

**T.B.E.**  
**Technische Beratung Energie GmbH**

**Energieversorgungskonzept für die  
Wärmeversorgung in Manheim-Neu**

**Wärmeversorgung von  
Mehrfamilienhäusern**

Datum: Februar 2010

Bearbeitungszeitraum: Juli 2009 bis Februar 2010

Im Auftrag der RWE Power wird das bestehende Heizenergieversorgungskonzept für das Umsiedlungsprojekt Manheim-Neu auf Mehrfamilienhäuser ausgedehnt. Dabei finden neben ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten vor allem die sich ändernden rechtlichen und wärmeschutztechnischen Randbedingungen für den Mehrfamilienhausbau besondere Berücksichtigung. Für den Betrachtungszeitraum ab 2012 werden verschiedene, unter den gegebenen Bedingungen technisch mögliche Wärmeversorgungsvarianten untersucht und bewertet.

Die Ergebnisse in diesem Bericht wurden nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet. Vor der Realisierung von Maßnahmen sind in jedem Fall weitergehend detaillierte projektbezogene Planungen erforderlich.

T.B.E.  
Technische Beratung Energie GmbH  
[www.tbe.de](http://www.tbe.de)  
Tel.: 02 03 / 99 54 60  
Bereich: Energietechnische Gutachten

Duisburg, 10.02.2010

---

Dipl.-Ing. Markus Zander

---

Dipl.-Ing. Peter Zube

## Inhalt:

<b>1.</b>	<b>Aufgabenstellung.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Gesetzliche Rahmenbedingungen.....</b>	<b>2</b>
2.1.	Energieeinsparverordnung EnEV .....	2
2.2.	Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich EEWärmeG .	3
2.3.	Nachhaltigkeitsverordnung .....	4
<b>3.</b>	<b>Anforderungen an ein Mehrfamilienhaus ab 2012.....</b>	<b>5</b>
3.1.	Gebäudekennwerte Muster-Mehrfamilienhaus.....	6
3.2.	Eckdaten der Wärmeversorgung im Mustermehrfamilienhaus.....	7
3.3.	Zusammenstellung der Daten für das Musterhaus.....	8
<b>4.</b>	<b>Randbedingungen der Wärmeversorgung.....</b>	<b>9</b>
4.1.	Infrastruktur der Wärmeerzeugung .....	9
4.1.1.	Erdgasversorgung / Flüssiggasnetz.....	9
4.1.2.	Geothermische Wärmequellen .....	10
4.1.3.	Direkte Nutzung solarer Strahlung.....	14
4.2.	Grundlagen der Bewertung von Wärmekonzepten .....	15
4.2.1.	Investitionen .....	16
4.2.2.	Energiekosten .....	16
<b>5.</b>	<b>Konzepte der Wärmeversorgung.....</b>	<b>17</b>
5.1.	Wärmeerzeugung / Anlagentechniken .....	17
5.1.1.	Brennwerttechnik .....	18
5.1.2.	Pelletkessel.....	19
5.1.3.	Elektrisch betriebene Kompressions-Wärmepumpen .....	20
5.1.4.	Motor-Blockheizkraftwerke.....	22
5.1.5.	Gasmotorwärmepumpe .....	23
5.1.6.	Absorptionswärmepumpe .....	24
5.1.7.	Adsorptions-/Zeolithwärmepumpe .....	25
5.1.8.	Weitere Techniken.....	25
5.2.	Bewertungsmatrix .....	26
<b>6.</b>	<b>Bewertung der Konzepte.....</b>	<b>27</b>
6.1.	Brennwertkessel .....	27
6.2.	Festbrennstoffkessel.....	28
6.3.	KWK-Aggregat / BHKW .....	28
6.4.	Elektro-Wärmepumpen.....	29

<b>7.</b>	<b>Ermittlung der Wärmeerzeugungskosten .....</b>	<b>30</b>
7.1.	Erforderliche Investitionen und Kapitaldienst .....	30
7.2.	Jahreskosten kleines Mehrfamilienhaus (3 Wohneinheiten) .....	32
7.2.1.	Investitionen und Kapitaldienst (3WE) .....	32
7.2.2.	Verbrauchsgebundene Kosten (3WE) .....	32
7.2.3.	Betriebsgebundene Kosten (3WE) .....	34
7.2.4.	Jahreskosten und Wärmepreis (3WE) .....	35
7.3.	Jahreskosten großes Mehrfamilienhaus (6 Wohneinheiten) .....	36
7.3.1.	Investitionen und Kapitaldienst (6WE) .....	36
7.3.2.	Verbrauchsgebundene Kosten (6WE) .....	36
7.3.3.	Betriebsgebundene Kosten (6WE) .....	38
7.3.4.	Jahreskosten und Wärmepreis (6WE) .....	39
7.4.	Entwicklung der Kosten bei steigenden Energiepreisen.....	39
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>41</b>
<b>9.</b>	<b>Contracting.....</b>	<b>42</b>

#### **Anhang: Tabellen**

Tabelle 1.1:	Anlagendaten und erforderlicher Energiebedarf kleines Mehrfamilienhaus (3 Wohneinheiten) .....	43
Tabelle 1.2:	Erforderliche Investitionen und Kapitaldienst .....	44
Tabelle 1.3:	Endenergiebedarf und verbrauchsgebundene Kosten .....	45
Tabelle 1.4a:	Betriebsgebundene Kosten .....	46
Tabelle 1.4b:	Kostenzusammenstellung.....	46
Tabelle 2.1:	Anlagendaten und erforderlicher Energiebedarf großes Mehrfamilienhaus (6 Wohneinheiten) .....	47
Tabelle 2.2:	Erforderliche Investitionen und Kapitaldienst .....	48
Tabelle 2.3:	Endenergiebedarf und verbrauchsgebundene Kosten .....	49
Tabelle 2.4a:	Betriebsgebundene Kosten .....	50
Tabelle 2.4b:	Kostenzusammenstellung.....	50

## 1. Aufgabenstellung

Im Zuge der Umsiedlungsplanung für Mannheim-neu hat sich als Ergänzung des bereits vorliegenden Wärmekonzeptes für Einfamilienhäuser die Fragestellung nach der Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern ergeben.

In der nunmehr weiter fortgeschrittenen Planung der Wohnobjekte hat sich gezeigt, dass eine Übertragung der Ergebnisse von kleinen Wohnobjekten (bis 150 m<sup>2</sup>) nicht, oder nur zum Teil auf größere Wohnobjekte (3-6 Wohneinheiten á 90 m<sup>2</sup>) möglich ist. Insbesondere die Grenzen der technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit sollen weiterführend betrachtet werden.

Auch wenn nicht zu erwarten ist, dass alle zurzeit in Mannheim zur Miete wohnenden Einwohner erfolgreich für eine Umsiedlung in neu errichteten Mietwohnraum gewonnen werden können, kann die Betrachtung des Geschosswohnungsbaus nicht außer Acht gelassen werden. In Mannheim-neu sind zurzeit 98 Grundstücke für die Nutzung von Mietwohnbebauung vorgesehen.

Ziel dieser Bearbeitung ist es, nach der Ermittlung des Wärmebedarfs für je ein typisches Mehrfamilienhaus mit drei und mit sechs Wohneinheiten (WE), ökologisch und ökonomisch sinnvolle Anlagenvarianten für die Bereitstellung der Wärme, unter Berücksichtigung der bekannten besonderen Bedingungen in Mannheim-neu, darzustellen und in einem Wirtschaftlichkeitsvergleich gegenüberzustellen.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der ersten Studie Mannheim-neu werden die zur dezentralen Versorgung von Mehrfamilienhäusern geeigneten und technisch umsetzbaren Wärmeerzeuger dargestellt, ausgewertet und nach ökologischen und ökonomischen Aspekten verglichen.

## 2. Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Bundesregierung ist weiterhin bemüht, die Gesetze und Regelungen für die CO<sub>2</sub>-effiziente Wärmebereitstellung zu optimieren und aufeinander abzustimmen. Gerade an dieser Stelle gab es Anfang 2009 einige Irritationen, da Teile bereits in Kraft getretener Gesetze mit neu zu verabschiedenden Gesetzesvorlagen nicht vereinbar waren. Dies hat unter anderem zu einer Verzögerung der EnEV 2009 geführt.

Weitere gesetzliche und normative Vorgaben sind, sofern sie für die Erstellung des Wirtschaftlichkeitsvergleichs notwendig sind, bei den entsprechenden Berichtsteilen angemerkt.

### 2.1. Energieeinsparverordnung EnEV

Die EnEV 2009, die am 01. Oktober 2009 in Kraft getreten ist, liegt nun in der veränderten Fassung vor und dient als Grundlage bei der Ermittlung des Wärmebedarfs der Mehrfamilienhäuser. Das Verfahren sieht vor, dass das zu erstellende Gebäude die Grenzwerte für den Primärenergiebedarf und den durchschnittlichen Transmissionswärmeverlust über die Gebäudehülle, die beide an einem Referenzgebäude ermittelt werden, nicht überschreiten darf.

Diese Grenzwerte werden durch eine weitere Stufe der EnEV, die für 2012 erwartet wird, noch weiter verschärft. In einschlägiger Literatur ist von einer Reduzierung um weitere 30% die Rede. Diese Verminderung des Heizwärmebedarfs scheint plausibel, da diese mit den Klimaschutzzielen der Bundesregierung korreliert.

Die Reduzierung des Wärmebedarfs hat auch Auswirkungen auf die Art der Heizwärmeverteilung und die künstliche Be- und Entlüftung der Gebäude. Beides wird in der weiteren Betrachtung Berücksichtigung finden müssen.

Zur Klimatisierung eines Wohngebäudes besteht 2009 noch keine Verpflichtung. Lediglich eine kontrollierte zentrale Abluftanlage wird als Referenz angesetzt. Sollte dennoch eine Klimatisierung oder kontrollierte Wohnraumbelüftung gewünscht sein, muss deren Energiebedarf bereits ab 2009 in der Primärenergiebetrachtung berücksichtigt werden.

Vergleicht man den zulässigen Wärmebedarf, der durch Novelle der EnEV 2007 gesetzt wurde mit dem entsprechenden Werte der EnEV 2012, hat sich der zulässige Heizenergiebedarf für Wohngebäude innerhalb von fünf Jahre halbiert.

## 2.2. Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich EEWärmeG

Das EEWärme-Gesetz ist eine weitere Umsetzung der Klimaschutzziele der EU mit dem Zweck, den Anteil der erneuerbarer Energien am Wärmebedarf von Gebäuden deutlich zu erhöhen.

Das Gesetz hat drei Hauptbestandteile:

- 1) **Nutzungspflicht:** Eigentümer von Gebäuden, die neu errichtet werden, müssen ab dem 1. Januar 2009 erneuerbare Energien für ihre Wärmeversorgung nutzen. Genutzt werden können alle Formen erneuerbarer Energien auch in Kombination, wobei auch die dem Erdboden entnommene Wärme (Geothermie) oder andere, durch Wärmepumpen nutzbaren Energien als regenerativ gewertet werden. Das Gesetz regelt, welcher Mindestanteil (>15 %) der erzeugten Energie aus erneuerbaren Quellen stammen muss. Sollen keine erneuerbaren Energien eingesetzt werden, sind andere, Klima schonende Ersatzmaßnahmen zulässig:
  - erhöhte Gebäudeaußendämmung
  - Nutzung von Abwärme
  - Wärme aus Fernwärmenetzen (mit Auflagen)
  - Wärme aus KWK-Anlagen (mit Auflagen)
  - (Nutzung von Anlagentechniken mit nachweislicher Primärenergieeinsparung von mindest 15% gegenüber der Referenzvariante)
- 2) **Finanzielle Förderung:** Die Bundesregierung stockt das bestehende Marktanreizprogramm (MAP) zum Einsatz von erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung erheblich auf.
- 3) **Wärmenetze:** Das Gesetz erleichtert und fördert den Ausbau von Nahwärmenetzen. Insbesondere können Kommunen den Anschluss an solche vorhandenen Netze im Interesse des Klimaschutzes vorschreiben.

Es steht nicht zu erwarten, dass das EEWärmeG bis zum Zeitpunkt der beginnenden Umsiedlung außer Kraft gesetzt werden wird. Somit sind die oben beschriebenen Anforderungen maßgeblich.

### 2.3. **Nachhaltigkeitsverordnung**

Die Herstellung und der Vertrieb von flüssiger Biomasse zur Verwendung in Stromerzeugenden Anlagen (z.B. KWK-Anlagen mit Biopflanzenöl) unterliegen, wenn Anspruch auf den KWK-Zuschlag geltend gemacht werden soll, der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung. Die Verordnung trat am 24.08.2009 in Kraft und ergänzt die Anforderungen an flüssige Biomasse beim Einsatz in Anlagen nach dem Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG).

So besteht ein Vergütungsanspruch für KWK-Strom aus dem EEG für flüssige Biomasse nur dann, wenn der Schutz natürlicher Lebensräume gewährleistet ist und nachgewiesen werden kann, dass die Kraftstoffe aus einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung stammen. Des Weiteren ist nachzuweisen, dass durch den Einsatz der Bioöle im Vergleich zu fossilen Energieträgern 35% weniger Treibhausgase emittiert werden.

Für den anteiligen Einsatz von Bioölen in Brennwertkesseln zur Erfüllung des EEWärmeG muss auf flüssige Biomasse im Sinne dieser Verordnung und unter Berücksichtigung der geforderten Bedingungen zurückgegriffen werden.

### **3. Anforderungen an ein Mehrfamilienhaus ab 2012**

Die Umsiedlung für Mannheim wird mit der Einrichtung der ersten bezugsfertigen Grundstücke auf dem Gelände Kerpen-Dickbusch nicht vor 2012 beginnen können. Somit wird als Grundlage für die Ermittlung des Wärmebedarfs der zu erwartende gesetzliche Standard ab 2012 zugrunde gelegt.

