



Umwelt Campus Birkenfeld
Postfach 1380
55761 Birkenfeld

Forschungsvorhaben Untersuchung verschiedener
Wärmedämmstandards des Neubaus der
heilpädagogischen Einrichtung mit den
Wärmeerzeugungsvarianten Pelletheizung und
Sole-Wasser Wärmepumpe der Kreuznacher
Diakonie, Bad Sobernheim

Erstellt von:
B.Eng. Bauingenieur (FH) Bernd Göldner

In Zusammenarbeit mit:
Dipl. Betriebswirt (FH) Thomas Anton

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 2. Ist Analyse..... | 2 |
| 3. Beschreibung der Untersuchungsszenarien..... | 4 |
| 4. Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizient der Bauteile bei unterschiedlichen Dämmstandards | 5 |
| 5. Heizung Anlagenvarianten..... | 9 |
| 6. Gesamtkosten der verschiedenen Gebäudevarianten | 11 |
| Resümee | 12 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Lageplan..... | 2 |
| Abbildung 2: Grundriss Neubau | 3 |
| Abbildung 3: Entwicklung der Jahreskosten über 20 Jahre | 13 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: U-Werte der Bauteile verschiedener Dämmstandards..... | 5 |
| Tabelle 2: Außenwand, Bauteilkosten verschiedener Dämmstärken | 6 |
| Tabelle 3: Fenster, Bauteilkosten verschiedener Verglasung | 6 |
| Tabelle 4: Türen, Bauteilkosten verschiedener Verglasung | 7 |
| Tabelle 5: Dach, Bauteilkosten verschiedener Dämmstärken | 7 |
| Tabelle 6: Bodenplatte, Bauteilkosten verschiedener Dämmvarianten | 8 |
| Tabelle 7: Innenwand, Bauteilkosten verschiedener Dämmstärken..... | 8 |
| Tabelle 8: Kosten der Heizungsanlagen | 10 |
| Tabelle 9: Investitionskosten Dämmung und Heizung..... | 11 |

1. Einleitung

Das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) wurde von der heilpädagogischen Einrichtung der Kreuznacher Diakonie beauftragt eine Untersuchung durchzuführen, in wie weit bei einem Neubau am Standort Meisenheim unterschiedliche Dämmstandards und Heizungssysteme wirtschaftlich darstellbar sind.

In diesem Zuge werden die technische Machbarkeit und die wirtschaftliche Rentabilität der verschiedenen Kombinationen aus Dämmstandard und Heizsystem berechnet. Hierzu werden anschließend die anfallenden Investitionskosten ermittelt. Ziel der Studie ist es die Energiestandards der EnEV 2007, EnEV 2009, KfW 40 Haus und Passivhaus darzustellen. Des Weiteren wird die Beheizung mittels einer Sole-Wasser Wärmepumpe, der, einer Pelletheizung gegenübergestellt.

Aus den Investitionskosten und den Betriebskosten der Anlagen wird schließlich ein Wärmepreis ermittelt, um die verschiedenen Anlagenvarianten und den Bestand zu vergleichen. Weiterhin wird die Errichtung einer Solarthermieanlage auf der Dachfläche des Neubaus untersucht.

Diese Studie ersetzt nicht die konkrete Planung der technischen Einrichtungen. Sie soll dazu dienen, vorab Entscheidungen bezüglich der Wahl des Dämmstandards sowie der Heizungstechnik zu treffen.

Die Energieverbräuche, die Bauteilkosten und die Heizleistungen wurden mit Hilfe der Software „Energieberater 6 Plus“ der Firma Hottgenroth ermittelt.

2. Ist Analyse

Auf dem Gelände der Heilpädagogischen Einrichtung in Bad Sobernheim bestehen in unmittelbarer Nachbarschaft zum Neubau bereits ein Haupt- und Nebengebäude sowie eine Scheune. Das Haupt- und das Nebengebäude werden als Wohnhaus für Menschen mit geistigen Behinderungen genutzt.

Der geplante Neubau soll westlich der bestehenden Gebäude errichtet werden. Hierbei handelt es sich nach aktuellem Planungsstand um ein eingeschossiges Gebäude mit einer Grundfläche von etwa 480 m². Die Abmessungen des Gebäudes betragen 40m x 12m und eine max. Höhe von ca. 7m. Das Haus wird in massiver Bauweise, mit 36,5 cm starken Dämmsteinen, geplant. Die Ausführung des Daches erfolgt als versetztes Satteldach.

