

e7 Energie Markt Analyse  
Theresianumgasse 7/1/8  
1040 Wien

Energieinstitut Vorarlberg  
Stadtstraße 33/CCD  
6850 Dornbirn

# Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg

Endbericht 29. November 2013

Autoren: Arch. DI Martin Ploss (Energieinstitut Vorarlberg)  
Martin Brunn (Energieinstitut Vorarlberg)  
Daniela Bachner MSc (Energieinstitut Vorarlberg)  
Mag. Klemens Leutgöb (e7 Energie Markt Analyse GmbH)  
DI Barbara Jörg BSc (e7 Energie Markt Analyse GmbH)

Auftraggeber: Land Vorarlberg

Die in dieser Studie genannten Zahlen stellen keine Empfehlungen zur Optimierung von Einzelgebäuden dar. Sie beziehen sich auf die untersuchten Beispielgebäude, auf den Preisstand 2013 in der Region Vorarlberg und auf die in der Studie genannten Annahmen.

Die Ergebnisse der Studie können und sollen eine individuelle, projektbezogene Beratung mit wirtschaftlich-energetischer Optimierung nicht ersetzen. Das Energieinstitut Vorarlberg übernimmt keine Haftung, wenn die Ergebnisse in der Praxis nicht mit jenen der theoretischen Berechnung übereinstimmen, vor allem dann nicht, wenn von anderen Rahmenbedingungen als angenommen ausgegangen wird.

Inhaltsverzeichnis

## Inhaltsverzeichnis

### Inhalt

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>7</b>
1.1	Anlass und Ziel.....	7
1.2	Methodik.....	7
1.3	Annahmen und Randbedingungen.....	8
1.4	Ergebnisse .....	8
1.5	Fazit.....	12
<b>2</b>	<b>ANLASS, PROBLEMSTELLUNG UND RECHTLICHE GRUNDLAGEN.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE.....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG - METHODIK UND ANNAHMEN .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>ENERGIEBEDARF .....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>INVESTITIONSKOSTEN .....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>KOSTEN FÜR WARTUNG UND INSTANDHALTUNG.....</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEIT .....</b>	<b>31</b>
<b>8.1</b>	<b>Detailergebnisse Einfamilienhaus .....</b>	<b>38</b>
8.1.1	EFH - Massivbauweise, Gasheizung.....	38
8.1.2	EFH - Massivbauweise, Pelletheizung.....	40
8.1.3	EFH - Massivbauweise, Wärmepumpenheizung .....	41
8.1.4	EFH - Holzbauweise, Gasheizung .....	42
8.1.5	EFH - Holzbauweise, Pelletheizung.....	43
8.1.6	EFH - Holzbauweise, Wärmepumpenheizung .....	45
<b>8.2</b>	<b>Detailergebnisse typisches Mehrfamilienhaus.....</b>	<b>47</b>
8.2.1	Typisches MFH - Massivbauweise, Gasheizung.....	47
8.2.2	Typisches MFH - Massivbauweise, Pelletheizung.....	48
8.2.3	typisches MFH, Massivbauweise, Wärmepumpenheizung .....	49
8.2.4	Typisches MFH - Holzbauweise, Gasheizung.....	50
8.2.5	Typisches MFH - Holzbauweise, Pelletheizung.....	51
8.2.6	Typisches MFH - Holzbauweise, Wärmepumpenheizung .....	52
<b>8.3</b>	<b>Detailergebnisse großes Mehrfamilienhaus,.....</b>	<b>53</b>
8.3.1	Großes MFH - Massivbauweise, Gasheizung.....	53

8.3.2	Großes MFH, Massivbauweise, Pelletheizung .....	54
8.3.3	Großes Mehrfamilienhaus, Massivbauweise, Wärmepumpenheizung.....	55
<b>8.4</b>	<b>Mehr- und Minderkosten der energetisch besten Varianten .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>SENSITIVITÄTSANALYSE.....</b>	<b>58</b>
9.1	Sensitivität 1: Energiepreissteigerung 1% geringer als in Grundvariante.....	59
9.2	Sensitivität 2: Energiepreissteigerung 1% höher als in Grundvariante .....	60
9.3	Sensitivität 3: Berücksichtigung der CO <sub>2</sub> -Kosten .....	61
9.4	Sensitivität 4: Diskontsatz 1% höher .....	62
9.5	Resumé Sensitivitätsanalysen.....	62
<b>10</b>	<b>VERGLEICH MIT ÄHNLICHEN STUDIEN .....</b>	<b>63</b>
10.1	Studie AEA .....	63
10.2	Studie e7 (deutsch).....	65
10.3	Studie e7 für EU .....	67
10.4	Studie OIB.....	70
<b>11</b>	<b>QUELLEN .....</b>	<b>72</b>
<b>12</b>	<b>ANHANG 1: BESCHREIBUNG DER BEISPIELGEBÄUDE.....</b>	<b>74</b>
12.1	EFH typisch .....	74
12.2	MFH typisch.....	77
12.3	MFH groß.....	80
<b>13</b>	<b>ANHANG 2: ENERGETISCH RELEVANTE GEBÄUDEEIGENSCHAFTEN.....</b>	<b>83</b>
13.1	Konstruktionsart + Hüllqualität.....	83
13.2	Lüftungsstrategie.....	86
13.3	Wärmeversorgungssystem .....	87
13.4	thermische Solaranlage .....	87
<b>14</b>	<b>ANHANG 3: ANNAHMEN BEZÜGLICH DER TECHNISCHEN LEBENSDAUERN .....</b>	<b>88</b>
<b>15</b>	<b>ANHANG 4: HERLEITUNG DER ANNAHMEN .....</b>	<b>90</b>
15.1	Energiepreisentwicklung.....	90
15.2	VPI, Hypothekar- und Realzinssatz.....	92
<b>16</b>	<b>ANHANG 5: AKTUELLE ENERGIEPREISE .....</b>	<b>95</b>
<b>17</b>	<b>ANHANG 6: ERGEBNISSE ENERGIEBEDARFSBERECHNUNG .....</b>	<b>96</b>
<b>18</b>	<b>ANHANG 7: INVESTITIONSKOSTEN – DETAILAUSWERTUNGEN.....</b>	<b>104</b>

<b>18.1</b>	<b>EFH massiv</b> .....	<b>106</b>
18.1.1	Gasheizung .....	106
18.1.2	Pelletheizung.....	107
18.1.3	Wärmepumpenheizung.....	108
<b>18.2</b>	<b>MFH typisch, massiv</b> .....	<b>109</b>
18.2.1	Gasheizung .....	109
18.2.2	Pelletheizung.....	110
18.2.3	Wärmepumpenheizung.....	111
<b>18.3</b>	<b>MFH groß, massiv</b> .....	<b>112</b>
18.3.1	Gasheizung .....	112
18.3.2	Pelletheizung.....	113
18.3.3	Wärmepumpenheizung.....	114
<b>18.4</b>	<b>Detaildarstellung: Kosten Einzelbauteile und Komponenten</b> .....	<b>115</b>
18.4.1	EFH massiv – Außenwand .....	115
18.4.2	EFH massiv – oberste Geschossdecke .....	116
18.4.3	EFH massiv, Bodenplatte.....	117
18.4.4	EFH Holz – Außenwand .....	118
18.4.5	EFH Holz – oberste Geschossdecke .....	119
18.4.6	EFH Holz – Bodenplatte.....	120
18.4.7	Fenster .....	121
18.4.8	Wärmebrücken.....	122
18.4.9	Luftdichtheit.....	122
18.4.10	Energierrelevante Haustechnik .....	123
18.4.11	Kosten Planung.....	129
<b>19</b>	<b>ZITATE</b> .....	<b>130</b>
<b>19.1</b>	<b>Zitat 1</b> .....	<b>130</b>
<b>19.2</b>	<b>Zitat 2</b> .....	<b>131</b>



# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Anlass und Ziel

Ziel dieser Studie ist die Bestimmung des kostenoptimalen Energieniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg. Anlass für die Durchführung sind Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie EPBD sowie die anhaltende Diskussion zum Thema „leistbares Wohnen“.

- Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie  
Die EU hat in der Gebäuderichtlinie EPBD [1] und ergänzenden Dokumenten [2], [3] festgelegt, dass ab 2021 nur noch Fast-Nullenergiegebäude errichtet werden dürfen. Die Definition des Begriffs Fast-Nullenergie obliegt den Mitgliedsstaaten. Jeder Mitgliedsstaat ist jedoch verpflichtet nachzuweisen, dass sich seine nationalen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden am kostenoptimalen Energieniveau orientieren. Zeigen die Studien, dass die Mindestanforderungen um mehr als 15% schlechter liegen, als das kostenoptimale Niveau, so muss der betreffende Mitgliedsstaat dies rechtfertigen und darlegen, wie die Differenz bis zur nächsten Überprüfung wesentlich verringert werden kann [1], Artikel 5 (1 bis 3) > siehe Zitate 1 und 2.
- Diskussion um das Thema „leistbares Wohnen“  
Die Kosten des Wohnens sind in den letzten Jahren schneller gestiegen, als Lebenshaltungskosten, Löhne und Gehälter. Zu Recht wird daher über das „leistbare Wohnen“ diskutiert. Als Hauptkostentreiber werden oft die Mehrkosten von Energiesparmaßnahmen genannt.

Die Studie soll dazu dienen, den Einfluss des Energieniveaus auf die Wirtschaftlichkeit von Wohnungsneubauten zu quantifizieren und die Diskussion um das „leistbare Wohnen“ zu versachlichen.

## 1.2 Methodik

Die Untersuchung wird gemäß der von der EU vorgegebenen Methodik am Beispiel von drei für das regionale Neubaugeschehen repräsentativen Gebäuden (EFH, typisches und großes MFH, siehe Anhang 1) durchgeführt. Zur Analyse des kostenoptimalen Energieniveaus wird für jedes Gebäude eine Vielzahl an Varianten in unterschiedlichen Energieniveaus untersucht. Die Varianten jedes Gebäudes unterscheiden sich bezüglich

- Konstruktionstyp (Massiv, Holz- bzw. Mischbauweise)
- Hüllqualität (fünf U-Wert-Ensembles zwischen Mindestanforderung OIB RL6 und Passivhaus)
- Lüftungsstrategie (Fensterlüftung bzw. Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung)
- Wärmeversorgungssystem (Wärmepumpe, Gas- bzw. Pelletkessel, WP-Kompaktaggregat)
- Thermische Solaranlage (ohne Solaranlage, mit WW-Solaranlage Deckungsgrad ca. 60%)

Insgesamt werden für das EFH und das kleinere MFH etwa 80, für das große MFH etwa 40 Varianten analysiert. Die energetisch relevanten Gebäudeeigenschaften sind in Anhang 2 beschrieben.

Im Rahmen der Studie werden – wie in der EU-Gebäuderichtlinie EPBD [1], der ergänzenden Delegierten Verordnung [2] sowie in den Leitlinien [3] festgelegt - die Kapitalwerte aller untersuchten Gebäudevarianten während eines Betrachtungszeitraumes von 30 Jahren bestimmt. Bei der Ermittlung der Kapitalwerte werden die folgenden Kosten berücksichtigt:

- Anfangsinvestitionskosten für energierelevante Bauteile und Komponenten
- Planungskosten
- Wartungs- und Instandhaltungskosten
- Energiekosten

Restwerte von Bauteilen, deren technische Lebensdauer mehr als 30 Jahre beträgt, werden ebenso berücksichtigt, wie Ersatzinvestitionen zum Austausch von Komponenten mit Lebensdauern unter 30 Jahren. Die Annahmen bezüglich der Lebensdauern finden sich in Anhang 3.

### 1.3 Annahmen und Randbedingungen

Alle Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt und bewusst konservativ gewählt.

	Einheit	Wert Grundvariante	Wert Sensitivität
Betrachtungszeitraum	Jahre	30	30
Haushaltsstrom	% (real)	1,5	0,5 bzw. 2,5
WP-Strom, Gas, Pellets	% (real)	3,0	2,0 bzw. 4,0
Baukosten, Kosten Instandhaltung und Wartung	% (real)	0,5	0,0 bzw. 1,0

Abbildung 1: Annahmen und Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Eine Herleitung der Annahmen findet sich in Anhang 4, die aktuellen Energiepreise in Anhang 5. **Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden - wie von der EU vorgegeben - ohne Berücksichtigung von Förderungen durchgeführt.**

### 1.4 Ergebnisse

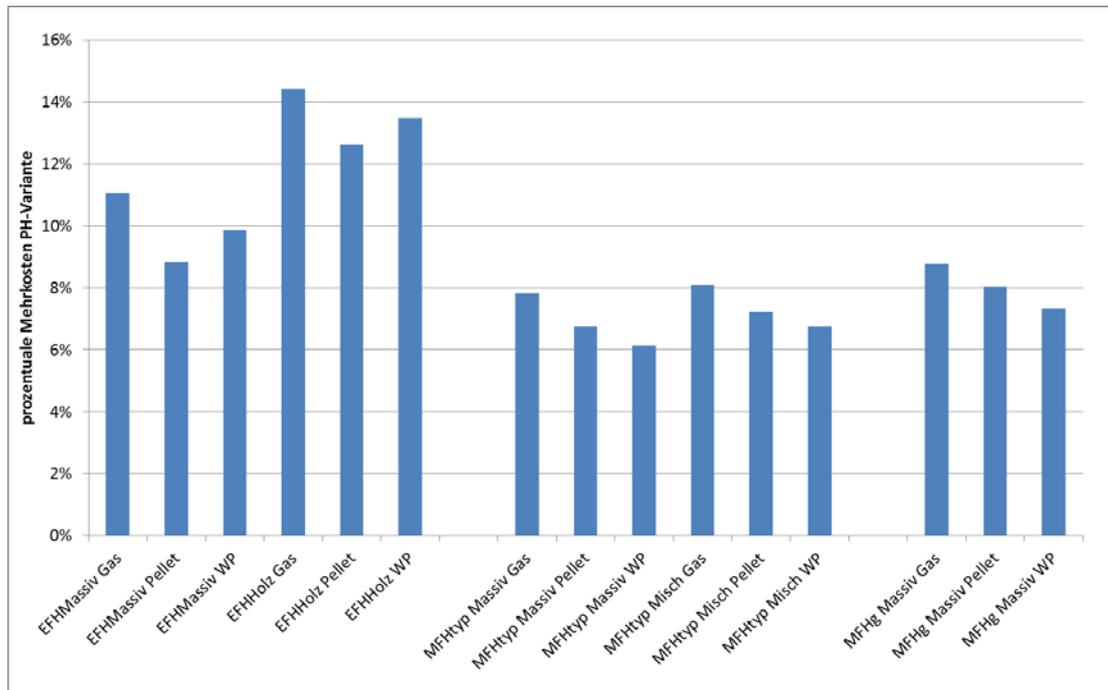
Die Studie zeigt folgende Hauptergebnisse:

1. **Der Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> der untersuchten Varianten liegt weit niedriger, als der Grenzwert des Nationalen Plans für 2020.**

Die Werte der untersuchten Gebäudevarianten liegen bei 66,7 und 162,4 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>, nur eine Einfamilienhaus-Variante verfehlt den im Nationalen Plan für Ende 2020 festgelegten Grenzwert von 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Diese Variante nach den Mindestanforderungen der OIB RL 6 (2011) hat einen HWB von 54 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>, Fensterlüftung, Pelletheizung und keine Solaranlage. Die Varianten im Passivhausniveau haben Primärenergie-Werte von 66,7 bis etwa 80 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

## 2. Die energetisch besten Varianten haben überschaubare Investitions-Mehrkosten.

Die Investitions-Mehrkosten der energetisch besten Varianten mit Solaranlage gegenüber den Varianten nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) und ohne Solaranlage liegen bei 8,8 bis 14,4% für das Einfamilienhaus und bei 6,2 bis 8,8% für die Mehrfamilienhäuser.