Aus den gesetzlichen Regelungen lassen sich direkt folgende Maßnahmen zum Gebäudewärmeschutz ableiten:

- Der Dämmstandard von Wohngebäuden wird weiter erhöht
- Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) sind Standard
- Heizwärmeverteilung müssen optimiert werden (Niedertemperatur-Flächenheizung)

Bereits bestehende Anforderungen sind weiterhin gültig. Dazu gehören:

- Effiziente und teilweise regenerative Wärmeerzeugung ist vorgeschrieben
- Dämmung und Anlagentechnik nach Mindestanforderungen der jeweils gültigen gesetzlichen Bedingungen (EnEV 2012, EEWärmeG)
- Warmwasserbereitung erfolgt zentral durch die Heizungsanlage
- Die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle muss überprüft werden (Blower-Door-Test)
- Wärmebrücken müssen konstruktiv und bauseits vermieden werden
- Isolierung des Verteilnetzes bei gleichzeitiger Verlegung innerhalb der thermischen Hülle
- Bei Warmwasserzirkulation muss die Zirkulationspumpe bedarfsgeregelt sein

Die Maßnahmen zur Senkung des Primärenergiebedarfs beschränken sich nicht mehr nur auf die Wärmeerzeugung und den Wärmebedarf des Hauses. Vielmehr werden auch weitere Energieverbraucher, die direkt oder mittelbar mit der Wärmebereitstellung und Verteilung der Wärme und der Lüftung und Kühlung des Gebäudes zusammenhängen (z.B. Antriebsenergie der Pumpen, Hilfsstrom etc.) mit in die Bilanzierung der Primärenergie einbezogen. Aus ökologischer Sicht ist diese Betrachtungsweise vernünftig, führt jedoch dazu, dass eine Vergleichbarkeit der einzelnen Wärmeerzeugungsanlagen erschwert wird, da verschiedene Anlagentypen möglicherweise bei unterschiedlicher Peripherie ihr Optimum erreichen.

### 3.1. Gebäudekennwerte Muster-Mehrfamilienhaus

Die Vorgaben aus der Bürgerbefragung und der Trend im Bereich des Mietwohnungsbaus stecken den planerischen Rahmen ab, in dem sich das zu betrachtende Gebäude befinden soll.

Die vorherrschende Gebäudegrundform im Bereich Kerpen, Außenbezirke, ist freistehend mit Satteldach. Diese Dachform wird auch für das Musterhaus angesetzt. Die übliche Bauweise ist das Massivhaus aus Mauerwerk und Stahlbetonzwischendecken.

Die gewünschte Wohnfläche pro Wohneinheit ist mit ca. 90 m<sup>2</sup> festgelegt. Des Weiteren ist deutlich geworden, dass in eher ländlichen Gebieten die Anzahl der Wohneinheiten pro Haus nicht größer als sechs sein darf, um den Anspruch der potenziellen Mieter zu genügen.

Die Möglichkeiten drei bis sechs Wohneinheiten auf ein Mehrfamilienhaus zu verteilen sind vielfältig. Die häufigste Form sind zwei Vollgeschosse mit ausgebautem Dachgeschoss, evtl. als Maisonette-Wohnung über zwei Ebenen. Somit ergibt sich ein Mehrfamilienhaus mit drei Wohneinheiten, für den Fall, dass eine Wohneinheit pro Etage gebaut wird. Bei zwei Wohneinheiten pro Etage ist ein Sechs-Familienhaus möglich.

Der Keller der Häuser wird als nicht beheizt gewählt. Die Aufstellung der Heizungsanlage erfolgt somit außerhalb der thermischen Hülle (EnEV-konform).

Die Obergrenze des Wärmebedarfs wird nach den Vorgaben der EnEV 2009 bestimmt und ergibt sich für das Referenzgebäude zu:

#### Jahreswärmebedarf EnEV 2009

	Einheit	ohne WWB	WWB	Summe
spez. Jahresenergiebedarf Q <sub>p</sub> " 2009	[kWh/m <sup>2</sup> a]	75,0	10,0	85,0

#### 2012 ist eine Reduzierung des Energiebedarfs von 30% angestrebt:

	Einheit	ohne WWB	WWB	Summe
spez. Jahresenergiebedarf Q <sub>p</sub> " 2012	[kWh/m <sup>2</sup> a]	52,5	10,0	62,5

Mit einer Nettowohnfläche von ca. 300 m<sup>2</sup> für das Dreifamilienhaus und ca. 580 m<sup>2</sup> für das Sechsfamilienhaus ergibt sich die Obergrenze des Nutzwärmebedarfs nach Baustandard 2012 wie folgt:

Haustyp	Wohnfläche	Heizwärmebedarf	WWB	Nutzwärmebedarf
Haus mit 3 WE	300 m <sup>2</sup>	15.700 kWh/a	4.100 kWh/a	<b>20.000 kWh/a</b>
Haus mit 6 WE	580 m <sup>2</sup>	28.000 kWh/a	8.200 kWh/a	<b>36.200 kWh/a</b>

Die Warmwasserbereitung erfolgt über die Zentralheizung. Die benötigte Wärmemenge ergibt sich aus dem Warmwasserwärmebedarf pro Wohneinheit von 650 kWh/Person im Mehrfamilienhaus bei einer statistischen Belegung von 2,1 Person/WE, multipliziert mit der jeweiligen Objektgröße.

### 3.2. Eckdaten der Wärmeversorgung im Mustermehrfamilienhaus

Der berechnete **spezifische Jahresgesamtenenergiebedarf** (beinhaltet neben Heizwärmeerzeugung und Warmwasserbereitung auch sämtliche Energien für Klimatisierung sowie den Hilfsstrombedarf) von **ca. 63 kWh/m<sup>2</sup>a** kann über einen höheren Dämmstandard noch weiter reduziert werden. Die höheren Baukosten führen über die Einsparung von Energie jedoch zu niedrigeren Wärmeerzeugungskosten. Eine Amortisation kann, je nach Objekt und Ausführung, unter Umständen schon nach wenigen Jahren erreicht werden.

In Sonderfällen kann der spezifische Wärmebedarf („Nullenergiehaus“) theoretisch auf 2 bis 5 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt werden. Die Kosten für dieses extrem energiesparende Bauen sind allerdings wirtschaftlich kaum mehr darstellbar und werden von den Auftraggebern meist durch rein ökologische Betrachtungsweisen gerechtfertigt. Untersuchungen haben gezeigt, dass Mieter eines Mehrfamilienhauses sehr stark für diese ökologische Betrachtungsweise sensibilisiert werden müssen, damit das Nutzerverhalten sich den Erfordernissen anpasst.

Zunehmend schwierig gestaltet sich bei sinkendem Heizwärmebedarf die Versorgung mit warmem Wasser, da dieses auf eine höhere Temperatur (> 55°C) erhitzt werden muss, als für die reine Beheizung des Gebäudes notwendig wäre. Der Anteil der Brauchwasserbeheizung am Gesamtwärmebedarf beträgt ab 2012 ca. 25%.

Die Klimatisierung von Wohngebäuden, so gewünscht, wird durch die vorgeschriebene und somit vorhandene Lüftungsanlage zunehmend einfacher und weniger kostenintensiv. Obwohl die hohe Dämmung des Gebäudes und die Beachtung der Vorgaben für den sommerlichen Wärmeschutz eine Klimatisierung nicht notwendig machen, kann davon ausgegangen werden, dass vermehrt die Klimatisierung der Raumluft auch im Sommer eine Rolle spielen wird. In die Primärenergiebilanz eines Gebäudes muss eine solche, meist elektrische Kühlung mit einberechnet werden.

### 3.3. Zusammenstellung der Daten für das Musterhaus

Als Musterhaus wird ein freistehendes Mehrfamilienhaus angenommen:

- Drei bzw. sechs Wohneinheiten pro Wohngebäude
- architektonische Ausführung nicht festgelegt (Massivhaus, Fertighaus, in Holzbauweise etc.) Bedarfsberechnung erfolgte am Beispiel eines 2,5-geschossigen Gebäudes mit Satteldach. Dachgeschoss als Maisonette-Wohnung.
- Das Gebäude ist unterkellert, der Keller ist unbeheizt
- 90 m<sup>2</sup> Wohnfläche pro Wohneinheit
- WE bewohnbar mit bis zu vier Personen (statistisches Mittel bei 2,1)
- Dämmung und Anlagentechnik nach Mindestanforderungen der jeweils gültigen gesetzlichen Bedingungen (hier EnEV 2012, EEWärmeG)
- Wärmeverteilung über Niedertemperatur-Flächenheizung/Fußbodenheizung bei 35°C Vorlauftemperatur
- Warmwasserbereitung erfolgt zentral durch die Heizungsanlage. Eine Warmwasserzirkulation wird trotz möglicher Wärmeverluste aus Komfortgründen dennoch angesetzt.
- Eine automatische Be- und Entlüftung des Gebäudes ist aufgrund der hohen Dichtigkeit notwendig. Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung gewährleistet hohen Komfort bei minimalem Wärmeverlust

Eine exakte Wärmebedarfsberechnung ist für einen Neubau Teil der Baugenehmigung und muss für jedes Bauobjekt einzeln von einem Architekten oder Fachplaner durchgeführt werden.

#### **4. Randbedingungen der Wärmeversorgung**

Grundsätzlich sind zunächst zwei Wärmeversorgungsvarianten zu unterscheiden. Bei der ersten Variante erhält jedes Gebäude eine eigene Wärmeerzeugungsanlage. Dabei erfolgt die Versorgung mit Heizwärme und Warmwasser nur innerhalb des Gebäudes indem sich auch die Erzeugungsanlage befindet. Bei der anderen Variante erfolgt die Wärmeerzeugung zentral für mehrere Gebäude in einer größeren Anlage. Die Wärme wird dabei über ein Wärmenetz zu mehreren angeschlossenen Verbrauchern transportiert. Bei der zentralen Variante können größere und technisch aufwändigere Lösungen realisiert werden, die bei einer dezentralen Lösung nicht zur Verfügung stehen oder nicht wirtschaftlich betrieben werden können. Die Akzeptanz einer zentralen Versorgungslösung ist bei den Nutzern nicht vorhanden. Die folgende Betrachtung möglicher Wärmeerzeugungsvarianten schließt aus diesem Grund die zentralen Lösungen nicht mit ein.

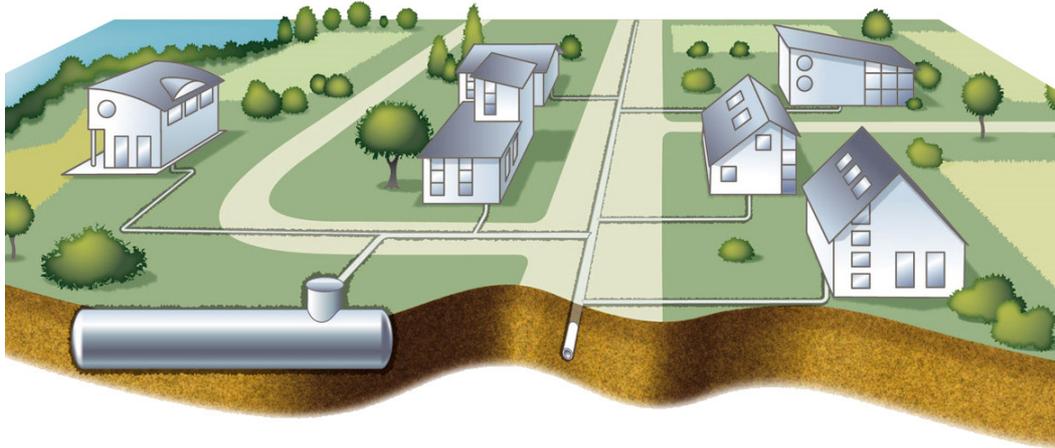
##### **4.1. Infrastruktur der Wärmeerzeugung**

Die verschiedenen Möglichkeiten zur Wärmeversorgung stellen jeweils Anforderungen an die Infrastruktur und andere, beispielsweise geologische Randbedingungen. Eine leitungsgebundene Erdgasversorgung basiert auf einem Versorgungsnetz, ähnlich der Wasser- und Stromversorgung. Für die weitere Betrachtung werden die Randbedingungen, welche die einzelnen Versorgungsvarianten voraussetzen, dargestellt.

##### **4.1.1. Erdgasversorgung / Flüssiggasnetz**

Der momentane Planungsstand lässt vermuten, dass es in Mannheim-neu zu einer leitungsgebundenen Erdgasversorgung kommt. Da das zurzeit noch nicht sicher ist, werden einige der betrachteten Versorgungsvarianten, die Erdgas als Brennstoff einsetzen, auch als Flüssiggasvariante in Betracht gezogen. Da Flüssiggas etwas teurer ist als Erdgas wirkt sich das jedoch auf die Verbrauchskosten negativ aus.

Eine Alternative zu einem Erdgasnetz ist die Verlegung eines Flüssiggasnetzes, das von einer privaten Firma für den Ort oder einzelne Ortsteile installiert werden kann. Die zentrale Flüssiggasversorgung ist der Erdgasvariante sehr ähnlich: Kunststoffleitungen in den Straßenzügen verteilen den Brennstoff unterirdisch bis zu den Hausanschlüssen. Ein zentraler Flüssiggasspeicher, der meist am Ortsrand aufgestellt wird, wird von der Firma betrieben, gewartet und gefüllt. Alle sicherheits- und betriebstechnischen Anforderungen für die Anlagen sind nicht von den einzelnen Nutzern zu erfüllen. Der Einsatz in Heizkesseln oder anderen gastechischen Anwendungen gestaltet sich problemlos.