Der Neubau soll der Tagesstruktur für die Behinderten dienen und der Verwaltungsbereich soll hierin angesiedelt werden. Das Gebäude wird an den Wochentagen von ca. 40 Personen genutzt werden. In den Abendstunden und an den Wochenenden wird es nur in Ausnahmefällen genutzt werden. Die Raumtemperatur wurde mit 24°C angenommen, da die körperlich Behinderten Menschen durch den Bewegungsmangel einen höheren Wärmebedarf aufweisen. Der Warmwasserbedarf wird als sehr gering eingeschätzt, da nur die Küche, die mit Essen beliefert wird, warmes Wasser zum spülen benötigt. Eine Dusche wird eingebaut, jedoch wird davon ausgegangen, dass sie eher weniger genutzt wird, da die tägliche Körperpflege der Bewohner im Wohngebäude durchgeführt wird.

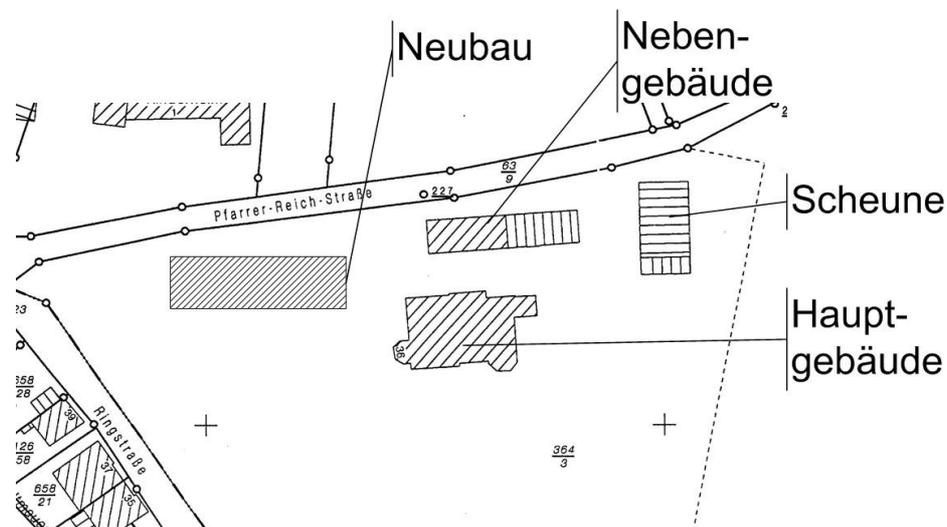


Abbildung 1: Lageplan

3. Beschreibung der Untersuchungsszenarien

Folgende Kriterien für die Energiestandards der Gebäudehülle wurden angewendet. Das Gebäude wurde als Wohngebäude berechnet. Diese Berechnungsart wurde gewählt, da bei der Betrachtung nur die Gebäudehülle und die Heiztechnik von Belang waren. Eine Berechnung als Nichtwohngebäude, die den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes betrachtet, verkompliziert die Vergleiche der einzelnen Varianten erheblich.

Da der Trinkwarmwasserbedarf, bei der geplanten Nutzung des Gebäudes, als sehr gering angesehen wird, sind elektrische Durchlauferhitzer gewählt worden. In den Varianten mit Solaranlage wurden die dezentralen elektrischen Durchlauferhitzer durch eine solar unterstützte Zentrale Trinkwarmwasserversorgung ersetzt.

Eine Untersuchung eines Plusenergiehauses ist durch die örtliche Gegebenheit nicht möglich. Da zwei große Parkbäume die Südseite des Neubaus zu einem Großteil verschatten werden, kann eine thermische Solaranlage nur einen geringen Beitrag zur Energieabdeckung leisten. Eine PV-Anlage ist aus Gründen der Verschattung wirtschaftlich nicht tragbar.

Für den Passivhausstandard wurde eine Solaranlage mit eingeplant um den Energiestandard zu erlangen. Zudem stellt die Solaranlage bei diesem Gebäudetyp eine Schlüssige Anlagenerweiterung dar.