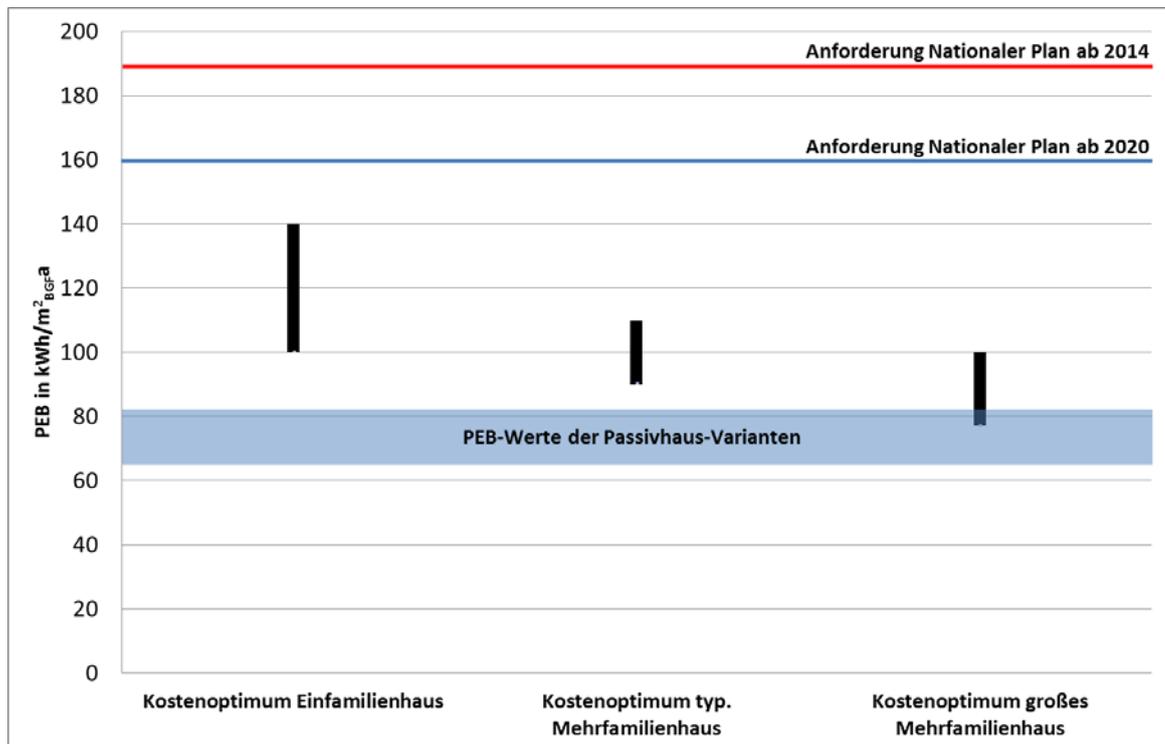


**Abbildung 2: Prozentuale Mehrkosten der Passivhausvarianten mit Solaranlage gegenüber der Variante nach Mindestanforderungen OIB Richtlinie 6 (2011) ohne Solaranlage und mit gleichem Wärmeversorgungssystem**

Die in der Studie ermittelten Mehrkosten stimmen gut mit den abgerechneten Mehrkosten realisierter Passivhaus-Projekte überein [9], [19], [12].

## 3. Das kostenoptimale Energieniveau liegt auch ohne Förderung nahe am Passivhausniveau.

Die Kostenoptima bezüglich des PEB liegen bei ca. 100 - 140 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub> für das Einfamilienhaus, bei 90 - 110 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub> für das typische und bei 77 - 100 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub> für das große MFH.

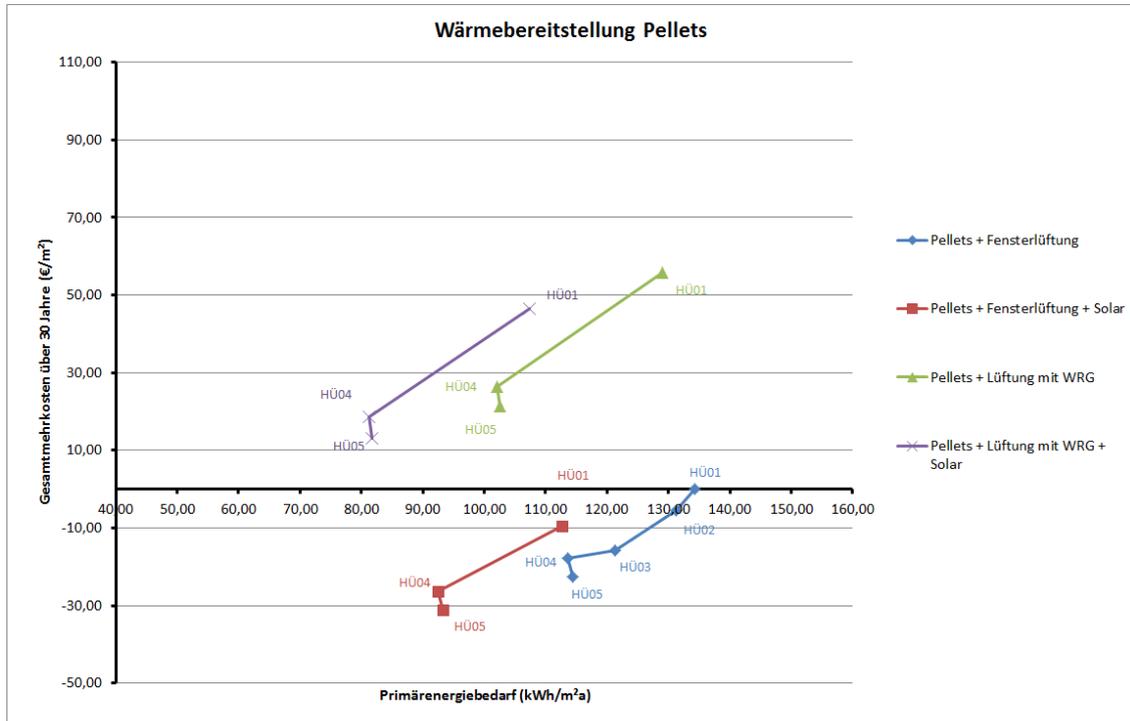


**Abbildung 3: Bereiche der Kostenoptima bezüglich des Gesamt-Primärenergiebedarfs für die drei Gebäudetypen**

Die Kostenoptima liegen auch ohne Berücksichtigung von Förderungen für Mehrfamilienhäuser nahe dem Passivhausniveau. Dies gilt auch für Einfamilienhausvarianten mit optimierten Wärmeversorgungssystemen: Die Varianten im Passivhausniveau mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat liegen bezüglich ihrer Gesamtkosten nur minimal über dem Kostenoptimum.

#### **4. Weitere Verbesserungen gegenüber dem Kostenoptimum sind zu geringen Mehrkosten möglich.**

Wie Abbildung 4 am Beispiel der Massivbauvariante des typischen Mehrfamilienhauses mit Pelletheizung zeigt, ist eine weitere energetische Verbesserung gegenüber dem kostenoptimalen Niveau zu geringfügig höheren Gesamtkosten über 30 Jahre möglich.



**Abbildung 4: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des typischen MFH mit Pelletheizung**

Das absolute Kostenoptimum aller untersuchten Varianten des typischen MFH in Massivbauweise und mit Pelletheizung liegt bei  $93 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Dieser Wert wird von der Variante in Hüllqualität 5 (Passivhaus) und mit thermischer Solaranlage erreicht. Die Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren liegen im Vergleich zur Referenzvariante (Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011), ohne Solaranlage) mit einem Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> von  $134 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  um etwa  $31 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedriger. Dies entspricht einer monatlichen Einsparung von ca.  $0,09 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  gegenüber der Referenzvariante.

**Erläuterung zur Ermittlung der monatlichen Mehrkosten:**

**(Kapitalwert der) Mehrkosten in 30 Jahren =  $31 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  / 360 Monate (30 Jahre) =  $0,09 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat**

Die energetisch besten Varianten (Hüllqualität Passivhaus bzw. HWB-Linie 10 mit Komfortlüftung und Solaranlage) verursachen ohne Förderung Mehrkosten von etwa  $13 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  in 30 Jahren gegenüber der Referenzvariante (Hüllqualität OIB RL 6 Mindestanforderung, Abluftanlage, ohne Solaranlage). Die Mehrkosten betragen damit knapp  $0,04 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

Vergleicht man die beiden energetisch besten Varianten mit der kostenoptimalen Variante, so liegen die Mehrkosten bei  $44 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  in 30 Jahren. Dies entspricht  $0,12 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Angesichts dieser geringen Unterschiede in den Gesamtkosten über 30 Jahre ist der politische Handlungsspielraum groß: weitgehende Reduktionen des Energiebedarfs und der

CO<sub>2</sub>-Emissionen – wie sie zur Erreichung der regionalen und nationalen Klimaschutzziele notwendig sind - können zu geringen Mehrkosten erreicht und mit geringem Einsatz an gezielten Fördermitteln erleichtert werden.

**5. Veränderte Annahmen und Randbedingungen haben einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse.**

Sowohl die Veränderung der Annahme bezüglich der Energiekostensteigerung um +/- 1%, als auch eine um 1% höhere Diskontrate haben nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse. Die Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten hat ebenfalls einen geringen Einfluss.

**6. Gute Übereinstimmung mit ähnlichen Studien für Gesamt-Österreich.**

Die Kernaussagen der Studie stimmen mit den Ergebnissen von drei ähnlichen Studien überein

Auch die Studie der Österreichischen Energieagentur AEA [4] und zwei Studien von e7 Energie Markt Analyse, Wien [5], [6] kommen zu dem Ergebnis, dass die Kostenoptima bezüglich des PEB bei Werten liegen, die einem deutlich besseren Energieniveau entsprechen, als im nationalen Plan als Mindestanforderung für 2020 definiert.

Auch die Studien der AEA und von e7 zeigen sehr flache Verläufe der Kostenoptima: der Einfluss des Energieniveaus auf die Gesamtkosten während eines Zeitraums von 30 Jahren ist sehr gering. Sehr niedrige PEB-Werte wie die von Gebäuden im Passivhausniveau können daher mit relativ geringen Förderanreizen wirtschaftlich erreicht werden.

## 1.5 Fazit

Die Ergebnisse der Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der Einfluss des Energieniveaus auf die Wirtschaftlichkeit von Wohnungsneubauten ist gering.
2. Die Kostenoptima liegen auch ohne Förderung nah am Passivhausniveau.
3. Eine weitere Verbesserung gegenüber dem Kostenoptimum ist zu geringen Mehrkosten möglich.
4. Die Mindestanforderungen des Nationalen Plans liegen deutlich über dem Kostenoptimum und sollten kritisch hinterfragt werden.

Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit hocheffizienter Gebäude ist, dass die tatsächlichen Verbräuche den vorausgerechneten Werten entsprechen. Wie zahlreiche wissenschaftlich begleitete Projekte zeigen, ist die bei detaillierter Planung sowie bei Berechnungen mit evaluierten Berechnungsprogrammen und realistischen Randbedingungen möglich [23].

## 2 Anlass, Problemstellung und rechtliche Grundlagen

Die EU hat in der Gebäuderichtlinie (EPBD) festgelegt, dass die Mitgliedsstaaten bis Anfang 2021 Niedrigstenergiestandard (nearly zero energy) als Mindestanforderung für die Gesamtenergieeffizienz von Neubauten festlegen müssen. Für öffentliche Gebäude gilt diese Anforderung ab Anfang 2019 [1].

Die Definition des Standards Niedrigstenergie bleibt den Mitgliedsstaaten überlassen, die EPBD gibt jedoch vor, dass bei der Justierung der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz in Zukunft die Kosteneffizienz über den Lebenszyklus berücksichtigt wird [1]. Zu diesem Zweck haben die Mitgliedsstaaten Studien zur Kosteneffizienz von Neubauten und Sanierungen durchzuführen. Zeigen diese Studien, dass die nationalen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz um mehr als 15% schlechter liegen als das kostenoptimale Niveau, so muss der betreffende Mitgliedsstaat dies rechtfertigen und darlegen, wie die Differenz bis zur nächsten Überprüfung wesentlich verringert werden soll [1], Artikel 5 (1 bis 3) > siehe Zitate 1 und 2.

Zur Beschreibung der methodischen Vorgehensweise bei der Durchführung von Kostenoptimalitätsstudien hat die Kommission im März 2012 die Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 erlassen [2]. Auslegung und Detaillierung der Delegierten Verordnung sind in Leitlinien erläutert [3]. In diesen findet sich u.a. die folgende Darstellung des zu bestimmenden kostenoptimalen Spektrums.

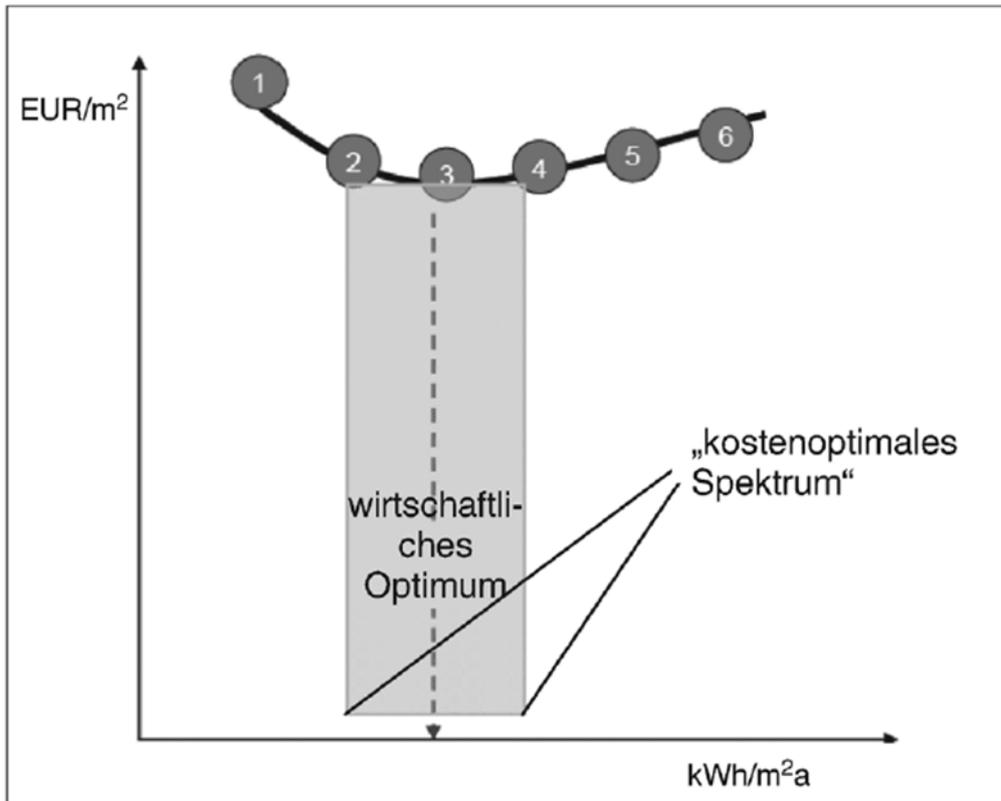


Abbildung 5: Prinzipdarstellung des kostenoptimalen Spektrums [3]

Die Grafik zeigt die Kapitalwerte der Gesamtkosten (Erstinvestition, Wartung, Energie) von sechs Ausführungsvarianten eines Gebäudes in Relation zum jeweiligen Energiebedarf. Die niedrigsten Kosten treten in Variante 3 auf, diese Variante bezeichnet das wirtschaftliche Optimum, da bei einer weiteren energetischen Verbesserung die Gesamtkosten in 30 Jahren wieder steigen. Der grau hinterlegte Bereich wird als kostenoptimales Spektrum bezeichnet.

