschiedenen Leistungsstufen anbieten.

<sup>1</sup> Grundstückskosten für Heizzentrale nicht berücksichtigt

### Wärmeversorgungsvarianten Einfamilienhaus

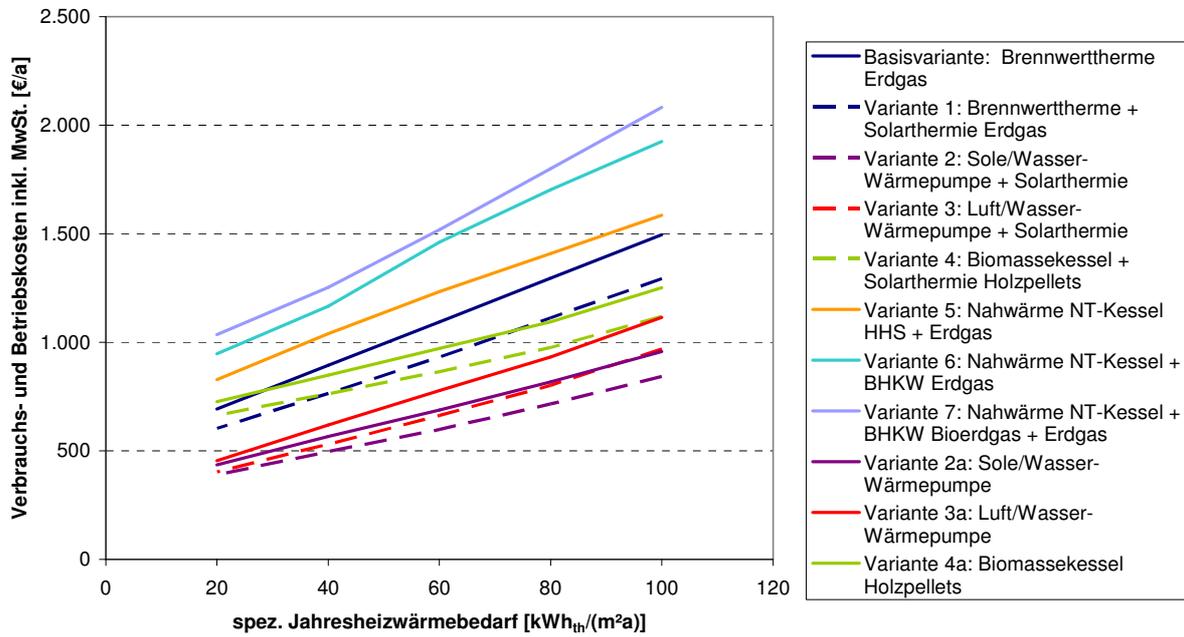


Abbildung 6-3 Sensitivität Verbrauchs- und Betriebskosten Wärmeversorgungsvarianten Einfamilienhaus

In dem Diagramm zu den Verbrauchs- und Betriebskosten<sup>1</sup> wird gezeigt, dass die Anlagenkombination mit einer solarthermischen Anlage sich in geringeren Verbrauchs- und Betriebskosten niederschlagen. Die niedrigsten Verbrauchs- und Betriebskosten erzielen Wärmepumpen durch die Nutzung von Umweltwärme.

<sup>1</sup> Grundstückskosten für Heizzentrale nicht berücksichtigt

## 7 Zusammenfassung

In Haßloch ist ein Neubaugebiet „Südlich der Rosenstraße“ geplant, das in zwei Bauabschnitten realisiert werden soll. Im ersten Bauabschnitt des westlichen Neubaugebiets mit etwa 9 ha Fläche sind 157 Baugrundstücke ausgewiesen.

Im Rahmen der Klimaschutzgesetzgebung ist vorgesehen, die Energieeinsparverordnung zum 01.01.2009 dahin gehend zu verschärfen, dass der zulässige Primärenergieaufwand jeweils um 30 % gegenüber dem derzeitigen Höchstwert abgesenkt wird und eine Nutzungspflicht zu erneuerbarer Energien mit einem Anteil von mindestens 15 % am Endenergiebedarf eingeführt wird. Eine weitere Verschärfung des zulässigen Primärenergiebedarfs um 30 % ist für den 01.01.2012 geplant.