Alternativ und etwas günstiger für den Nutzer ist das Mieten eines Flüssiggastanks pro Gebäude. Dabei wird außerhalb des Gebäudes (Vorgarten, Hinterland) ein Flüssiggastank vergraben, der von einer Firma zur Verfügung gestellt wird. Installation, Wartung und Füllung müssen nicht vom Nutzer geleistet werden, sondern sind Teil des Mietvertrages. Der Gas-Hausanschluss wird, wie bei einer Erdgasversorgung, als Hausdurchführung realisiert. Gastechnische Anwendungen sind ebenfalls mit denen der Erdgasvariante vergleichbar, allerdings auch hier mit etwas höheren Verbrauchskosten.

#### 4.1.2. **Geothermische Wärmequellen**

Bei geothermischer Wärmenutzung sind zunächst zwei Begrifflichkeiten zu differenzieren: Die oberflächennahe Geothermie und die eigentliche geothermale Nutzung von Erdwärme. Während letztere die aus dem Erdkern abgestrahlte Wärme in den Gesteinsschichten großer Tiefen (>1.000 m) meint, bezeichnet oberflächennahe Geothermie die Nutzung der Energie aus den oberen Schichten bis 100 m.

Bei der Nutzung **tiefengeothermischer** Wärme sind neben den hohen Anlagenkosten vor allem die Bohrkosten erheblich. Eine solche Maßnahme rentiert sich ausschließlich für die Beschickung in einem Wärmenetz und dann nur in Gegenden, die ein großes Vorkommen geothermaler Wärme zur Verfügung stellen. Das ist zwischen Aachen und Köln nicht der Fall. Abgesehen von den technischen Schwierigkeiten ist diese Art der Wärmeversorgung aufgrund der hohen Kosten nicht wirtschaftlich darstellbar.

**Oberflächennahe** Geothermie wird nicht, wie oft fälschlich angenommen, aus dem Erdinneren mit Wärme gespeist, sondern bezieht die Energie aus den einsickernden Oberflächen- und Grundwässern und der solaren Strahlung auf die Erdoberfläche.

Eine Möglichkeit dem Boden im oberflächennahen Bereich Wärme zu entziehen ist der Einbau von **Kollektorflächen**. Dabei werden Kunststoffrohre in verschiedenen Varianten

in den Boden eingebracht. Durch diese wird Sole gepumpt, welche dem Boden oberflächennah Umweltwärme entzieht. Generell dürfen Kollektorflächen nicht überbaut oder mit Bäumen und großen Sträuchern bepflanzt werden. Die direkte Versickerung von Regenwasser muss auf jeden Fall gewährleistet sein, kann unter Umständen durch Anordnung von Drainagen über den Kollektoren, die von Dachflächen oder befestigten Grundstücksflächen Regenwasser zuleiten, zusätzlich unterstützt werden.

Die Kollektorflächen werden in unterschiedlichen Bauformen hergestellt, deren maßgeblicher Unterschied im Flächenbedarf liegt.

**Flächenkollektoren** bestehen aus Kunststoffrohren, die in Schlangenlinien in mindestens 1,20 m Tiefe (frostfrei) in den Boden eingebracht und von Sole durchströmt werden. Diese Kühlflüssigkeit entzieht dem Boden Wärme und leitet sie an die Wärmepumpe weiter, die im Keller oder Hauswirtschaftsraum aufgestellt ist. Die Entzugsleistung für mittlere, bindige Böden beträgt 15-25 W/m<sup>2</sup>.



Der Platzbedarf einer Flächenkollektors liegt für den Wärmebedarf eines Hauses ab 2012 bei ca. der 1,4 bis 1,8-fachen beheizten Fläche des Hauses, also bei ca. 400 - 550 m<sup>2</sup> pro Haus mit drei Wohneinheiten. Die Grundstücksgrößen in Mannheim-neu stellen eine Freifläche dieser Größe wahrscheinlich nicht zur Verfügung.



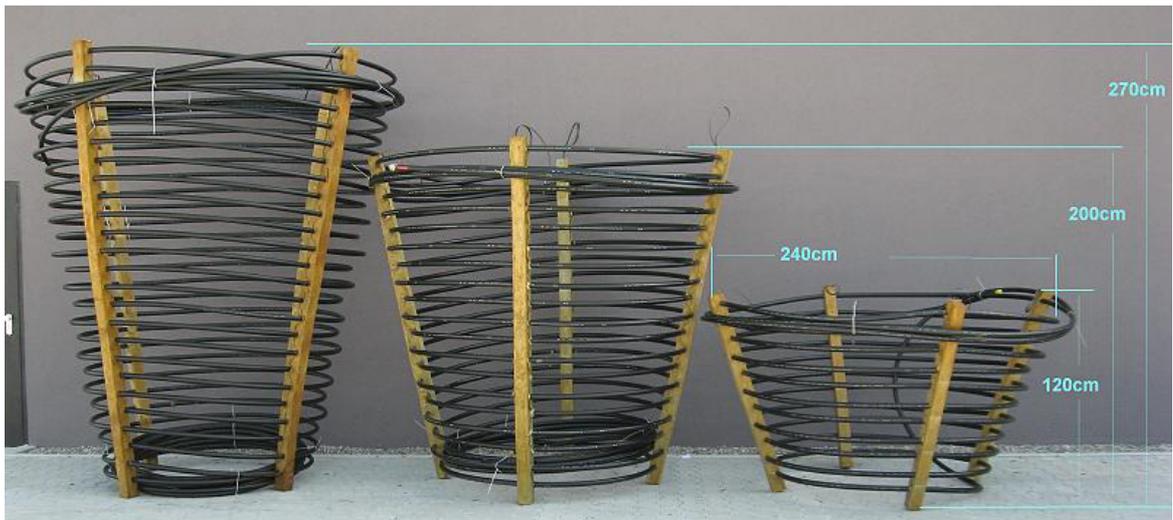
Um dennoch über Kollektoren Umweltwärme aus dem Erdreich aufnehmen zu können, sind platz sparende Kollektorformen entwickelt worden. Die einfachste Form ist der **Kompaktkollektor**. Der erforderliche Platzbedarf liegt beim ca. 1,2 - 1,5 fachen der beheizten Fläche, also bei ca. 350 - 450 m<sup>2</sup> pro kleinem Mehrfamilienhaus.

Der Einbau dieser Systeme ist auch vertikal möglich. Diese **Grabenkollektoren** haben einen wenig geringeren Platzbedarf als die horizontal eingebaute Variante, sind jedoch, durch die Bauart bedingt, anfällig für Durchfrierungen des Bodens.



Der erforderliche Platzbedarf liegt beim ca. 1,0 - 1,3 fachen der beheizten Fläche, also bei ca. 300 - 400 m<sup>2</sup> pro Haus. Problematisch bei der vertikalen Variante ist, dass die Wärme in den Wintermonaten von unten an den Kollektor heranströmen muss, wenn der Oberboden gefroren und für Wasser undurchdringlich ist. Das führt zu einer erheblichen Verkleinerung der Entzugsfläche und damit, bei Unterdimensionierungen, zu Eisbildung und Ausfall der Anlage.

Bei **Erdwärmekörben** werden die Kunststoffrohre in Spiralen gelegt so dass sich ein zylindrischer Körper ergibt, der eine Höhe von bis zu 2,5 Metern haben kann und einen Durchmesser, je nach Bauart von 0,5 - 2,0 Metern.



Eine weitere Bauform, aber ohne nennenswerte Unterschiede in der Funktionalität, ist der **Spiralkollektor**. Die Entzugsleistung wird in der Literatur mit 250-350 W/Kollektor angegeben, kann jedoch, bei schlecht wasser- und wärmeleitenden Böden, zum Teil deutlich darunter liegen.

Der Flächenbedarf je Spirale beträgt mindestens 4, besser 6 m<sup>2</sup>. Die Fläche für die Beheizung eines kleinen Mehrfamilienhauses, wie es in diesem Bericht zugrunde liegt, beträgt, unter der Annahme, dass die Böden gut leiten und ausreichend wassergesättigt sind, ca. mindestens 150 m<sup>2</sup>.

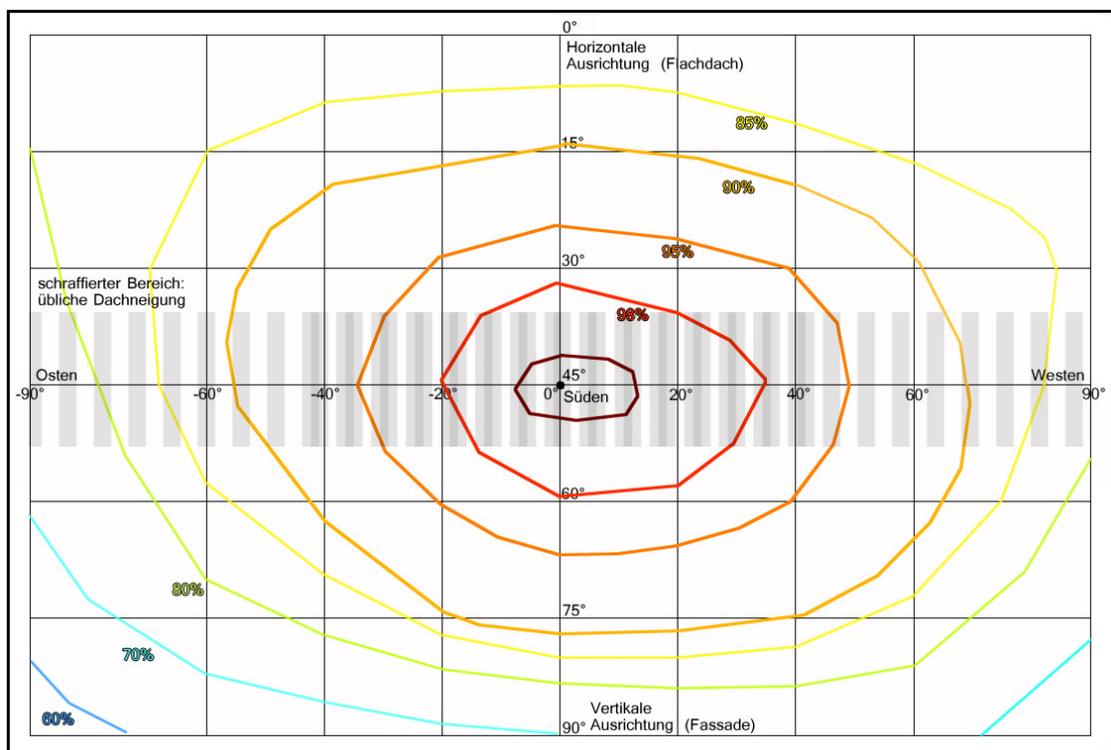


Ein positiver Effekt auf die Wärmeentzugsleistung und eine deutliche Steigerung der Wahrscheinlichkeit für ein konstant gutes Ergebnis in den Wintermonaten bietet die Unterstützung der Wärmeregeneration der Böden. Hierzu sind zwei Prinzipien zu erwähnen. Die zusätzliche Versickerung von Regenwässern über der Kollektorfläche und die Wärmerückführung durch Solarabsorber in den Sommermonaten. Diese Systeme sind mit zusätzlichen Kosten anzusetzen, die sich jedoch durch die zu erwartende Einsparung des Wärmepumpenstroms langfristig amortisieren. Weiterhin kann durch zusätzlichen Wärmeeintrag in den (mit Kollektoren) bestückten Boden der Flächenbedarf weiter gesenkt werden.

### 4.1.3. Direkte Nutzung solarer Strahlung

Die **mittlere jährliche Strahlung** im Raum Kerpen wird auf ca. **980 kWh/m<sup>2</sup>** und Jahr ermittelt.

Die nutzbare Wärmemenge, die Solarkollektoren zur Verfügung stellen können, hängt zunächst von der Wahl des Kollektortyps (Flächen- oder Röhrenkollektoren) ab. Weiterhin reduziert sich der Wärmeertrag durch Randbedingungen wie Außentemperatur, Einbindung, Speicher- und Anlagenparameter auf ca. 25% bis 35% der Einstrahlung (Flächenkollektor). Im betrachteten Fall können mit Flächenkollektoren ca. 310 kWh/m<sup>2</sup>a Kollektorfläche erreicht werden, bei Einsatz eines Vakuum-Röhrenkollektors liegt die Ausbeute deutlich höher (**510 kWh/m<sup>2</sup>a**), da diese Technik auch bei diffuser Bestrahlung gute Erträge bringt. Die Ausrichtung gegenüber dem Optimalfall (45° Neigung/Südausrichtung) ist ein weiteres Kriterium für die Berechnung des solaren Wärmeertrags. Es wird davon ausgegangen, dass eine Anlage unter optimalen Bedingungen errichtet werden kann. Je nach Abweichung aus der optimalen Lage heraus, ergeben sich Änderungen der erzielbaren Maximalleistungen, die bei der Auslegung zu berücksichtigen sind (siehe Grafik).



Prozentualer Wärmeertrag von Solarkollektoren bei verschiedener Ausrichtung bezogen auf den maximalen Ertrag – Quelle: TBE GmbH

Der solare Wärmebedarf wird nach Anzahl der Personen im Haushalt, Warmwasserbedarf, Deckungsanteil der Solarkollektoren an der Warmwasserbereitung (üblich 40-60%) und einer eventuellen Unterstützung der Heizwärmeerzeugung errechnet.



Die negativen Effekte durch ungünstige Ausrichtung und Unterschiede in den Wirkungsgraden der Kollektoren können zum großen Teil durch Vergrößerung der Kollektorfläche ausgeglichen werden, bis die gewünschte Wärmeleistung erreicht wird.