Es werden folgende Möglichkeiten an Dämmstandards mit unterschiedlichen Heizvarianten betrachtet:

- EnEV 2007
- EnEV 2009 (EnEV 2007 -30%)
- KfW 40
- Passivhaus

Diese Dämmstandards werden mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern geprüft, so dass sich folgende Prüfvarianten ergeben:

- EnEV 2007 mit Wärmepumpe
- EnEV 2007 mit Pelletkessel

- EnEV 2009 mit Wärmepumpe
- EnEV 2009 mit Pelletkessel

- KfW 40 Haus mit Wärmepumpe
- KfW 40 Haus mit Pelletkessel

- Passivhaus mit Wärmepumpe und Solaranlage
- Passivhaus mit Pelletkessel und Solaranlage

4. Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizient der Bauteile bei unterschiedlichen Dämmstandards

Die Anforderung an den Wärmedurchlass bei den verschiedenen Gebäudestandards für den Neubau der Diakonie sind aus den Verordnungen der EnEV 2007 und der EnEV 2009 entnommen. Die Werte gelten für beheizte Gebäude mit einer Innentemperatur von $\geq 19 \text{ }^\circ\text{C}$.

Für den KfW 40 Standard müssen die maximalen U-Werte den EnEV 2007 Wert um 45% unterschritten werden.

Beim Passivhausstandard ist die Vorgabe vom Passivhausinstitut, den Wärmedurchlass aller lichtundurchlässiger Bauteile auf $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu begrenzen und die lichtdurchlässigen Bauteile mit Dreifachverglasung und somit mind. mit einem U-Wert von $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu begrenzen.

Die folgende Tabelle listet, die U-Werte der einzelnen Bauteile und Dämmstandards auf.

| Bauteil | Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$] | | | |
|----------------------------|--|-----------|--------|------------|
| | EnEV 2007 | EnEV 2009 | KfW 40 | Passivhaus |
| Außenwand | 0,35 | 0,24 | 0,20 | 0,15 |
| Fenster | 1,70 | 1,30 | 0,80 | 0,80 |
| Tür | 2,90 | 2,90 | 1,30 | 0,80 |
| Dach/ oberste Geschoßdecke | 0,30 | 0,24 | 0,15 | 0,15 |
| Bodenplatte | 0,40 | 0,30 | 0,18 | 0,15 |

Tabelle 1: U-Werte der Bauteile verschiedener Dämmstandards

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Kosten in Tabellenform dargestellt. In den folgenden sechs Tabellen sind die Bauteilkosten der unterschiedlichen Energetischen Anforderungen aufgeführt.

Bei der Außenwanddämmung ist gut zu erkennen, dass die Mehrkosten für eine größere Dämmstärke sich nur geringfügig auf die Kosten auswirkt. Die Dämmwirkung zwischen der Variante EnEV und Passivhaus wird um 75% verbessert, während sich die Kosten nur um 22% erhöhen.

| Variante | | Bauteilbeschreibung | U-Wert [W/(m ² K)] | Preis [m ²] | Preis gesamt |
|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| EnEV 2007 | Außenwand | 5 cm mit 040 gedämmt | 0,35 | 78,00 € | 19.500,00 € |
| EnEV 2009 | Außenwand | 12 cm mit 040 gedämmt | 0,21 | 84,00 € | 21.000,00 € |
| KfW 40 Haus | Außenwand | 20 cm mit 040 gedämmt | 0,15 | 92,00 € | 23.000,00 € |
| Passivhaus | Außenwand | 30 cm mit 040 gedämmt | 0,11 | 100,00 € | 25.000,00 € |

Tabelle 2: Außenwand, Bauteilkosten verschiedener Dämmstärken

Bei den Fenstern ist zu erkennen, dass sich der Preis für wärmetechnisch bessere Fenster mit dem U-Wert einher geht. Da Sie in den Gebäuden von allen Bauteilen den schlechtesten U-Wert aufweisen und somit die wärmetechnische Schwachstelle in der Gebäudehülle darstellen, hängt die thermische Behaglichkeit in einem Raum sehr stark von der Qualität der Fenster ab.

