

# Energiekonzept für das Mehrfamilienwohn- haus in Bellheim

Mit freundlicher Unterstützung des:



**Rheinland-Pfalz**

**Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz**

Auftraggeber      SGD Süd, Zentralstelle der Forstverwaltung,  
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz  
Projektnummer    1620  
Datum              17.10.2008

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

**Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs**  
Tel: 06721 / 98424-20  
Fax: 06721 / 98424-29  
[kriebs@tsb-energie.de](mailto:kriebs@tsb-energie.de)

**Dipl.-Ing. (FH) Birte Krieg**  
Tel: 06721 / 98424-23  
Fax: 06721 / 98424-29  
[krieg@tsb-energie.de](mailto:krieg@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>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ist-Analyse</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Optimierung des Wärmedämmstandards</b> .....	<b>8</b>
3.1	Wärmedämmstandard Ist-Zustand.....	8
3.2	Wärmedämmstandard nach EnEV und Mindestanforderung der ÖKO-PLUS-Maßnahme .....	9
3.3	Wirtschaftlichkeit Dämmmaßnahmen.....	12
<b>4</b>	<b>Erneuerung Wärmeversorgung mit reduzierter Heizlast</b> .....	<b>14</b>
4.1	Wärmebedarf .....	14
4.2	Umstellung Heizanlage (für alle Varianten) .....	15
4.3	Solarthermie (für alle Varianten) .....	15
4.4	Erdgaskessel (Varianten 1 & 3).....	19
4.5	Sole-Wasser Wärmepumpe (Variante 2) .....	20
	Energiebilanz .....	22
4.6	Kohlendioxid-Emissionsbilanz .....	23
4.7	Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung.....	24
<b>5</b>	<b>Fotovoltaikanlage</b> .....	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Jahresbilanz des Nullheizkostenhauses</b> .....	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>37</b>



## 1 Einleitung

Für das Mehrfamilienwohnhaus Adenauerring 5,7 und 9, das aus 3 versetzten Gebäudeteilen besteht, ist eine Grundsanierung mit energetischer Modernisierung erforderlich. Die Bautechnik entspricht dem Standard zur Zeit der Errichtung in 1972. Durch eine Verbesserung des Wärmedämmstandards wird sich der Jahresheizwärmebedarf reduzieren. Ziel dieser Studie ist es, zu prüfen, inwieweit der Standard eines Nullheizkostenhauses erreicht werden kann.

Ein Nullheizkostenhaus erwirtschaftet in einer Jahresbilanz dargestellt die geringen Heizkosten, die auf einem hohen Wärmedämmstandard beruhen, selbst. Um dies zu erreichen, ist die Nutzung solarer Strahlungsenergie erforderlich, die kostenlos zur Verfügung steht. Deshalb werden im ersten Schritt die Einsatzmöglichkeiten von Fotovoltaik und Solarthermie erarbeitet. Mit den Ergebnissen aus diesen Berechnungen kann der maximal mögliche Heizenergiebedarf für die Einhaltung des Nullheizkostenhauses berechnet werden.

Im zweiten Schritt werden Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmedämmstandards für das Wohngebäude untersucht. Dazu sind mindestens die Vorgaben nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) einzuhalten. Da jedoch der Heizenergiebedarf für das Nullheizkostenhaus wesentlich niedriger anzusetzen ist als nach der EnEV gefordert, werden in einer ersten Annäherung die Technischen Mindestanforderungen für die ÖKO-PLUS-Maßnahmen nach dem Merkblatt Wohnraum Modernisieren der Kfw Förderbank den Berechnungen zu Grunde gelegt.

Auf dem reduzierten Jahresgesamtwärmebedarf basiert eine Untersuchung der Heizlast zur Erneuerung der Kesselanlage.

Zunächst wird in einer Ist-Analyse anhand der Energieverbrauchsdaten und der Anlagendaten der derzeitige Wärmebedarf abgeschätzt. Mit der ermittelten Einsparung durch Dämmmaßnahmen wird der Wärmebedarf nach der Modernisierung bestimmt. Für die Maßnahmen wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

Der reduzierte Wärmebedarf ist die Grundlage der weiteren Berechnungen. In einer Energiebilanz werden die Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgung ermittelt. In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Die Anrechnung von Fördermitteln wird geprüft.

In der abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt, sodass diese als Entscheidungshilfe zur Modernisierung des Wohngebäudes beitragen können.

## 2 Ist-Analyse

Das in 1972 errichtete Wohngebäude in Bellheim besteht aus drei um je 2 Metern versetzten Gebäudeteilen. Das Dach ist als ungedämmtes Satteldach mit einer Neigung von 30° ausgeführt. Zu dieser Zeit war das Aufbringen einer Dämmschicht nicht üblich. Die oberste Geschossdecke und die Kellerdecke bilden den Abschluss der thermischen Hülle des Gebäudes. Da keine wesentlichen Änderungen an der Hüllfläche des Wohngebäudes durchgeführt wurden, entspricht der Wärmedämmstandard der Zeit der Errichtung.

Die Länge der drei Gebäudeteile ist unterschiedlich, so hat der Adenauerring 5 eine Länge von 22,30 Meter, der Adenauerring 7 eine Länge von 14,61 Metern und der Adenauerring 9 eine Länge von 17,57 Metern. Jeder Gebäudeteil hat eine eigene Kesselanlage und ist von den anderen unabhängig. Deshalb wurde die Ist-Analyse für jedes der drei Gebäudeteile einzeln aufgestellt.



**Foto 2-1 Ansicht Adenauerring 5, 7 & 9**

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlage der Gebäudeteile aus.

Mit gebäudetypischen Werten aus der Literatur zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung werden die vorliegenden Daten überprüft. Zur bedarfsgerechten Auslegung einer neuen Heizungsanlage werden die neu berechneten Daten unter Berücksichtigung von Dämmmaßnahmen herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

Jeder Gebäudeteil hat eine eigene Kesselanlage und ist von den anderen unabhängig. Der Adenauerring 5 hat den ältesten Kessel der Marke Viessmann mit einem Baujahr von 1999. Der Adenauerring 7 & 9 haben je einen Brennwertkessel der Marke Viessmann mit einem Baujahr von 2003. Alle Kessel sind auf eine Nachtabenkung programmiert.

#### **Heizkesselanlage Adenauerring 5**

Fabrikat	Viessmann
Bezeichnung	VC1
Anzahl	1
Wärmeleistung	40 kW <sub>th</sub>
Baujahr	2000
Abgasverluste am 27.07.07	5 %

#### **Heizkesselanlage Adenauerring 7**

Fabrikat	Viessmann
Bezeichnung	Vitodens 200
Anzahl	1
Wärmeleistung	42 kW <sub>th</sub>
Baujahr	2003
Abgasverluste am 27.07.07	in Ordnung, Gasbrennwert

#### **Heizkesselanlage Adenauerring 9**

Fabrikat	Viessmann
Bezeichnung	Vitodens 200
Anzahl	1
Wärmeleistung	42 kW <sub>th</sub>
Baujahr	2003
Abgasverluste am 27.07.07	in Ordnung, Gasbrennwert



Foto 2-2 Kessel Adenauerring 5



Foto 2-3 Kessel Adenauerring 7 & 9

Mit dem mittleren Erdgasverbrauch von 2002 bis 2007 wird der Wärmebedarf abgeschätzt.

<b>Adenauerring 5</b>	
Erdgasverbrauch, gemittelt 2002 - 2007	102.300 kWh <sub>Hu</sub> /a
Jahresnutzungsgrad	88 %
Jahresgesamtwärmebedarf, witterungsbereinigt	89.800 kWh <sub>th</sub> /a
installierte Heizleistung	40 kW <sub>th</sub>
<b>Vollbenutzungsstunden</b>	<b>2.250 h/a</b>
beheizte Fläche	532 m <sup>2</sup>
<b>spez. Heizenergiebedarf</b>	<b>192 kWh<sub>BS</sub>/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>spez. Heizleistung</b>	<b>75 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup></b>
<b>Adenauerring 7</b>	
Erdgasverbrauch, gemittelt 2002 - 2004	47.400 kWh <sub>Hu</sub> /a
Jahresnutzungsgrad	89 %
Jahresgesamtwärmebedarf, witterungsbereinigt	41.800 kWh <sub>th</sub> /a
installierte Heizleistung	42 kW <sub>th</sub>
<b>Vollbenutzungsstunden</b>	<b>1.000 h/a</b>
beheizte Fläche	349 m <sup>2</sup>
<b>spez. Heizenergiebedarf</b>	<b>135 kWh<sub>BS</sub>/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>spez. Heizleistung</b>	<b>115 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup></b>

<b>Adenauerring 9</b>	
Erdgasverbrauch, gemittelt 2002 - 2004	65.300 kWh <sub>Hu</sub> /a
Jahresnutzungsgrad	91 %
Jahresgesamtwärmebedarf, witterungsbereinigt	58.800 kWh <sub>th</sub> /a
installierte Heizleistung	42 kW <sub>th</sub>
<b>Vollbenutzungsstunden</b>	<b>1.405 h/a</b>
beheizte Fläche	419 m <sup>2</sup>
<b>spez. Heizenergiebedarf</b>	<b>155 kWh<sub>BS</sub>/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>spez. Heizleistung</b>	<b>95 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup></b>
<b>gebäudetypische Werte Mehrfamilienhaus</b>	
spez. Heizenergiebedarf	123 kWh <sub>BS</sub> /(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>
Vollbenutzungsstunden	2.100 h/a <sup>1</sup>
Jahresnutzungsgrad Gaskessel	82-88 % <sup>1</sup>

**Tabelle 2-1 Ist-Daten des Wohngebäudes**

Für den Adenauerring 5 liegen durchschnittliche Vollbenutzungsstunden vor. Er ist mit einer Leistung von 40 kW bedarfsgerecht dimensioniert.

Für den Adenauerring 7 & 9 liegen verhältnismäßig niedrige Vollbenutzungsstunden und eine höhere spezifische Wärmeleistung vor. Dies deutet auf eine Überdimensionierung der Kesselanlagen hin. Auch der Erdgasanbieter hat die Heizleistung (Bereithaltung) für den Kessel vom Adenauerring 7 auf 32 kW<sub>th</sub> um 10 kW<sub>th</sub> reduziert.

Die derzeitigen Kesselanlagen für den Adenauerring 7 & 9 sind noch recht neu und sehr effizient. Da sich jedoch der Jahresgesamtwärmebedarf und die Wärmeleistung durch einen verbesserten Dämmstandard verringern, werden die Kesselanlagen noch um ein weiteres überdimensioniert sein. Deshalb erfolgt eine neue Kesselauslegung nach den noch zu berechnenden Werten.

<sup>1</sup> Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

### 3 Optimierung des Wärmedämmstandards

Auf Grundlage des derzeitigen Wärmedämmstandards werden Dämmmaßnahmen für das Wohngebäude untersucht.

Als Mindeststandard werden die Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) eingehalten. Jedoch bedarf das Nullheizkostenhaus auch mit Einbezug der solarthermischen Anlagen eines wesentlich höheren Dämmstandards als in der EnEV gefordert. Deshalb werden die Technischen Mindestanforderungen für die ÖKO-PLUS-Maßnahmen nach dem Merkblatt Wohnraum Modernisieren der Kfw Förderbank eingehalten.

Im Folgenden wird untersucht, ob der Dämmstandard ‚Nullheizkostenhaus‘ mit Einbezug der Solarthermischen Anlagen erreicht werden kann. Dazu werden sowohl die oberste Geschosdecke als auch die Kellerdecke einbezogen.