### 3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel dieser Studie ist die Bestimmung des kostenoptimalen Energieniveaus für Wohngebäude-Neubauten in Vorarlberg während eines 30-jährigen Betrachtungszeitraums.

Erste Studien zur Kostenoptimalität in Österreich wurden Ende 2012 vorgelegt [4], [5], [6], ein Dokument des OIB vom März 2013 wurde inzwischen der EU übermittelt [7].

Die gegenständliche Studie versteht sich als Ergänzung der Studien für Gesamt-Österreich.

Die ergänzende Studie für Vorarlberg wird u.a. aus den folgenden Gründen durchgeführt:

- Die baurechtlichen Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden werden in Österreich durch die Bundesländer in den Bautechnikverordnungen festgelegt.
- Das Niveau der Baukosten in Österreich ist regional unterschiedlich.
- Die Preise der leitungsgebundenen Energieträger Strom und Gas liegen in Vorarlberg vergleichsweise niedrig.
- Die Kostenoptimalitätsstudie soll auf der Basis von Berechnungen für Gebäudetypen erfolgen, die das regionale Baugeschehen repräsentieren. Diese Typen weichen in Vorarlberg von den in den gesamtösterreichischen Studien getroffenen Annahmen ab.

Die Methodik für die Durchführung der Studie orientiert sich an den Vorgaben der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 [2] sowie an den Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 [3].

Die Studie wird in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Festlegung der Annahmen und Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen
2. Auswahl der zu untersuchenden Beispielgebäude
3. Festlegung einer Matrix der zu untersuchenden Gebäudevarianten
4. Festlegung der U-Wert-Ensembles und Schichtaufbauten der Gebäudehülle
5. Festlegung der technischen Daten der Wärmeversorgungs-systeme
6. Ermittlung der Energiekennwerte
7. Kostenerhebung und Kostenanalyse
8. Wirtschaftlichkeitsberechnung und –analyse
9. Sensitivitätsanalyse
10. Vergleich mit ähnlichen Studien

Die Untersuchung wird an drei für das regionale Neubaugeschehen repräsentativen Gebäuden durchgeführt. Deren wichtigste Kenndaten sind in Abbildung 6 zusammengefasst.

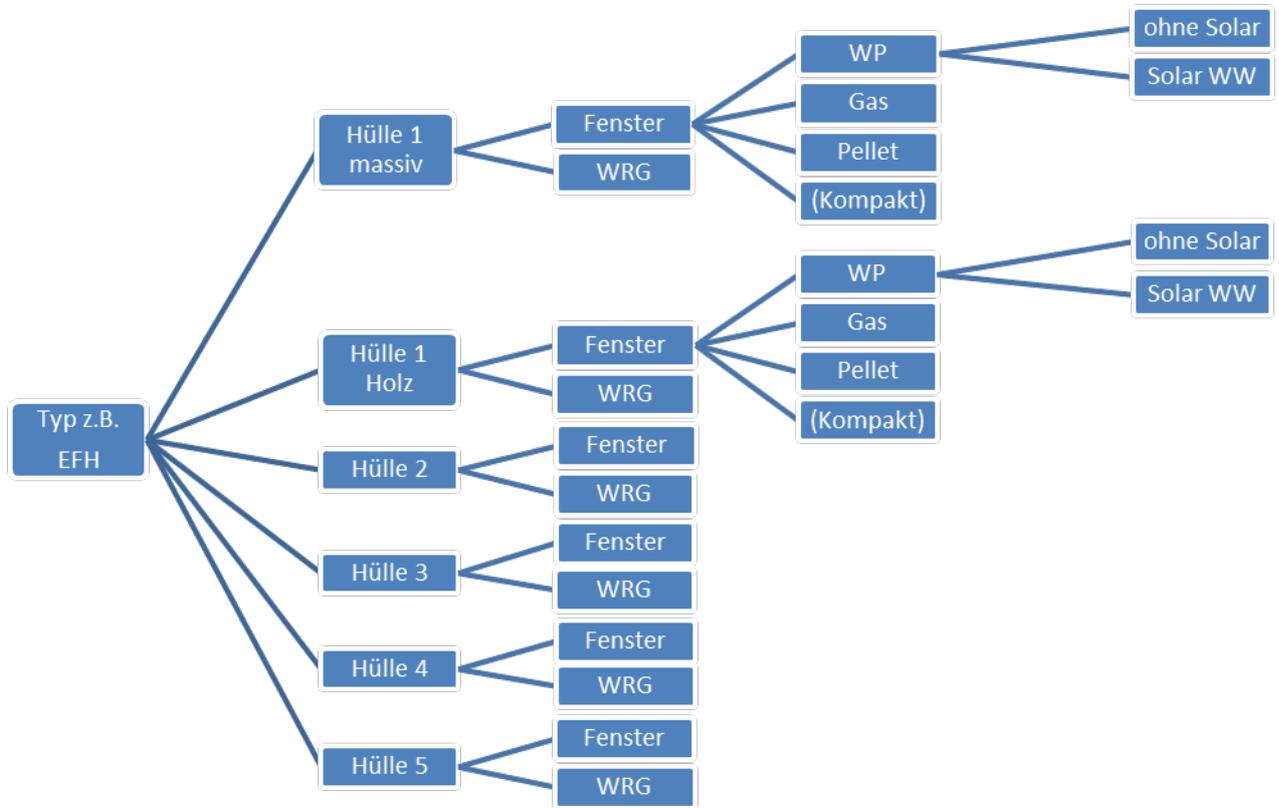
		Einfamilienhaus	MFH typisch	MFH groß
	Einheit	Wert	Wert	Wert
Anzahl der Wohneinheiten		1	8	22
Anzahl der konditionierten Geschosse		2	3	6
BGF konditioniert	m <sup>2</sup>	212,43	699,8	2.029,95
Energiebezugsfläche PHPP	m <sup>2</sup>	155,9	823	1.534,12
A/V Verhältnis		0,80	0,49	0,35
Glasflächenanteil (Glasfläche / Energiebezugsfläche)	%	23,4	20,1	13,9
Aufstellung Wärmeerzeuger		Keller unconditioniert	Keller unconditioniert	Keller unconditioniert
Aufstellung Lüftungsgerät WRG		Keller unconditioniert	Keller unconditioniert	Keller unconditioniert

**Abbildung 6: Technische Daten der Beispielgebäude**

Zur Analyse des kostenoptimalen Energieniveaus wird für jedes Gebäude eine Vielzahl an Varianten in unterschiedlichen Energieniveaus untersucht. Für jede Gebäudevariante werden Energiebedarf, Investitions,- Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie Energiekosten bestimmt.

Die Varianten jedes Gebäudes unterscheiden sich gemäß Abbildung 7 bezüglich

- **Konstruktionstyp** (Massivbau und Holzbau bzw. Mischbau für EFH und kleines MFH, Massivbau für großes MFH)
- **Hüllqualität** (fünf U-Wert-Ensembles zwischen Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) und Passivhaus)
- **Lüftungsstrategie** (Fensterlüftung bzw. Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung)
- **Wärmeversorgungssystem** (Erdsonden-Wärmepumpe, Gas-Brennwert, Pellet, Wärmepumpen-Kompaktaggregat (nur für PH-Varianten des Einfamilienhauses))
- **Thermische Solaranlage** (ohne Solaranlage, mit WW-Solaranlage Deckungsgrad ca. 60%)



**Abbildung 7: Matrix der untersuchten Gebäudevarianten**

Insgesamt werden für das Einfamilienhaus und das kleinere Mehrfamilienhaus etwa 80, für das große Mehrfamilienhaus etwa 40 Varianten analysiert.

## 4 Wirtschaftlichkeitsberechnung - Methodik und Annahmen

Im Rahmen der Studie werden – wie in der EU-Gebäuderichtlinie EPBD [1], der ergänzenden Delegierten Verordnung [2] sowie in den Leitlinien [3] festgelegt - die Kapitalwerte der untersuchten Gebäudevarianten während eines Betrachtungszeitraumes von 30 Jahren bestimmt.

Bei der Ermittlung der Kapitalwerte werden die folgenden Kosten berücksichtigt:

- Anfangsinvestitionskosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten
- Planungskosten
- Wartungs- und Instandhaltungskosten
- Energiekosten

Restwerte von Bauteilen, deren technische Lebensdauer mehr als 30 Jahre beträgt, werden ebenso berücksichtigt, wie Ersatzinvestitionen zum Austausch von Komponenten mit Lebensdauern unter 30 Jahren. Die Annahmen bezüglich der Lebensdauern finden sich in Anhang 3.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden wie von der EU vorgegeben ohne Berücksichtigung von Förderungen durchgeführt. Alle Annahmen der Grundvariante wurden bewusst konservativ gewählt, die Werte für die Grund- und Sensitivitätsvarianten der gegenständlichen Studie sind in Abbildung 8 zusammengefasst und denen von vier ähnlichen österreichischen Studien zur Kostenoptimalität gegenübergestellt [4], [5], [6], [7]. Eine Herleitung der Annahmen findet sich in Anhang 4, die aktuellen Energiepreise in Anhang 5.

			OIB [7]	e7 [5]	e7 [6]	AEA [4]	EU	EIV/e7 Grundvar.	EIV/e7 Sensi 1	EIV/e7 Sensi 2	EIV/e7 Sensi 3	EIV/e7 Sensi 4
Preissteigerung Haushaltsstrom	real	%	1,5	4,0	2,8	3,0	2,8	1,5	0,5	2,5	1,5	1,5
Preissteigerung WP-Strom	real	%						3,0	2,0	4,0	3,0	3,0
Preissteigerung Gas	real	%	4,5	4,0		3,0	k.A	3,0	2,0	4,0	3,0	3,0
Preissteigerung Pellets	real	%	3,8	4,0		3,0	k.A	3,0	2,0	4,0	3,0	3,0
Preissteigerung Baukosten Wartung Instandhaltung	real	%		0,0	0,0		k.A	0,5	0,0	1,0	0,5	0,5
Abzinsungssatz/ Diskontrate	real	%	2,82	2,0 (3,0)	3,0	3,0 (4,0)	k.A	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0
Kosten CO <sub>2</sub> bis 2020/2035/2050		EUR/to						0	0	0	20/35/50	0

**Abbildung 8: Annahmen und Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen**

Alle Berechnungen werden aus betriebswirtschaftlicher Perspektive durchgeführt, Kostenangaben verstehen sich, wenn nicht anders angegeben, brutto.

In einer Sensitivitätsvariante werden die CO<sub>2</sub>-Kosten gemäß Prognosen der EU berücksichtigt. Eine Besonderheit ist die Differenzierung bezüglich der Energiepreissteigerung für Strom: Für die Vorarlberger Studie wird für den (im Winter benötigten) Wärmepumpenstrom eine höhere Preissteigerung angesetzt, als für den ganzjährig benötigten Haushaltsstrom.

## 5 Energiebedarf

Die EU definiert die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes als „die berechnete oder gemessene Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u.a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) zu decken“ [1].

Die Gesamtenergieeffizienz wird durch den Indikator Primärenergie beschrieben. Der Energiebedarf wird auf die im jeweiligen Mitgliedsstaat definierte Energiebezugsfläche bezogen. In Österreich ist dies die Bruttogeschossfläche [2], Anhang I, 3.5.

Da der Haushaltsstrom gemäß OIB Richtlinie 6 als konstanter Defaultwert berücksichtigt wird und die Anforderungsgrößen des nationalen Plans [17] den Haushaltsstrombedarf enthalten, wird in der gegenständlichen Studie der Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> d.h. inkl. Haushaltsstrom betrachtet. Die Bilanzgrenze entspricht damit der Bilanzgrenze der OIB RL 6 (2011) und des Nationalen Plans [17]. Der Haushaltsstrombedarf wurde in allen untersuchten Varianten gemäß Default-Wert der OIB Richtlinie 6 angenommen, dies entspricht einem Primärenergiebedarf<sub>Haushaltsstrom</sub> von  $43 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF a}}$ . Beim Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen einiger anderer österreichischer Studien zur Kostenoptimalität ist zu beachten, dass in letzteren z.T. die Endenergie als Indikatorgröße verwendet wird und dass die Werte für End- oder Primärenergiebedarf z.T. ohne Berücksichtigung des Haushaltsstrombedarfs berechnet wurden.

Die Energiebedarfsberechnungen wurden nach den Rechenalgorithmen der OIB RL 6 (2011) und der mit geltenden Normen durchgeführt. Es wurden die Primärenergiefaktoren und  $\text{CO}_2$ -Konversionsfaktoren der OIB RL 6 (2011) verwendet. In allen Berechnungen wird eine deutlich stärkere Verschattung angenommen, als in den Defaultwerten der ÖNORM 8110 festgelegt.

Die Varianten im Energieniveau Passivhaus wurden mit dem Passivhaus-Projektierungspaket PHPP so justiert, dass ihr Energiekennwert Heizwärme bei  $15 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFA}}$  liegt. Der Heizwärmebedarf der mit PHPP definierten Passivhausvarianten wurde dann nach den Algorithmen der OIB Richtlinie 6 (2011) bzw. der Normen ermittelt, die HWB-Werte der Passivhausvarianten liegen zwischen 4,1 und  $10,2 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF a}}$ .

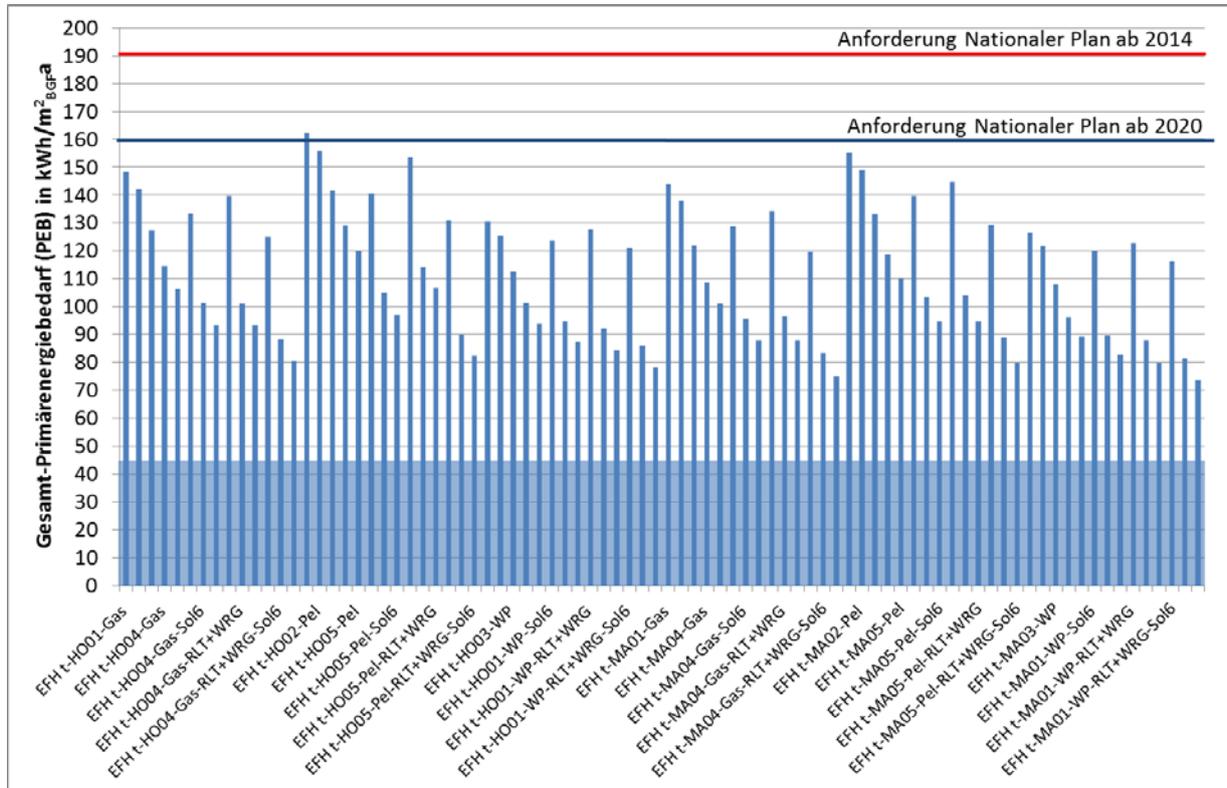
Die EU legt fest, dass in den Kostenoptimalitätsstudien die aktuelle Mindestanforderung untersucht werden muss [2, Anhang I, 1.7]. Für Vorarlberg wird daher die Mindestanforderung nach BTV 2013 als Hülle 2 untersucht.