| Variante | | Bauteilbeschreibung | U-Wert [W/(m ² K)] | Preis [m ²] | Preis gesamt |
|-------------|---------|---|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| EnEV 2007 | Fenster | 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung | 1,70 | 275,00 € | 33.275,00 € |
| EnEV 2009 | Fenster | 2-Scheiben Wärme- schutzverglasung, verbessert | 1,10 | 345,00 € | 41.745,00 € |
| KfW 40 Haus | Fenster | 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung | 0,70 | 415,00 € | 50.215,00 € |
| Passivhaus | Fenster | 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung | 0,70 | 415,00 € | 50.215,00 € |

Tabelle 3: Fenster, Bauteilkosten verschiedener Verglasung

Die Haustüren sind Preislich sehr schwer zu bestimmen, da sie sehr Individuell gestaltet sind und daher die Kosten sehr stark variieren können.

| Variante | | Bauteilbeschreibung | U-Wert [W/(m ² K)] | Preis [m ²] | Preis gesamt |
|-------------|-------|---|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| EnEV 2007 | Türen | Holzrahmentür | 2,80 | 670,00 € | 9.380,00 € |
| EnEV 2009 | Türen | Holzrahmentür | 2,80 | 670,00 € | 9.380,00 € |
| KfW 40 Haus | Türen | 3-Scheiben Wärmeschutzverglaste Holzrahmentür | 0,80 | 1.000,00 € | 14.000,00 € |
| Passivhaus | Türen | 3-Scheiben Wärmeschutzverglaste Holzrahmentür | 0,80 | 1.000,00 € | 14.000,00 € |

Tabelle 4: Türen, Bauteilkosten verschiedener Verglasung

Die Mehrkosten für eine bessere Dämmung beim Dach betragen zwischen den Varianten EnEV und Passivhaus 14%. Die Dämmqualität wurde dabei um 40% verbessert.

| Variante | | Bauteilbeschreibung | U-Wert [W/(m ² K)] | Preis [m ²] | Preis gesamt |
|-------------|------|--|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| EnEV 2007 | Dach | 16 cm Zwischensparren- dämmung WLG 040 und 2 cm Untersparrendämmung WLG 045 | 0,28 | 82,00 € | 39.114,00 € |
| EnEV 2009 | Dach | 16 cm Zwischensparren- dämmung WLG 040 und 10 cm Untersparrendämmung WLG 045 | 0,20 | 87,00 € | 41.499,00 € |
| KfW 40 Haus | Dach | 16 cm Zwischensparren- dämmung WLG 040 und 16 cm Untersparrendämmung WLG 045 | 0,15 | 91,00 € | 43.407,00 € |
| Passivhaus | Dach | 16 cm Zwischensparren- dämmung WLG 040 und 24 cm Untersparrendämmung WLG 045 | 0,11 | 95,00 € | 45.315,00 € |

Tabelle 5: Dach, Bauteilkosten verschiedener Dämmstärken

Bei den Kosten der Bodenplatte ist ein sehr großer Sprung zwischen der Variante „Dämmung unter dem Estrich“ und „Dämmung unter der Bodenplatte“ zu erkennen. Alternativ zur Dämmung unter der Bodenplatte könnte auch die Dämmung unter dem Estrich zu wesentlich günstigeren Konditionen verbessert werden. Diesen Kosten müsste man allerdings die Baukosten für das größere brutto Bauvolumen gegenrechnen. Des Weiteren ist zwischen der Außenwanddämmung und der Estrichdämmung eine Wärmebrücke, die bei einem sehr gut gedämmten Haus eine Schwachstelle in der Gebäudehülle darstellt, besonders wenn das Gebäude nicht unterkellert wird.

| Variante | | Bauteilbeschreibung | U-Wert [W/(m ² K)] | Preis [m ²] | Preis gesamt |
|-------------|-------------|--|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| EnEV 2007 | Bodenplatte | 6 cm Dämmung unter Estrich WLG 028 | 0,39 | 33,00 € | 15.345,00 € |
| EnEV 2009 | Bodenplatte | 10cm Dämmung unter Estrich WLG 028 | 0,26 | 37,00 € | 17.205,00 € |
| KfW 40 Haus | Bodenplatte | 20 cm XPS Dämmung unter Bodenplatte | 0,12 | 85,00 € | 39.525,00 € |
| Passivhaus | Bodenplatte | 20 cm XPS Dämmung unter Bodenplatte | 0,12 | 85,00 € | 39.525,00 € |