Für die Dämmmaßnahmen wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Dazu werden die Investitionskosten, die auch für Instandsetzungsmaßnahmen wie z. B. Gerüstkosten aufzuwenden sind, berücksichtigt. Dies trifft z. B. auf die Fassadenmodernisierung des Wohngebäudes zu.

Die Bewertung der Dämmstandards erfolgt mithilfe der statischen Amortisationsdauer, die sich aus den eingesparten Brennstoffkosten und den aufzuwendenden Investitionskosten berechnet.

#### 3.1 Wärmedämmstandard Ist-Zustand

Das in 1972 errichtete Wohngebäude in Bellheim besteht aus drei um je 2 Metern versetzten Gebäudeteilen mit zwei Geschossen und einem Kellergeschoss. Das Dach ist als ungedämmtes Satteldach mit einer Neigung von 30° ausgeführt. Das Gebäude wurde in Stahlbetonskelettbauweise ausgeführt. Bis auf die Fenster, die zwischen 1999 und 2003 durch Kunststoffenster mit Isolierverglasung ersetzt wurden, befindet sich der Rest des Wohngebäudes noch im Originalzustand.

Zur Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs des Wohngebäudes im derzeitigen Standard konnte auf z. T. vorhandene Baupläne zurückgegriffen werden. Bei fehlenden Angaben wurden Aufbau und U-Werte alter Bauteile aus der Literatur entnommen. Anhand der zur Verfügung gestellten Pläne wurden die Berechnungen für das Wohngebäude durchgeführt.

In der Wärmebedarfsberechnung des Ist-Zustands werden folgende U-Werte angesetzt.

Außenwände (30cm)	1,93 W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwände (24cm)	2,19 W/(m <sup>2</sup> K)
Außen liegende Fenster, Fenstertüren (zweifachverglast)	1,70 W/(m <sup>2</sup> K)
Rolladenkästen	3,00 W/(m <sup>2</sup> K)

Hausfassade – Glasbausteine	3,50 W/(m <sup>2</sup> K)
Hauseingang – Tür / Briefkasten / Fenster	4,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Oberste Geschossdecke, gegen unbeheizt	1,08 W/(m <sup>2</sup> K)
Kellerdecke, gegen unbeheizt	0,91 W/(m <sup>2</sup> K)
Innenwände gegen unbeheizte Räume	1,99 W/(m <sup>2</sup> K)



Foto 3-1 Ansicht Vorderseite



Foto 3-1 Ansicht Rückseite

### 3.2 Wärmedämmstandard nach EnEV und Mindestanforderung der ÖKO-PLUS-Maßnahme

In der Energieeinsparverordnung vom 24.07.2007 sind die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen angegeben.

Es gelten folgende Werte für Gebäude mit normalen Innentemperaturen:

Außenwände	0,35 W/(m <sup>2</sup> K)
Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster	1,70 W/(m <sup>2</sup> K)
Außentüren	2,90 W/(m <sup>2</sup> K)
Decken, Dächer, Dachschrägen	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,40 W/(m <sup>2</sup> K)

Folgende technische Mindestanforderungen sind für modernisierte Bauteile einzuhalten, um die zinsgünstigen Kredite der KfW-Förderbank zu erhalten.

Die Anforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand sind in der Anlage zum Merkblatt Wohnraum Modernisieren, ÖKO-PLUS-Maßnahmen (Programm Nr. 143) beschrieben:

Wärmedämmung der Außenwände	4,00 (m <sup>2</sup> K)/W
Wärmedämmung der obersten Geschossdecke	6,80 (m <sup>2</sup> K)/W
Wärmedämmung der Kellerdecke (von der Warmseite aus)	2,20 (m <sup>2</sup> K)/W
Wärmedämmung der Kellerdecke (von der Kaltseite aus)	3,00 (m <sup>2</sup> K)/W

Die ausgewählten Maßnahmen und die daraus resultierenden U-Werte der Bauteile sind in der Tabelle aufgeführt.

Bauteil	Maßnahme	U-Wert in W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwände (im Mittel)	15 cm WDVS WLG 035	0,21
Balkone	Abriss der Balkone als auskragende Geschoßdecke Neue Anbaubalkone mit eigener Tragkonstruktion	nicht darstellbar (Wärmebrücke)
Hausfassade – Glasbausteine	Austausch: Fensterfassade mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung	1,30
Hauseingang – Tür / Briefkasten / Fenster	Neuer Hauseingang	1,70
Vordach über Hauseingang	Abriss des Vordaches über dem Eingang Ersatz mit eigener Tragkonstruktion	nicht darstellbar (Wärmebrücke)
Rolladenkästen	Dämmung mit Außenfassade: 15 cm WDVS WLG 035	1,30
Oberste Geschossdecke, gegen unbeheizt	30 cm WD WLG 040	0,13
Kellerdecke, gegen unbeheizt	12 cm WD WLG 035 (Kaltseite)	0,22
Innenwände gegen unbeheizte Räume	Dämmung mit Kellerdecke: 12 cm WD WLG 035 (Kaltseite)	0,25
Außen liegende Fenster, Fenstertüren (zweifachverglast)	keine	1,7

**Tabelle 3-1 Maßnahmen und U-Werte für Wärmedämmung**

Der vorhandene Dachüberstand reicht für eine Außenwanddämmung mit einem Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmschicht aus.

Nach dem Stand der Technik sind deutlich niedrigere U-Werte als die maximalen U-Werte nach der EnEV im Gebäudebestand zu erreichen.

Mit den Maßnahmen zum Erreichen eines Nullheizkostenhauses resultiert folgender Jahresheizwärmebedarf. Der Vergleich mit den berechneten Werten im Ist-Zustand zeigt die Höhe der Einsparung.

		Ist-Zustand	Glasbaustein & Hauseingang	Außenfassade inkl. Balkone	Kellerdecke	Oberste Geschosdecke	Alle Maßnahmen ohne Lüftung	Alle Maßnahmen mit Lüftung
Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> / a	173.341	166.701	91.047	162.369	160.445	55.940	48.830
Einsparung Jahresheizwärmebedarf	%		43	47	6	7	68	72
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	118						34
beheizte Fläche	m <sup>2</sup>	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813
spez. Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> / (a*m <sup>2</sup> )	96	92	50	90	88	31	27
spez. Wärmeleistung	W <sub>th</sub> / m <sup>2</sup>	65						1

**Tabelle 3-2 Jahresheizwärmebedarf Wohngebäude Ist-Zustand und einzelne Dämmmaßnahmen**

Die theoretische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt rund 72 %. Auch die erforderliche Wärmeleistung verringert sich um etwa 71 %.

Für die Einzelmaßnahmen reduziert sich der Jahresheizwärmebedarf wie folgt.

Dämmmaßnahme	Einsparung Jahresheizwärmebedarf in kWh <sub>th</sub> /a	Anteil an Gesamteinsparung in %
Glasbausteine & Hauseingang 1,3 & 1,7 W/(m <sup>2</sup> K) inkl. Vordach	7.770	5
Außenwanddämmung 15 cm WDVS WLG 035 & Erneuerung der Balkone	68.489	66
Dämmung Kellerdecke & Wand gegen unbeheizt 12 cm WLG 035	12.814	9
Dämmung oberste Geschosdecke 28 cm WLG 040	15.047	10
Alle Maßnahmen (1-4) ohne Lüftungsanlage	108.717	94
Alle Maßnahmen (1-4) mit Lüftungsanlage	113.285	100

**Tabelle 3-3 Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen Wärmedämmung**

### 3.3 Wirtschaftlichkeit Dämmmaßnahmen

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für die Dämmmaßnahmen die Investitions- und Kapitalkosten überschlägig ermittelt. Es werden nicht nur die direkten Kosten zur Verbesserung des Dämmstandards herangezogen, sondern auch Kosten, die bei Instandhaltungsmaßnahmen, die auch die energetische Verbesserung betreffen, entstehen. So wird z.B. in die Dämmung der Außenfassade auch die Erneuerung der Balkone berücksichtigt und das Vordach über der Eingangstür bei der Erneuerung des Hauseingangs und Treppenaufgangs (Glasbausteine). Diese auskragenden Bauteile stellen doch eine erhebliche Wärmebrücke dar, die allerdings in der Bedarfsrechnung leider nicht dargestellt werden kann. Auch kleinere Kosten wie z. B. für Gerüst, Putzerneuerung und Entsorgung der Glasbausteine werden voll berücksichtigt.

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Dämmmaßnahmen für die einzelnen Bauteile separat betrachtet, sodass für jede Maßnahme die zugehörige Amortisationsdauer angegeben werden kann. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich eine höhere Einsparung durch einen niedriger gewählten Wärmebrückenzuschlag (nach DIN 4108). So werden Bauteile bei den Einzelmaßnahmen durch einen Wärmebrückenzuschlag von  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  korrigiert, die Gesamtmaßnahme hingegen durch einen Zuschlag von  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Die Kapitalkosten für die Sanierungsmaßnahmen berechnen sich nach der Annuitätenmethode mit  $4,35 \%$  effektivem Zinssatz nach einem KfW-Kredit<sup>2</sup> und 30 Jahren rechnerischer Nutzungsdauer. Die Lüftungsanlage wird mit einem üblichen effektivem Zinssatz von  $5,0 \%$  gerechnet.

Der ÖKO-PLUS KfW-Kredit steht für alle Träger von Investitionsmaßnahmen an selbstgenutzten und vermieteten Wohngebäude zur Verfügung, die die oben genannten Mindestanforderungen an Modernisierungsmaßnahmen erfüllen. So kann für die energetische Modernisierung des Wohngebäudes ein zinsgünstiger, langfristiger Direktkredit mit Festzinssätzen und tilgungsfreien Anlaufjahren beantragt werden.

Anhand des reduzierten Wärmebedarfs wird die eingesparte Erdgasmenge und somit die eingesparten Brennstoffkosten mit dem Arbeitspreis für Erdgas<sup>3</sup> von  $6,55 \text{ Ct/kWh}_{\text{H}_0}$  inkl. MwSt. ermittelt.

---

<sup>2</sup> KfW-Förderbank: KfW-Kredit für Öko-Plus Maßnahme Stand 12.09.2008:  $4,32 \%$ , max. 30 Jahre Laufzeit, max. 5 tilgungsfreie Anlaufjahre, max. 10 Jahre Zinsbindungsfrist

<sup>3</sup> Thüga Rheinhessen-Pflaz: Gasabrechnung vom 27.9.2007

		Glasbau- stein & Hausein- gang	Außen- fassade inkl. Bal- kone	Keller- decke	oberste Geschoß- decke	Gesamt ohne Lüf- tung	Gesamt mit Lüf- tung
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>62.847</b>	<b>189.139</b>	<b>20.481</b>	<b>30.203</b>	<b>302.669</b>	<b>474.437</b>
Kapitalkosten	€/a	4.086	12.296	1.332	1.964	19.677	31.534
Einsparung	€/a	741	7.367	1.200	1.388	11.124	11.919
<b>Jahresbilanz</b>	<b>€/a</b>	<b>-3.345</b>	<b>-4.930</b>	<b>-131</b>	<b>-576</b>	<b>-8.553</b>	<b>-19.615</b>
Statische Amortisation	a	84,9	25,7	17,1	21,8	27,2	39,8

**Tabelle 3-4 Wirtschaftlichkeit Wärmedämmstandard Nullheizkostenhaus**

Die jährlichen Brennstoffeinsparungen durch die Dämmmaßnahmen können die Kapitalkosten der Einzelmaßnahmen für die Außenfassade, die Kellerdecke und die oberste Geschosdecke decken. Statisch betrachtet kann das eingesetzte Kapital nach ca. 17 bis 27 Jahren und damit noch innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer von 30 Jahren zurückerwirtschaftet werden. Lediglich der Austausch der Glasbausteine und des Hauseingangs inklusive des Abrisses des Vordaches über dem Eingang und den Ersatz dessen mit eigener Tragkonstruktion fällt mit einer Amortisationsdauer von 85 Jahren deutlich über die Nutzungsdauer und kann somit nicht über die Brennstoffeinsparungen zurückerwirtschaftet werden.