Empfohlen wird der Einsatz von Vakuum-Röhrenkollektoren, da diese Technik geeignet ist, die Heizungsunterstützung zu gewährleisten.

Solarkollektoren sind mit sämtlichen Wärmeerzeugungstechniken kombinierbar und führen zu einer Einsparung des Brennstoffs und einer Reduzierung der Benutzungsstunden des Wärmeerzeugers. Bei Einsatz eines BHKW ist eine solche Reduzierung aus wirtschaftlicher Sicht kontraproduktiv, weshalb hier auf den Einsatz von Solaranlagen verzichtet werden sollte.

#### **4.2. Grundlagen der Bewertung von Wärmekonzepten**

Die Anlagen zur Wärmeverteilung (Verteilnetz, Fußbodenheizung etc.) werden bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht berücksichtigt, da sie für alle Systeme konstant ansetzbar ist. Eine Reduzierung auf die Unterschiede der ausgewählten Techniken führt zum selben Ergebnis. Die ermittelten Wärmegestehungskosten dienen als Vergleichswert der Anlagen untereinander. Einem Vergleich mit an anderen Gebäuden ermittelten Wärmepreisen muss eine Analyse der berücksichtigten Komponenten vorausgehen.

#### **4.2.1. Investitionen**

Als Investitionen bezeichnet man alle für den Erwerb der Anlage notwendigen Aufwendungen.

Die Investitionen beinhalten insbesondere:

- Wärmeerzeugungsanlage (inkl. Einbindung/Regelung/Verteilung)
- Kamin/Abgasführung/Wärmerückgewinnung
- Warmwasserbereitung (inkl. Speicher)
- Hausanschlusskosten
- Energiebevorratung (Tank, Lagerraum, Silo bzw. Lagerplatz)

#### **4.2.2. Energiekosten**

Maßgeblich für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeerzeugungsanlagen im Hinblick auf die Jahreskosten ist der Energiepreis. Nachdem die Investitionen für die Anlage einmalig getätigt worden sind, stellen die Betriebskosten, vor allem aber die verbrauchsabhängigen Kosten, die Aufwendungen dar, die für die Erzeugung der Nutzwärme fortlaufend anfallen.

In den letzten Jahren hat sich eine stetige Erhöhung der Energiekosten abgezeichnet. Namhafte Institute gehen auch für die Zukunft von einer Steigerung um mindestens ca. 2% jährlich aus.

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit kann, um nicht ausschließlich Prognose zu sein, nur auf dem Stand der heutigen Anlagen- und Energiekosten durchgeführt werden.

## **5. Konzepte der Wärmeversorgung**

Wie bereits erwähnt sind die technisch möglichen und rechtlich zulässigen Varianten der Heizwärmeerzeugung und Verteilung, Belüftung und Dämmung des Gebäudes vielfältig und untereinander fast beliebig kombinierbar. Dabei können unterschiedliche Kombinationen unterschiedliche Anforderungen haben, um die optimale, sprich: möglichst effiziente Wärmeerzeugung zu gewährleisten.

Technisch denkbar sind beispielsweise auch Mehrfachkombinationen, die aber erfahrungsgemäß nicht zu wirtschaftlichen Ergebnissen führen.

Bei der Auswahl der Heizungsanlage, die im Weiteren einer näheren Betrachtung unterzogen werden, handelt es sich durchweg um Komponenten, die nach der geltenden Rechtslage zulässig sind und somit in ausreichendem Maße die gebotenen Grenzwerte für den Primärenergieverbrauch einhalten. Dennoch werden neben den möglichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen vor allem die technische Umsetzbarkeit und die wirtschaftlichen Aspekte den Ausschlag für eine Empfehlung geben.

### **5.1. Wärmeerzeugung / Anlagentechniken**

In Form eines Datenblatts werden die Anlagen im Folgenden kurz vorgestellt und deren Technik und Funktionsweise erläutert. Im Fokus steht dabei der Einsatz in Mehrfamilienhäusern im geforderten Leistungsbereich. Die Aufzählung ist eine Auswahl und keinesfalls als vollständig anzusehen. Innovative Techniken, deren Marktreife bis 2012 angekündigt ist, werden nicht vertiefend betrachtet, da eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, aufgrund der fehlenden Praxiserfahrung, nicht mit entsprechenden Referenzanlagen belegbar ist.

### 5.1.1. Brennwerttechnik

Die Brennwerttechnik ist auch in der aktuellen EnEV 2009 als Referenzanlage für die Beheizung von Wohngebäuden benannt. Die Kombination mit Solartechnik ist eine Möglichkeit, um die Auflagen des EEWärmeG zu erfüllen. Eine weitere Ersatzmaßnahme ist der Einbau einer erhöhten Dämmung des Gebäudes. Es ist anzunehmen, dass auch über 2012 hinaus diese beiden Möglichkeiten zur Erfüllung der gesetzlichen Auflagen möglich bleiben. Über diese Maßnahmen sollen mindestens 15% Primärenergie eingespart werden. Die Technik des Kessels unterscheidet sich bei Einsatz von Flüssiggas im Grundsatz nicht von der Erdgas-Variante. Lediglich die Brennerdüse müssen ausgetauscht und der Gasdruck angepasst werden.



Eine weitere Möglichkeit für den Brennwertbetrieb ist durch HEL (leichtes Heizöl) gewährleistet. Für den Einsatz von Heizöl gelten die gleichen Anforderungen zur Erfüllung des EEWärmeG wie beim Gaskessel. Der Brennstoff kann z.B. außerhalb des Gebäudes in einem Stahltank im Erdreich oder im Keller in einem Kunststoff-Batterietank bevorratet werden.

Beide Brennwertgeräte eignen sich zur Wärmenutzung des im Abgas befindlichen Kondensats. Diese Möglichkeit des zusätzlichen Wärmegewinns unterscheidet die Brennwerttechnik von herkömmlicher Technik und ist zugleich namensgebend, da sie nicht nur den Heizwert der Brennstoffe (Energiegehalt ohne Kondensationswärme), sondern den Brennwert (Energiegehalt inklusive Kondensationswärme) nutzen kann. Der Brennwert oder oberer Heizwert  $H_s$  von Erd- und Flüssiggasen liegt ca. 10% über dem Heizwert  $H_i$ . Bei Heizöl liegt dieser Wert bei 6%.

Wirtschaftlich bewertet werden Erd-/Flüssiggaskessel in wandhängender Bauweise. Heizölkessel sind standardmäßig stehend ausgeführt. Neuere wandhängende Modelle bieten zurzeit noch keinen Preisvorteil.

### 5.1.2. Pelletkessel

Die komfortabelste Art in Kleinkesselanlagen feste Brennstoffe zu verfeuern ist der automatische Pelletkessel. Als Brennstoff werden zu Pellets verpresste Holzspäne eingesetzt, die dem Verbrennungsprozess bedarfsgerecht durch eine automatische Förderung zugeführt werden. Die Lagerung und Bevorratung der Pellets erfolgt im besten Fall in einem separaten Raum oder Lager neben dem Kessel, kann aber auch durch einen Außentank realisiert werden.



Im Brennraum des Kessels fallen die Pellets auf einen Rost (bzw. werden von unten auf den Rost geschoben). Eine elektronische Zündung steckt die Pellets in brand. Das Anfeuern bis auf Volllast kann nach längeren Stillstandszeiten bis zu einer halben Stunde dauern. Wird der Kessel nicht oder selten in Volllast betrieben kann es zu Ablagerungen



infolge unvollständiger Verbrennung der Pellets kommen. Auch verunreinigte oder schlecht gepresste Pellets können zu Ablagerungen auf dem Brennteller führen, die wiederum zu unvollständiger Verbrennung führen.

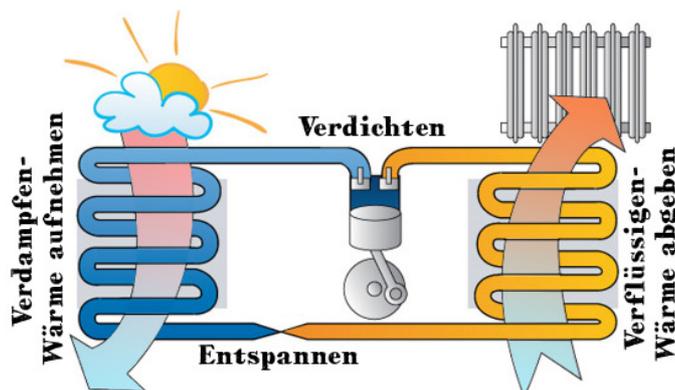
Eine Kombination mit Solarenergie ist prinzipiell möglich. Die Kollektorflächen sollten jedoch so groß dimensioniert werden, dass der Kessel im Sommer vom Netz genommen werden kann. Ob sich die zusätzlichen Investitionen wirtschaftlich rechnen, kann nicht generell vorausgesagt werden.

Die Hersteller vermarkten ihre Anlagen als komfortablen und betriebssicher, mit langen Wartungsintervalle und sehr guten Abgaswerten. Von neutralen Stellen durchgeführte Langzeitpraxistests haben diese optimistischen Angaben bisher nicht bestätigen können. Insbesondere die Eintragung der Pellets und der Betrieb im Teillastbereich führen zu erhöhter Störanfälligkeit. Diese und andere, kleinere Störungen, die im Tagesbetrieb nicht selten sind, können durch geschulte Privatpersonen behoben werden.

Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass ein Mieter eines Mehrfamilienhauses kostenfrei als Wartungspersonal verpflichtet werden kann, ist zunächst von höheren Wartungskosten auszugehen. Es empfiehlt sich deshalb, diese Arbeiten als Vollwartungsvertrag an einen Fachbetrieb zu vergeben.

### 5.1.3. Elektrisch betriebene Kompressions-Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe ist ein Gerät, welches Wärme aus der Umwelt (Geothermie, Außenluft etc.) auf ein höheres, und so für die Beheizung von Gebäuden nutzbares, Temperaturniveau anhebt. Das Prinzip eines geschlossenen Wärmepumpenkreislaufs beruht auf der Tatsache, dass ein Gas durch Kompression auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden kann.



Entzieht man dem Gas diese thermische Energie, verflüssigt es sich, immer noch unter hohem Druck. Die Flüssigkeit wird entspannt und einer Wärmequelle zugeführt, deren Temperatur oberhalb des Siedepunktes der Flüssigkeit liegt. Das nun gasförmige

Kältemittel wird wiederum dem Kompressor zugeführt und verdichtet, kommt damit erneut auf ein höheres Temperaturniveau und der Kreisprozess schließt sich (Carnot-Prozess). Der Schlüssel des Funktionsprinzips einer Wärmepumpe liegt also im Kältemittel, welches bei Zuführung thermischer Energie schon bei niedrigen Temperaturen verdampft.

Die Wärme, die für die Verdampfung des Kältemittels benötigt wird, ist die Umweltwärme, die durch verschiedene Verfahren generiert werden kann. Wie unter Kapitel 4.1.2 bereits beschrieben, kommen nicht alle technisch erschließbaren Wärmequellen für den Standort Mannheim-neu in Betracht. Insbesondere die Erdwärmepumpe über Sondenbohrung wird als nicht geeignet eingestuft.

Die **Außenluft** kann ebenfalls als Wärmequelle herangezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass gerade in der kalten Jahreszeit die höchste Wärmebereitstellung gefordert ist. Der Gesetzgeber hat eine Mindestgrenze für die Effektivität einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe eingeführt hat. Die Luftwärmepumpe als alleiniger Erzeuger von Heizwärme und Warmwasser steht vor dem Problem, dass die Leistungen in der Heizzeit nicht ausreichend sind, um diese Anforderungen zu erfüllen.



Die Lösung kann eine Kaskadierung (Anordnung in Reihenschaltung) zweier Wärmepumpen sein. Dabei wird eine kleinere Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung hinter die größere, zur Heizwärmeversorgung installierte Wärmepumpe gesetzt. Die kleinere Wasser/Wasser-Wärmepumpe erwärmt das, bereits auf Heizwärme gebrachte, Heizwasser bei Bedarf auf ca. 65°C weiter.

Damit wird das System zwar insgesamt teurer, jedoch arbeiten die Wärmepumpen in der Kombination effektiv und über die Laufzeit gesehen mit weniger Verbrauchskosten. Eine zweite Möglichkeit ist eine zweite Luftwärmepumpe, die einen Brauchwasserspeicher beheizt indem Raumluft angesaugt und durch die Wärmepumpe auf entsprechende Temperaturen zur Warmwasserversorgung gebracht wird. Beide Wärmepumpen arbeiten dabei unabhängig voneinander.

Da bei der Erdwärmepumpe die Wärmequellentemperatur (**Erdreich**) nicht den extremen Schwankungen ausgesetzt ist, wie beim Betrieb einer Luftwärmepumpe die Außenluft, kann hier die Warmwasserbereitung direkt erfolgen. Die Temperatur kann unter Einhaltung der gesetzlich geforderten Leistungszahlgrenzwerte auf bis zu 55-60°C gesteigert werden.

Die Größe der benötigten Freiflächen für den Betrieb eines Erdkollektors stellen sich für verschiedene Kollektortypen wie folgt dar. Angaben sind nur ungefähre Werte und können je nach Hersteller und Bodenart variieren.

Kollektortyp	Flächenkollektor	Kompaktkollektor	Grabenkollektor	Erdkörbe	Spiralkollektor
3 WE / 10 kW	500 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	350 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>	250 m <sup>2</sup>
6 WE / 16 kW	800 m <sup>2</sup>	650 m <sup>2</sup>	550 m <sup>2</sup>	450 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>

Angaben für mittel-bindige Böden

Die Freiflächen dürfen weder überbaut noch mit tief wurzelnden Gewächsen bepflanzt werden. Die Versickerung des Regenwassers darf auf diesen Flächen nicht beschränkt werden. Durch den starken Wärmeentzug kann es auf diesen Flächen zu vermindertem Pflanzenwachstum kommen.