Tabelle 6: Bodenplatte, Bauteilkosten verschiedener Dämmvarianten

Für die Innenwände gilt das Selbe wie für das Dach und die Außenwand. Es ist mit einem geringen Mehrkostenaufwand eine wesentliche Verbesserung der Dämmeigenschaft des Bauteils zu erreichen.

| Variante | | Bauteilbeschreibung | U-Wert [W/(m ² K)] | Preis [m ²] | Preis gesamt |
|-------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| EnEV 2007 | Innenwand | 5 cm Dämmung WLG 040 | 0,37 | 53,00 € | 6.625,00 € |
| EnEV 2009 | Innenwand | 10 cm Dämmung WLG 040 | 0,27 | 56,00 € | 7.000,00 € |
| KfW 40 Haus | Innenwand | 20 cm Dämmung WLG 040 | 0,16 | 66,00 € | 8.250,00 € |
| Passivhaus | Innenwand | 30cm Dämmung WLG 040 | 0,11 | 73,00 € | 9.125,00 € |

Tabelle 7: Innenwand, Bauteilkosten verschiedener Dämmstärken

5. Heizung Anlagenvarianten

Die verschiedenen Gebäudestandards benötigen unterschiedliche Heizleistungen zur Wärmeversorgung (ohne Warmwasser). Diese wurden bei der Kostenermittlung der Wärmeerzeugungsanlagen berücksichtigt und sind wie folgt ausgeführt.

- EnEV 2007 benötigt ca. 23 kW Heizleistung
- EnEV 2009 benötigt ca. 20 kW Heizleistung
- KfW 40 Haus benötigt ca. 16 kW Heizleistung
- Passivhaus benötigt ca. 15 kW Heizleistung

Für die Heizungstechnik wurden folgende vier Varianten verglichen:

- a) Pelletheizung
- b) Sole-Wasser Wärmepumpe
- c) Pelletheizung mit Solaranlage (Passivhausvariante)
- d) Sole-Wasser Wärmepumpe mit Solaranlage (Passivhausvariante)

a) Die Pelletheizung:

Die Pelletheizung PE25 der Firma ÖkoFen diente als Grundlage der Kostenkalkulation. Im Preis sind auch ein Warmwasserspeicher, die Förderschnecke und sonstige Kleinteile enthalten. Zudem wurden die Kosten eines Pelletspeichers mit eingerechnet.

b) Wärmepumpe mit 24 kW Wärmeleistung

Zur Preisermittlung der Wärmepumpe wurde ein Angebot der Fa. 111 Meter GmbH, Mönchengladbach, für die Tiefenbohrung einer 24 kW Heizleistung, eingeholt. Das Angebot weist einige unkalkulierbare Risiken für den Bauherrn auf.

- Das Angebot für die Erdbohrungen gilt nur für die Bodenklassen 1-5. Bodenklasse 6 (leicht lösbarer Fels) und 7 (schwer lösbarer Fels) sind ausgeschlossen. Es ist jedoch bei einer Bohrung von 95 m, vor allem bei den Bodenverhältnissen in Bad Sobernheim, von einem felsigen Untergrund auszugehen. Dies könnte ohne Vorverhandlungen und einer schriftlichen Zusage des Unternehmens zu einer unkalkulierbaren Kostensteigerung führen.
- Um einen Austausch von Grundwasser in unterschiedlichen Grundwasserschichten zu vermeiden muss beim Durchbohren einer wasserführenden Schicht diese erst verplombt werden, bevor weiter gebohrt werden darf. Die Kosten einer möglichen Verplombung sind in diesem Angebot nicht erwähnt.
- Die Anfrage meinerseits zu einer Angebotsabgabe für Tiefenbohrungen mit einer Wärmeleistung von 24 kW wurde vom Unternehmen mit einem Angebot

für vier Bohrungen mit einer Tiefe von 95 m beantwortet. Von einer Wärmeleistung dieser Bohrungen von 24 kW ist in dem Angebot schriftlich nichts erwähnt. Daraus ist abzuleiten, dass das Unternehmen keine Garantie für die benötigte Leistung gewährt. Das Risiko, dass weitere Bohrungen benötigt werden um die Leistung von 24 kW zu erreichen, liegt beim Bauherrn. Dies kann ebenfalls zu unvorhersehbaren Mehrkosten führen.