Bei der Betrachtung der Gesamtmaßnahme zeigt sich, dass auch diese mit einer Amortisationszeit von gut 27 Jahren noch wirtschaftlich ist. Jedoch steigt bei einer Wärmedämmung von solcher Qualität auch die Luftdichtigkeit des Wohngebäudes, so dass aus hygienischen Gründen der Einbau einer Lüftungsanlage notwendig wird. Unter Einbezug dieser Lüftungsanlage ergibt sich für die Gesamtdämmmaßnahme eine Amortisationszeit von fast 40 Jahren und kann somit nicht über die Brennstoffeinsparungen zurückerwirtschaftet werden. Dieses begründet sich vorrangig in den hohen Investitionskosten einer Lüftungsanlage. Es sollte jedoch hierbei berücksichtigt werden, dass eine Lüftungsanlage wesentlich zu einer Verbesserung des Raumklimas und somit zum Wohlbefinden beiträgt. Dieses verbesserte Raumklima ist nicht durch die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung darstellbar.

In Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit (Amortisation) der Gesamtmaßnahme wird nochmals darauf hingewiesen, dass auch hohe Investitionskosten für Modernisierungsmaßnahmen mit eingerechnet wurden, die auch bei gewöhnlichen Instandhaltungsmaßnahmen (Sanierung) entstehen würden. Diese Investitionskosten haben auch einen hohen Einfluss auf die Amortisationsdauer und können nicht durch eine Energieeinsparung dargestellt werden.

## 4 Erneuerung Wärmeversorgung mit reduzierter Heizlast

Die vorhandene Kesselanlage besteht aus zwei Erdgas-Brennwertkesseln und einem Erdgaskessel, die je unabhängig voneinander jeweils nur einen Gebäudeteil versorgen. Aus der energetischen Sanierung des Gebäudes resultiert eine reduzierte Heizlast, so dass die bestehende Kesselanlage stark überdimensioniert sein wird. Deshalb werden für eine neue Wärmeversorgung drei Varianten gegenübergestellt.

- Variante 1: neuer Erdgas-Brennwertkessel & solarthermische Anlage
- Variante 2: Wärmepumpe & solarthermische Anlage
- Variante 3: alter Erdgas-Brennwertkessel & solarthermische Anlage

Zunächst erfolgt die Dimensionierung der Kesselanlage unter Berücksichtigung einer energetischen Sanierung des Wohngebäudes, was in den vorangegangenen Kapiteln untersucht wurde. Dann werden die Techniken der Wärmeversorgungsvarianten kurz erläutert. In einer Energiebilanz werden die Grundlagen für eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz und einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung geschaffen.

### 4.1 Wärmebedarf

Für die überschlägige Bestimmung der erforderlichen Wärmeleistung wird sowohl die Wärmeleistung zur Raumheizung als auch die Wärmeleistung zur Warmwasserbereitung berücksichtigt.

Durch die energetische Sanierung des Wohngebäudes verringert sich der Jahresgesamtwärmebedarf. Der aus den Verbrauchsdaten abgeleitete Jahresgesamtwärmeverbrauch von 190.400 kWh<sub>th</sub>/a ist durch das Nutzerverhalten beeinflusst.

		Ist-Zustand	energetisch saniert
Wärmeleistung, Raumheizung	kW <sub>th</sub>	118	34
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.600	2.100
Jahresgesamtwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	196.000	71.500

**Tabelle 4-1 Wärmebedarf vor und nach energetischer Sanierung**

Die Heizlastberechnung ergibt eine benötigte Wärmeleistung von ca. 34 kW<sub>th</sub> für das gesamte Wohngebäude Adenauerring 5, 7 und 9. Berechnungen ergaben eine benötigte Wärmeleistung für die Trinkwarmwasserbereitung von ca. 35-40 kW. Die Gesamtwärmeleistung wird in den folgenden Berechnungen auf ca. 40 kW ausgelegt, da die Trinkwarmwasserbereitung vorrangig zu der Raumheizung zu bewerten ist.

In den folgenden Berechnungen werden rund  $40 \text{ kW}_{\text{th}}$  Wärmeleistung und  $71.500 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$  Jahresgesamtwärmebedarf zu Grunde gelegt.

#### 4.2 Umstellung Heizanlage (für alle Varianten)

Bei der aus der energetischen Sanierung resultierten verminderten Heizlast sollten aus Effizienzgründen die drei bis jetzt unabhängigen Heizungsanlagen (für jeden Gebäudeteil eine) zu einer Anlage zusammengelegt werden. Für den Umbau zu einer solchen Anlage ist es notwendig, die Heizkreisverteiler in den Gebäudeteilen an einen Wärmeerzeuger anzuschließen.

Die Umstellung der Heizanlage wurde bei den Berechnungen aller drei Varianten berücksichtigt.

#### 4.3 Solarthermie (für alle Varianten)

Der Jahresgesamtwärmebedarf setzt sich zusammen aus dem Jahresheizwärmebedarf und dem Trinkwarmwasserbedarf. Die energetische Sanierung des Gebäudes beeinflusst nur den Heizwärmebedarf, während der Wärmebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung gleich bleibt. Der Trinkwarmwasserbedarf beläuft sich nach einer Berechnung nach der EnEV auf  $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  der Energiebezugsfläche des Gebäudes.

Für Umsetzung des Wohngebäudes zu einem Nullheizkostenhaus ist auch eine Reduzierung der Brennstoffkosten zur Trinkwarmwasserbedarfs des Gebäudes notwendig. Dafür kann Solarthermie genutzt werden.

Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung zur Wärmeerzeugung genutzt. Die Nutzung kann zur Warmwasserbereitung mit zusätzlicher Heizungsunterstützung erfolgen; die Solarwärme kann aber beispielsweise auch zur Trocknung, Kühlung oder zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt werden.



Abbildung 4-1 Solaranlage

Die Solarstrahlung trifft mit einer Leistung von  $1,36 \text{ kW/m}^2$  (sog. Solarkonstante) auf die äußere Erdatmosphäre. Durch Reflexion, Streuung und Absorption in der Atmosphäre erfolgt eine Teilung in direkte und diffuse Strahlung, welche auf die Erdoberfläche trifft. In unseren Regionen kann dann durchschnittlich eine Energiemenge von  $1.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$  genutzt werden. Der tatsächliche Ertrag hängt neben der Einstrahlung am Standort vor Allem vom Kollektortyp sowie der –neigung und –ausrichtung ab.

Durch die solare Einstrahlung auf den Solarkollektor nimmt das Wärmeträgermedium im Kollektorkreis die Wärme auf. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Speicher abgegeben.

Dazu sind verschiedene Speichersysteme wie z. B. Pufferspeicher, Schichtenspeicher oder Warmwasserspeicher möglich. Das Speichervolumen sollte auf mindestens  $50 \text{ Liter/m}^2$  ausgelegt sein. Hiermit sollte der Bedarf von 1 bis 2 Tagen gespeichert werden.

Nach den Berechnungen ergibt sich ein benötigtes Pufferspeichervolumen von ca. 8.000 Litern. Es steht bereits ein Speichervolumen von ca. 900 Litern (3 Tanks) zur Verfügung. Weitere 7.000 Liter müssten installiert werden.

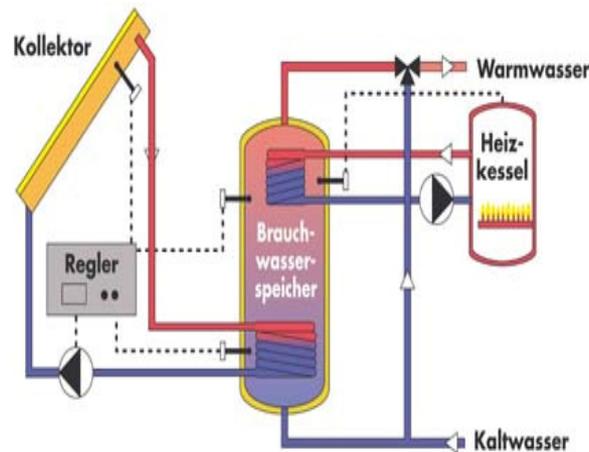
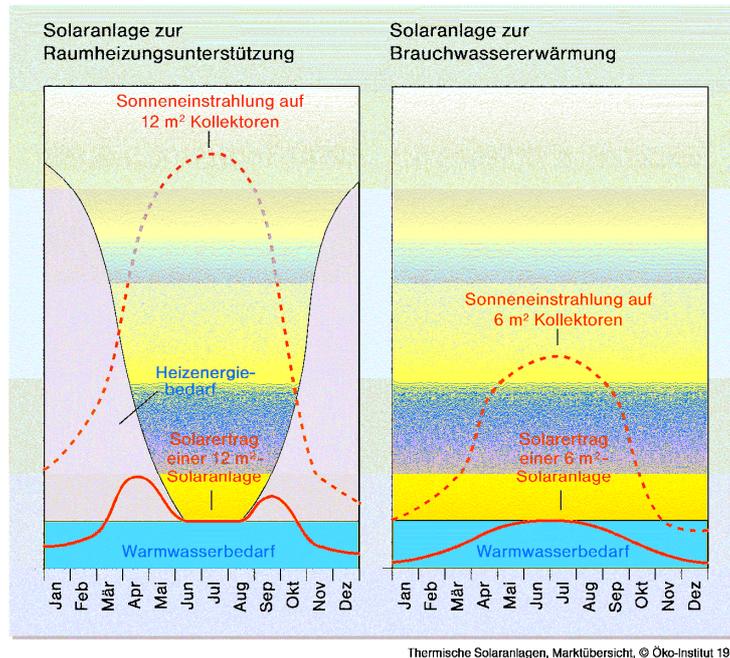


Abbildung 4-1 Einbindung der Solarkollektoranlage (Quelle: Energieagentur NRW)



Thermische Solaranlagen, Marktübersicht, © Öko-Institut 1997

**Abbildung 4-2 Solarertrag und Wärmenutzung**

Sinnvoll ist meist ein bivalenter Betrieb der Solaranlage, d.h. zusammen mit einem weiteren Heizsystem (z.B. Brennwertkessel, Holzpelletkessel). 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 (vgl. obige Abbildung) und die Heizungsanlage ausgeschaltet werden kann. Wird mit der durch die Solaranlage gewonnenen Wärme die Heizung unterstützt, so profitiert man vor allem in den Übergangszeiten von der Anlage. Im Sommer kann jedoch nur ein Teil der Wärme genutzt werden, da kein Heizwärmebedarf besteht. Dadurch erweisen sich heizungsunterstützende Anlagen meist unwirtschaftlicher als Anlagen zur Brauchwarmwassererwärmung.

Solarkollektoren können entweder auf Dächern, an Fassaden oder im Freigelände installiert werden. 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.

Für das Wohngebäude Adenauerring 5,7 und 9 wurde eine solarthermische Anlage ausschließlich zur Warmwasserbereitung gewählt (ohne Heizungsunterstützung). Dies erweist sich in diesem Fall als vorteilhafter, da der Ertrag der Solaranlage durch eine relativ schlechte Ausrichtung gering ist (Ostdach, d.h. Azimut von >45°). Das besser ausgerichtete Westdach ist bereits belegt durch eine Fotovoltaikanlage (siehe Kapitel 5).