Einnahmen aus Energieerzeugung können angerechnet werden [3], 6.14. Da eine realistische Abschätzung des Eigendeckungsanteils gebäudeintegrierter PV-Anlagen mit den Algorithmen der OIB-Richtlinie 6 noch nicht möglich ist (und da in der Richtlinie eine Anrechnung von PV-Erträgen – wenn überhaupt – nur in Bezug auf den Haushaltsstrombedarf erfolgt), werden Einnahmen aus Energieerzeugung in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Diese Vorgehensweise wurde auch in allen österreichischen Studien zum kostenoptimalen Energieniveau gewählt.

Alle Ergebnisse der Energiebedarfsberechnungen sind in Anhang 6 aufgeführt.

Abbildung 9 zeigt exemplarisch den Primärenergiebedarf für die Holz und Massivbau-Varianten des Einfamilienhauses.



**Abbildung 9: Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> aller untersuchten Varianten des Einfamilienhauses [kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>]**

Erläuterung zur Variantenbezeichnung in der Grafik:

Jede Variante wird durch einen code beschrieben.

EFH t – HO04 – Gas – RLT+WRG-Sol6

EFH t: Typisches Einfamilienhaus

HO 04: Hülle Holzbau, Hüllqualität 4, d.h. 10er Linie

Gas: Gas-Brennwertkessel

RLT+WRG: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

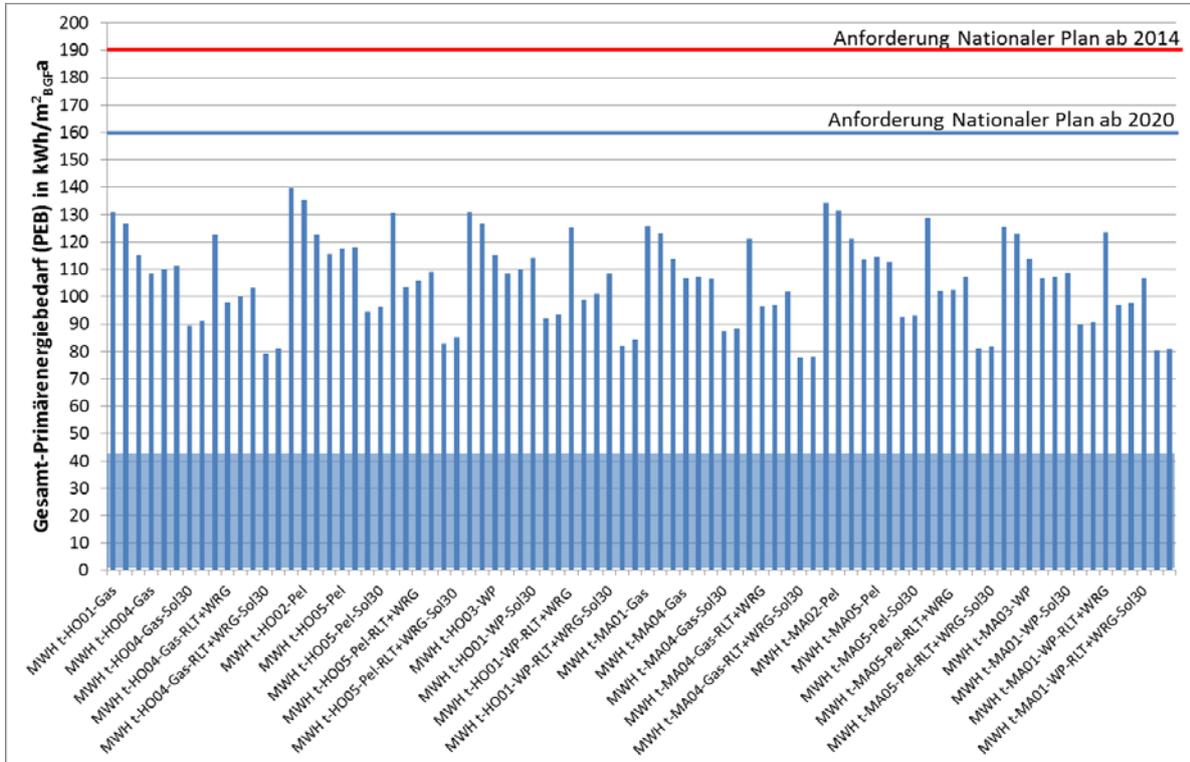
Sol6: thermische Solaranlage mit 6 m<sup>2</sup> Kollektorfläche

Der Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> des Einfamilienhauses liegt zwischen 73,4 und 162,4 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Der in allen Varianten identische Anteil des Haushaltsstrombedarfs in Höhe von 43 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> ist blau hinterlegt.

Die Mindestanforderung des Nationalen Plans für 2014 in Höhe von 190 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> ist rot dargestellt, die Anforderung für 2020 in Höhe von 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> als blaue Linie. Alle untersuchten Varianten erreichen Primärenergiekennwerte deutlich unter dem Grenzwert für 2014. Nur eine Variante verfehlt knapp den Grenzwert für 2020.

Die Werte des Primärenergiebedarfs des Einfamilienhauses ohne Haushaltsstrom liegen zwischen 30,4 und 119,4 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Die energetisch beste Variante (Passivhaus mit Komfortlüftung, Solaranlage und Wärmepumpenheizung) benötigt damit etwa 75% weniger Primärenergie, als die schlechteste (Hülle nach Mindestanforderungen OIB Richtlinie 6 (2011), Fensterlüftung, Pelletheizung, ohne Solaranlage).



**Abbildung 10: Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> aller untersuchten Varianten des typ. Mehrfamilienhauses [kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>]**

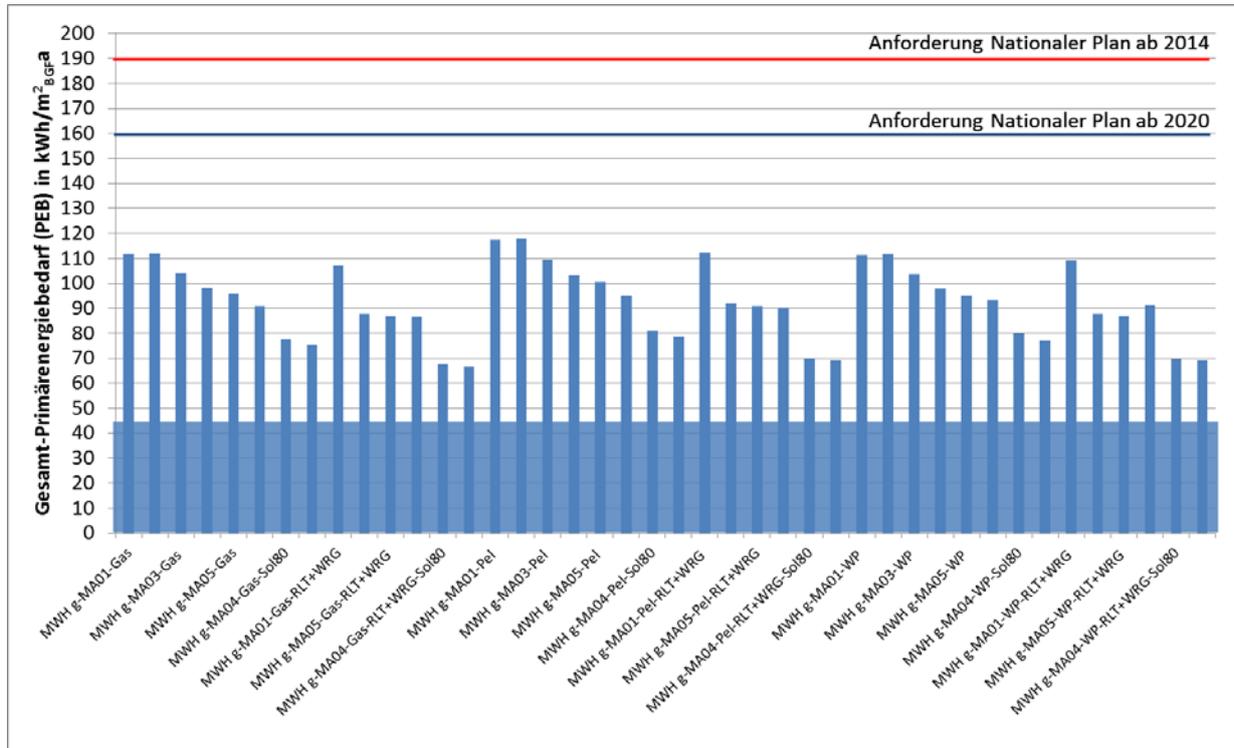
Der Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> des typ. Mehrfamilienhauses liegt bei 77,7 bis 139,7 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Der in allen Varianten identische Anteil des Haushaltsstrombedarfs in Höhe von 43 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> ist blau hinterlegt.

Die Mindestanforderung des Nationalen Plans für 2014 in Höhe von 190 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> ist rot dargestellt, die Anforderung für 2020 in Höhe von 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> als blaue Linie.

Alle untersuchten Varianten erreichen Primärenergiekennwerte deutlich unter dem Grenzwert für 2014.

Die Werte des Primärenergiebedarfs des typischen Mehrfamilienhauses ohne Haushaltsstrom liegen zwischen 34,7 und 96,7 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Die energetisch beste Variante (Passivhaus mit Komfortlüftung, Solaranlage und Gasheizung) benötigt damit etwa 64% weniger Primärenergie, als die schlechteste (Hülle nach Mindestanforderungen OIB Richtlinie 6 (2011), Fensterlüftung, Pelletheizung, ohne Solaranlage).



**Abbildung 11: Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> aller untersuchten Varianten des großen Mehrfamilienhauses [kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>]**

Der Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> des großen MFH liegt zwischen 66,7 und 117,7 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Der in allen Varianten identische Anteil des Haushaltsstrombedarfs in Höhe von 43 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> ist blau hinterlegt.

Die Mindestanforderung des Nationalen Plans für 2014 in Höhe von 190 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> ist rot dargestellt, die für 2020 in Höhe von 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> als blaue Linie.

Alle untersuchten Varianten erreichen Primärenergiekennwerte weit unter den Grenzwerten des nationalen Plans für 2014 und für 2020.

Die Werte des Primärenergiebedarfs ohne HH-Strom liegen zwischen 23,7 und 74,7 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Die energetisch beste Variante (Passivhaus, Komfortlüftung mit WRG, thermische Solaranlage und Gasheizung) benötigt damit etwa 69% weniger Primärenergie, als die schlechteste.

## 6 Investitionskosten

Als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden die Bauwerkskosten (ÖNORM 1801-1, KG 2, 3 und 4) der energierelevanten Bauteile und Komponenten für alle untersuchten Varianten in der Region durch Ausschreibungen ermittelt. Preisstand ist Mai 2013.

Ergänzend wurden Daten aus anderen Kostenerhebungen in Vorarlberg verwendet, so etwa die der Auswertung der Kosten geförderter Lüftungsanlagen aus dem Jahr 2012. Alle älteren Kostenangaben wurden indexangepasst.

Die in diesem Bericht dargestellten Aussagen zu (Mehr)kosten und Wirtschaftlichkeit beruhen auf den so bestimmten Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten.

Die Kosten der nicht energierelevanten Bauteile und Komponenten sind in allen Varianten eines Gebäudes in einer Konstruktionsart identisch und müssen daher in Übereinstimmung mit der von der EU vorgegebenen Methodik nicht berücksichtigt werden.

Um Aussagen zu den prozentualen Mehrkosten energieeffizienter Gebäudevarianten treffen zu können, wurden die Gesamt-Bauwerkskosten (Summe der Kosten der energieeffizienten Bauteile und Komponenten + Summe der Kosten sonstiger Bauteile und Komponenten) der drei untersuchten Gebäude in Referenzausführung (Hüllqualität 1, Gasheizung, Fensterlüftung, ohne thermische Solaranlage) in Anlehnung an Erfahrungswerte aus aktuellen Vorarlberger Kostenstudien geschätzt [16], [18].

	Massivbau	Holzbau	Mischbau
	EUR/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub>	EUR/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub>	EUR/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub>
EFH typisch	2.050	2.100	/
MFH typisch	1.500	/	1.550
MFH groß	1.450	/	/

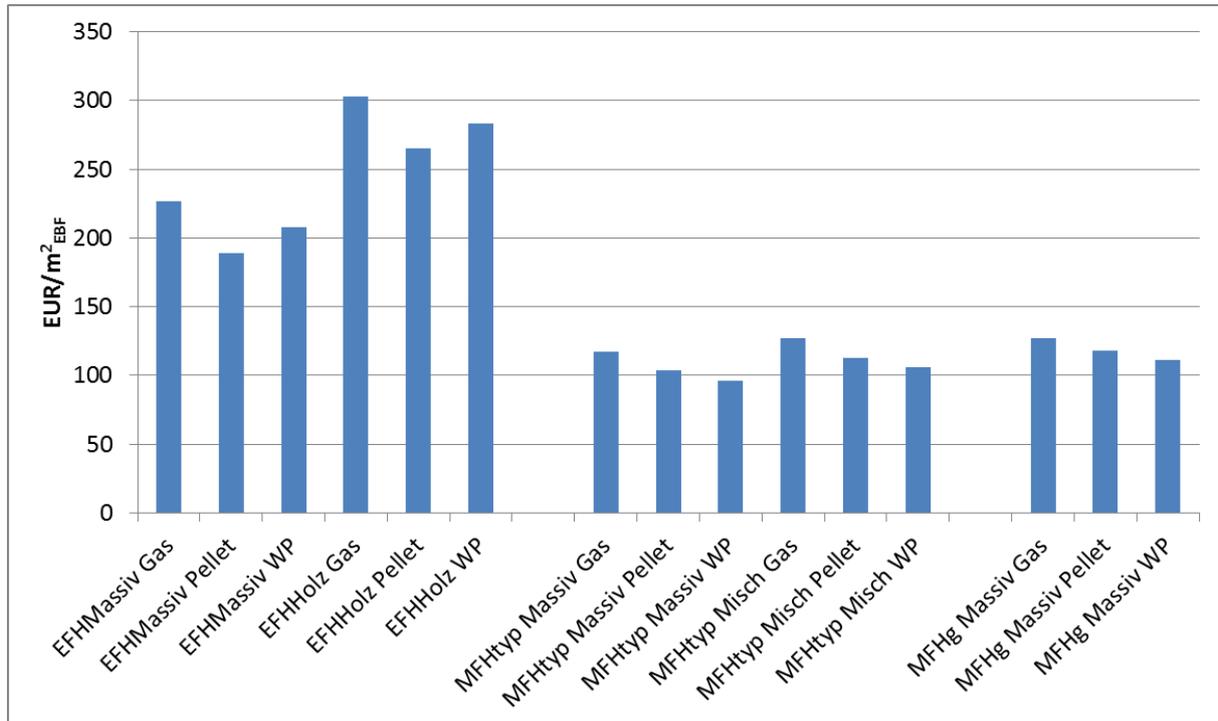
**Abbildung 12: Brutto-Gesamt-Bauwerkskosten (ÖNORM 1801-1, KG 2, 3 und 4) der Gebäudevarianten nach Mindestanforderung OIB Richtlinie 6 (2011), mit Gasheizung, ohne Solaranlage**

Die geschätzten Gesamt-Bauwerkskosten dienen einzig der Bestimmung der prozentualen Mehrkosten. Sie haben keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Die in der Studie angeführten prozentualen Mehrkosten dienen nur der Orientierung und dem Vergleich mit den Angaben zu abgerechneten Mehrkosten für realisierte Gebäude.