Bei der Wärmepumpe wurden die Geräte SIP 50H, SIP 41H und SIP 33H der Firma Novelan als Grundlage für die Kostenkalkulation angenommen.

c) und d) In diesen Varianten wurde zur entsprechenden Heizungsanlage eine Solaranlage mit eingerechnet. Diese wurde mit einer Fläche von 10 m² angenommen, da das neu zu errichtende Gebäude zum Teil von alten Parkbäumen verschattet werden wird.

In den Preisen für die Heizungsanlagen sind folgende Kosten mit eingerechnet:

- Bei der Wärmepumpe ist die Tiefenbohrung der Leistung des unterschiedlichen Wärmebedarfs angepasst und die Sole-Wasser Wärmepumpe mit unterschiedlichen Leistungen eingerechnet.
- Die Pelletheizung ist in allen Varianten die Selbe, da sie zwischen 9 und 25 kW geregelt werden kann. Die Pelletlager sind dem Energiebedarf angepasst und vom Volumen so ausgelegt, dass sie zweimal im Jahr befüllt werden müssen.

| Dämmstandard | Heizungsvariante | Preis |
|--------------|--------------------|-------------|
| EnEV 2007 | Wärmepumpe | 27.977,81 € |
| | Pellet | 23.129,00 € |
| EnEV 2009 | Wärmepumpe | 25.902,81 € |
| | Pellet | 23.129,00 € |
| KfW 40 Haus | Wärmepumpe | 22.260,81 € |
| | Pellet | 20.287,00 € |
| Passivhaus | Wärmepumpe + Solar | 29.695,81 € |
| | Pellet + Solar | 27.212,00 € |

Tabelle 8: Kosten der Heizungsanlagen

6. Gesamtkosten der verschiedenen Gebäudevarianten

Bei den Mehrkosten für die Dämmmaßnahmen sind die geringeren Kosten für die Heizungstechnik mit eingerechnet.

Ein großer Sprung in den Kosten ist in der Variante KfW 40 Haus zu erkennen. Dies hängt mit der wesentlich teureren Perimeterdämmung unter der Bodenplatte und der 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung der Fenster zusammen. Beim Passivhaus kommt zusätzlich noch die Solaranlage mit 8.000 € zum tragen.

| Variante | | Investitionskosten | Mehrkosten Dämmmaßnahmen und Heizung im Vergleich mit EnEV |
|-----------|--------------|--------------------|---|
| EnEV 2007 | WP | 151.216,81 € | |
| | Pellet | 146.368,00 € | |
| EnEV 2009 | WP | 164.151,81 € | 12.935,00 € |
| | Pellet | 161.378,00 € | 15.010,00 € |
| KfW 40 | WP | 200.657,81 € | 49.441,00 € |
| | Pellet | 198.684,00 € | 52.316,00 € |
| Passiv | WP+Solar | 212.875,81 € | 61.659,00 € |
| | Pellet+Solar | 210.392,00 € | 64.024,00 € |

Tabelle 9: Investitionskosten Dämmung und Heizung

Resümee

Das folgende Diagramm spiegelt die Kostensteigerung der verschiedenen Varianten über den Zeitraum von 20 Jahren wieder. Es handelt sich dabei um die Jahres Nettokosten aus den Kapitalkosten, den Verbrauchskosten und den Betriebskosten.

Die jährlichen Steigerungsraten der verschiedenen Brennstoffe wurden wie folgt angenommen:

| | |
|-------------|-------|
| Strom | 6,2 % |
| Holzpellets | 4,2 |

Dämmung des Gebäudes:

Bei den verschiedenen Dämmungen ist zu erkennen, dass unterschiedliche Dämmstoffdicken einen sehr geringen Preisunterschied aufweisen. Unterschiedliche Ausführungstechniken und unterschiedliche Dämmprodukte jedoch sehr wohl in der Preisgestaltung stark voneinander abweichen können. Daher ist bei der Auswahl des Verfahrens darauf zu achten ein preisgünstiges Verfahren, das den baulichen Anforderungen entspricht, einzusetzen.