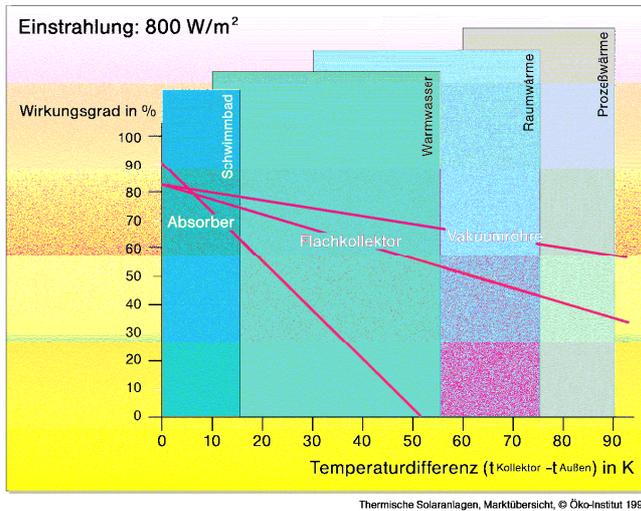


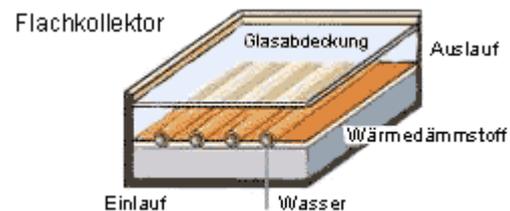
Abbildung 4-3 Wirkungsgrad

An Solarkollektoren sind verschiedene Systeme am Markt verfügbar (hauptsächlich Flach- oder Vakuum-Röhrenkollektoren). Diese unterscheiden sich im Aufbau, Wirkungsgrad und Preis. Die neben stehende Abbildung zeigt die Wirkungsgrade verschiedener Systeme in Abhängigkeit von der nutzbaren Temperaturdifferenz bzw. dem benötigten Temperaturniveau für verschiedene Nutzungen. Verluste entstehen durch Reflexion an der Scheibe sowie durch Wärmeleitung, -konvektion und -strahlung (Wärmeabgabe an die Umgebung).

Beim **Flachkollektor** dient ein flaches schwarz beschichtetes Kupferblech als Absorber. Auf der Rückseite sind kupferne Leitungen angebracht, welche direkt vom Wärmeträger durchfließen werden. Dieses System befindet sich meist in einem gedämmten Gehäuse, welches mit einer Glasplatte abgedeckt ist. Zur Dimensionierung der Kollektoranlage kann man von 1,5 bis 2 m<sup>2</sup> Kollektorfläche pro Person ausgehen.



Abbildung 4-4 Flachkollektor



**Vakuum-Röhrenkollektoren** bestehen aus mehreren evakuierten Glasröhren mit innenliegendem Absorber. Die Wärmeverluste werden minimiert. Bei gleicher Fläche liefern Röhrenkollektoren bis zu 40 % mehr Ertrag als Flachkollektoren.



Abbildung 4-5 Röhrenkollektor



Die konzipierte Solaranlage für das Wohngebäude Adenauerring wurde gemischt aus Flachkollektoren und Röhrenkollektoren. Um die kleine Fläche mit der guten Ausrichtung (Südwand am Adenauerring 5) möglichst gut auszunutzen, wurden für diesen Bereich (Fläche unter dem Giebel) die teureren Röhrenkollektoren mit einer größeren Effektivität gewählt. Die Röhrenkollektoren haben eine Bruttofläche von 39 m<sup>2</sup> und werden in der Giebelfläche und auf Höhe des obersten Stockwerkes angebracht. Die Flachkollektoren werden auf dem Ostdach installiert und haben eine Bruttofläche von 104 m<sup>2</sup>.

#### 4.4 Erdgaskessel (Varianten 1 & 3)

Da sich die Heizlast nach der energetischen Sanierung des Wohngebäudes reduziert, ist eine kleiner dimensionierte neue Heizanlage nötig. Diese wird in Varianten 1 und 3 mit Brennwertkesseln berechnet.

Brennwertkessel zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Übergangszeit mit niedrigen Rücklauftemperaturen eine Brennwertnutzung möglich machen, denn die niedrigen Rücklauftemperaturen ermöglichen die Ausnutzung der Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas (Brennwertnutzung), sodass der eingesetzte Brennstoff effizient genutzt wird.

Im Adenauerring 7 und 9 sind bereits jeweils ein Brennwertkessel mit dem Baujahr 2003 und einer Leistung von 42 kW<sub>th</sub> installiert. Da die Kessel noch recht neu sind, wird in Variante 3 nur die Deinstallation der zwei weiteren Kessel berechnet und die Umstellung der Heizungsanlagen und auf eine Anlage.

In Variante 1 wird dazu im Vergleich ein neuer Brennwertkessel berechnet, der noch effektiver arbeitet (höherer Jahresnutzungsgrad, da höherer Kesselwirkungsgrad).

Um die benötigte Heizleistung von ca. 33 kW<sub>th</sub> abdecken zu können, wird für Variante 1 (neuer Brennwertkessel) ein Heizkessel mit 35 kW<sub>th</sub> ausgewählt. Die bereits vorhandenen Brennwertkessel haben eine Wärmeleistung von 42 kW<sub>th</sub>.

#### 4.5 Sole-Wasser Wärmepumpe (Variante 2)

Mit Wärmepumpen kann Umweltwärme eines niedrigen Temperaturniveaus mit Hilfe zugeführter Antriebsenergie auf ein hohes Temperaturniveau angehoben werden und dadurch für Heizzwecke nutzbar gemacht werden.

Als Wärmequelle kann das Erdreich, Wasser und auch Luft dienen. Die Wärmequelle wird in einem Verdampfer durch ein Arbeitsmittel, das bereits bei niedrigen Temperaturen und geringem Druck verdampft, Wärme entzogen. Das nach der Wärmeaufnahme gasförmige Kälte- bzw. Arbeitsmittel wird anschließend in einem Verdichter komprimiert und durch die Druckerhöhung (> 20 bar) auf eine höhere Temperatur gebracht. Danach wird es in einem Kondensator wieder verflüssigt und die dabei freiwerdende Wärme geht auf einen Wärmeträger (z.B. Heizungswasser) über. Wenn sich das Arbeitsmittel nach dem Durchgang durch ein Entspannungsventil wieder im Ausgangszustand befindet, geht es wieder in den Verdampfer, um erneut Umgebungswärme aufzunehmen.

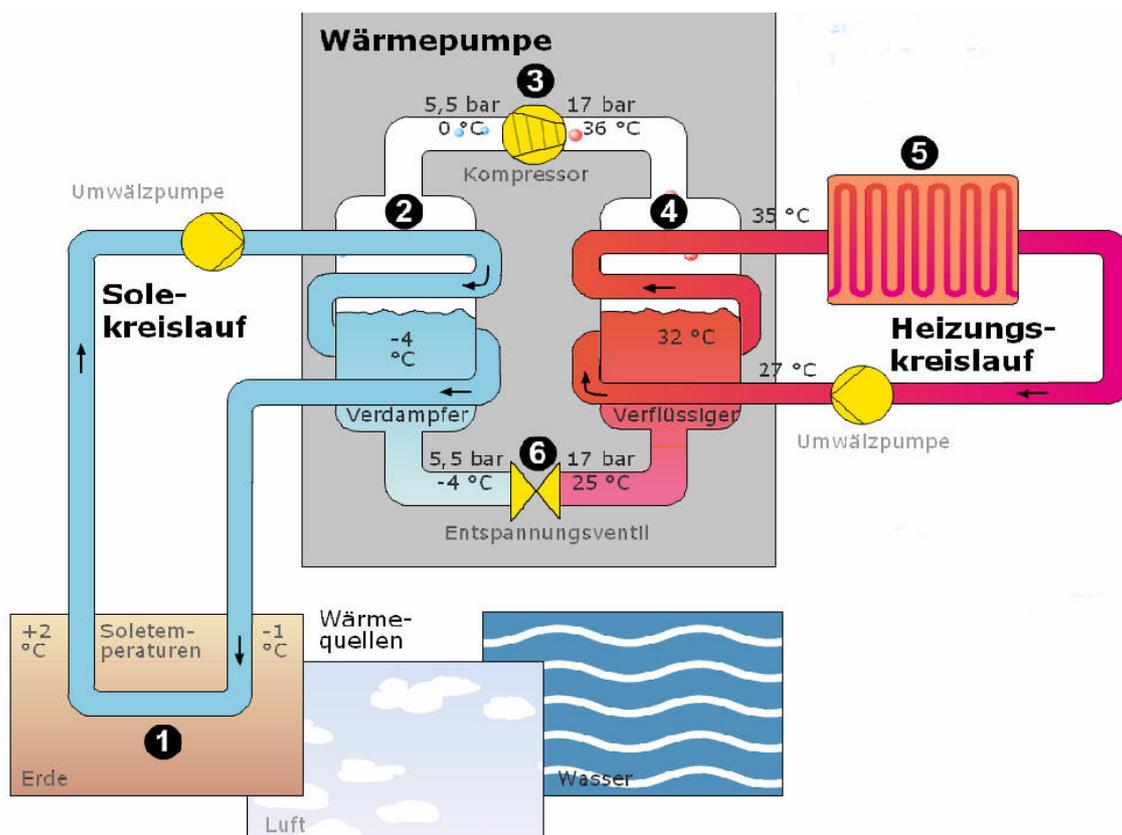


Abbildung 4-6 Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (verändert nach Dimplex GmbH)

Kehrt man die Fließrichtung des Kältemittels durch ein Vierwege-Umschaltventil um, so kann mit einer Wärmepumpe auch gekühlt werden.

Wie viel Umweltenergie die Wärmepumpe für Heiz- oder Kühlzwecke verfügbar macht, hängt von der Temperaturdifferenz der Wärmequelle und der Wärmenutzungsanlage ab. Damit mit der Wärmepumpe eine möglichst hohe Leistungszahl erreicht wird, ein hoher Anteil an Umweltenergie genutzt wird und möglichst wenig hochwertige Energie wie z.B. Strom oder Erdgas am Kompressor zugeführt werden muss, sollte die zu überbrückende Wärmedifferenz möglichst gering gehalten werden. Dies erreicht man durch ein möglichst hohes Temperaturniveau der Wärmequelle und ein möglichst niedriges Temperaturniveau des Wärmeverteilsystems (z.B. Fußbodenheizung VL 35°C).

Bei einem bivalenten Betrieb sollte die Wärmepumpe wegen der hohen spezifischen Kosten nur die Grundlast abdecken. Das bedeutet, dass sie ca. 30 - 50 % der Wärmeleistung abdeckt, während die Spitzenlast von einem anderen Wärmeerzeuger z.B. einem Elektro-Heizstab oder einem Kessel abgedeckt wird. Dimensioniert man die Wärmepumpe zu klein, so erzielt man nur eine geringe Brennstoffeinsparung, dimensioniert man sie zu groß, so taktet die Wärmepumpe zu oft, wodurch die Standzeit verringert wird und Verluste in Effizienz und Komfort auftreten.

Durch einen Pufferspeicher kann ein Lastausgleich geschaffen werden und dadurch die Schalthäufigkeit verringert werden, wodurch die Wärmepumpe längere Standzeiten erreicht. Ein Pufferspeicher sollte ca. 20 bis 50 l/kW<sub>th</sub> fassen und so dimensioniert sein, dass die Wärmepumpe mindestens drei Stunden laufen kann.

Damit eine Wärmepumpe im Wohngebäude Adenauerring 5,7, & 9 zum Einsatz kommen kann bzw. Energieeinsparungen erzielt werden, müssen einige Grundvoraussetzungen erfüllt werden.