Für die Bauteile der Gebäudehülle wurde darauf verzichtet, Wartungs- und Instandhaltungskosten zu berücksichtigen. Diese sind bei gleicher Ausführung der Konstruktion (z.B. Kompaktfassade) unabhängig vom Energieniveau und damit in allen Hüllqualitäten identisch.

Diese Vorgehensweise war möglich, da ein Vergleich unterschiedlicher Konstruktionen (z.B. Holzbau und Massivbau) nicht Ziel dieser Studie ist.



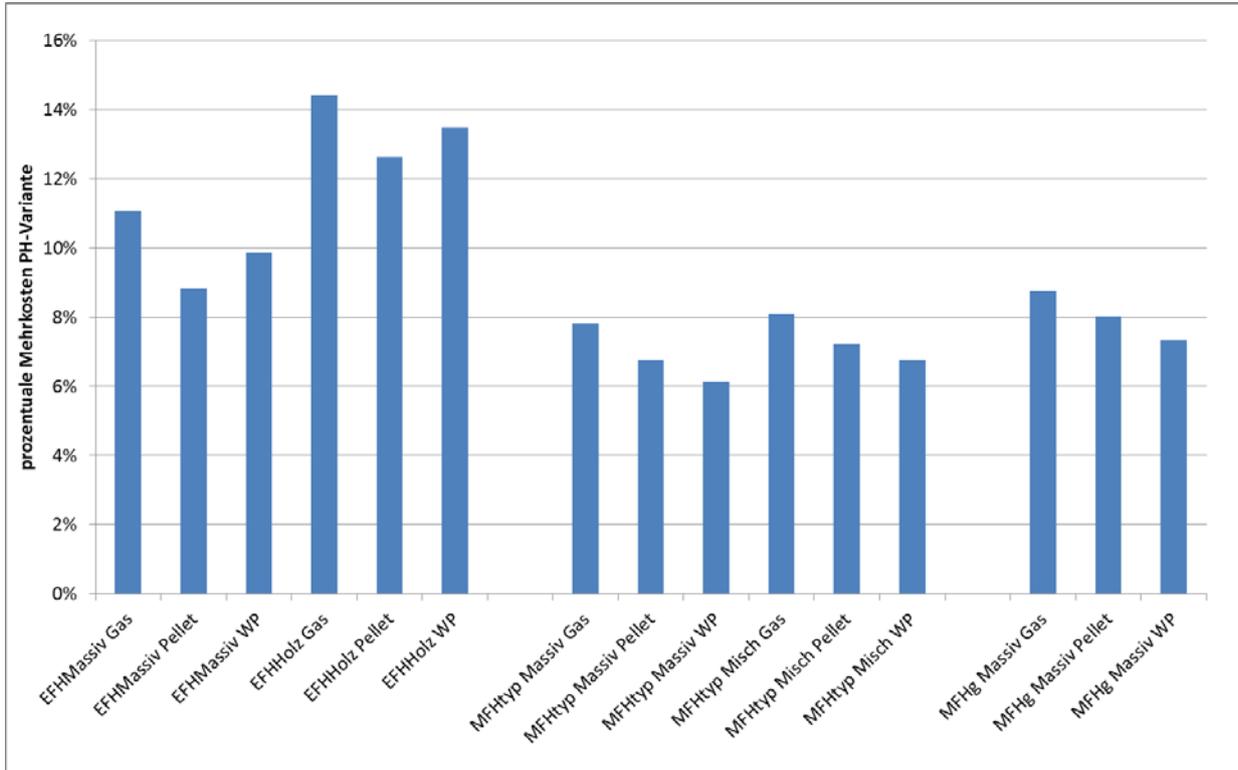
**Abbildung 13: Mehrkosten der Passivhausvariante mit Solaranlage gegenüber der Variante nach Mindestanforderungen OIB Richtlinie 6 (2011) ohne Solaranlage und mit gleichem Wärmeversorgungssystem [EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>]**

Wie Abbildung 13 zeigt, liegen die Mehrkosten der Passivhausvarianten mit Solaranlage gegenüber den Varianten nach Mindestanforderungen OIB Richtlinie 6 (2011) ohne Solaranlage und mit gleichem Wärmeversorgungssystem bei 189 bis 303 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> für das Einfamilienhaus und bei 96 bis 127 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> für die beiden Mehrfamilienhäuser.

**Anmerkung: Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden die im Rahmen der Studie ermittelten Mehrkosten auf den m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche und nicht auf den m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> bezogen. Bei Bezug auf die BGF lägen die Werte um 25 bis 30% niedriger.**

Die dargestellten Mehrkosten beziehen sich auf die Kostengruppen 2, 3, und 4 gem. ÖNORM 1801-1, um einen Vergleich mit Literaturwerten [9], [10] zu erleichtern.

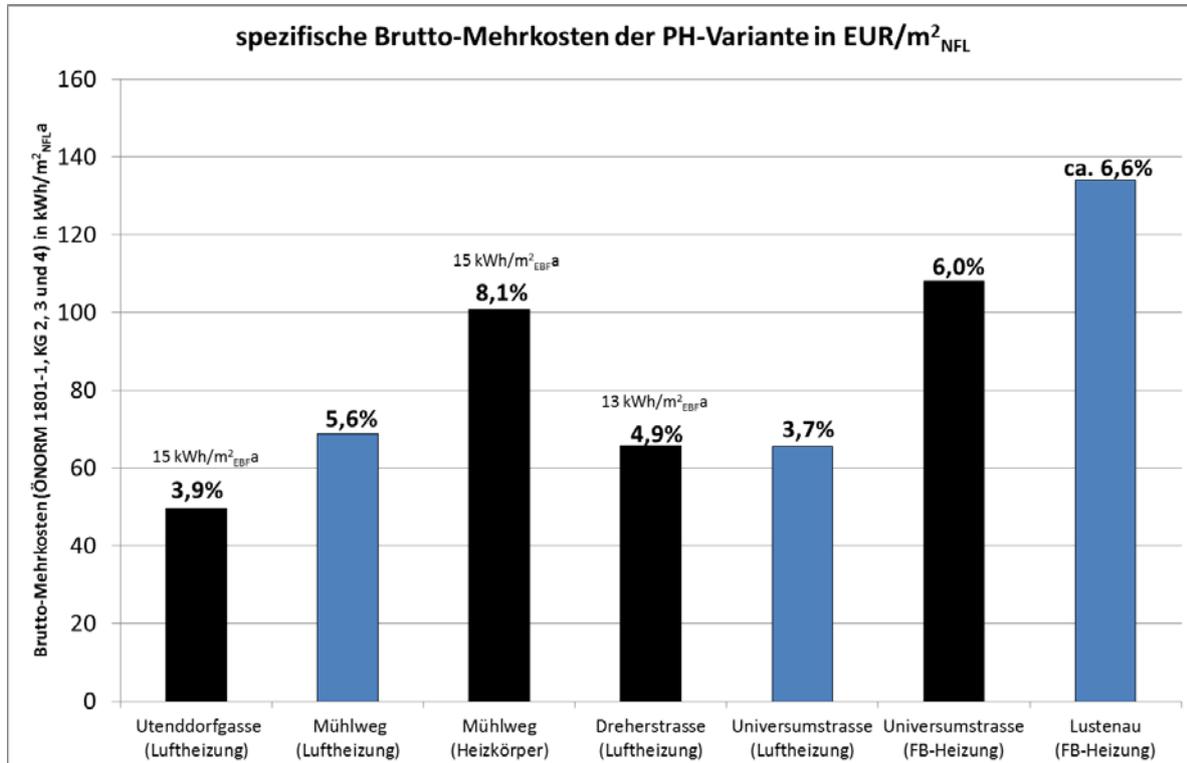
Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden zusätzlich Planungskosten von 12% der Bauwerkskosten berücksichtigt.



**Abbildung 14: Prozentuale Mehrkosten der Passivhausvarianten mit Solaranlage gegenüber der Varianten nach Mindestanforderungen OIB Richtlinie 6 (2011) ohne Solaranlage und mit gleichem Wärmeversorgungssystem**

Die prozentualen Mehrkosten der Passivhausvarianten mit Solaranlage gegenüber den Varianten nach Mindestanforderungen OIB Richtlinie 6 (2011) ohne Solaranlage und mit gleichem Wärmeversorgungssystem liegen bei 8,8 bis 14,4% für das Einfamilienhaus und bei 6,2 bis 8,8% für die beiden Mehrfamilienhäuser.

Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich mit den abgerechneten Mehrkosten einiger Passivhaus-Wohnanlagen.



**Abbildung 15: Abgerechnete Brutto-Mehrkosten von Passivhaus-Wohnanlagen gegenüber architektonisch identischen Wohnanlagen im Niedrigenergiestandard [9], [10], [24]**

Die schwarzen Balken bezeichnen die abgerechneten Mehrkosten mit dem tatsächlich ausgeführten Wärmeverteilsystem. Für die Projekte Mühlweg und Universumstrasse wurden aus diesen Mehrkosten auch die Mehrkosten bestimmt, die für Gebäudevarianten mit Luftheizung angefallen wären [9]. Diese sind ebenso durch blaue Balken dargestellt, wie die Kosten des vollständig ausgeschriebenen, aber nicht realisierten Projekts in Lustenau.

Die abgerechneten Mehrkosten der dargestellten Passivhaus-Wohnanlagen liegen bei 3,7 bis 8,1%. Die niedrigeren Werte sind Gebäuden mit reiner Zuluftheizung zuzuordnen, die Gebäude mit Fußboden- oder Heizkörperheizung liegen bei 4,9 bis 8,1%.

Ähnliche Mehrkosten für Passivhausvarianten wurden auch für zwei deutsche Projekte ermittelt: für ein Reihen-Mittelhaus in Darmstadt betragen die Mehrkosten 7,7%, für das Mehrfamilienhaus Sopianhof in Frankfurt 4,3% [12].

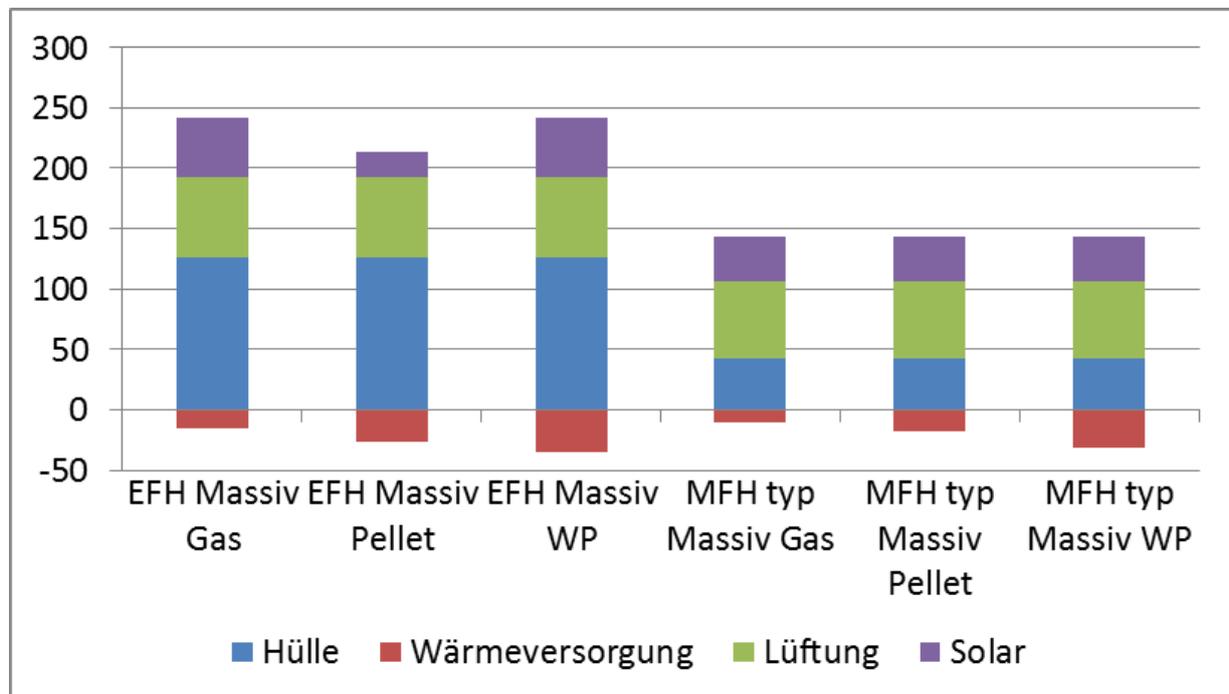
Die im Rahmen der gegenständlichen Studie ermittelten Mehrkosten von 6,2 bis 8,8% erscheinen vor dem Hintergrund der abgerechneten Kosten der Passivhaus-Wohnanlagen als plausibel.

Für die Gebäude Utendorgasse, Mühlweg und Dreherstrasse sind in der Grafik zusätzlich die gemessenen Heizwärmeverbräuche aufgeführt.

Diese entsprechen sehr gut den mit PHPP vorausgerechneten Werten des Heizwärmebedarfs [20].

Die Projekte zeigen damit, dass die Anforderungswerte des Passivhauses auch in der Praxis mit „normalen“ Bewohnern gemeinnütziger Wohnanlagen erreicht werden können.

Kompetent ausgeführte und qualitätsgesicherte Energiebedarfsberechnungen mit evaluierten Berechnungsmethoden wie PHPP eignen sich daher sehr gut als Grundlage für Wirtschaftlichkeitsberechnungen.



**Abbildung 16: Zusammensetzung der Mehr- und Minderkosten der Passivhausvariante mit Solaranlage gegenüber der Variante mit Hülle nach Mindestanforderung OIB RL 6, ohne Solaranlage und mit gleichem Wärmeversorgungssystem [EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>]**

Wie die Abbildung zeigt, verursacht beim Einfamilienhaus die Gebäudehülle mit 126 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> die höchsten Mehrkosten. Aufgrund des besseren A/V Verhältnisses liegen die Mehrkosten der Hülle beim typischen Mehrfamilienhaus mit 42 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> deutlich niedriger.

Im Mehrfamilienhaus ist die Komfortlüftung mit Mehrkosten von 65 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> gegenüber einer Abluftanlage die größte Einzelposition. Die Mehrkosten der Komfortlüftung liegen im Einfamilienhaus (gegenüber der Fensterlüftung) in etwa gleich hoch wie im Mehrfamilienhaus.

Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage liegen zwischen 21 und 49 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Die niedrigsten Mehrkosten entstehen in den Varianten des Einfamilienhauses mit Pelletheizung, da diese auch ohne Solaranlage einen relativ großen Pufferspeicher benötigen.