Daneben spielt die zukünftige Entwicklung der Versorgung mit Erdgas und Heizöl zur Auswahl der Heizanlage eine wichtige Rolle. Es werden von verschiedenen Institutionen Ölengpässe und eine Erdgaslücke vorausgesagt, die u. a. zur Steigerung der Brennstoffpreise führen werden.

Folgende Varianten wurden am Beispiel eines Einfamilienhauses miteinander verglichen.

Basisvariante:	Erdgasbrennwerttherme
Variante 1:	Erdgasbrennwerttherme mit solarthermischer Anlage
Variante 2:	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) mit solarthermischer Anlage
Variante 3:	Luft/Wasser-Wärmepumpe mit solarthermischer Anlage
Variante 4:	Holzpelletskessel mit solarthermischer Anlage
Variante 5:	Nahwärme aus Biomassefeuerungsanlage, betrieben mit Holzhackschnitzel
Variante 6:	Nahwärme aus Erdgas-BHKW
Variante 7:	Nahwärme aus Bioerdgas-BHKW
Variante 8:	Nahwärme aus Tiefengeothermie

Im Allgemeinen ist es schwierig, eine Nahwärmeversorgung von freistehenden Häusern wirtschaftlich darstellen zu können. Der Aufwand der Leitungsverlegung ist im Verhältnis zur Wärmeabnahme bei einem Neubau mit hohem Wärmedämmstandard hoch. Um die Wärmeabnahme zu sichern ist ein Anschluss- und Benutzungszwang notwendig, weil so eine spezifisch günstigere Anlage ermöglicht wird.

Für die Nahwärmevarianten erfolgte eine erste Trassenplanung der Leitungen. Als Standort der Heizzentrale wurde ein Flächenanteil der öffentlichen Grünfläche angenommen. Die Heizzentrale wurde anhand des Wärmeleistungsbedarfs der Liegenschaften dimensioniert.

Für ein typisches Einfamilienhaus als Neubau wurde der 4-Liter-Haus-Standard mit einem spezifischen Jahresheizwärmebedarf von  $40 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2\text{a})$  zu Grunde gelegt.

In Ergänzung zu den genannten Wärmeversorgungsvarianten wurden für eine solarthermische Anlage zwei Auslegungen verglichen. In einer Simulation zu einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Raumheizung und Trinkwassererwärmung wurde gezeigt, dass eine Anlage bestehend aus 15 m<sup>2</sup> Flachkollektor und einem 1.000 l Pufferspeicher sowie eine 12 m<sup>2</sup> große Vakuumröhrenkollektormit einem 1.500 l Pufferspeicher eine 100 % Deckung des Wärmebedarfs in den Sommermonaten erreicht.

In einer Wirtschaftlichkeitsberechnung ergab sich als Wärmepreis für die Flachkollektoranlage 21,3 Ct/kWh<sub>th</sub> und für die Vakuumröhrenkollektoranlage 30,6 Ct/kWh<sub>th</sub> unter Berücksichtigung eines Zuschusses. Auf der Basis eingesparter Erdgaskosten liegt die statische Amortisation mit ca. 34 Jahren für die Flachkollektoranlage und die rund 50 Jahre der Vakuumröhrenkollektoranlage über der rechnerischen Nutzungsdauer. In den weiteren Betrachtungen wurde eine Flachkollektoranlage zu Grunde gelegt.

Wegen des hohen spezifischen Wärmepreises für eine solarthermische Anlage wurden die dezentralen Varianten zur Nutzung erneuerbarer Energien zusätzlich ohne eine solche Anlage untersucht.

Variante 2a:	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden)
Variante 3a:	Luft/Wasser-Wärmepumpe
Variante 4a:	Holzpelletskessel

Auf den ermittelten Daten zum Jahreswärmebedarf eines Einfamilienhauses und des Neubaugebiets basierte eine Energiebilanz zu den notwendigen Energie- und Brennstoffmengen für die erschiedene Varianten.