Das Gebäude muss soweit gedämmt werden, dass mindestens Neubauniveau erreicht wird. Dieses kann mit der energetischen Sanierung auch erreicht werden.

Wärmepumpen finden optimalerweise in Kombination mit Nieder-Temperaturheizsystemen wie z.B. Fußbodenheizungen (VL 35°C) Anwendung und werden nur in Ausnahmefällen bis 60°C betrieben, wobei sie sehr schlechte Leistungszahlen erreichen. Durch entsprechende Dämmmaßnahmen kann die Vorlauftemperatur in den vorhandenen Heizkörpern soweit abgesenkt werden, so dass eine Wärmepumpe zumindest einen Teil der Wärmeerzeugung übernehmen kann. Werden alle dargestellten Maßnahmen durchgeführt, so kann die Vorlauftemperatur in den Heizkörpern auf ca. 55°C abgesenkt werden. Das Temperaturniveau wurde für einen energetisch ungünstig liegenden Raum des Wohngebäudes (2 Außenwände und großer Fensterflächenanteil) geprüft und war ausreichend dimensioniert.

Besonders in den Übergangszeiten kann die Wärmepumpe gut genutzt werden. Alternativ zur Temperaturabsenkung in den vorhandenen Heizkörpern kann eine Fußbodenheizung installiert werden. Der Aufwand für diese Umbaumaßnahme ist jedoch unverhältnismäßig zu

dem Nutzen der durch einen Einsatz der Wärmepumpe erzielt werden kann. Die Bodenaufbauten werden um einige Zentimeter erhöht, die Türen müssen angepasst werden und sämtliche Fußböden im Rahmen der Maßnahme erneuert werden.

Die Anlage wurde für das Wohngebäude als bivalenter Betrieb konzipiert, d.h. dass neben der Wärmepumpe ein zweiter Wärmeerzeuger zum Einsatz kommt. Dies ist in diesem Fall ein eingebauter Elektroheizstab. So wird im Spitzenlastbetrieb in den Wintermonaten, wenn die Leistung der Wärmepumpe nicht mehr ausreicht, der zweite Wärmeerzeuger zugeschaltet.

Durch große Pufferspeicher wird ein Lastausgleich geschaffen und dadurch die Schalthäufigkeit verringert, wodurch die Wärmepumpe längere Standzeiten erreicht und effektiver genutzt wird. Das Pufferspeichervolumen umfasst zusammen mit der Solaranlage ca. 900 Liter. Das Kellerschoss bietet ausreichend Platz für die Speicher: Es können die alten leerstehenden Heizöltankräume genutzt werden.

### Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgung des Wohngebäudes unter Berücksichtigung eines höheren Dämmstandards aufgeführt.

		Variante 1 BW-Erdgas neu & Solarthermie	Variante 2 Wärmepumpe & Solarthermie	Variante 3 BW-Erdgas alt & Solarthermie
Wärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	71.492	71.492	71.492
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	45	45	42
Jahresnutzungsgrad	%	93		92
<b>Wärmeerzeugung</b>				
BW-Erdgaskessel	kWh <sub>th</sub> /a	58.557		58.557
Wärmepumpe	kWh <sub>th</sub> /a		58.557	
Solarthermie	kWh <sub>th</sub> /a	12.935	12.935	12.935
<b>Erdgasbedarf</b>	kWh <sub>Hu</sub> /a	63.000		63.600
	<b>kWh<sub>Ho</sub>/a</b>	<b>69.300</b>		<b>70.000</b>
Erdgasmenge	m <sup>3</sup> /a	6.300		6.360
<b>Strombedarf</b>	<b>kWh<sub>el</sub>/a</b>	<b>665</b>	<b>18.628</b>	<b>665</b>

Tabelle 4-2 Energiebilanz

Die solarthermische Anlage liefert rund 18% des Wärmebedarfs des Wohngebäudes. Die restlichen 82% liefern jeweils die Brennwert-Erdgaskessel in den Varianten 1 und 3 beziehungsweise die Wärmepumpe in der Variante 2.

Die benötigte Erdgasmenge fällt in Variante 3 geringfügig höher aus als in Variante 1, da der Kesselwirkungsgrad des alten Erdgaskessels niedriger ist als bei dem neuen Erdgaskessel anzusetzen ist.

#### 4.6 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission für Erdgas beträgt 254,1 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub>, für Strom 682,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>.

		Ist-Zustand vorhandene Kesselanlage	Dämmung vorhandene Kesselanlage	Dämmung Erdgas neu & Solarthermie	Dämmung Wärmepumpe & Solarthermie	Dämmung Erdgas alt & Solarthermie
Erdgasbedarf	kWh <sub>Hu</sub> /a	213.900	80.300	63.000		63.600
Strombedarf: Wärmepumpe	kWh <sub>el</sub> /a				15.826	
Strombedarf: Hilfsenergie	kWh <sub>el</sub> /a	1.900	700	665	2.802	665
CO <sub>2</sub> -Emissionen	t CO <sub>2</sub> / a	56	21	16	13	17

**Tabelle 4-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz**

Mit einem verbesserten Wärmedämmstandard werden sich mit der bestehenden Kesselanlage die Kohlendioxid-Emissionen um gut 63 % verringern. Durch eine Neudimensionierung der Kesselanlage mit Unterstützung von Solarthermie werden mit einem Erdgaskessel etwa 20-24 %, mit einer Sole/Wasser Wärmepumpe ca. 38 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum verbesserten Wärmedämmstandard eingespart.

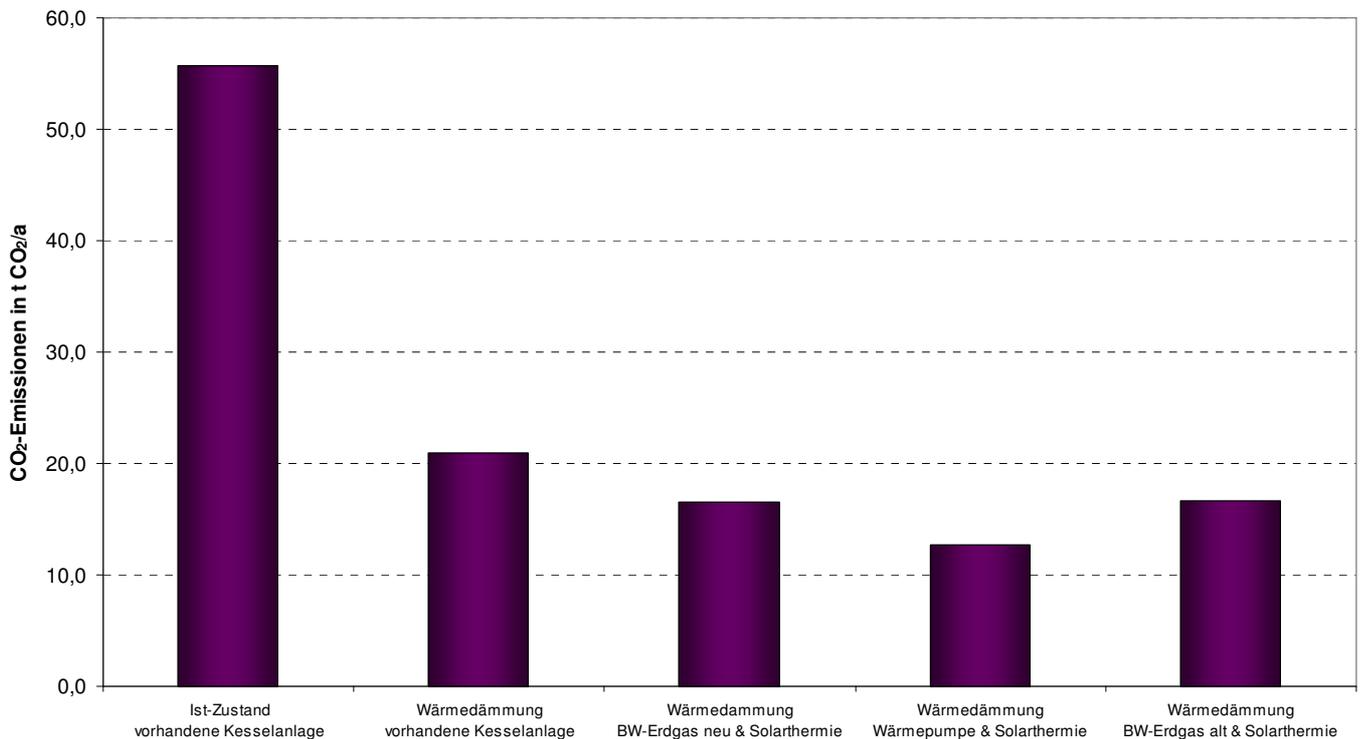


Abbildung 4-7 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

#### 4.7 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung

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. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt. Die Abschreibungsdauer sind aus der AFA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter des Bundesministeriums der Finanzen vom 15.12.2000 und aus der VDI 2067 entnommen.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 5. Dezember 2007“ kann für große Solarkollektoranlagen mit thermischer Nutzung und mehr als 40 m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche ein Tilgungszuschuss von 30% der förderfähigen Nettoinvestitionskosten beantragt werden. Für effiziente Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 3,7 im Gebäudebestand kann nach dem Marktanreizprogramm eine Förderung von 2.000 € je Wohneinheit beantragt werden. Diese ist allerdings auf 10 % der nachgewiesenen Nettoinvestitionskosten der Wärmepumpenanlage begrenzt.

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz ohne Förderungen	5,0 %
Zinssatz KfW Programm zur ÖKO-PLUS-Maßnahme	4,35 %
Abschreibungsdauer Demontage	20 Jahre
Abschreibungsdauer Heizkessel	20 Jahre
Abschreibungsdauer Rohrleitungen	20 Jahre
Abschreibungsdauer (Wärme)Pumpe	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bohrung & Erdsonde	40 Jahre
Abschreibungsdauer Solarthermische Anlage	20 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Erdgas <sup>4</sup>	7,79 Ct/kWh <sub>Ho</sub> (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas <sup>4</sup>	337 - 361 €/Jahr (inkl. MwSt.)
Strompreis <sup>5</sup>	19,75 Ct/kWh <sub>el</sub> (inkl. MwSt.)
Sonderpreis Strom Wärmepumpe <sup>6</sup>	14,55 Ct/kWh <sub>el</sub> (inkl. MwSt.)
Mess- und Schaltpreis Wärmepumpe <sup>6</sup>	43,84 €/Jahr (inkl. MwSt.)

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:	1 % der Investition (Heizanlage)
Wartung / Instandhaltung Solarthermische Anlage:	0,5 % der Investition
Wartung / Instandhaltung Erdsonde & Wärmepumpe:	1 % der Investition
Personalkosten	40 €/h (inkl. MwSt.)
Emissionsüberwachung Erdgaskessel	95 €/a (inkl. MwSt.)