Die Minderkosten der Wärmeversorgung (Wärmeerzeuger, Wärmeabgabesystem, ggf. Quellerschließung) liegen bei 11 bis 35 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Die höchsten Minderkosten haben die Varianten mit Erdreich-Wärmepumpe, da bei diesen die Quellerschließung in den energetisch hochwertigeren Varianten deutlich günstiger ist.

## 7 Kosten für Wartung und Instandhaltung

Für die Bauteile der Gebäudehülle werden keine Wartungs- und Instandhaltungskosten berücksichtigt, da diese bei gleicher Konstruktion (z.B. Kompaktfassade) unabhängig von der energetischen Qualität identisch sind. Annahmen verschiedener Quellen zu Wartungs- und Instandhaltungskosten der Haustechnikkomponenten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die in der gegenständlichen Studie verwendeten Werte sind gelb hervorgehoben.

		VDI 2067 [15]	Bericht e7 [5] (inkl. USt)	Studien Schöberl [13,14] (exkl. USt)	Studie Warger [10] (MFH, inkl. USt)
Gas-Brennwertkessel	Wartung	1,5%	MFH gr: 255 €/a	k. A.	k. A.
	Instandhaltung	1%	MFH gr: 385 €/a	k. A.	k. A.
Pelletkessel	Wartung	3%	MFH kl: 288 €/a	k. A.	k. A.
	Instandhaltung	3%	MFH kl: 250 €/a	k. A.	k. A.
Wärmepumpe	Wartung	1,5%	85 €/a	k. A.	NEH: 175 €/a PH: 150 €/a
	Instandhaltung	1%	120 €/a	k. A.	k. A.
Fußbodenheizung	Instandhaltung	1%	k. A.	k. A.	k. A.
Elektrische Direktheizung	Instandhaltung	1%	k. A.	k. A.	k. A.
Solaranlage	Wartung	1%	MFH gr: 3,75 €/m <sup>2</sup> <sub>Kollektor</sub> a MFH kl: 90 €/a EFH: 50 €/a	k. A.	108 €/a
	Instandhaltung	0,5%	MFH gr: 1,67 €/m <sup>2</sup> <sub>Kollektor</sub> a MFH kl: 45 €/a EFH: 30 €/a	k. A.	k. A.
Lüftungszentrale	Wartung	k. A.	MFH gr: 0,5 €/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> a EFH: 96 €/a	MFH: 0,42-0,50 €/m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a EFH: 0,80 €/m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a	270 €/a
	Instandhaltung	k. A.	MFH gr: 0,2 €/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> a EFH: 60 bzw. 134,4 €/a (Kompaktgerät)		k. A.
Lüftungskanäle	Wartung	2%	k. A.	k. A.	k. A.
	Instandhaltung	0%	k. A.	k. A.	k. A.
	Reinigung	k. A.	k. A.	k. A.	261,25 €/a
Filterwechsel		k. A.	k. A.	MFH: 0,34 €/m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a EFH: ca. 80 €/a	729 €/a
Abluftanlage	Wartung	k.A.	k.A.	0,30 €/m <sup>2</sup> <sub>WNF</sub> a	283 €/a

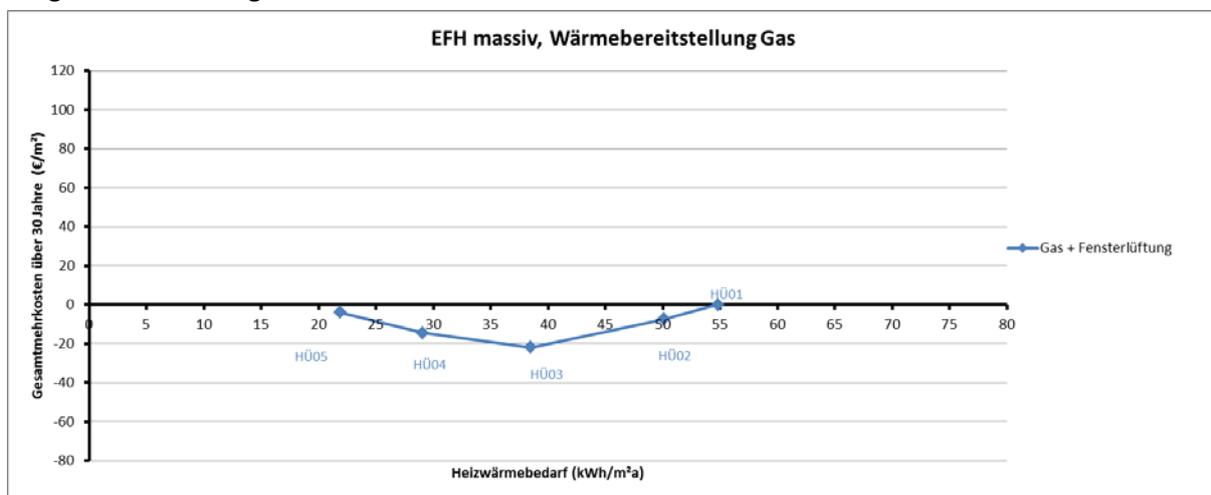
Abbildung 17: Gegenüberstellung Wartungs- und Instandhaltungskosten

- Für die Wartungs- und Instandhaltungskosten der Wärmeerzeuger und der Solaranlage wurden Werte nach VDI 2067 verwendet.
- Die Wartungs- und Instandhaltungskosten der Lüftungszentrale wurden im Einfamilienhaus mit 80 €/a für die Kosten des Filterwechsels veranschlagt. In den Mehrfamilienhäusern wurden 0,50 €/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> zzgl. MwSt verwendet [13], [14].
- Für die dezentralen Abluftanlagen im Mehrfamilienhaus wurden Wartungs- und Instandhaltungskosten von 0,15 €/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> zzgl. MwSt angenommen
- Wartungs- und Reinigungskosten für die Lüftungskanäle wurden nicht berücksichtigt.

## 8 Wirtschaftlichkeit

Hauptergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist die Bestimmung des Kostenoptimums bezüglich des Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub>.

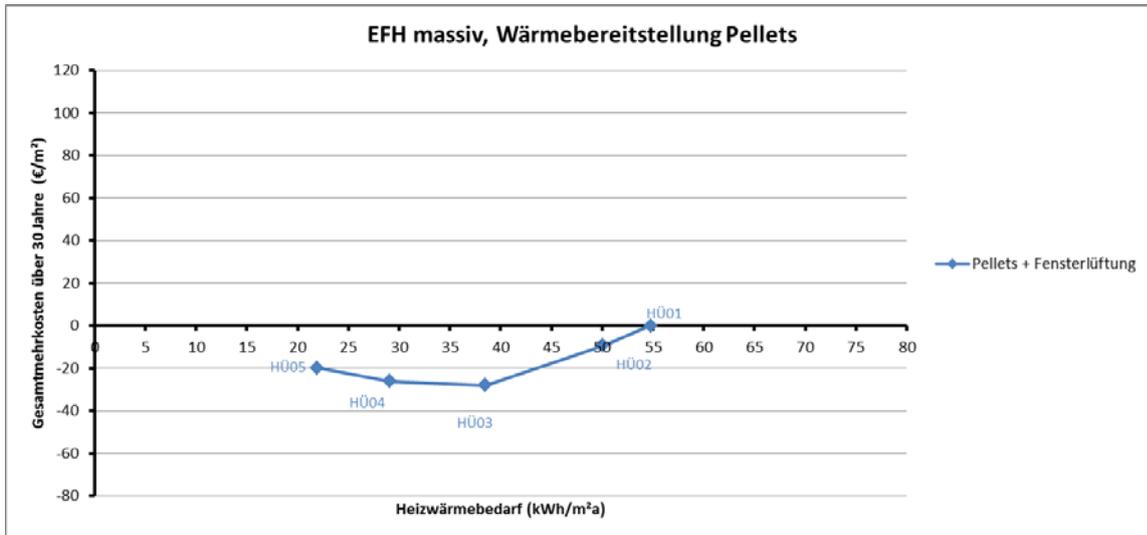
Da in den bisherigen Diskussionen um die energetische Gebäudequalität der HWB eine zentrale Rolle spielte, werden vor Darstellung der Hauptergebnisse zunächst die Kostenoptima bezüglich des HWB dargestellt. Da diese Kostenoptima u.a. vom Gebäudetyp und vom eingesetzten Wärmeversorgungssystem abhängen, werden exemplarisch die Ergebnisse für die Varianten des Einfamilienhauses und des großen Mehrfamilienhauses mit verschiedenen Wärmeversorgungssystemen in sechs gleichartigen Grafiken dargestellt.



**Abbildung 18: Kostenoptimum bezüglich des HWB für die Massivbauvariante des Einfamilienhauses mit Gasheizung**

Das Kostenoptimum bezüglich des HWB liegt für die Variante mit Gas-Brennwertheizung bei Hüllqualität 3 mit etwa  $38 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

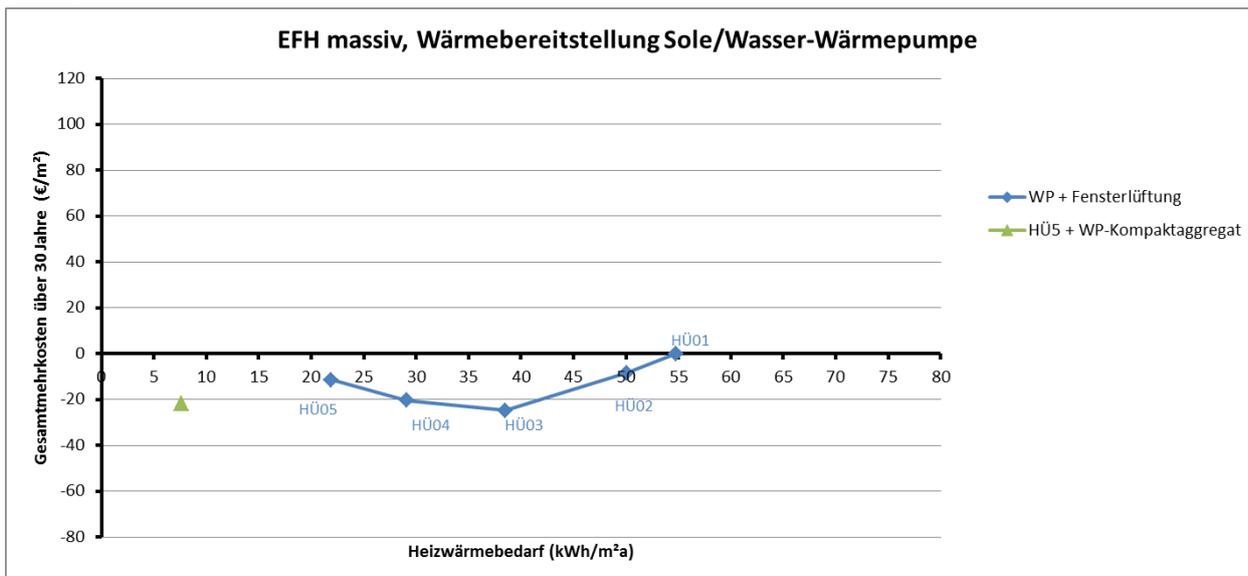
Die Gebäudevariante in Hüllqualität 3 hat in 30 Jahren um  $22 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) mit einem HWB von  $54,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Variante in Hüllqualität 5 (HÜ5 = Passivhaus ohne Komfortlüftung) hat einen Heizwärmebedarf von etwa  $22 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Gesamtkosten sind gegenüber dem Kostenoptimum leicht erhöht, liegen jedoch niedriger, als für die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011).



**Abbildung 19: Kostenoptimum bezüglich des HWB für die Massivbauvariante des Einfamilienhauses mit Pelletheizung**

Das Kostenoptimum bezüglich des HWB liegt für die Variante mit Pelletheizung bei Hüllqualität 3 mit etwa 38 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a.

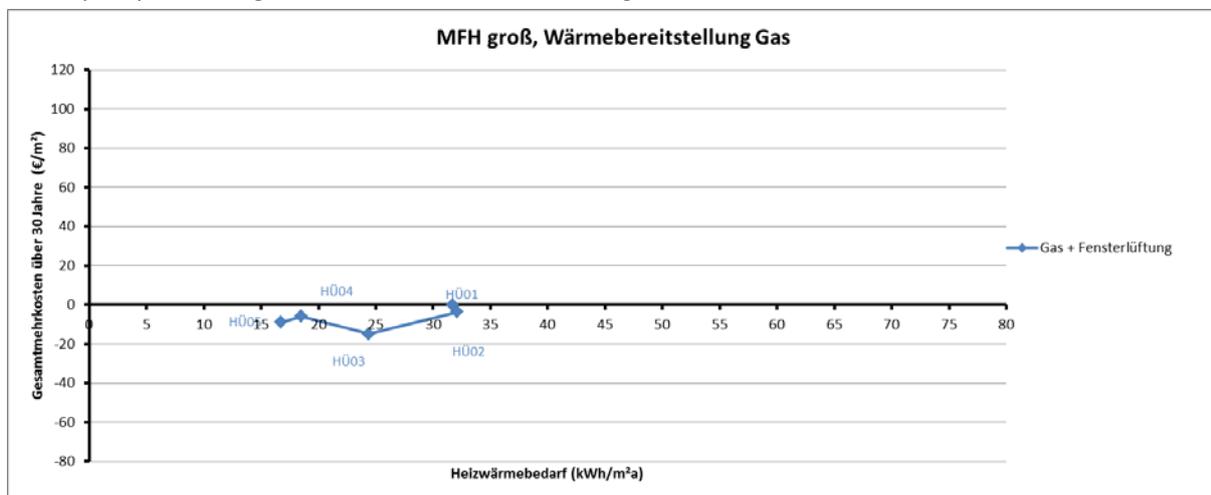
Die Gebäudevariante in Hüllqualität 3 hat in 30 Jahren um 28 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> niedrigere Kosten als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) mit einem HWB von 54,8 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Die Variante in Hüllqualität 5 (HÜ5 = Passivhaus ohne Komfortlüftung) hat einen Heizwärmebedarf von etwa 22 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Die Gesamtkosten sind gegenüber dem Kostenoptimum minimal erhöht, liegen jedoch merklich niedriger, als für die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011).