Die Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz zeigte, dass alle dezentralen Wärmeversorgungsvarianten, die erneuerbare Energien nutzen, niedrigere Emissionen aufweisen als eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Für das Beispiel-Einfamilienhaus wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung<sup>1</sup> durchgeführt. Die entsprechenden Wärmepreise und die jährlichen Ausgaben (Verbrauchs- und Betriebskosten) unter Berücksichtigung möglicher Fördermittel und inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer sind in der Tabelle aufgelistet.

<b>Einfamilienhaus</b>	Wärmepreis [Ct/kWh <sub>th</sub> ]	Jahres- kosten [€/a]	Jährliche Ausgaben [€/a]
<b>Basisvariante:</b> Erdgas-Brennwert-Kombitherme	22,8	1.778	893
<b>Variante 1:</b> Erdgas-Brennwert-Kombitherme + Solarthermie	34,4	2.682	765
<b>Variante 2:</b> Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) + Solarthermie	43,3	3.377	497
<b>Variante 3:</b> Luft/Wasser-Wärmepumpe + Solarthermie	38,1	2.969	531
<b>Variante 4:</b> Holzpelletskessel (inkl. Förderung) + Solarthermie	43,0	3.353	763
<b>Variante 5:</b> Nahwärme aus HHS-Kessel (inkl. Förderung) und Erdgaskessel	21,5	1.675	1.039
<b>Variante 6:</b> Nahwärme aus Erdgas-BHKW und Erdgaskessel	23,1	1.801	1.165
<b>Variante 7:</b> Nahwärme aus Bioerdgas-BHKW und Erdgaskessel	24,2	1.889	1.253
<b>Variante 2a:</b> Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden)	37,1	2.892	566
<b>Variante 3a:</b> Luft/Wasser-Wärmepumpe	32,2	2.511	619
<b>Variante 4a:</b> Holzpelletskessel (inkl. Förderung)	37,1	2.893	848

Tabelle 7-1 Wärmepreis der Wärmeversorgungsvarianten eines Beispielhauses

Der Variantenvergleich zur Wärmeversorgung eines beispielhaften Einfamilienhauses im Neubaugebiet zeigt, dass von den dezentralen Wärmeversorgungsvarianten eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Die Jahreskosten der übrigen dezentralen Varianten liegen um 41 % (Luft/Wasser-Wärmepumpe) und bis zu 90 % (Sole/Wasser-Wärmepumpe oder Holzpelletskessel mit jeweils einer solarthermischen Anlage) höher.

Sofern die Nutzungspflicht erneuerbarer Energien eingeführt wird, ist als Referenzanlage eine Erdgas-Brennwerttherme in Kombination mit einer solarthermischen Anlage für den

<sup>1</sup> Grundstückskosten für Heizzentrale nicht berücksichtigt

Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten heranzuziehen. Den zugehörigen Wärmepreis von 32,2 Ct/kWh<sub>th</sub> erreicht ebenfalls eine Luft/Wasser-Wärmepumpe.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Arbeits- und Grundpreis für Erdgas nach dem aktuellen Tarif der Gemeindewerke Haßloch GmbH entsprechend der Erdgasbezugsmenge ausgewählt wurde. Für ein Neubaugebiet sind die Tarifpreise zu hinterfragen. Durch den hohen Wärmedämmstandard wird ein niedrigerer Erdgasabsatz in einem Neubaugebiet als in bestehender Bebauung vorliegen. Dadurch wird der Anteil der Fixkosten wie z. B. die Verlegungskosten der Erdgasleitungen an den Gesamtkosten größer sein, sodass sich für das Neubaugebiet eigentlich ein spezifisch höherer Preis ergeben müsste.