<sup>4</sup> Thürga Rheinhessen-Pfalz: Gasabrechnung September 2007

<sup>5</sup> nach Anbieter energis FamiFit

<sup>6</sup> nach Anbieter energis: Stand 10.10.2008

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		<b>Variante 1 BW-Erdgas neu &amp; Solarthermie</b>	<b>Variante 2 Wärmepumpe &amp; Solarthermie</b>	<b>Variante 3 BW-Erdgas alt &amp; Solarthermie</b>
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	45	45	42
<b>Demontage</b>				
Demontage Kesselanlage	€	700	700	500
<b>Heizanlage</b>				
Erdgas-BW-Kessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	6.100		
Erdsonde und Sole/Wasser Wärmepumpe inkl. Montage und Inbetriebnahme	€		77.613	
Anbindung der Gebäudeteile an einen Wärmeerzeuger (Pumpe, Rohrleitungen, etc.)	€	3.700	3.700	3.700
<b>Solarthermie</b>				
Solarthermische Anlage mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	97.200	97.200	97.200
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>				
Planung, Unvorhergesehenes	€	16.100	26.900	15.200
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>€</b>	<b>123.800</b>	<b>206.113</b>	<b>116.600</b>
<b>Förderungen</b>				
Förderung Bund: Marktanreizprogramm, Wärmepumpe	€		6.426	
Förderung Bund: Marktanreizprogramm, Solarthermie	€	24.492	24.492	24.492
<b>Gesamtinvestition inkl. Förderung</b>	<b>€</b>	<b>99.308</b>	<b>175.195</b>	<b>92.108</b>

**Tabelle 4-4 Investitionskosten**

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die Kosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
		<b>BW-Erdgas neu &amp; Solarthermie</b>	<b>Wärmepumpe &amp; Solarthermie</b>	<b>BW-Erdgas alt &amp; Solarthermie</b>
Wärmeleistung	$\text{kW}_{\text{th}}$	45	45	42
<b>Investition inkl. MwSt.</b>	<b>€</b>	<b>123.845</b>	<b>206.158</b>	<b>116.642</b>
<b>inkl. Förderung und MwSt.</b>	<b>€</b>	<b>99.308</b>	<b>175.195</b>	<b>92.108</b>
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	9.771	15.089	9.168
inkl. Förderung und MwSt.	€/a	7.913	12.736	7.310
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	5.987	2.902	6.014
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	642	691	642
<b>Jahreskosten inkl. MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>16.400</b>	<b>18.682</b>	<b>15.824</b>
<b>inkl. Förderung und MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>14.542</b>	<b>16.329</b>	<b>13.966</b>
<b>Wärmepreis inkl. MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>22,9</b>	<b>26,1</b>	<b>22,1</b>
<b>inkl. Förderung und MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>20,3</b>	<b>22,8</b>	<b>19,5</b>

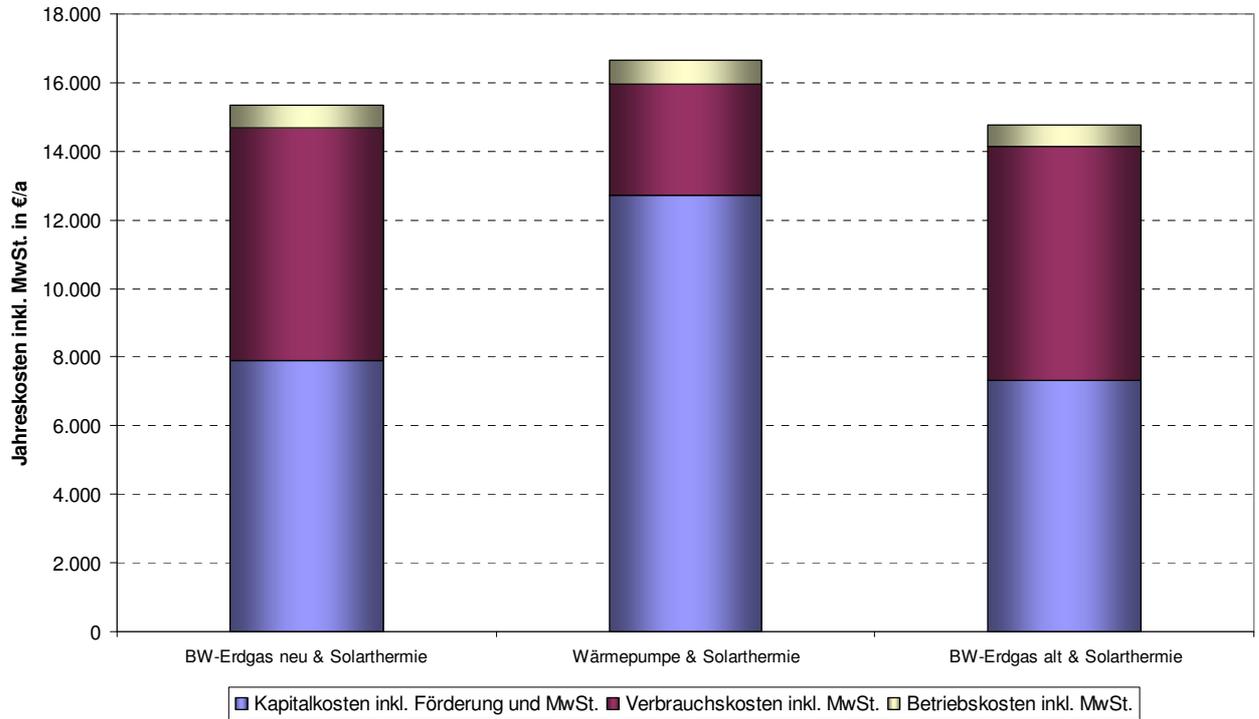
**Tabelle 4-5 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung**

Die Jahreskosten der drei Varianten liegen in einem Bereich von ca. 15.800 €/a und 18.700 €/a unter Berücksichtigung von Fördermitteln.

Der Wärmepreis für die Variante 1 (neuer Erdgasbrennwertkessel & Solarthermie) beträgt 20,3 Ct/kWh<sub>th</sub>, für die Variante 3 (alter Erdgasbrennwertkessel & Solarthermie) 19,5 Ct/kWh<sub>th</sub>. Der Wärmepreis für Variante 2 (Sole/Wasser Wärmepumpe & Solarthermie) beträgt 22,8 Ct/kWh<sub>th</sub>.

Es stellt sich die Wärmeversorgung mit einem Erdgas-Brennwertkessel als die wirtschaftlichste heraus. Dabei ist die Nutzung eines bereits im Gebäude installierten Kessels durch die niedrigeren Investitionskosten wirtschaftlicher als einen neueren (effizienteren) Kessel einzusetzen.

Die Jahreskosten der Wärmepumpenvariante liegen um ca. 12 bis 17 % höher als die Jahreskosten der beiden anderen Varianten.



**Abbildung 4-8 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung**

## 5 Fotovoltaikanlage

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.

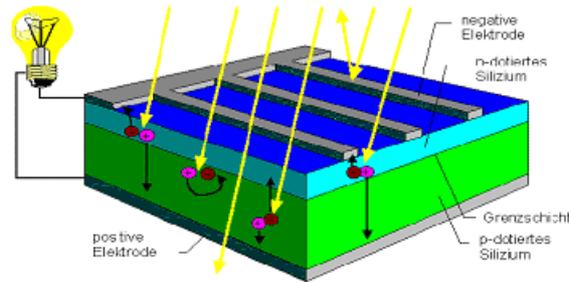


Abbildung 5-1 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

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

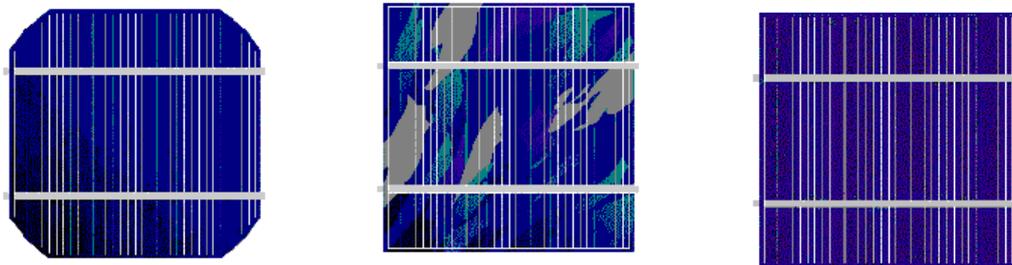


Abbildung 5-2 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)

Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt über 250 verschiedene PV-Module auf dem Markt. Diese unterscheiden sich durch ihre Abmaße, Leistung, Zelltypen und nicht zuletzt durch ihren Rahmen und die Einbindung in Montagesysteme (z.B. Fassadensysteme). Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr einen nahezu gleich bleibenden 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.

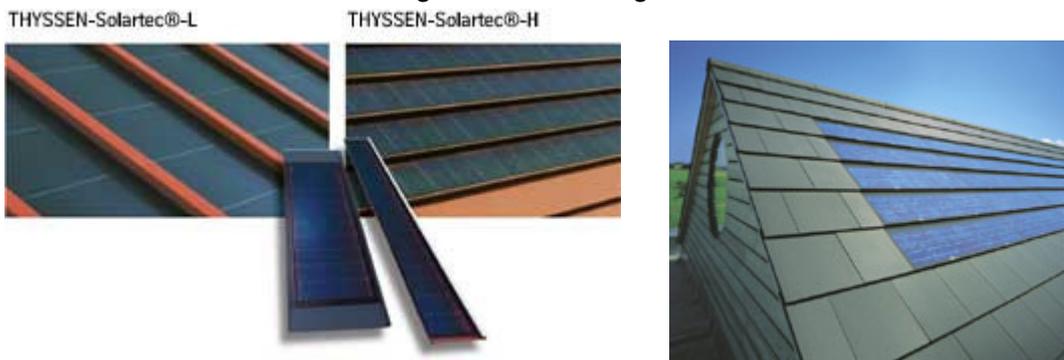


Abbildung 5-3 Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

### Inselanlage oder netzgekoppelte Anlage

Fotovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden. Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solargenerator (bestehend aus den Fotovoltaikmodulen), Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher.

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. Eine netzgekoppelte Anlage benötigt keine Batteriespeicher und ist daher wesentlich kostengünstiger als eine Inselanlage.



Abbildung 5-4 Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

### Leistung und Ertrag

Eine Fotovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung ( $kW_{Peak}$ ) 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.  $60^\circ$ :

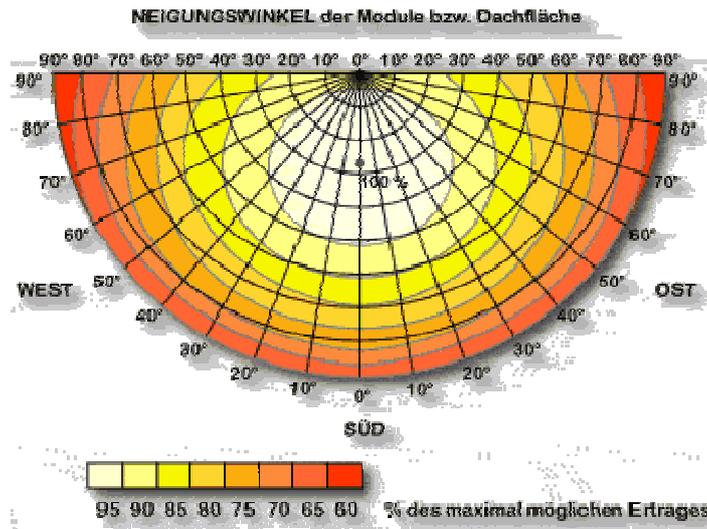


Abbildung 5-5 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargeräts (Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund  $750 - 850\text{ kWh}$  je  $kW_{Peak}$ , in Süddeutschland unter optimaler Bedingung können über  $900\text{ kWh}$  je  $kW_{Peak}$  geerntet werden. Eine Verschattung der Fotovoltaikmodule durch Schornsteine oder Bäume sollte unbedingt vermieden werden, da dadurch der Ertrag reduziert wird.

### Genehmigung von Fotovoltaikanlagen

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.

**Einsatzmöglichkeit bei dem Wohngebäude Konrad-Adenauerring 5/7/9 in Bellheim**

Zur Installation von Fotovoltaikmodulen ist die nach Westen (WSW) gerichtete Dachfläche des Wohngebäudes geeignet. Die 30° Neigung des Dachs ist zur Installation von Fotovoltaikmodulen gut geeignet.