**Abbildung 20: Kostenoptimum bezüglich des HWB für die Massivbauvariante des Einfamilienhauses mit WP-Heizung**

Das Kostenoptimum bezüglich des HWB liegt für die Variante mit Erdreich-Sole-WP bei Hüllqualität 3 mit etwa  $38 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

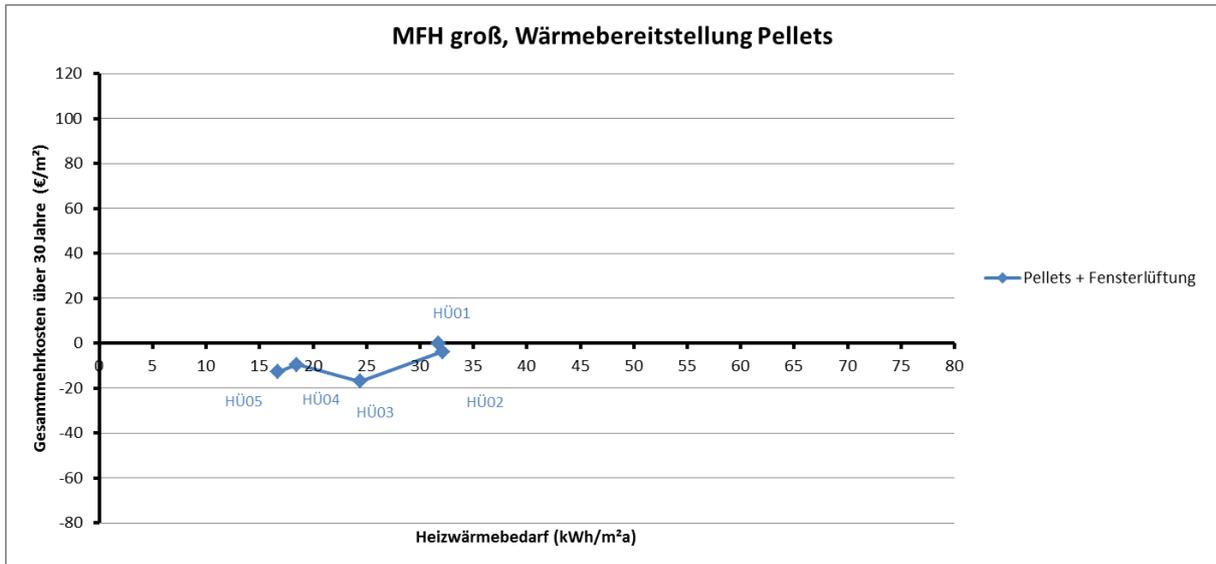
Die Gebäudevariante in Hüllqualität 3 hat in 30 Jahren um  $25 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) mit einem HWB von  $54,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Variante in Hüllqualität 5 (HÜ5 = Passivhaus ohne Komfortlüftung) hat einen Heizwärmebedarf von etwa  $22 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Gesamtkosten sind gegenüber dem Kostenoptimum leicht erhöht, liegen jedoch niedriger, als für die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011). Ein zweites Kostenoptimum ergibt sich für die Variante mit Hüllqualität 5 und Wärmepumpen-Kompaktaggregat. Diese Variante hat einen Heizwärmebedarf von  $7,6 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  und ist in 30 Jahren um  $22 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  günstiger, als die Referenzvariante nach OIB RL6 (2011) mit Erdreich-Sole-Wärmepumpe (siehe grünes Dreieck in der Abbildung).



**Abbildung 21: Kostenoptimum bezüglich des HWB für das große Mehrfamilienhaus mit Gas-Brennwertheizung**

Das Kostenoptimum bezüglich des HWB liegt für die Variante mit Gas-Brennwertheizung bei Hüllqualität 3 mit etwa  $24 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

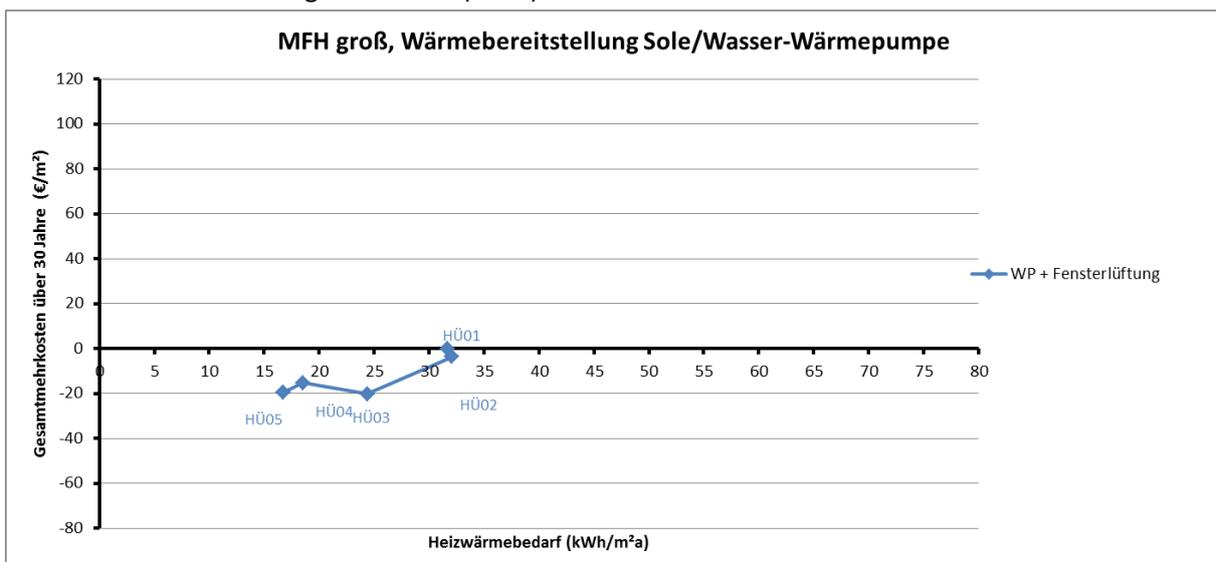
Die Gebäudevariante in Hüllqualität 3 hat in 30 Jahren um  $15 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) mit einem HWB von  $32 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Variante in Hüllqualität 5 (Passivhaus) mit einem HWB von  $17 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  hat gegenüber dem Kostenoptimum leicht erhöhte Gesamtkosten, ist aber wirtschaftlicher, als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011).



**Abbildung 22: Kostenoptimum bezüglich des HWB für das große Mehrfamilienhaus mit Pelletheizung**

Das Kostenoptimum bezüglich des HWB liegt für die Variante mit Pelletheizung bei Hüllqualität 3 mit etwa  $24 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

Die Gebäudevariante in Hüllqualität 3 hat in 30 Jahren um  $17 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) mit einem HWB von  $32 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Variante in Hüllqualität 5 (Passivhaus) mit einem HWB von  $17 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  hat gegenüber dem Kostenoptimum minimal erhöhte Gesamtkosten, ist aber wirtschaftlicher, als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011).



**Abbildung 23: Kostenoptimum bezüglich des HWB für das große Mehrfamilienhaus mit Wärmepumpenheizung**

Das Kostenoptimum bezüglich des HWB liegt für die Variante mit Erdreich-Sole-WP bei Hüllqualität 3 mit etwa  $24 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

Die Gebäudevariante in Hüllqualität 3 hat in 30 Jahren um  $20 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante nach Mindestanforderungen OIB RL 6 (2011) mit einem HWB von  $32 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Ein zweites Kostenoptimum liegt bei Hüllqualität 5 (Passivhaus). Diese Variante verursacht bei einem HWB von  $17 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  gleich hohe Gesamtkosten in 30 Jahren, wie die Variante mit Hüllqualität 3.

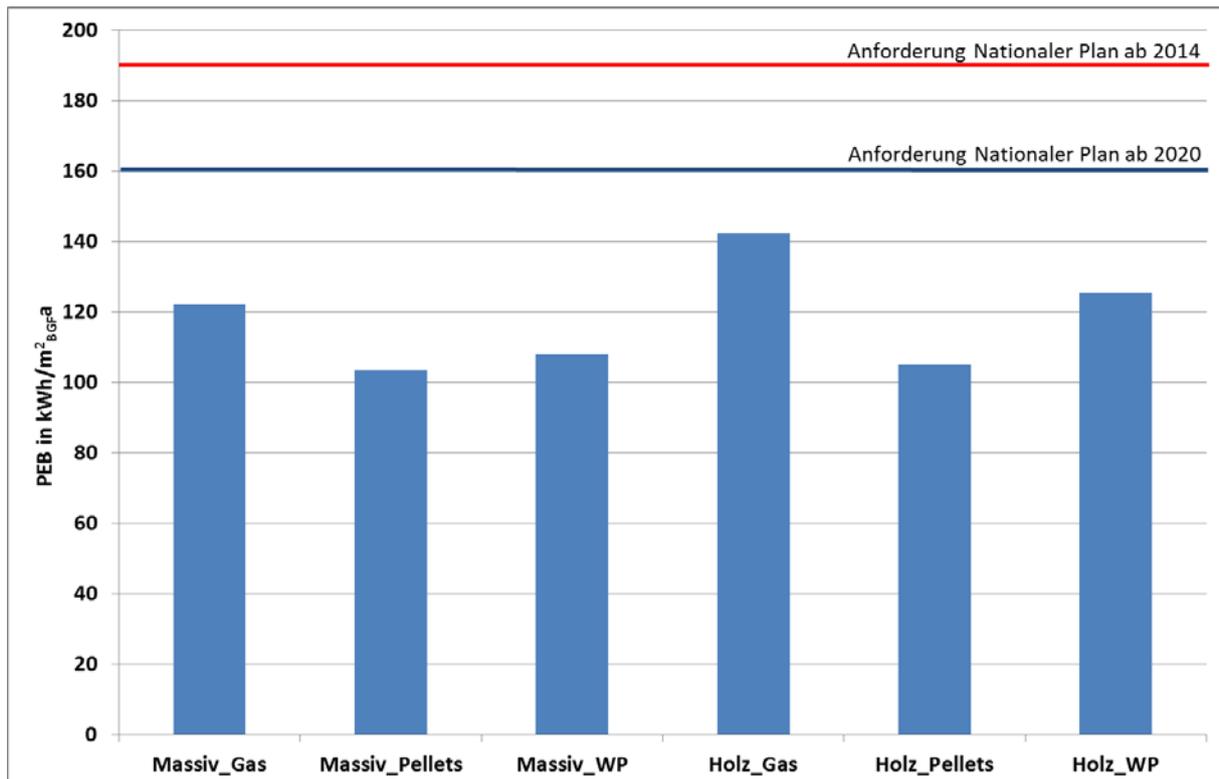
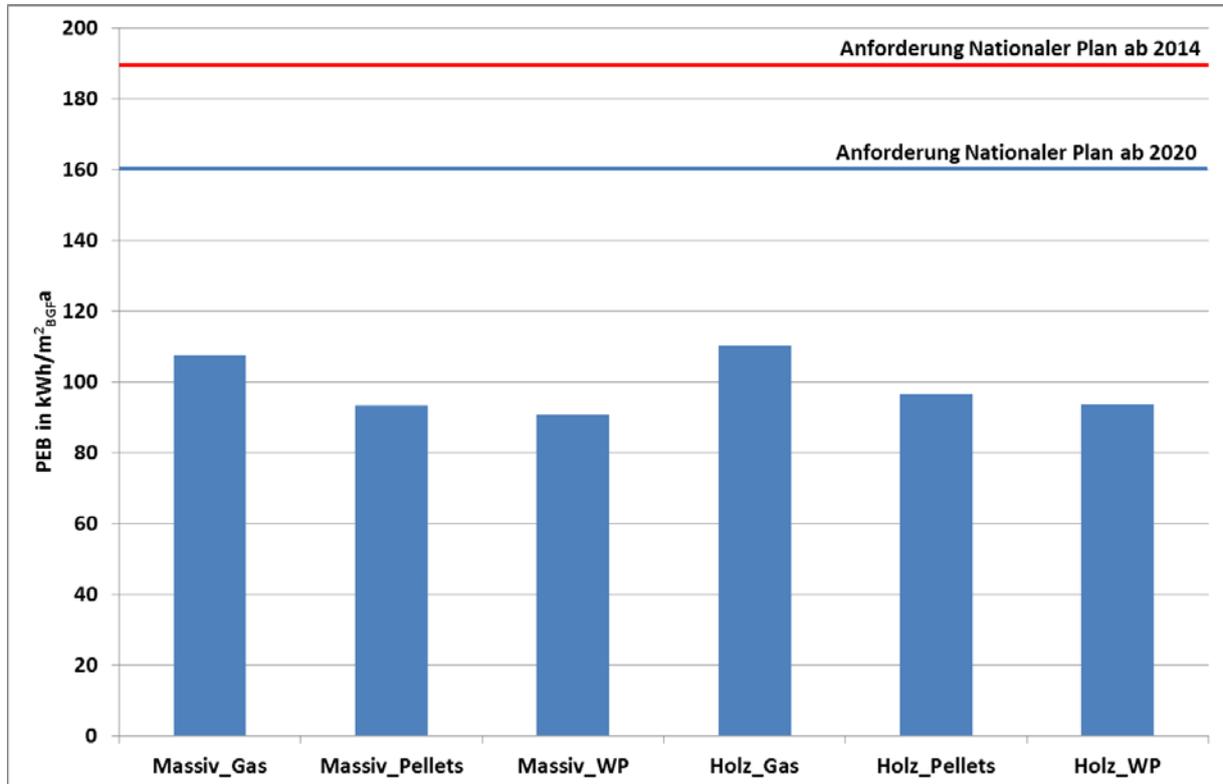


Abbildung 24: Kostenoptima des Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> der Varianten des Einfamilienhauses

Abbildung 24 zeigt, bei welchem Gesamt-Primärenergiebedarf das Kostenoptimum der Varianten des Einfamilienhauses liegt. Dabei wird nach der Bauweise (Massivbau/Holzbau) und nach dem Wärmeversorgungssystem (Gas, Pellet, Wärmepumpe) unterschieden.

Die Kostenoptima für das Einfamilienhaus liegen zwischen  $100$  und  $140 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Für die Gebäude mit Pelletheizung ergeben sich aufgrund der vergleichsweise geringeren Effizienz der Wärmeversorgung die niedrigsten Werte des optimalen Primärenergiebedarfs.

Die Kostenoptima liegen bei weit besseren energetischen Gebäudequalitäten, als im Nationalen Plan für 2020 festgelegt. Dieser fordert einen Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> von maximal  $160 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

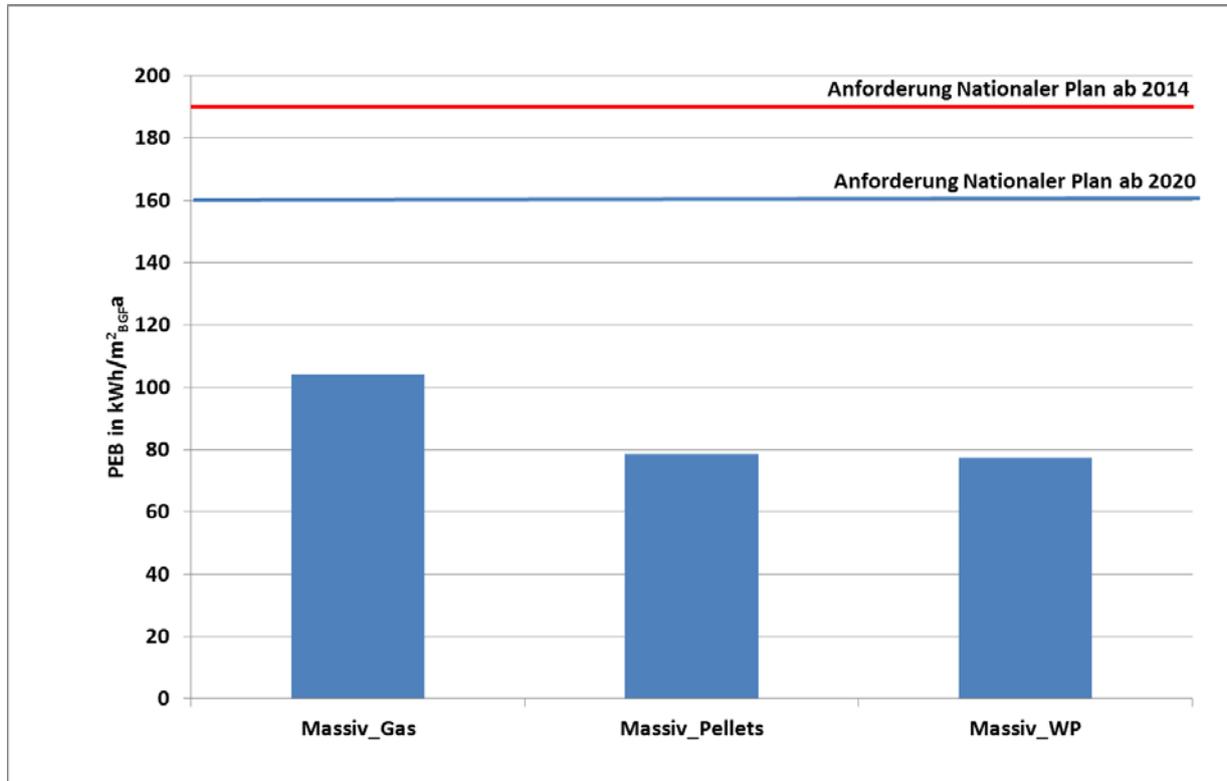


**Abbildung 25: Kostenoptima des Gesamt-Primärenergiebedarfs der Varianten des typischen Mehrfamilienhauses**

Abbildung 25 zeigt, bei welchem Gesamt-Primärenergiebedarf das Kostenoptimum der Varianten des typischen Mehrfamilienhauses liegt. Dabei wird nach der Bauweise (Massivbau/Holzbau) und nach dem Wärmeversorgungssystem (Gas, Pellet, Wärmepumpe) unterschieden.