Kombinationen mit Solartechnik ist prinzipiell bei allen Wärmepumpenarten möglich, führt jedoch gerade bei Luftwärmepumpen nicht zu einer nennenswerten Effizienzsteigerung, da Luft- und Kollektortemperaturen über das Jahr parallele Verläufe aufweisen und sich eher gegenseitig behindern als nützen.

#### 5.1.4. Motor-Blockheizkraftwerke

Ein Otto-Motor treibt einen Generator an und erzeugt Strom. Die dabei entstehende Abwärme des Motors und die heißen Abgase werden als Heizwärme genutzt. Das ist das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Maschinen, die das KWK-Prinzip nutzen, sind unter anderem Blockheizkraftwerke. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung liegt dabei zwischen 23% und 35%, bezogen auf die eingesetzte Energie im Brennstoff. Der Gesamtwirkungsgrad für Strom und Wärme kann 90% erreichen.



BHKWs können mit Erdgas, Bio-Gas, Flüssiggas aber auch mit Heizöl oder Bio-Diesel betrieben werden.

BHKWs gibt es in einem Leistungsspektrum von 1 kW<sub>el</sub> bis in den MW Bereich. Für den Einsatz in einem Mehrfamilienhaus kommt allenfalls ein Mini- bzw. Mikro-BHKW in Betracht.

Um die Anschaffungskosten des relativ teuren Motor-BHKWs und die Kosten des laufenden Betriebs zu senken, stellt die Bundesregierung sowohl für die Anschaffung selbst, als auch für den Verkauf des produzierten Stroms eine Förderung bereit. Der wirtschaftliche Betrieb eines BHKW hängt stark von der Nutzungsstruktur des Gebäudes ab. Der Motor sollte bestenfalls weitestgehend durchlaufen, was eine optimale Ausnutzung und Stromerzeugung gewährleistet. Überschüssig produzierte Wärme kann in einem Wärmespeicher zur späteren Nutzung zwischengespeichert werden.

Die Bilanzierung der Wirtschaftlichkeit eines BHKW ist durch die Produktion der elektrischen Energie und der dazugehörigen Nutzungs-, Vergütungs- und Förderungsbedingungen deutlich komplexer als bei reiner Heizwärmeerzeugung. Je nachdem, ob der produzierte Strom direkt an die Mieter verkauft werden kann oder ob er ins Stromnetz eingespeist wird, ergeben sich verschiedene Szenarien für die Wirtschaftlichkeit durch die verschiedenen Stromvergütungsoptionen.



Für die Berechnung kann in erster Näherung davon ausgegangen werden, dass 70% des erzeugten Stroms im Gebäude selbst verbraucht werden kann. 30% des Stroms werden eingespeist und nach festgelegten Preisen vergütet. Zurzeit ist der Börsenpreis für Strom (EEX-Baseload), nachdem sich die Vergütung bei der Einspeisung richtet, relativ niedrig

(4.Quartal 2009: 3,88 ct/kWh). Das langjährige Mittel liegt ca. bei 5,50 ct/kWh. Es ist zu erwarten, dass sich langfristig der reale Wert um dieses Mittel bewegt. Der dritte Anteil der Preisbildung beim KWK-Strom Verkauf ist, neben Einspeisevergütung und KWK-Zuschuss aus Bundesmitteln, das vermiedenen Netzentgelt. Damit „belohnt“ der Gesetzgeber die Tatsache, dass der BHKW-Strom nicht über weite Strecken in so genannten vorgelagerten Netzen der Mittel- und Hochspannungsebene aus Großkraftwerken zum Endkunden transportiert werden muss. Dieser Betrag variiert je nach Netzbetreiber und liegt im Bundesdurchschnitt bei ca. 0,5 ct/kWh.

Für den nicht eingespeisten und selbst verbrauchten Strom kann der Preis für den vermiedenen Strombezug aus dem Netz zu netzüblichen Kosten angesetzt werden.

Des Weiteren gilt eine Befreiung von der Brennstoffbesteuerung für den im BHKW eingesetzten Brennstoff. Der Energiesteueranteil beträgt bei Erdgas 0,55 ct/kWh, bei Heizöl 6,14 ct/l und bei Flüssiggas 6,06 ct/kg. Die Stromsteuer von 2,05 ct/kWh fällt bei der Nutzung des selbst produzierten Stroms nicht an. Die Steuerbefreiung erklärt sich dadurch, dass eine dezentrale Stromerzeugung in Mini-BHKWs bei gleichzeitiger Wärmenutzung gegenüber der Stromproduktion in Großkraftwerken ohne Wärmenutzung eine Effizienzsteigerung des Primärenergieverbrauchs bedeutet, welche die Bundesregierung für unterstützenswert hält.

### 5.1.5. Gasmotorwärmepumpe

Eine weitere Möglichkeit der thermischen Verwendung von Erd-, Flüssiggas, bzw. Abwärme etc. bei gleichzeitiger Steigerung der Effizienz ist eine Gasmotor- oder eine Absorptionswärmepumpe.



Bei der Gasmotor-Wärmepumpe wird der elektrische Verdichter der oben beschriebenen Wärmepumpe durch einen Gasmotor ersetzt, der einen Verdichter direkt antreibt.

Die Nutzung der Energie geschieht auf zwei Arten. Zunächst wird die durch Verdichtung des Kältemittels gewonnene Wärme nach dem Prinzip der elektrisch-betriebenen Wärmepumpe der Wärmeversorgung zugeführt. Ebenfalls kann die Abwärme des Gasmotors genutzt werden. Somit können Wirkungsgrad von 130 % und mehr (bezogen auf den Heizwert des Erdgases) erreicht werden.

### 5.1.6. Absorptionswärmepumpe

Komplizierter ist das Prinzip der Absorptionswärmepumpe. Ein Kältemittel wird, wie bei der elektrischen Wärmepumpe auch, durch die Energie einer Umweltwärmequelle verdampft. Das dampfförmige Kältemittel wird in einer zweiten Stufe mit einem Lösungsmittel versetzt, welches unter Abgabe thermischer Energie das Kältemittel aufnimmt, es absorbiert. Die thermische Energie kann schon hier genutzt werden. In einem dritten Schritt wird das Gemisch, unter Verwendung des zugeführten Brennstoffs, ausgekocht und trennt sich wieder in Kältemittel und Lösungsmittel. Die dabei entstehende Wärme steht ebenfalls der Nutzung zur Verfügung. Beide werden im vierten Schritt getrennt kondensiert, wobei wieder Abwärme entsteht, die genutzt werden kann und der Prozess beginnt von neuem.

Eine Absorptionswärmepumpe kann unter Umständen Wärme auf drei verschiedenen Temperaturniveaus erzeugen, die auch bei großen Anlagen getrennt genutzt werden können.



betrachteten

In der Kälteerzeugung haben große Anlagen mit Absorptionsprinzip einen sehr hohen Marktanteil. In der Wärmeerzeugung steckt diese Technik für kleine Anlagen noch im Versuchsstadium. Die wenigen Anlagen, die in den nächsten Jahren voraussichtlich Marktreife erlangen werden und in die Serienproduktion gehen können, sind allerdings für die Gebäude in Mannheim-Neu immer noch zu groß (> 40 kW). Diese Anlagen werden für Gewerbebetriebe interessant sein. Für den Wohnungsneubau in der

Größenordnung sind diese Anlagen auf längere Sicht hin noch nicht in der Lage konventionelle Techniken zu ersetzen.

Wärmepumpen mit Erdgaseinsatz haben durch die zusätzliche Nutzung von Umweltenergie und Motorabwärme einen Wirkungsgrad von 140-160% bezogen auf das eingesetzte Erdgas. Diese Effizienzsteigerung in der Wärmegewinnung, die als „Ersatzmaßnahme“ nach dem EEWärmeG ebenfalls ausreichend ist, ist Anreiz genug diese und andere Techniken weiter zu entwickeln.

### 5.1.7. Adsorptions-/Zeolithwärmepumpe

Zunächst vom Wortlaut her ähnlich, unterscheidet sich die Adsorption von der Absorption dadurch, dass hier im Gegensatz zur Lösung (absorbieren = aufnehmen) zweier Stoffe eine Anlagerung eines Stoffes (lat.: Vorsilbe „ad“ = an-, bei-) an einen anderen beschrieben wird.

Die Wärme wird beim Adsorptionsprozess freigesetzt, indem sich eine zu adsorbierende Flüssigkeit (zumeist Wasser) an einen Feststoff („Zeolith“: Ein Alumosilikat (Aluminium-Silikat-Verbindung) mit sehr großer inneren Oberfläche (>1.000 m<sup>2</sup>/g)) anlagert.

Diese Anlagerung kann durch Zufuhr von Wärme (hier durch einen Gasbrenner) rückgängig gemacht werden und der Prozess beginnt von vorn.

Die Restwärme des Gasbrenners steht dem Heizzweck - als Abwärme - ebenso zur Verfügung wie die Prozessenergie der Adsorption. Bezogen auf den Heizwert des Erdgases kann ein Normnutzungsgrad von ca. 120% erreicht werden. Zusätzlich kann, durch Generierung einer weiteren (Umwelt-)Wärmequelle, der Wirkungsgrad noch erhöht werden.

Wärmepumpen mit Adsorptionstechnik werden bereits in Baugrößen gefertigt, die für den Einsatz in einem Mehrfamilienhaus-Neubau durchaus interessant sind. Anlagen der Firmen Vaillant und Viessmann mit ca. 10 kW Leistung befinden sich in der Vorbereitung zur Feldtestphase. Ein Termin für eine Markteinführung sowie Informationen über die zu erwartenden Investitionen stehen allerdings noch nicht zur Verfügung.

### 5.1.8. Weitere Techniken

Neben Gas(-motorischen)-Wärmepumpen, die in erforderlichen Größen, wie beschrieben, auf absehbare Zeit nicht zur Verfügung stehen, können noch andere Techniken genannt werden, die sich ebenfalls in der Entwicklung befinden.

Besonders im Bereich der KWK-Aggregate wird seit vielen Jahren in verschiedene Richtungen entwickelt und geforscht. Hier sind insbesondere die Brennstoffzelle, der Stirling-Motor und die Mikro-Gas-Turbine zu nennen, deren Funktionalität in großen Anlagen bereits hinreichend belegt ist. Die Einführung in den Wohngebäudebereich scheitert entweder an der technischen Umsetzbarkeit oder an den unwirtschaftlich hohen Investitionskosten, die für eine solche Anlage getätigt werden müssen.

## 5.2. Bewertungsmatrix

	Marktreife	Invest	laufende Kosten	Zulässigkeit nach EnEV 2012	Gesamtbewertung
<b>Brennwert-Kessel</b>	++	+	o	nur mit Solar / Ersatzmaßnahme	+
<b>Pellet-Kessel</b>	++	o	+	++	+
<b>Motor-BHKW</b>	++	-	-	++ <sup>1)</sup>	o
<b>Mikro-Gasturbine</b>	nicht bis 2012	-	--	-	nicht verfügbar
<b>Stirling-Motor</b>	+	-	--	-	nicht wirtschaftlich
<b>Brennstoffzelle</b>	nicht bis 2012	--	--	o	nicht verfügbar
<b>Gasmotor-WP</b>	nicht für kleine MFH	-	o	+	nicht verfügbar
<b>Absorptions-WP</b>	nicht für kleine MFH	-	+	+	nicht verfügbar
<b>Adsorptions-WP</b>	nicht bis 2012	-	+	+	nicht verfügbar
<b>Elektro-WP</b>	++	o	+	++	+
<b>Solarthermie</b>	++	o	++	in Kombination	+

<sup>1)</sup>unter Einhaltung definierter Randbedingungen

In dieser Matrix werden die vorher beschriebenen Anlagenvarianten nach den Kriterien Marktreife, Invest, laufenden Kosten und Zulässigkeit nach EnEV 2012 insgesamt bewertet und beurteilt.

Die Kriterien

- Umwelt / CO<sub>2</sub>-Ausstoß
- Handling
- Verfügbarkeit

werden zwar in der Tabelle nicht dargestellt, gehen jedoch in die Gesamtbewertung mit ein. Somit sind vier Heiztechniken plus Solarthermie für die Beheizung von Mehrfamilienhäusern für den Standort Mannheim weiter zu untersuchen.

## 6. Bewertung der Konzepte

Nach genauer Betrachtung der vorgestellten Anlagenvarianten und Konzepte lassen sich einige Techniken aufgrund mangelnder Wirtschaftlichkeit oder Verfügbarkeit grundsätzlich ausschließen. Andere weisen noch erhebliche Probleme im anwendungstechnischen Bereich aus und sind für die Serienproduktion noch nicht ausgereift. Auch diese werden nicht mehr weiter betrachtet.

Im Folgenden werden die Anlagen auf die für Mannheim spezifischen Gegebenheiten hin überprüft und bewertet, was die Auswahl der zu untersuchenden Anlagen weiter einschränkt.

### 6.1. Brennwertkessel

Zum Brennwertkessel ist zunächst ganz grundsätzlich noch einmal zu sagen, dass er aufgrund der gesetzlichen Vorschriften (EnEV, EEWärmeG) im Neubau bereits seit Anfang 2009 nicht mehr als alleinige Wärmeerzeugungsquelle eingesetzt werden darf. Die weitere Betrachtung beschränkt sich demnach auf die Fälle

- in Verbindung mit Solarthermie
- mit zusätzlicher Dämmung des Gebäudes

Wird der eingesetzte Brennwertkessel durch Solarthermie unterstützt, sind die gesetzlichen Bedingungen zum Einsatz der Brennwerttechnik dann ausreichend erfüllt, wenn mindestens 15% der benötigten Wärmeenergie aus Strahlungswärme erzeugt werden. Bei Wohngebäuden mit mehr als zwei Wohneinheiten sind 0,03 m<sup>2</sup> Aperturfläche je Quadratmeter Nutzfläche ausreichend. Die Wahl des fossilen Brennstoffs (Erdgas, Flüssiggas oder HEL) ist nicht ausschlaggebend.