Die hohen Jahreskosten beruhen darauf, dass Neubauten nach der Energieeinsparverordnung einen vorgegebenen Wärmedämmstandard einhalten müssen. Für das Musterhaus ist ein 4-Liter-Haus-Standard zu Grunde gelegt. Dadurch liegt ein verhältnismäßig geringer Jahreswärmebedarf vor, und es wird eine niedrige Wärmeleistung benötigt. Die hohen Investitionskosten für Anlagen, die erneuerbare Energien nutzen, können aufgrund des geringen Jahreswärmebedarfs nicht mit den niedrigen Verbrauchskosten ausgeglichen werden.

Die Nahwärmevarianten mit einem Biomassekessel und einem Erdgas-BHKW erzielen vergleichbare Jahreskosten wie eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme. Von allen untersuchten Varianten liegen für die Nahwärmeversorgung auf Basis eines Holzhackschnitzelkessels die niedrigsten Jahreskosten vor.

Im Nahwärmeverbund kann durch die Größe des Baugebiets mit entsprechendem Jahreswärmebedarf der Vorteil einer hohen Auslastung eines Holzhackschnitzelkessels bzw. eines BHKW genutzt werden. Die hohen Kapitalkosten für solche Anlagen können so über geringere Verbrauchs- und Betriebskosten ausgeglichen werden.

Neben der Wärmebereitstellung durch einen Biomassekessel oder ein Erdgas- bzw. Bioerdgas-BHKW wurde auch die Nutzung von Tiefengeothermie untersucht.

Unabhängig von der Wärmeerzeugungsanlage wurde ein Netzwärmepreis mit 3,9 Ct/kWh<sub>th</sub> inkl. MwSt. bestimmt.

Um mit der Holzhackschnitzelvariante Kostengleichheit zu erreichen, dürfte der Wärmegestellungspreis für die Tiefengeothermievariante maximal 8,3 Ct/kWh<sub>th</sub> inkl. MwSt. betragen.

Eine Sensitivitätsanalyse zur Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgungsvarianten für unterschiedliche Dämmstandards zeigte, dass der Wärmepreis mit dem besseren Wärmedämmstandard steigt. Unabhängig vom Wärmedämmstandard ergeben sich für die Holznahwärmevariante und die Erdgas-BHKW-Nahwärmevariante sowie die Brennwerttherme die niedrigsten Wärmepreise. Die kapitalintensiven Varianten und die Varianten mit geringen Energiepreisen sind weniger vom Wärmedämmstandard abhängig, was sich in einer geringeren Steigung der Geraden im Diagramm zeigt. Die niedrigsten Verbrauchs- und Betriebskosten erzielen Wärmepumpen durch die Nutzung von Umweltwärme. Aber auch die solarthermischen Anlagen tragen zu geringeren Verbrauchs- und Betriebskosten bei.

In dem Umfang, wie Erdgas und Heizöl im Preis steigen bzw. sich die Kosten von solarthermischen Anlagen und Wärmepumpen verringern bzw. deren Effizienz steigt, werden sich die Relationen zwischen den verschiedenen Varianten zu Ungunsten von Erdgas-Brennwertthermen verschieben. Insoweit wird bei der Entscheidung über das Heizsystem – die für mindestens 20 Jahre getroffen wird – ganz entscheidend sein, wie man die Verfügbarkeit und Preisentwicklung bei Erdgas und Heizöl bewertet. Denn Erdöl und Erdgas werden gesichert auf der Zeitachse teurer, die neuen Erneuerbare Energien- und Effizienztechnologien werden tendenziell über Massenproduktion effizienter und billiger.

### **Fazit:**

Unter der Voraussetzung eines hohen Wärmedämmstandards der Häuser im Neubaugebiet sind zur Wärmeversorgung aus wirtschaftlicher Sicht nur solche Anlagen geeignet, die geringe Investitionskosten aufweisen. Bedingt durch einen hohen Wärmedämmstandard beeinflussen die Energiekosten die Jahreskosten einer Wärmeversorgungsanlage kaum. Deswegen stellt sich eine Erdgas-Brennwert-Kombitherme im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit günstig dar. Die Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärmeversorgung als dezentrale Anlagen erfordern höhere Jahreskosten. Allerdings bieten sie Energiesicherheit sowie einen ökologischen Vorteil, was die Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionen zeigen.