Heizungsanlage des Objektes:

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass die Wärmepumpen die kostengünstigeren Heizungsanlagen sind. Beim Angebot der Tiefenbohrung ist jedoch ein erhebliches Restrisiko der Kosten das der Bauherr zu tragen hat. Zudem gewährt der Stromversorger den günstigen Strompreis für die Wärmepumpen nur für zehn Jahre. Auch dort trägt der Bauherr das Risiko dass der vergünstigte Strombezug nach dem Auslaufen des Vertrages nicht mehr gewährt wird.

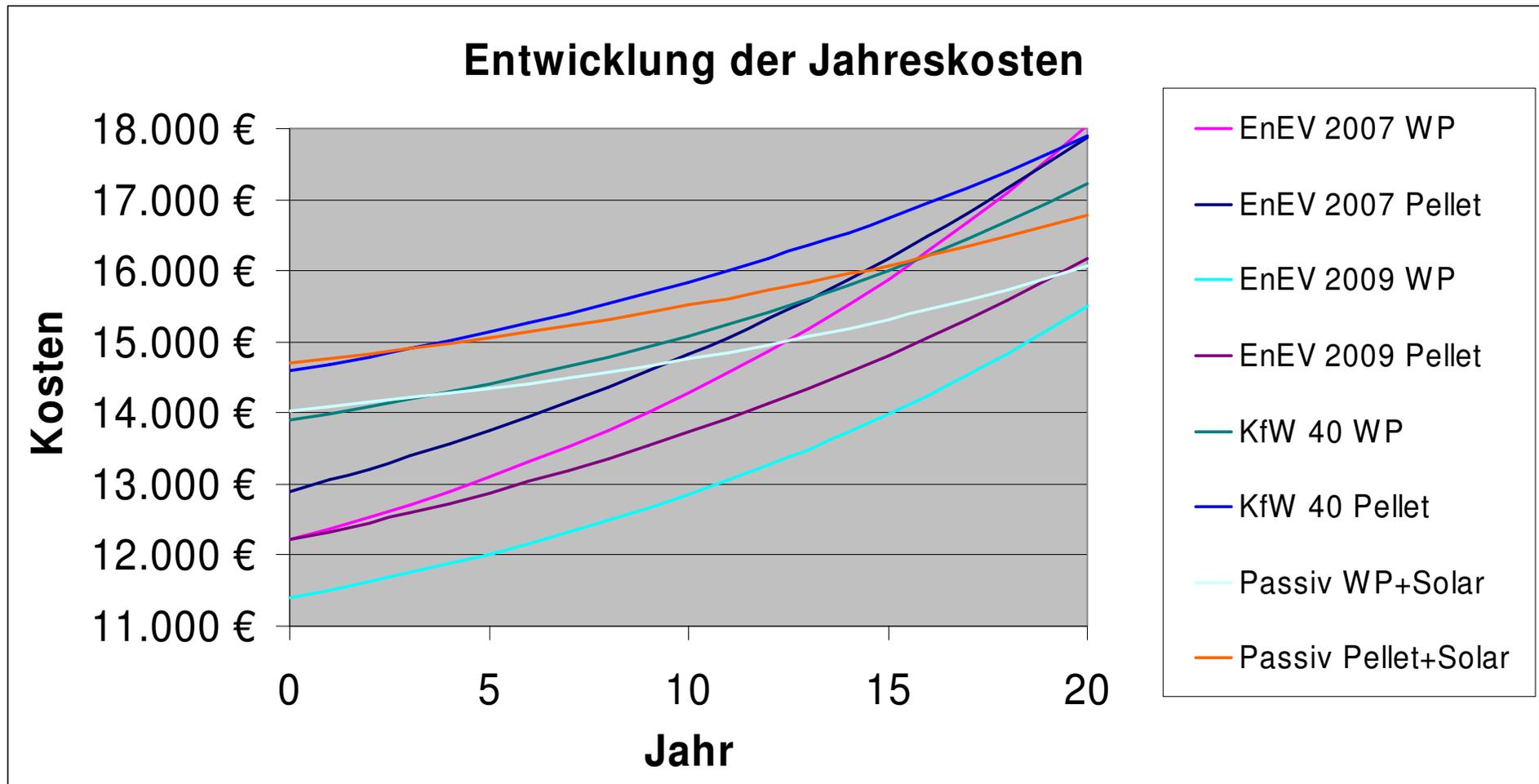


Abbildung 3: Entwicklung der Jahreskosten über 20 Jahr