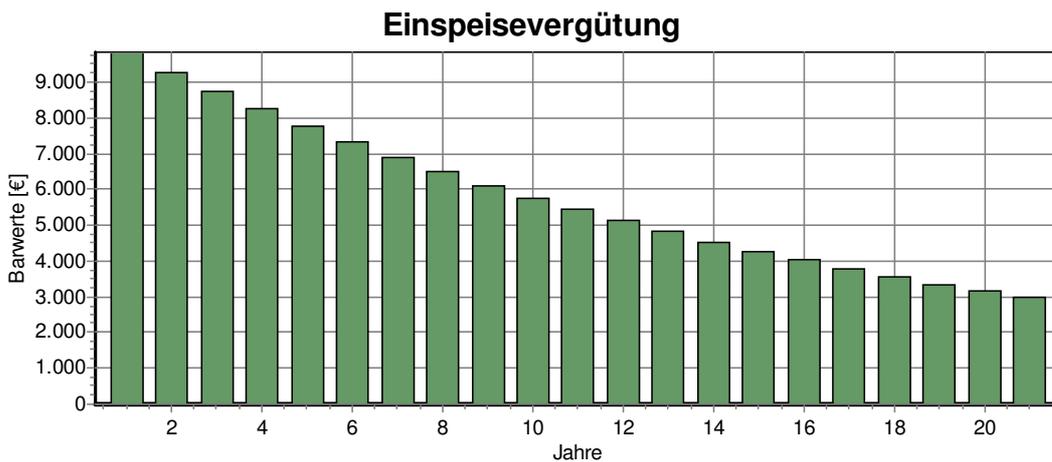
Im Folgenden wird das Potential für Fotovoltaik ermittelt.

Mithilfe eines Simulationsprogramms wurde der zu erwartende Ertrag ermittelt. Auf den Solarstrahlungsdaten des Standorts Neustadt an der Weinstrasse beruhen die Berechnungen. In der Tabelle sind die relevanten Dachdaten und die zu erwartenden Erträge angegeben.

Fotovoltaik		
Dachfläche gesamt	m <sup>2</sup>	296
Dachneigung		30°
Azimut (Südabweichung)		70°
Fotovoltaikmodulfläche	m <sup>2</sup>	260
Leistung	kW <sub>p</sub>	29,4
Spez. Ertrag	kWh <sub>el</sub> /kW <sub>p</sub>	761,66

**Tabelle 5-1 Erträge Fotovoltaik**

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 20% auftritt. So verringert sich von Jahr zu Jahr die Stromvergütung bei einer konstanten Einspeisevergütung.



**Abbildung 5-6 Auswirkungen der Degradation auf die jährliche Einspeisevergütung**

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden folgende Rahmenbedingungen zu Grunde gelegt.

Investitionskosten zzgl. MwSt.	112.000 €
Zinssatz Kredit	5,0 %
Betriebsgebundene Kosten	0,7 % der Investitionskosten
Einspeisevergütung (Inbetriebnahme: 2009)	43,01 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 nach dem Entwurf des EEG 2009 für eine Leistung bis 30 kW 43,01 Ct/kWh<sub>el</sub>, ab 30 kW 40,91 Ct/kWh<sub>el</sub> und ab 100 kW 39,58 Ct/kWh<sub>el</sub> für Inbetriebnahme im Jahr 2009. Die Mindestvergütung wird für die Dauer von 20 Jahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres gezahlt.

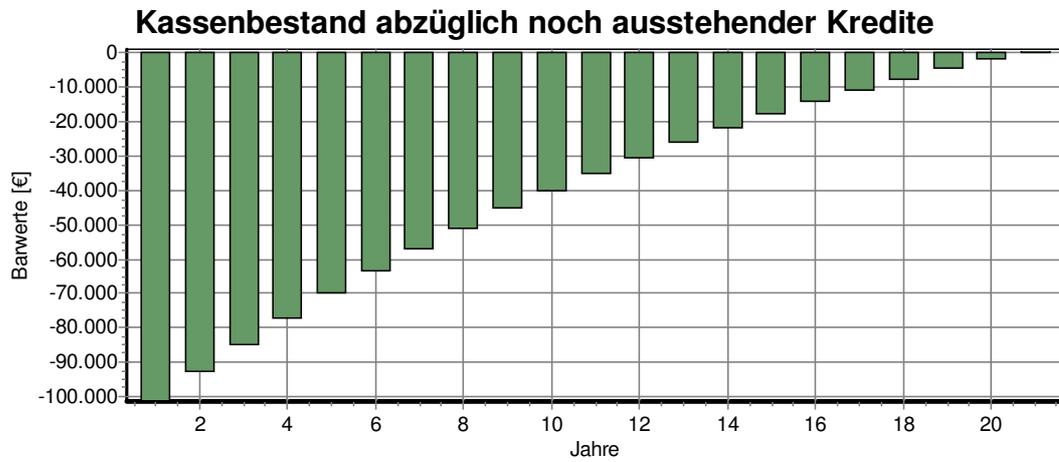
In der Wirtschaftlichkeit wird ein Zeitraum von 21 Jahren entsprechend dem Zeitraum der Vergütungszahlungen betrachtet. Die Kosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

Investition	€	112.000
Kreditzahlungen (20 Jahre)	€	110.500
Betriebskosten (21 Jahre)	€	10.050
Einspeisevergütung (21 Jahre)	€	121.543
Kassenbestand (nach 21 Jahren)	€	1.030
Mindestlaufzeit der Anlage	a	20

**Tabelle 5-2 Wirtschaftlichkeit Fotovoltaikanlage**

Die Mindestlaufzeit der Anlagen, in der der Barwert der Kreditzahlungen zurückgeflossen ist, beträgt 20 Jahre.

Für den Zeitraum von 21 Jahren, in denen eine Einspeisevergütung nach dem EEG gezahlt wird, wird der Kassenbestand abzüglich noch ausstehender Kredite abgebildet.



**Abbildung 5-7 Kassenbestand (kumulierter Cash Flow)**

Damit ist aus wirtschaftlicher Sicht die Installation einer Fotovoltaikanlage möglich, wenn diese die Grenzkosten von 112.000 € nicht übersteigt.

## 6 Jahresbilanz des Nullheizkostenhauses

Ziel dieser Studie ist es, zu prüfen, inwieweit der Standard eines Nullheizkostenhauses erreicht werden kann. Ein Nullheizkostenhaus erwirtschaftet in einer Jahresbilanz dargestellt die geringen Heizkosten, die auf einem hohen Wärmedämmstandard beruhen, selbst. Um dies zu erreichen, ist die Nutzung solarer Strahlungsenergie erforderlich, die kostenlos zur Verfügung steht.

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die einzelnen Maßnahmen für die Modernisierung des Wohngebäudes auf einen Nullheizkostenstandard aufgezeigt. Im Folgenden werden in Energie- und Heizkostenbilanzen für das Erreichen dieses Standards diskutiert.

### Energetische Sanierung

Die Ergebnisse der energetischen Sanierung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

		Ist-Zustand	Saniert
<b>spezifischer Jahreswärmebedarf</b>			
Heizung	kWh <sub>th</sub> / (a*m <sup>2</sup> )	95,6	26,9
Trinkwarmwasser	kWh <sub>th</sub> / (a*m <sup>2</sup> )	12,5	12,5
<b>Summe</b>	<b>kWh<sub>th</sub> / (a*m<sup>2</sup>)</b>	<b>108,1</b>	<b>39,4</b>
<b>Wärmebedarf</b>			
Heizung	kWh <sub>th</sub> / a	173.341	48.830
Trinkwarmwasser	kWh <sub>th</sub> / a	22.662	22.662
<b>Summe</b>	<b>kWh<sub>th</sub> / a</b>	<b>196.003</b>	<b>71.492</b>
<b>Einsparung Wärmebedarf</b>	<b>kWh<sub>th</sub> / a</b>		<b>124.511</b>

Tabelle 6-1 Bilanz energetische Sanierung

Durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen kann der Gesamtjahreswärmebedarf des Wohngebäudes von 196.000 auf 71.500 kWh<sub>th</sub>/a gesenkt werden. Dies ist eine Einsparung von 124.500 kWh<sub>th</sub>/a.

### Wärmeerzeugung durch solarthermische Anlage

Die Ergebnisse der Computersimulation für eine solartechnische Anlage sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Trinkwarmwasserbedarf	kWh <sub>th</sub> / a	22.662
Deckungsrate Solarthermie	%	57
Wärmegegewinn	kWh <sub>th</sub> / a	12.935

Tabelle 6-2 Bilanz solarthermische Anlage

Der Trinkwarmwasserbedarf beträgt für ein Wohngebäude laut EnEV 2007 (DIN 4108) 12,5 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf die Energiebezugsfläche des Gebäudes. Daraus ergibt sich ein Trinkwarmwasserbedarf für den Adenauerring 5,7 und 9 von 22.662 kWh<sub>th</sub>/a.

Die gewählte Solarthermieanlage (nur Trinkwarmwasserbereitung ohne Heizungsunterstützung) deckt den Trinkwarmwasserbedarf mit 57 % ab. So ergibt sich ein Wärmegewinn durch die Solaranlage von 12.935 kWh<sub>th</sub>/a.

### Jahresbilanz des Nullheizkostenhauses

Die Ergebnisse der Jahresbilanz des Wohngebäudes Adenauerring 5,7 und 9 sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die Kosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

<b>Wärmebedarf Ist-Zustand</b>	<b>kWh<sub>th</sub> / a</b>	<b>196.003</b>
Einsparung durch energetische Sanierung	kWh <sub>th</sub> / a	124.511
Solarthermie	kWh <sub>th</sub> / a	12.935
<b>Wärmebedarf Saniert</b>	<b>kWh<sub>th</sub> / a</b>	<b>58.557</b>
Verbrauchskosten		
Erdgas	€/a	5.803
Hilfsenergie	€/a	109
<b>Verbrauchskosten inkl. MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>5.912</b>
<b>Einspeisevergütung Fotovoltaik</b>	<b>€/a</b>	<b>9.839</b>
<b>Differenzkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>3.927</b>

Tabelle 6-3 Jahresbilanz Nullheizkostenhaus

Mit der energetischen Einsparung durch die Gebäudesanierung und der Solarthermieanlage ergibt sich ein Jahreswärmebedarf für das Wohngebäude von 58.550 kWh<sub>th</sub>/a. Deckt man diesen Wärmebedarf mit einem 42 kW Erdgaskessel ab, so entstehen Jahresverbrauchskosten für Erdgas und Strom von 5.900 €. Dem hingegen erwirtschaftet die Fotovoltaikanlage durch Stromerzeugung einen jährlichen Betrag von 9.800 €. Insgesamt betrachtet erwirtschaftet das Wohngebäude Adenauerring 5,7, und 9 einen Betrag von 3.900 €.

Das Gebäude konnte mit Hilfe einer energetischen Sanierung und der Nutzung von solarer Strahlungsenergie auf einen Nullheizkostenstandard gebracht werden.

## 7 Zusammenfassung

Für das Mehrfamilienwohngebäude Adenauerring 5,7 & 9 in Bellheim ist eine energetische Modernisierung erforderlich. Die Bautechnik entspricht im Wesentlichen dem Standard zur Zeit der Errichtung in 1972. Die vorhandene Erdgaskesselanlage ist zwar noch recht neu und mit der effizienten Brennwertechnik ausgestattet, ist aber teilweise überdimensioniert.

Mit diesem Bericht soll die Eignung des Wohngebäudes auf den Energiestandard eines Nullheizkostenhauses geprüft werden. Im Energiekonzept wurde sowohl der Wärmedämmstandard als auch die Wärmeversorgung des Wohngebäudes untersucht.