Durch die große Anzahl der Grundstücke im ersten Bauabschnitt des Neubaugebiets ist aus wirtschaftlicher Sicht eine zentrale Wärmeversorgung ebenfalls umsetzbar.

Die Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung von Wohnhäusern in einem Neubaugebiet hängt im Wesentlichen vom umgesetzten Wärmedämmstandard und der Anzahl der Wohneinheiten, auch bezogen auf ein Wohngebäude, ab. Je höher der Wärmedämmstandard ist, desto ungünstiger stellen sich Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wegen hoher Investitionskosten in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung dar. Je größer die Anzahl der Wohneinheiten in einem Neubaugebiet bzw. in einem Wohngebäude sind, desto günstiger stellt sich die Wirtschaftlichkeit einer zentralen Wärmeversorgung dar.

Aus Sicht der dezentralen Wärmeversorgung eines Neubaus ist zu prüfen, ob der Wärmedämmstandard eines Passivhauses anzustreben und damit auf eine konventionelle Wärmeerzeugungsanlage zu verzichten ist. Die eingesparten Investitionskosten einer Wärmeerzeugungsanlage können in die Mehrinvestitionskosten für den höheren Wärmedämmstandard eingebracht werden. Der sehr geringe Jahreswärmebedarf der Raumheizung kann über ein elektrisches Luftheizregister in der mechanischen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gedeckt werden.

## Anhang

<b>Wirtschaftlichkeit Nahwärmevarianten</b>		Variante 5	Variante 6	Variante 7
<b>40 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a)</b>		Biomassekessel Erdgaskessel	Erdgas-BHKW Erdgaskessel	Bioerdgas- BHKW Erdgaskessel
		HHS + Erdgas	Erdgas	Bioerdgas + Erdgas
<b>Investitionskosten<sup>1</sup></b>	<b>€</b>	<b>1.311.900</b>	<b>1.162.400</b>	<b>1.162.400</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	<b>€</b>	<b>1.302.300</b>		
Kapitalkosten	€/a	119.495	112.003	112.003
inkl. Zuschuss	€/a	118.730		
HHS-Kosten	€/a	40.000		
Erdgaskosten NT-Kessel	€/a	67.011	89.261	89.261
Erdgaskosten BHKW	€/a		100.678	
Bioerdgaskosten BHKW	€/a			183.010
Stromkosten Hilfsenergie	€/a	10.454	8.169	8.169
Verbrauchskosten	€/a	117.466	198.108	280.440
Wartungskosten	€/a	3.450	11.502	11.502
Personalkosten	€/a	2.059	2.059	2.059
Emissionsüberwachung	€/a	261	202	202
Kosten Ascheentsorgung	€/a	485		
sonstige Kosten (Verwaltung, ...)	€/a	9.184	8.137	8.137
Betriebskosten	€/a	15.438	21.900	21.900
<b>Summe Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>252.399</b>	<b>332.011</b>	<b>414.343</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	<b>€/a</b>	<b>251.634</b>		
Gutschrift Stromvergütung	€/a		43.380	125.940
Gutschrift Rückerstattung Energiesteuer	€/a		12.305	
<b>Summe Erlöse</b>	<b>€/a</b>		<b>55.685</b>	<b>125.940</b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>252.399</b>	<b>276.326</b>	<b>288.403</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	<b>€/a</b>	<b>251.634</b>		
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	2.464.800	2.464.800	2.464.800
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>10,2</b>	<b>11,2</b>	<b>11,7</b>
<b>inkl. Zuschuss</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>10,2</b>		