Die Mindestdämmung des Gebäudes ergibt sich aufgrund einer Nebenanforderung der EnEV und wird bestimmt durch eine Obergrenze des mittleren Wärmedurchgangswertes (Transmissionswert) durch die Außenflächen des Gebäudes. Als Ersatzmaßnahme ausreichend ist ein, im Vergleich zum Referenzgebäude, um 15% niedrigerer Transmissionswert, der durch Aufbringung entsprechend verstärkter Dämmung erreicht werden kann. Diese Maßnahme wird entsprechend in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigt.

## 6.2. Festbrennstoffkessel

Gegen einen Festbrennstoffkessel gibt es beim Einsatz von regenerativen Brennstoffen (Holz, Biomasse) keine Einwände seitens des Gesetzgebers.

Pellets sind die anwenderfreundlichste Form der Holzverfeuerung und eignen sich für die automatische Beschickung auch in kleineren Anlagen. Da die Praxiserfahrungen der letzten Jahre gezeigt haben, dass die Störanfälligkeit von Pelletkesseln nicht unerheblich ist, muss mit höheren Wartungskosten gerechnet werden. Den Mietern eines Wohnhauses kann diese Aufgabe nicht auferlegt werden, weshalb zusätzliche Kosten für einen externen Wartungsdienst einzuplanen sind.

Scheitholz findet immer noch vermehrt Anwendung in offenen Feuerungen, kann jedoch auch in modernen Kleinanlagen verfeuert werden. Das ist jedoch mit hohem Aufwand verbunden, da keine automatische Beschickung erfolgen kann und ist somit in einer Heizzentrale eines Mehrfamilienhauses unsinnig.

Festbrennstoffkessel erfüllen alle gesetzlichen Anforderungen an feuerungstechnische Anlagen, weshalb die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit auch im autarken Betrieb sinnvoll ist. Die Kombination mit Solarthermie ist mit hohen, zusätzlichen Investitionen verbunden und führt nur zu einer Verbesserung des Heizbetriebes, wenn die Solarflächen so groß dimensioniert sind, dass der Kessel dadurch zu nennenswerten Stillstandszeiten kommt.

## 6.3. KWK-Aggregat / BHKW

Der Gesetzgeber fördert ausdrücklich Maßnahmen zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme. So sind für den Einsatz von KWK-Anlagen auch nach den für 2012 gültigen Richtlinien keine Beschränkung nach EnEV oder EEWärme-Gesetz zu erwarten.

Für die dezentrale Versorgung stellt sich das Problem der KWK-Anwendung so dar, dass es kaum geeignete Aggregate auf dem Markt gibt, die einen wirtschaftlich darstellbaren Betrieb gewährleisten. Exemplarisch wird in der genauen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ein Mini-BHKW mit Gasmotor aufgenommen. Die anderen KWK-Techniken (Stirling, Dampfmotor, Mikroturbine etc.) sind von den Investitionen her höher und vom Wirkungsgrad her schlechter, so dass sich eine günstigere Kostensituation nicht einstellen kann.

Als Beispiel wird hier ein Mikro-KWK-Aggregat aus dem Hause Vaillant mit dem Namen Ecopower betrachtet. Das Gerät erscheint aufgrund seiner Spezifikationen am besten

geeignet um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen. Das Gerät kann mit Flüssiggas und Erdgas betrieben werden. In nachfolgender Berechnung wird von einer Erdgasversorgung ausgegangen.

Wie oben bereits beschrieben wird durch die eigene Stromproduktion von einer teilweisen Verdrängung des netzbezogenen Stroms ausgegangen. Die Berechnungswerte beruhen auf Praxistests und Betriebserfahrungen gleichwertiger Geräte.

#### **6.4. Elektro-Wärmepumpen**

Der Einsatz einer Wärmepumpe für die Beheizung stellt den Nutzer vor die Wahl der nutzbaren Umweltwärme. Die für die Bereitung von Warmwasser notwendigen Temperaturen erfordern die Nutzung einer Wärmequelle, die möglichst hohe und über das Jahr gleichmäßige Energieentzugsmengen bereitstellt. Das kann durch den Einsatz einer Luftwärmepumpe nicht gewährleistet werden, es sei denn durch eine zweite, kleinere Wärmepumpe, die in Kaskade, das vorgewärmte Heizwasser auf die Brauchwassertemperatur weiter erhöht.

Die Wahl des geeigneten Kollektors fällt je nach Objekt und Ansicht des Eigentümers unterschiedlich aus. Grundsätzlich gilt: Je größer die Freifläche ist, desto weniger intensiv ist der spezifische Wärmeentzug, was erfahrungsgemäß zu einem sehr effizienten Betrieb führt. Allerdings stehen die für den Kollektor genutzten Flächen nicht für eine andere Nutzung zur Verfügung und dürfen nicht überbaut werden.

Die Wahl von Erdkollektoren in kompakter Form (Spiralkollektoren, Erdkörbe) ist möglich, birgt jedoch verstärkt die Gefahr des „Aufrierens“, da die entzogene Wärme auf weniger Fläche konzentriert ist. Bei einer konservativen Auslegung, bei der mehr Kollektoren verbaut werden, stellt sich das Problem nicht, jedoch sind die Kosten deutlich höher.

Weitere Möglichkeiten die Wärmepumpe zu entlasten und zu unterstützen (Solarkombination, Versickerung des Regenwassers über der Kollektorfläche, Wärmerückführung über Solarabsorber etc.) sind möglich und sinnvoll, treiben jedoch den Preis für die gesamte Anlage weiter nach oben. Sollte sich im Betrieb herausstellen, dass zu optimistisch ausgelegt wurde, können solche Maßnahmen auch nachträglich als Abhilfe durchgeführt werden.

## 7. Ermittlung der Wärmeerzeugungskosten

Zur Beurteilung der Konzepte ist die Darstellbarkeit eines wirtschaftlichen Betriebs der Anlage ein wichtiges Kriterium. An dieser Stelle werden die Kosten der Anlagenkomponenten und Systemteile (Investitionen) und vor allem die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten inklusive der Reparatur-, Wartungs- und Personalkosten aufs Jahr bezogen ermittelt und ein Wärmepreis als Vergleichskriterium der Wirtschaftlichkeit errechnet.

Die Systematik und die Ansätze für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit erfolgen nach VDI-Richtlinie 2067 und werden, wo sinnvoll und/oder notwendig, durch Erfahrungswerte aus der Praxis korrigiert bzw. ergänzt.

Die Jahreskosten der Wärmeversorgung setzen sich wie folgt zusammen:

- kapitalgebundene Kosten / ggf. Förderungen
- verbrauchsgebundene Kosten / ggf. Stromgutschrift
- betriebsgebundene Kosten

### 7.1. Erforderliche Investitionen und Kapitaleinsatz

#### **Investitionen**

Die Investitionen beinhalten:

- Wärmeerzeugungsanlage (inkl. Regelung/Verteilung)
- weitere Anlagenkomponenten (Solarkollektoren/Wärmespeicher)
- Kamin/Abgasführung
- Warmwasserbereitung (inkl. Speicher)
- Hausanschlusskosten für Erd- und Flüssiggas
- Energiebevorratung (Tank/Lagerraum)

In der Investitionsrechnung wird mit der Annuitätenmethode der Kapitalwert einer Investition auf die Nutzungsdauer verteilt. Am Ende der rechnerischen Nutzungsdauer muss eine erneute Investition getätigt werden, um den Anlagenteil zu ersetzen, der seine rechnerische Laufzeit erreicht hat. Hier wird ein Instandsetzungsaufwand zwischen 0,5 % und 6 % auf den Annuitätsfaktor aufgeschlagen.

Die rechnerischen Laufzeiten der Anlagen und Anlagenteile werden in der VDI 2067 wie folgt abgebildet:

Wärmeerzeuger / Anlagenteil	Nutzungsdauer [a]	Annuität	Instandsetzungszuschlag
Erdgas-/Flüssiggas-BW-Kessel	20	8,7 %	1,0 %
Mini-BHKW	15	10,3 %	6,0 %
Elektro-Wärmepumpe	20	8,7 %	3,0 %
Pelletkessel	20	8,7 %	2,0 %
Warmwasserspeicher	25	7,8 %	1,0 %
Solar-Flachkollektor	20	8,7 %	0,5 %
Schornstein	50	6,3 %	1,0 %
Erdgas- Hausanschluss	50	6,3 %	1,0 %
Pelletlager	30	7,3 %	1,0 %
Baukosten/Erdkollektoren	50	6,3 %	1,0 %
Gas-/Öl-/Elektroinstallation	50	6,3 %	1,0 %

Quelle: VDI Richtlinie 2067/1 Anhang A

Die Ermittlung des Kapitaldienstes erfolgt nach der Richtlinien VDI 2067/1. Verschiedenen Teilen der Heizungsanlage werden verschiedene Abschreibungszeiten zugeordnet, so dass die Finanzierungszeiträume unterschiedlich sind. Das wiederum wirkt sich auf den Kapitaldienst, sprich: den Betrag, der dem Geldwert eines Kredites entspricht, der für den Erwerb der Anlage aufgenommen werden müsste, aus. Der allgemeine Zinssatz liegt bei:

Zinssatz pro Jahr	6 %
-------------------	-----

Alle angegebenen Kosten sind Preislisten der Hersteller entnommen und verstehen sich ohne Mehrwertsteuer. Alle Angaben sind inkl. Lieferung und Montage. Die detaillierte Aufstellung der Investitionen ist in den Tabellen des Anhangs dargestellt. Die Förderungen beziehen sich auf Anschaffungsförderungen der Anlagen- bzw. Solartechnik für Neuerichtung und geben den aktuellen Stand wieder (siehe Anhang).

## 7.2. Jahreskosten kleines Mehrfamilienhaus (3 Wohneinheiten)

### 7.2.1. Investitionen und Kapitaldienst (3WE)

Die erforderlichen Investitionen und der Kapitaldienst wurde ermittelt zu:

Varianten		Investitionen [€]	Kapitaldienst [€/a]
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	19.300	1.680
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	19.500	1.700
1c	Erdgas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	18.750	1.500
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	21.700	1.890
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	21.150	1.720
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	13.150	1.130
3	Pelletkessel	17.900	1.620
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	21.000	1.850
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	17.600	1.840
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	20.200	1.970
5	Mini-Erdgas-BHKW	22.800	2.610

Die möglichen Förderungen (MAP-Programm Strand Okt 2009) sind bereits berücksichtigt.  
Werte sind gerundet (Investitionen auf 50 €, Kapitaldienst auf 10 €)

### 7.2.2. Verbrauchsgebundene Kosten (3WE)

Die Energiebezugskosten beziehen sich auf die Preise, die für den Teil 1 der Studie Mannheim ermittelt wurden. Zum einen hat das den Vorteil der direkten Vergleichbarkeit, zum anderen sind die Energiepreise zurzeit auf einem, durch die Wirtschaftskrise bedingten, Tiefstand, der nicht repräsentativ für die Entwicklung der Energiepreise ist. Alle angegebenen Preise und Kosten sind Bruttopreise ohne Mehrwert-/Umsatzsteuer.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Preisregelungen und Bezugskonditionen für die Beschaffung der Endenergie zusammenfassend dargestellt:

Arbeitspreis Erdgas	6,34 Ct/kWh	HEL	7,50 Ct/kWh
Grundpreis Erdgas	70,08 €/a	HEL mit 50% Bio	9,3 Ct/kWh
Arbeitspreis Flüssiggas	6,80 Ct/kWh	Wärmepumpenstrom	12,70 Ct/kWh
Grundpreis Flüssiggas	126,00 €/a	Grundpreis WP-Strom	66,00 €/a
Pellets	4,70 Ct/kWh	Haushaltsstrom	16,80 Ct/kWh

Die Kosten für die erforderliche Endenergie wurden wie folgt ermittelt:

Varianten		Brennstoff-/ Strombedarf [kWh/a]	Jahres- energie- kosten [€/a]
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	14.500	1.110
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	14.500	1.230
1c	Erdgas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	16.000	1.160
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	14.670	1.220
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	16.140	1.290
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	21.040	2.080
3	Pelletkessel	23.000	1.210
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	5.050	840
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	5.850	890
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	4.920	800
5	Mini-Erdgas-BHKW	27.930	930

Die Energiekosten ergeben sich aus dem Produkt der Energiepreise mit der Menge an Brennstoff/Strom, der für die Bereitstellung der erforderlichen Nutzwärmemenge benötigt wird. Dabei sind die Wirkungsgrade/Arbeitszahlen der Wärmeerzeuger ebenso einbezogen wie der Verkauf des produzierten Stroms und die Reduzierung der Erdgaskosten um die Erdgassteuer in der Variante Mini-BHKW.

Ebenfalls berücksichtigt wurde der zum Betrieb der Anlagen erforderliche Hilfsstrom (Antrieb, Förderung, Pumpenbetrieb etc.), bei dem der Haushaltsstromtarif zum Ansatz kommt.