Für das Wohngebäude wurden Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmedämmstandards ermittelt. Als Mindestanforderung wurden die Technischen Anforderungen für die ÖKO-PLUS-Maßnahmen nach dem Merkblatt Wohnraum Modernisieren der KfW Förderbank den Berechnungen zu Grunde gelegt.

Unter diesen Voraussetzungen wurden folgende Maßnahmen ausgewählt.

Bauteil	Maßnahme
Außenwände (im Mittel)	15 cm WDVS WLG 035
Balkone	Abriss der Balkone als auskragende Geschoßdecke Neue Anbaubalkone mit eigener Tragkonstruktion
Hausfassade – Glasbausteine	Austausch: Fensterfassade mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung
Hauseingang – Tür / Briefkasten / Fenster	Neuer Hauseingang
Vordach über Hauseingang	Abriss des Vordaches über dem Eingang Ersatz mit eigener Tragkonstruktion
Rolladenkästen	Dämmung mit Außenfassade: 15 cm WDVS WLG 035
Oberste Geschosdecke, gegen unbeheizt	30 cm WD WLG 040
Kellerdecke, gegen unbeheizt	12 cm WD WLG 035 (Kaltseite)
Innenwände gegen unbeheizte Räume	Dämmung mit Kellerdecke: 12 cm WD WLG 035 (Kaltseite)

In einer Ist-Analyse wurden die vorhandenen Daten zum Brennstoffverbrauch ausgewertet. Mit den vorliegenden Gebäudeplänen, der Standortbesichtigung und anhand von gebäudetypischen Bauteilen erfolgte die Berechnung des Wärmebedarfs nach DIN V 18599. Aus den Berechnungen zum Jahresheizwärmebedarf und zur Wärmeleistung wurde die rechnerische Einsparung ermittelt, die prozentual auf den tatsächlichen Jahresheizwärmeverbrauch übertragen wurde.

Die theoretische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt rund 72 %. Auch die erforderliche Wärmeleistung verringert sich um etwa 71 %.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab, dass die jährliche Brennstoffeinsparung durch die Dämmmaßnahmen die Kapitalkosten der Einzelmaßnahmen z. T. decken können. Statisch betrachtet kann das eingesetzte Kapital nach ca. 17 bis 27 Jahren für die einzelnen Dämmmaßnahmen bis auf den Austausch der Glasbausteine und des Hauseingangs und damit noch innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden. Bei der Betrachtung der Gesamtmaßnahme zeigt sich, dass auch diese mit einer Amortisationszeit von gut 27 Jahren noch wirtschaftlich ist. Unter Einbezug dieser Lüftungsanlage ergibt sich für die Gesamtdämmmaßnahme eine Amortisationszeit von fast 40 Jahren und kann somit nicht über die Brennstoffeinsparungen zurückerwirtschaftet werden.

		Glasbau- stein & Hausein- gang	Außen- fassade inkl. Bal- kone	Keller- decke	oberste Geschoß- decke	Gesamt ohne Lüf- tung	Gesamt mit Lüf- tung
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>62.847</b>	<b>189.139</b>	<b>20.481</b>	<b>30.203</b>	<b>302.669</b>	<b>474.437</b>
Kapitalkosten	€/a	4.086	12.296	1.332	1.964	19.677	31.534
Einsparung	€/a	741	7.367	1.200	1.388	11.124	11.919
<b>Jahresbilanz</b>	<b>€/a</b>	<b>-3.345</b>	<b>-4.930</b>	<b>-131</b>	<b>-576</b>	<b>-8.553</b>	<b>-19.615</b>
Statische Amortisation	a	84,9	25,7	17,1	21,8	27,2	39,8

**Tabelle 7-1 Wirtschaftlichkeit Wärmedämmstandard Nullheizkostenhaus**

Zur Bewertung der Maßnahmen wurden nicht nur die direkten Kosten zur Verbesserung des Dämmstandards herangezogen, sondern auch Kosten, die bei Instandhaltungsmaßnahmen, die auch die energetische Verbesserung betreffen, entstehen.

Die Untersuchungen zu einer neuen Wärmeversorgungsanlage beruhten auf dem reduzierten Jahresgesamtwärmebedarf. Als Varianten wurden ein neuer Erdgas-Brennwertkessel, ein bereits in der Anlage vorhandener Erdgas-Brennwertkessel und eine Sole-Wasser Wärmepumpe verglichen. Die Gesamtheizlast für Heizung und Trinkwarmwasser des energetisch sanierten Gebäudes ergab eine erforderliche Wärmeleistung für die Erdgas-Brennwertkessel von 40 kW<sub>th</sub>, für die Wärmepumpe inkl. Sperrzeiten von 45 kW<sub>th</sub>. Alle Varianten wurden mit einer zusätzlichen Solarthermieanlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung gerechnet.

In einer Energiebilanz wurden die Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgungsvarianten ermittelt. Darauf basierte eine Kohlenstoffdioxid-Emissionsbilanz zur ökologischen Bewertung der Varianten. Mit einem verbesserten Wärmedämmstandard werden sich mit der bestehenden Kesselanlage die Kohlendioxid-Emissionen um gut 63 % verrin-

gern. Durch eine Neudimensionierung der Kesselanlage mit Unterstützung von Solarthermie werden mit einem Erdgaskessel etwa 20-24 %, mit einer Sole/Wasser Wärmepumpe ca. 38 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum verbesserten Wärmedämmstandard eingespart.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Nach dem Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 5. Dezember 2007“ können Fördermittel für Solarkollektoranlagen und Wärmepumpenanlagen beantragt werden, die in der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt wurden. Zusätzlich wurde der Wärmepreis für jede Variante unter Annahme eines reduzierten Jahresgesamtwärmebedarfs bestimmt.

		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>
		<b>BW-Erdgas neu &amp; Solarthermie</b>	<b>Wärmepumpe &amp; Solarthermie</b>	<b>BW-Erdgas alt &amp; Solarthermie</b>
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	45	45	42
<b>Investition inkl. MwSt.</b>	<b>€</b>	<b>123.845</b>	<b>206.158</b>	<b>116.642</b>
<b>inkl. Förderung und MwSt.</b>	<b>€</b>	<b>99.308</b>	<b>175.195</b>	<b>92.108</b>
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	9.771	15.089	9.168
inkl. Förderung und MwSt.	€/a	7.913	12.736	7.310
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	5.987	2.902	6.014
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	642	691	642
<b>Jahreskosten inkl. MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>16.400</b>	<b>18.682</b>	<b>15.824</b>
<b>inkl. Förderung und MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>14.542</b>	<b>16.329</b>	<b>13.966</b>
<b>Wärmepreis inkl. MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>22,9</b>	<b>26,1</b>	<b>22,1</b>
<b>inkl. Förderung und MwSt.</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>20,3</b>	<b>22,8</b>	<b>19,5</b>

**Tabelle 7-2 Ergebnisse Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung**

Der Wärmepreis der drei Varianten liegt in einem Bereich von ca. 19,5 und 22,9 Ct/kWh<sub>th</sub> unter Berücksichtigung von Fördermitteln. Nach einer energetischen Modernisierung des Wohngebäudes stellt sich die Wärmeversorgung mit einem bereits vorhandenen Erdgaskessel als die wirtschaftlichste dar.

Nachdem Varianten zur Erneuerung der Wärmeversorgung untersucht wurden, wurden Einsatzmöglichkeiten einer Fotovoltaikanlage geprüft.

Zur Installation von Fotovoltaikmodulen ist die nach Westen (SWW) gerichtete Dachfläche des Wohngebäudes geeignet. Die 30° Neigung des Dachs ist zur Installation von Fotovoltaikmodulen gut geeignet.

<b>Fotovoltaik</b>		
Dachfläche gesamt	m <sup>2</sup>	183
Dachneigung		30°
Azimut (Südabweichung)		70°
Fotovoltaikmodulfläche	m <sup>2</sup>	260
Leistung	kW <sub>p</sub>	29,4
Spez. Ertrag	kWh <sub>el</sub> /kW <sub>p</sub>	761,66
Investition	€	112.000
Kassenbestand (nach 21 Jahren)	€	1.030
Mindestlaufzeit der Anlage	a	20

**Tabelle 7-3 Ergebnisse Fotovoltaik**

Die Mindestlaufzeit der Anlagen, in der der Barwert der Kreditzahlungen zurückgeflossen ist, beträgt 20 Jahre und liegt damit innerhalb der Anlagennutzungsdauer von 25 Jahren. Die Investitionssicherheit ist durch die 20 Jahre lang garantierte Einspeisvergütung und die Leistungsgarantie auf die Fotovoltaikmodule sehr hoch.

Ein Nullheizkostenhaus erwirtschaftet in einer Jahresbilanz dargestellt die geringen Heizkosten, die auf einem hohen Wärmedämmstandard beruhen, selbst. Um dies zu erreichen, ist die Nutzung solarer Strahlungsenergie erforderlich, die kostenlos zur Verfügung steht. Die Ergebnisse der Jahresbilanz des Wohngebäudes Adenauerring 5,7 und 9 sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

<b>Wärmebedarf Ist-Zustand</b>	<b>kWh<sub>th</sub> / a</b>	<b>196.003</b>
Einsparung durch energetische Sanierung	kWh <sub>th</sub> / a	124.511
Solarthermie	kWh <sub>th</sub> / a	12.935
<b>Wärmebedarf Saniert</b>	<b>kWh<sub>th</sub> / a</b>	<b>58.557</b>
Verbrauchskosten Erdgas	€/a	5.803
Hilfsenergie	€/a	109
<b>Verbrauchskosten inkl. MwSt.</b>	<b>€/a</b>	<b>5.912</b>
<b>Einspeisevergütung Fotovoltaik</b>	<b>€/a</b>	<b>9.839</b>
<b>Differenzkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>3.927</b>

**Tabelle 6-3 Jahresbilanz Nullheizkostenhaus**

Mit der energetischen Einsparung durch die Gebäudesanierung und der Solarthermieanlage ergibt sich ein Jahreswärmebedarf für das Wohngebäude von 58.550 kWh<sub>th</sub>/a. Deckt man diesen Wärmebedarf mit einem 42 kW Erdgaskessel ab, so entstehen Jahresverbrauchskosten für Erdgas und Strom von 5.900 €. Dem hingegen erwirtschaftet die Fotovoltaikanlage durch Stromerzeugung einen jährlichen Betrag von 9.800 €. Insgesamt betrachtet erwirtschaftet das Wohngebäude Adenauerring 5,7, und 9 einen Betrag von 3.900 €.

Das Gebäude konnte mit Hilfe einer energetischen Sanierung und der Nutzung von solarer Strahlungsenergie auf einen Nullheizkostenstandard gebracht werden.

**Fazit:**

Für einen verbesserten Wärmedämmstandard stellt sich die Wärmeversorgung mit einem Erdgas-Brennwertkessel bei heute gültigen Energiepreisen wirtschaftlich dar. Allerdings sind die Einsparungen an Kohlendioxid-Emissionen nicht so hoch wie beim Einsatz einer Wärmepumpe.

Für den Einsatz einer Fotovoltaikanlage wird das Westdach empfohlen. Es ist aus wirtschaftlicher Sicht die Installation einer Fotovoltaikanlage mit einer Leistung von 29,4 kW<sub>p</sub> und einer Modulfläche von 260 m<sup>2</sup> möglich, wenn diese die Grenzkosten von 112.000 € nicht übersteigt.

Das Gebäude konnte mit Hilfe einer energetischen Sanierung und der Nutzung von solarer Strahlungsenergie auf einen Nullheizkostenstandard gebracht werden.