<sup>1</sup> Grundstückskosten für Heizzentrale nicht berücksichtigt

<b>Einfamilienhaus</b>		<b>Basis-</b>	<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>	<b>Variante 4</b>	<b>Variante 5</b>	<b>Variante 6</b>	<b>Variante 7</b>
<b>40 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a)</b>		<b>variante</b>							
		Erdgas- Brenn- wert- therme	Erdgas- Brennwert- therme Solarthermie	Sole/Wasser- Wärmepumpe (Erdsonden) Solarthermie	Luft/Wasser- Wärmepumpe  Solarthermie	Holzpellets- kessel  Solarthermie	Nahwärme Biomasse- kessel	Nahwärme Erdgas- BHKW	Nahwärme Bioerdgas- BHKW
<b>Investitionen inkl. MwSt.</b>	€	<b>10.600</b>	<b>23.600</b>	<b>38.000</b>	<b>30.100</b>	<b>32.400</b>	<b>9.200</b>	<b>9.200</b>	<b>9.200</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	€		<b>22.025</b>	<b>36.425</b>	<b>28.525</b>	<b>29.325</b>			
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	885	2.044	3.007	2.564	2.846	636	636	636
inkl. Zuschuss und MwSt.	€/a		1.918	2.881	2.438	2.591			
Erdgaskosten	€/a	701	534						
Stromkosten Wärmepumpe	€/a			288	354				
Holzpelletskosten	€/a					216			
Nahwärmekosten	€/a						950	1.074	1.162
inkl. Förderung	€/a						948		
Stromkosten Solarthermie	€/a	24	13	13	13	13			
Stromkosten Hilfsenergie	€/a		19	56		25	11	11	11
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	725	566	357	367	254	961	1.085	1.173
inkl. Förderung und MwSt.	€/a						959		
Wartungskosten	€/a	68	99	139	164	338	80	80	80
Emissionsüberwachung	€/a	100	100			170			
Kosten Ascheentsorgung	€/a					1			
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	168	199	139	164	508	80	80	80
<b>Jahreskosten inkl. MwSt.</b>	€/a	<b>1.778</b>	<b>2.809</b>	<b>3.503</b>	<b>3.095</b>	<b>3.608</b>	<b>1.678</b>	<b>1.801</b>	<b>1.889</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	€/a		<b>2.683</b>	<b>3.377</b>	<b>2.969</b>	<b>3.353</b>	<b>1.675</b>		
<b>Wärmepreis inkl. MwSt.</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>	<b>22,8</b>	<b>36,0</b>	<b>44,9</b>	<b>39,7</b>	<b>46,3</b>	<b>21,5</b>	<b>23,1</b>	<b>24,2</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>		<b>34,4</b>	<b>43,3</b>	<b>38,1</b>	<b>43,0</b>	<b>21,5</b>		

<b>Einfamilienhaus 40 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a)</b>		<b>Basisvariante</b> Erdgas- Brennwert- Kombitherme	<b>Variante 2a</b> Sole/Wasser- Wärmepumpe (Erdsonden)	<b>Variante 3a</b> Luft/Wasser- Wärmepumpe	<b>Variante 4a</b> Holzpelletskessel
<b>Investitionskosten inkl. MwSt.</b>	€	<b>10.600</b>	<b>29.700</b>	<b>21.900</b>	<b>24.200</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	€				<b>23.200</b>
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	885	2.325	1.892	2.173
inkl. Zuschuss und MwSt.	€/a				2.088
Erdgaskosten	€/a	701			
Stromkosten Wärmepumpe	€/a		390	486	
Holzpelletskosten	€/a				318
Stromkosten Hilfsenergie	€/a	24	69		52
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	725	459	486	371
Wartungskosten	€/a	68	107	132	306
Emissionsüberwachung	€/a	100			170
Kosten Ascheentsorgung	€/a				1
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	168	107	132	477
<b>Jahreskosten inkl. MwSt.</b>	€/a	<b>1.778</b>	<b>2.892</b>	<b>2.511</b>	<b>3.022</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	€/a				<b>2.893</b>
<b>Wärmepreis inkl. MwSt.</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>	<b>22,8</b>	<b>37,1</b>	<b>32,2</b>	<b>38,7</b>
<b>inkl. Zuschuss und MwSt.</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>				<b>37,1</b>