### 7.2.3. Betriebsgebundene Kosten (3WE)

Während des Betriebs der Wärmeerzeugungsanlagen entstehen durch Wartung und Instandhaltung Material und Personalkosten. Diese berechnen sich aus prozentualen Anteilen bezogen auf die Anlagentechnik und die -anfangsinvestition und summieren sich nach VDI 2067-1 zu:

Varianten		Jahreskosten [€/a]
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	225
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	225
1c	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	160
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	225
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	160
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	160
3	Pelletkessel	600
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	150
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	180
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	225
5	Mini-Erdgas-BHKW	870

#### 7.2.4. Jahreskosten und Wärmepreis (3WE)

Der Wärmepreis ist der Preis, der unter Berücksichtigung aller anfallenden Kosten, für eine Kilowattstunde erzeugte Wärme entrichtet werden muss. Die Gesamtjahreskosten, die als Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ermittelt wurden, werden durch die Jahresgesamtwärmeerzeugung geteilt. Das Ergebnis wird in Ct/kWh Energie ausgegeben.

Im Vergleich der Varianten und Konzepte ergeben sich folgende Wärmepreise:

Varianten		Jahreskosten [€/a]	Wärmepreis [ct/kWh]
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	3.010	14,9
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	3.160	15,6
1c	Erdgas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	2.820	14,0
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	3.340	16,5
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	3.170	15,7
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	3.370	16,7
3	Pelletkessel	3.430	17,0
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	2.840	14,1
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	2.910	14,4
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	3.000	14,8
5	Mini-Erdgas-BHKW	4.390	21,7

### 7.3. Jahreskosten großes Mehrfamilienhaus (6 Wohneinheiten)

#### 7.3.1. Investitionen und Kapitaldienst (6WE)

Die erforderlichen Investitionen und der Kapitaldienst wurde ermittelt zu:

Varianten		Investitionen [€]	Kapitaldienst [€/a]
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	23.000	1.990
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	23.200	2.010
1c	Erdgas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	26.250	2.070
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	26.900	2.340
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	30.150	2.410
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	16.150	1.380
3	Pelletkessel	19.900	1.800
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	26.250	2.190
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	20.000	2.050
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	23.750	2.280
5	Mini-Erdgas-BHKW	24.800	2.790

Die möglichen Förderungen (MAP-Programm Strand Okt 2009) sind bereits berücksichtigt.  
Werte sind gerundet (Investitionen auf 50 €, Kapitaldienst auf 10 €)

#### 7.3.2. Verbrauchsgebundene Kosten (6WE)

Die Energiebezugskosten beziehen sich auf die Preise, die für den Teil 1 der Studie Mannheim ermittelt wurden. Zum einen hat das den Vorteil der direkten Vergleichbarkeit, zum anderen sind die Energiepreise zurzeit auf einem, durch die Wirtschaftskrise bedingten, Tiefstand, der nicht repräsentativ für die Entwicklung der Energiepreise ist. Alle angegebenen Preise und Kosten sind Bruttopreise ohne Mehrwert-/Umsatzsteuer.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Preisregelungen und Bezugskonditionen für die Beschaffung der Endenergie zusammenfassend dargestellt:

Arbeitspreis Erdgas	6,34 Ct/kWh	HEL	7,50 Ct/kWh
Grundpreis Erdgas	70,08 €/a	HEL mit 50% Bio	9,3 Ct/kWh
Arbeitspreis Flüssiggas	6,80 Ct/kWh	Wärmepumpenstrom	12,70 Ct/kWh
Grundpreis Flüssiggas	126,00 €/a	Grundpreis Strom	66,00 €/a
Pellets	4,70 Ct/kWh	Haushaltsstrom	16,80 Ct/kWh

Die Kosten für die erforderliche Endenergie wurden wie folgt ermittelt:

<b>Varianten</b>		<b>Brennstoff-/ Strombedarf [kWh/a]</b>	<b>Jahres- energie- kosten [€/a]</b>
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	<b>26.500</b>	<b>1.900</b>
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	<b>26.500</b>	<b>2.080</b>
1c	Erdgas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	<b>27.200</b>	<b>1.930</b>
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	<b>26.790</b>	<b>2.160</b>
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	<b>27.520</b>	<b>2.180</b>
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	<b>35.290</b>	<b>3.410</b>
3	Pelletkessel	<b>38.500</b>	<b>1.960</b>
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	<b>8.490</b>	<b>1.200</b>
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	<b>9.720</b>	<b>1.280</b>
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	<b>8.570</b>	<b>1.180</b>
5	Mini-Erdgas-BHKW	<b>48.320</b>	<b>1.330</b>

Die Energiekosten ergeben sich aus dem Produkt der Energiepreise mit der Menge an Brennstoff/Strom, der für die Bereitstellung der erforderlichen Nutzwärmemenge benötigt wird. Dabei sind die Wirkungsgrade/Arbeitszahlen der Wärmeerzeuger ebenso einbezogen wie der Verkauf des produzierten Stroms und die Reduzierung der Erdgaskosten um die Erdgassteuer in der Variante Mini-BHKW.

Ebenfalls berücksichtigt wurde der zum Betrieb der Anlagen erforderliche Hilfsstrom (Antrieb, Förderung, Pumpenbetrieb etc.), bei dem der Haushaltsstromtarif zum Ansatz kommt.

### 7.3.3. Betriebsgebundene Kosten (6WE)

Während des Betriebs der Wärmeerzeugungsanlagen entstehen durch Wartung und Instandhaltung Material und Personalkosten. Diese berechnen sich aus prozentualen Anteilen bezogen auf die Anlagentechnik und die -anfangsinvestition und summieren sich nach VDI 2067-1 zu:

Varianten		Jahreskosten [€/a]
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	225
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	225
1c	Erdgas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	160
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	225
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	160
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	160
3	Pelletkessel	600
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	150
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	180
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	225
5	Mini-Erdgas-BHKW	870

### 7.3.4. Jahreskosten und Wärmepreis (6WE)

Der Wärmepreis ist der Preis, der unter Berücksichtigung aller anfallenden Kosten, für eine Kilowattstunde erzeugte Wärme entrichtet werden muss. Die Gesamtjahreskosten, die als Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ermittelt wurden, werden durch die Jahresgesamtwärmeerzeugung geteilt. Das Ergebnis wird in Ct/kWh Energie ausgegeben.

Im Vergleich der Varianten und Konzepte ergeben sich folgende Wärmepreise:

Varianten		Jahreskosten [€/a]	Wärmepreis [ct/kWh]
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	4.120	12,1
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	4.310	12,7
1c	Erdgas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	4.160	12,3
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	4.720	13,9
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	4.750	14,0
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	4.950	14,6
3	Pelletkessel	4.360	12,9
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	3.550	10,5
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	3.510	10,4
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	3.690	10,9
5	Mini-Erdgas-BHKW	4.990	14,7

### 7.4. Entwicklung der Kosten bei steigenden Energiepreisen

Die Fachwelt geht von einem weiteren Anstieg der Brennstoffpreise aus, wobei der jährliche prozentuale Anstieg in den Prognosen zwischen 2 % und 7 % liegt.

Die Preise für Biomasse unterliegen einem ähnlichen Wettbewerb und reagieren empfindlich auf Schwankungen am Markt hinsichtlich der Verfügbarkeit und in Konkurrenz zu anderen Biomasseverwertungsmöglichkeiten. Langfristig wird auch bei diesem Brennstoff eine Steigerung der Preise erwartet, die sich an die der fossilen Brennstoffe orientieren wird.

Der Strompreis steigt ebenfalls. Auch das ist keine unhaltbare Prognose. Allerdings ist der Vorteil von Strom, dass er sich aus einem Energiemix produzieren lässt und nicht von einem Brennstoff alleine abhängig ist.

Festzuhalten ist, dass die Verbrauchskosten für den Betrieb von Heizungsanlagen zukünftig steigen.

Das führt dazu, dass Anlagen mit geringen Verbrauchskosten stärker in den Vordergrund rücken.

## 8. Zusammenfassung

Bezogen auf eine Wohneinheit stellen sich die Jahreskosten wie folgt dar

Varianten		Jahreskosten [€/a/WE]	
		3 WE	6 WE
1a	Erdgas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	1.000	690
1b	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	1.050	720
1c	Flüssiggas-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	940	690
2a	Heizöl-Brennwertkessel mit Solarunterstützung	1.110	790
2b	Heizöl-Brennwertkessel mit Ersatzmaßnahme	1.060	790
2c	Heizöl-Brennwertkessel mit 50% Bioheizöl	1.120	830
3	Pelletkessel	1.140	730
4a	Wärmepumpe mit Flächenkollektor	950	590
4b	Luftwärmepumpe mit W/W-WP-Kaskade	970	590
4c	Luftwärmepumpe mit Solarunterstützung	1.000	620
5	Mini-BHKW	1.460	830

## 9. Contracting

Eine Heizungsanlage bedarf der Finanzierung, Installation und des Betriebes durch Fachpersonal. Es besteht die Möglichkeit, dass ein Contractor diese Aufgabe übernehmen kann. Das hat den Vorteil, dass bei Betriebsstörungen, Ausfällen oder Reparaturen, der Betrieb der Anlage durch den Contractor wiederhergestellt wird, ohne das dabei Mehrkosten für den Abnehmer anfallen (Betreibermodell).

Der Betrieb und die Finanzierung der Anlagen werden alleine durch den Wärmepreis und den Grundpreis, welche die Nutzer der Wärme zu entrichten haben, refinanziert. So sind auch der Gewinn und das Risikomanagement des Contractors mit im Wärmepreis enthalten. Dies wurde hier durch den höheren Zinsansatz (10 % ggn. 5 % bei den dezentralen Varianten) und die Beschränkung auf einen relativ kurzen Refinanzierungszeitraum (10 Jahre) beim Kapitaldienst berücksichtigt. Hohe Renditen bei geringen Finanzierungszeiträumen, wie sie von Investoren häufig veranschlagt werden, wirken sich auf die Wirtschaftlichkeit jedoch negativ aus.

Teilweises Contracting ist ebenfalls denkbar. Es können Teile der Anlage in verschiedenen Besitzerverhältnissen sein und nur Brennstoffbeschaffung, Betrieb oder Wartung und Instandhaltung etc. vom Contractor durchgeführt werden (Betriebsführungsmodell). Neben den kapitalgebunden Kosten können dabei allerdings auch die verbrauchsgebundenen Kosten sowie ebenfalls die betriebsgebundenen Kosten stark variieren.

Das Contracting bietet dem Besitzer eines Mehrfamilienhauses die Möglichkeit über die Verbrauchskosten hinaus den Mieter an der Finanzierung und den Betriebskosten der Heizungsanlage zu beteiligen. Der Mieter als alleiniger Nutzer der erzeugten Wärme wird somit auch zum „Mieter“ der Heizungsanlage mit allen spezifischen Kosten.

**Tabelle 1.1: Anlagendaten und erforderlicher Energiebedarf kleines Mehrfamilienhaus (3 Wohneinheiten)**

		Erdgas- BW	LPG- BW	Erdgas- BW	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel	Elektrowärmepumpe			KWK
		1a	1b	1c	2a	2b	2c	3	4a	4b	4c	5
inst. Wärmeleistung	$kW_{th}$	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
inst. el. Leistung	$kW_{el}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
BHKW therm. Leistung	$kW_{th}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
inst. Kollektorfläche	$m^2$	12	12	-	12	-	-	-	-	-	12	-

Gesamtwärmebedarf	kWh/a	<b>20.200</b>	<b>20.200</b>	<b>15.490</b>	<b>20.200</b>	<b>15.490</b>	<b>20.200</b>	<b>20.200</b>	<b>20.200</b>	<b>20.200</b>	<b>20.200</b>	<b>20.200</b>
solare Wärmegewinne	kWh/a	6.120	6.120	-	6.120	-	-	-	-	-	6.120	-
Brennstoffbedarf	kWh/a	14.500	14.500	16.000	14.667	16.135	21.042	23.000	5.050	5.850	4.920	27.931
Hilfsstrombedarf	kWh/a	700	700	500	700	500	700	750	800	500	650	650
Jahresnutzungsgrad	%	97 %	97 %	97 %	96 %	96 %	96 %	88 %	-	-	-	97 %
Vollbenutzungsstunden	h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.640
Jahresarbeitszahl WP-gemittelt	[-]	-	-	-	-	-	-	-	4,0	3,5	4,1	-

<sup>1)</sup> Der Einsatz der Brennwerttherme ohne Solarunterstützung setzt eine höhere Dämmung des Gebäudes voraus, die sich wiederum positiv auf den Heizwärmebedarf auswirkt. Der dadurch niedrigere Transmissionswärmeverlust führt zu einem reduzierten Heizwärmebedarf.

Tabelle 1.2: Erforderliche Investitionen und Kapitaldienst

	Erdgas- BW	LPG- BW	Erdgas- BW	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel	Elektrowärmepumpe			KWK	
				1a	1b	1c		2a	2b	2c		3
Heizungsanlage	€	4.000	4.200	4.000	4.400	4.400	4.400	8.500	8.000	12.500	8.500	17.800
Abgasführung	€	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	-	-	-	2.200
Warmwasserspeicher	€	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Puffer-/Wärmespeicher	€	2.000	2.000	-	2.000	-	-	1.500	1.500	1.500	2.000	1.500
Einbindung/Regelung	€	2.750	2.750	1.750	2.750	1.750	1.750	2.750	3.250	2.750	3.250	2.750
Solarkollektoren	€	6.500	6.500	-	6.500	-	-	-	-	-	6.500	-
Zusatzdämmung/Erdkolektor	€	-	-	8.000	-	8.000	-	-	8.500	-	-	-
Erd-/Flüssiggasanschluss	€	1.500 <sup>1)</sup>	1.500	1.500 <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1.500 <sup>1)</sup>
Pelletlager/Tank	€	-	-	-	3.500	3.500	3.500	3.500	-	-	-	-
<b>Invest ohne Förderung</b>	<b>€</b>	<b>20.250</b>	<b>20.450</b>	<b>18.750</b>	<b>22.650</b>	<b>21.150</b>	<b>13.150</b>	<b>19.750</b>	<b>23.250</b>	<b>18.750</b>	<b>22.250</b>	<b>27.750</b>
Förderung Holz	€	-	-	-	-	-	-	1.850	-	-	-	-
Förderung Solar <sup>2)</sup>	€	945	945	-	945	-	-	-	-	-	945	-
Förderung KWK	€	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.950
Förderung Wärmepumpe	€	-	-	-	-	-	-	-	2.250	1.125	1.125	-
<b>Invest mit Förderung</b>	<b>€</b>	<b>19.305</b>	<b>19.505</b>	<b>18.750</b>	<b>21.705</b>	<b>21.150</b>	<b>13.150</b>	<b>17.900</b>	<b>21.000</b>	<b>17.625</b>	<b>20.180</b>	<b>22.800</b>
<b>Kapitaldienst</b>	<b>€/a</b>	<b>1.680</b>	<b>1.700</b>	<b>1.500</b>	<b>1.890</b>	<b>1.720</b>	<b>1.130</b>	<b>1.620</b>	<b>1.850</b>	<b>1.840</b>	<b>1.970</b>	<b>2.610</b>

<sup>1)</sup> Erdgasanschlusskosten nach Angaben der RWE Rhein-Ruhr Netzservice GmbH.

<sup>2)</sup> Förderung nach BAFA-Richtlinie, Stand April 2009 (25% Kürzungen der Basisförderung für Neubauten ggn. 2008)

**Tabelle 1.3: Endenergiebedarf und verbrauchsgebundene Kosten**

		Erdgas- BW 1a	LPG- BW 1b	Erdgas- BW 1c	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel 3	Elektrowärmepumpe			KWK 5
					2a	2b	2c		4a	4b	4c	
Endenergiebedarf	kWh/a	14.500	14.500	16.000	14.667	16.135	21.042	23.000	-	-	-	27.930
Strombedarf	kWh/a	-	-	-	-	-	-	-	5.050	5.850	4.920	-
Hilfsstrombedarf	kWh/a	700	700	500	700	500	700	750	800	500	650	650
Stromerzeugung	kWh/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.920

Brennstoffkosten	€/a	919	986	1.014	1.100	1.210	1.957	1.081	-	-	-	1.648 <sup>1)</sup>
Grundpreis Erdgas	€/a	70	126	70	-	-	-	-	-	-	-	70
Stromkosten WP	€/a	-	-	-	-	-	-	-	641	743	625	-
Grundpreis WP-Strom	€/a	-	-	-	-	-	-	-	68	68	68	-
Kosten Hilfsstrom	€/a	120	120	80	120	80	120	130	130	80	110	110
Stromgutschrift	€/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 900 <sup>2)</sup>

<b>Verbrauchskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>1.109</b>	<b>1.232</b>	<b>1.164</b>	<b>1.220</b>	<b>1.290</b>	<b>2.077</b>	<b>1.211</b>	<b>839</b>	<b>891</b>	<b>803</b>	<b>928</b>
-------------------------	------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	------------	------------	------------	------------

<sup>1)</sup> Die Erdgassteuer wurde bei der Berechnung für den KWK-Anteil bereits abgezogen.

<sup>2)</sup> ausgehend von einer Aufteilung in 70% Eigenbedarf (Verdrängung des Bezugsstroms) und 30% Verkauf des produzierten Stroms.

**Tabelle 1.4a: Betriebsgebundene Kosten**

	Erdgas- BW 1a	LPG- BW 1b	Erdgas- BW 1c	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel 3	Elektrowärmepumpe			KWK 5
				2a	2b	2c		4a	4b	4c	
Wartung / Instandhaltung €/a	150	150	110	150	110	110	300	120	150	150	710
Personalkosten €/a	75	75	50	75	50	50	300	30	30	75	160
<b>Betriebskosten €/a</b>	<b>225</b>	<b>225</b>	<b>160</b>	<b>225</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>600</b>	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>225</b>	<b>870</b>

**Tabelle 1.4b: Kostenzusammenstellung**

	Erdgas- BW 1a	LPG- BW 1b	Erdgas- BW 1c	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel 3	Elektrowärmepumpe			KWK 5
				2a	2b	2c		4a	4b	4c	
Kapitaldienst €/a	1.680	1.700	1.500	1.890	1.720	1.130	1.620	1.850	1.840	1.970	2.610
Verbrauchsgeb. Kosten €/a	1.109	1.232	1.164	1.220	1.290	2.077	1.211	839	891	803	1.828
Betriebsgebundene Kosten €/a	225	225	160	225	160	160	600	150	180	225	870
Stromgutschrift €/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 900
<b>Gesamtjahreskosten €/a</b>	<b>3.014</b>	<b>3.157</b>	<b>2.824</b>	<b>3.335</b>	<b>3.170</b>	<b>3.367</b>	<b>3.431</b>	<b>2.839</b>	<b>2.911</b>	<b>2.988</b>	<b>4.388</b>
<b>Wärmepreis Ct/kWh</b>	<b>14,9</b>	<b>15,6</b>	<b>14,0</b>	<b>16,5</b>	<b>15,7</b>	<b>16,7</b>	<b>17,0</b>	<b>14,1</b>	<b>14,4</b>	<b>14,8</b>	<b>21,7</b>

**Tabelle 2.1: Anlagendaten und erforderlicher Energiebedarf großes Mehrfamilienhaus (6 Wohneinheiten)**

		Erdgas- BW	LPG- BW	Erdgas- BW	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel	Elektrowärmepumpe			KWK
		1a	1b	1c	2a	2b	2c	3	4a	4b	4c	5
inst. Wärmeleistung	$kW_{th}$	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
inst. el. Leistung	$kW_{el}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
BHKW therm. Leistung	$kW_{th}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
inst. Kollektorfläche	$m^2$	16	16	-	16	-	-	-	-	-	16	-

Gesamtwärmebedarf	$kWh/a$	<b>33.880</b>	<b>33.880</b>	<b>26.416</b>	<b>33.880</b>	<b>26.416</b>	<b>33.880</b>	<b>33.880</b>	<b>33.880</b>	<b>33.880</b>	<b>33.880</b>	<b>33.880</b>
solare Wärmegewinne	$kWh/a$	8.160	8.160	-	8.160	-	-	-	-	-	8.160	-
Brennstoffbedarf	$kWh/a$	26.500	26.500	27.200	26.792	27.517	35.292	38.500	8.490	9.720	8.570	48.315
Hilfsstrombedarf	$kWh/a$	900	900	750	900	700	750	900	1100	700	900	850
Jahresnutzungsgrad	%	97 %	97 %	97 %	96 %	96 %	96 %	88 %	-	-	-	97 %
Vollbenutzungsstunden	h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.100
Jahresarbeitszahl WP - gemittelt	[-]	-	-	-	-	-	-	-	4,0	3,5	3,95	-

<sup>1)</sup> Der Einsatz der Brennwerttherme ohne Solarunterstützung setzt eine höhere Dämmung des Gebäudes voraus, die sich wiederum positiv auf den Heizwärmebedarf auswirkt. Der dadurch niedrigere Transmissionswärmeverlust führt zu einem reduzierten Heizwärmebedarf.

**Tabelle 2.2: Erforderliche Investitionen und Kapitaldienst**

	Erdgas- BW 1a	LPG- BW 1b	Erdgas- BW 1c	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel 3	Elektrowärmepumpe			KWK 5	
				2a	2b	2c		4a	4b	4c		
Heizungsanlage	€	4.500	4.700	4.500	4.900	4.900	4.900	9.000	9.000	14.000	10.000	18.300
Abgasführung	€	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	-	-	-	2.200
Warmwasserspeicher	€	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Puffer-/Wärmespeicher	€	2.500	2.500	-	2.500	-	-	2.000	2.000	2.000	2.500	2.000
Einbindung/Regelung	€	3.750	3.750	2.250	3.750	2.250	2.250	3.350	4.250	3.750	4.250	3.250
Solarkollektoren	€	8.000	8.000	-	8.000	-	-	-	-	-	8.000	-
Sonstige Baukosten	€	-	-	14.000	-	14.000	-	-	13.000	-	-	-
Erdgasanschluss	€	1.500 <sup>1)</sup>	1.500	1.500 <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1.500 <sup>1)</sup>
Festbrennstofflager	€	-	-	-	5.000	5.000	5.000	3.500	-	-	-	-
<b>Invest ohne Förderung</b>	<b>€</b>	<b>24.250</b>	<b>24.450</b>	<b>26.250</b>	<b>28.150</b>	<b>30.150</b>	<b>16.150</b>	<b>21.750</b>	<b>30.750</b>	<b>22.250</b>	<b>27.250</b>	<b>29.750</b>
Förderung Holz	€	-	-	-	-	-	-	1.850	-	-	-	-
Förderung Solar <sup>2)</sup>	€	1.260	1.260	-	1.260	-	-	-	-	-	1.260	-
Förderung KWK	€	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.950
Förderung Wärmepumpe	€	-	-	-	-	-	-	-	4.500	2.250	2.250	-
<b>Invest mit Förderung</b>	<b>€</b>	<b>22.990</b>	<b>23.190</b>	<b>26.250</b>	<b>26.890</b>	<b>30.150</b>	<b>16.150</b>	<b>19.900</b>	<b>26.250</b>	<b>20.000</b>	<b>23.740</b>	<b>24.800</b>
<b>Kapitaldienst</b>	<b>€/a</b>	<b>1.990</b>	<b>2.010</b>	<b>2.070</b>	<b>2.340</b>	<b>2.410</b>	<b>1.380</b>	<b>1.800</b>	<b>2.190</b>	<b>2.050</b>	<b>2.280</b>	<b>2.790</b>

<sup>1)</sup> Erdgasanschlusskosten nach Angaben der RWE Rhein-Ruhr Netzservice GmbH.

<sup>2)</sup> Förderung nach BAFA-Richtlinie, Stand April 2009 (25% Kürzungen der Basisförderung für Neubauten ggn. 2008)

**Tabelle 2.3: Endenergiebedarf und verbrauchsgebundene Kosten**

		Erdgas- BW 1a	LPG- BW 1b	Erdgas- BW 1c	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel 3	Elektrowärmepumpe			KWK 5
					2a	2b	2c		4a	4b	4c	
Endenergiebedarf	kWh/a	26.500	26.500	27.200	26.792	27.517	35.292	38.500	-	-	-	48.315
Strombedarf	kWh/a	-	-	-	-	-	-	-	8.490	9.720	8.570	-
Hilfsstrombedarf	kWh/a	900	900	750	900	700	750	900	1100	700	900	850
Stromerzeugung	kWh/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.300
<hr/>												
Brennstoffkosten	€/a	1.680	1.802	1.724	2.009	2.064	3.282	1.810	-	-	-	2.831 <sup>1)</sup>
Grundpreis Erdgas	€/a	70	126	70	-	-	-	-	-	-	-	70
Stromkosten WP	€/a	-	-	-	-	-	-	-	957	1.095	966	-
Grundpreis WP-Strom	€/a	-	-	-	-	-	-	-	68	68	68	-
Kosten Hilfsstrom	€/a	150	150	130	150	120	130	150	180	120	150	140
Stromgutschrift	€/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 1.710 <sup>2)</sup>
<hr/>												
<b>Verbrauchskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>1.900</b>	<b>2.078</b>	<b>1.925</b>	<b>2.159</b>	<b>2.184</b>	<b>3.412</b>	<b>1.960</b>	<b>1.205</b>	<b>1.283</b>	<b>1.184</b>	<b>1.332</b>

<sup>1)</sup> Die Erdgassteuer wurde bei der Berechnung für den KWK-Anteil bereits abgezogen.

<sup>2)</sup> ausgehend von einer Aufteilung in 70% Eigenbedarf (Verdrängung des Bezugsstroms) und 30% Verkauf des produzierten Stroms.

**Tabelle 2.4a: Betriebsgebundene Kosten**

		Erdgas- BW	LPG- BW	Erdgas- BW	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel	Elektrowärmepumpe			KWK
		1a	1b	1c	2a	2b	2c	3	4a	4b	4c	5
Wartung / Instandhaltung	€/a	150	150	110	150	110	110	300	120	150	150	710
Personalkosten	€/a	75	75	50	75	50	50	300	30	30	75	160
<b>Betriebskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>225</b>	<b>225</b>	<b>160</b>	<b>225</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>600</b>	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>225</b>	<b>870</b>

**Tabelle 2.4b: Kostenzusammenstellung**

		Erdgas- BW	LPG- BW	Erdgas- BW	Heizöl-Brennwert			Pellet- kessel	Elektrowärmepumpe			KWK
		1a	1b	1c	2a	2b	2c	3	4a	4b	4c	5
Kapitaldienst	€/a	1.990	2.010	2.070	2.340	2.410	1.380	1.800	2.190	2.050	2.280	2.790
Verbrauchsgeb. Kosten	€/a	1.900	2.078	1.925	2.159	2.184	3.412	1.960	1.205	1.283	1.184	3.042
Betriebsgeb. Kosten	€/a	225	225	160	225	160	160	600	150	180	225	870
Stromgutschrift	€/a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 1.710
<b>Gesamtjahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>4.115</b>	<b>4.313</b>	<b>4.155</b>	<b>4.724</b>	<b>4.754</b>	<b>4.952</b>	<b>4.360</b>	<b>3.545</b>	<b>3.513</b>	<b>3.689</b>	<b>4.992</b>
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh</b>	<b>12,1</b>	<b>12,7</b>	<b>12,3</b>	<b>13,9</b>	<b>14,0</b>	<b>14,6</b>	<b>12,9</b>	<b>10,5</b>	<b>10,4</b>	<b>10,9</b>	<b>14,7</b>