Die Kostenoptima für das typische Mehrfamilienhaus liegen zwischen 90 und 110 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Die Kostenoptima liegen bei weit besseren energetischen Gebäudequalitäten, als im Nationalen Plan für 2020 festgelegt. Dieser fordert einen Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> von maximal 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.



**Abbildung 26: Kostenoptima des Gesamt-Primärenergiebedarfs der Varianten des großen Mehrfamilienhauses**

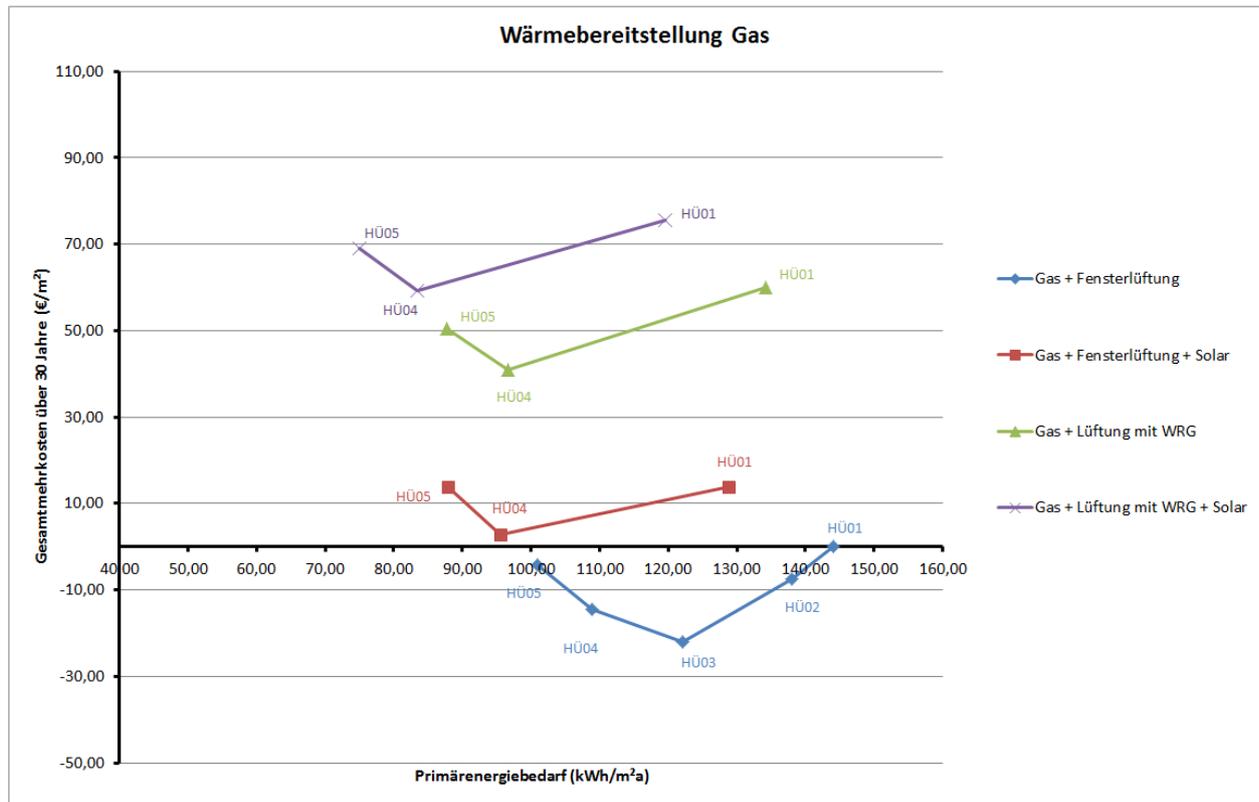
Abbildung 26 zeigt, bei welchem Gesamt-Primärenergiebedarf das Kostenoptimum der Varianten des großen Mehrfamilienhauses liegt. Dabei wird nach dem Wärmeversorgungssystem (Gas, Pellet, Wärmepumpe) unterschieden.

Die Kostenoptima für das große Mehrfamilienhaus liegen im Bereich zwischen knapp 80 und knapp über 100 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Die Kostenoptima liegen bei weit besseren energetischen Gebäudequalitäten, als im Nationalen Plan für 2020 festgelegt. Dieser fordert einen Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> von maximal 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

## 8.1 Detailergebnisse Einfamilienhaus

### 8.1.1 EFH - Massivbauweise, Gasheizung



**Abbildung 27: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des EFH mit Gasheizung [EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30a]**

Erläuterungen zur Interpretation der Grafik

Die Grafik zeigt wie alle folgenden Grafiken je 14 Varianten eines Gebäudetyps (im Beispiel EFH) in einer Bauweise (Massivbau) und mit einem Wärmeversorgungssystem (Gas-Brennwertkessel).

- Auf der x-Achse ist der Primärenergiebedarf für alle Energieanwendungen incl. Haushaltsstrom aufgetragen. Diese Bilanzgrenze entspricht der Bilanzgrenze bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs im Energieausweis, die in der Studie genannten Werte können damit ohne Umrechnung mit Ziel- und Grenzwerten, etwa denen des Nationalen Plans [17] oder denen der Wohnbauförderung verglichen werden.
- Auf der y-Achse ist der Kapitalwert der Differenzkosten der jeweiligen Variante gegenüber der Referenzvariante während des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren dargestellt. Berücksichtigt sind Herstellung-, Planungs-, Wartungs- und Instandhaltungs- sowie Energiekosten. Referenzvariante ist in jeder Grafik die Gebäudevariante in Hüllqualität 1 (Mindestanforderung OIB RL 6 (2011), mit Fensterlüftung, ohne Solaranlage und mit dem in der jeweiligen Grafik dargestellten Wärmeversorgungssystem).

- In allen Grafiken wird die jeweilige Referenzvariante durch den Punkt HÜ1, ganz rechts auf dem blauen Linienzug charakterisiert. Im Beispiel beträgt der spezifische Primärenergiebedarf der Referenzvariante  $144 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ , der Kapitalwert der Differenzkosten in 30 Jahren beträgt  $0 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$ .
- Die Punkte auf der blauen Linie repräsentieren die Varianten in den 5 Hüllqualitäten, jeweils mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage.
- Die Punkte auf der roten Linie repräsentieren die Varianten mit Solaranlage in den Hüllqualitäten 1, 4 und 5.
- Die Punkte auf der grünen Linie repräsentieren die Varianten mit Wärmerückgewinnung in den Hüllqualitäten 1, 4 und 5.
- Die Punkte auf der violetten Linie repräsentieren die Varianten mit Solaranlage und Wärmerückgewinnung in den Hüllqualitäten 1, 4 und 5.

#### Detaillierte Ergebnisse

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 3 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $122 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $22 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $144 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Variante 5 (Hüllqualität Passivhaus) hat trotz eines deutlich niedrigeren Gesamt-Primärenergiebedarfs von  $101 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  niedrigere Gesamtkosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 (Mindestanforderung OIB RL 6 (2011)).

Betrachtet man die drei Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und thermischer Solaranlage (roter Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 4. Diese Gebäudevariante mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von ca.  $95 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  ist fast kostenneutral zur Referenzvariante (Hülle 1, Fensterlüftung, ohne Solaranlage).

Betrachtet man die drei Gebäudevarianten mit Wärmerückgewinnung und ohne thermische Solaranlage (grüner Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 4. Diese Gebäudevariante mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $97 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  führt im Vergleich zur Referenzvariante (Hülle 1, Fensterlüftung, ohne Solaranlage) in 30 Jahren zu Mehrkosten von knapp  $41 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$ . Dies entspricht in etwa Mehrkosten von  $0,11 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

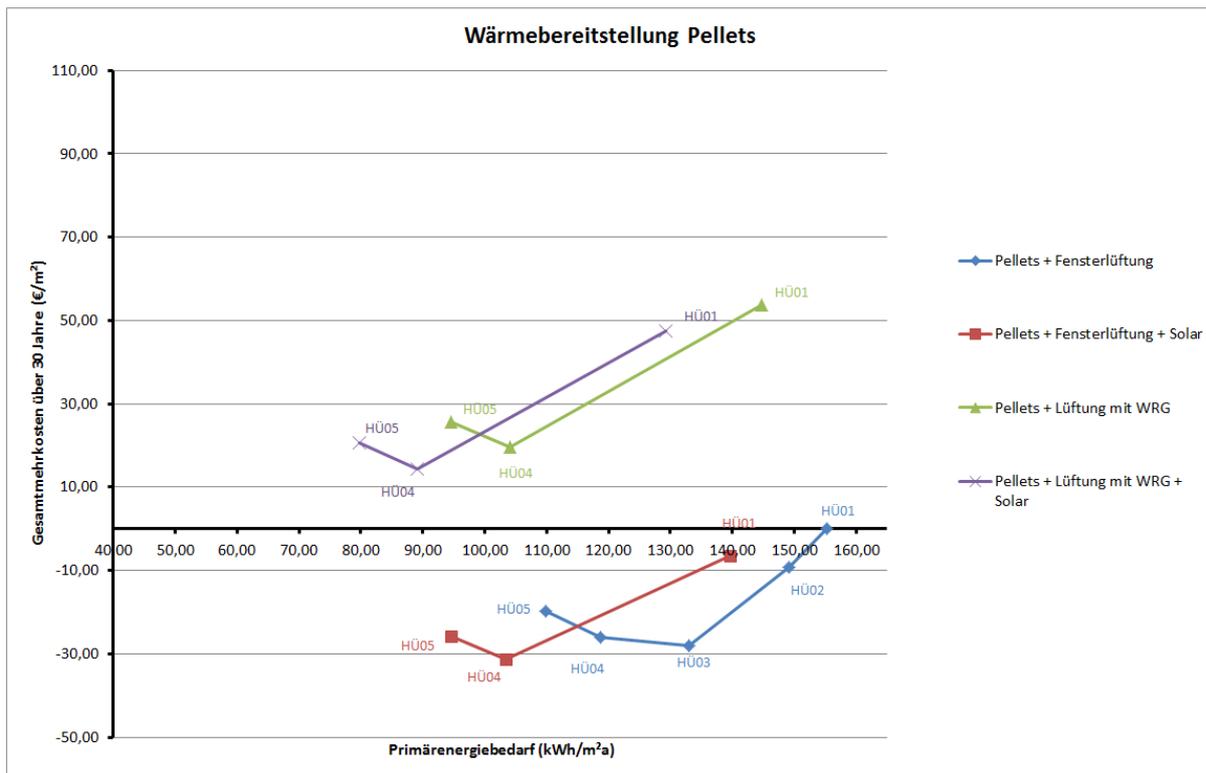
Betrachtet man die drei Gebäudevarianten mit Wärmerückgewinnung und mit thermischer Solaranlage (violetter Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 4. Diese Gebäudevariante mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von ca.  $83 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  führt im Vergleich zur Referenzvariante (Hülle 1, Fensterlüftung, ohne Solaranlage) in 30 Jahren zu Mehrkosten von knapp  $59 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$ . Dies entspricht Mehrkosten von  $0,16 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

Vergleicht man die energetisch beste Variante (Hülle 5, mit Wärmerückgewinnung und mit Solaranlage) mit der Referenz, so kann der Primärenergiebedarf von  $144$  auf  $75 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  reduziert werden. Vergleicht man den Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom (ohne Haushaltsstrom), so liegen die Werte zwischen  $101$  und  $32 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

Die Mehrkosten der energetisch besten Variante gegenüber der Referenzvariante betragen 69 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren, dies entspricht in etwa 0,19 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat. Die Mehrkosten des Einfamilienhauses mit einer BGF von 212 m<sup>2</sup> liegen damit – ohne Förderung - bei etwa 40 EUR pro Monat.

Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise und mit Gasheizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 122 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a.

### 8.1.2 EFH - Massivbauweise, Pelletheizung



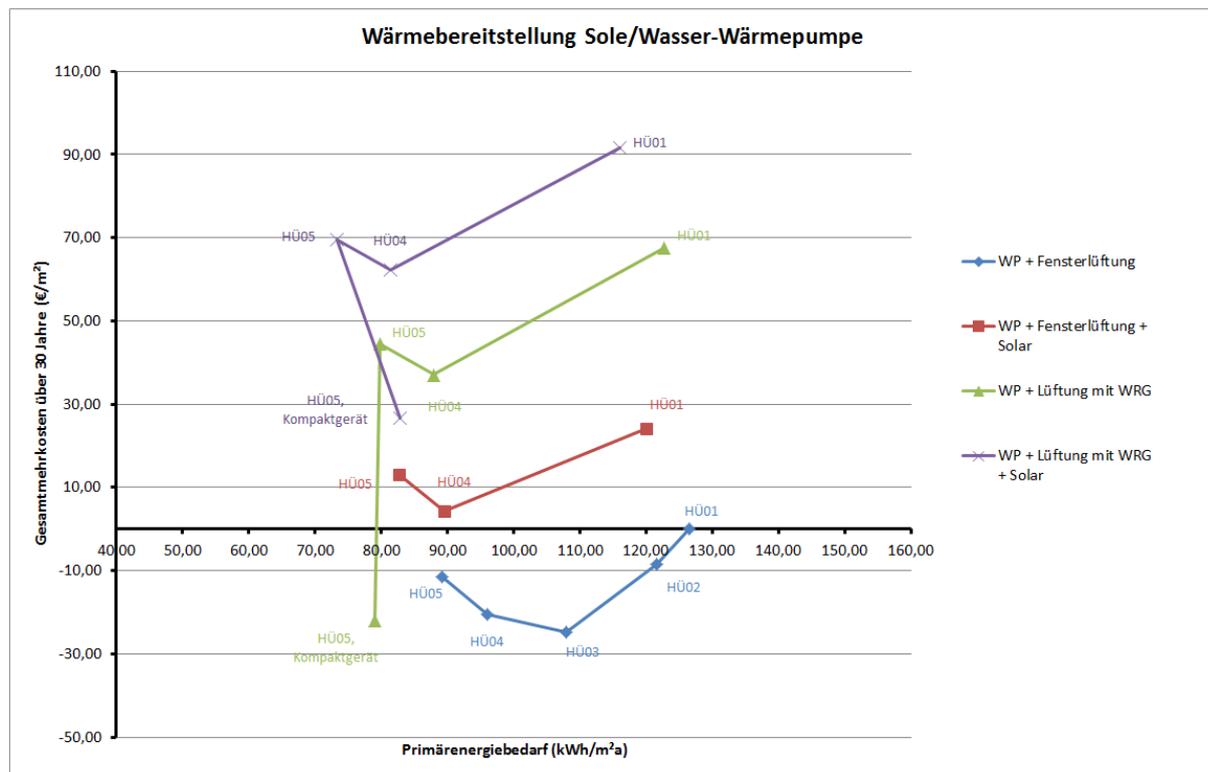
**Abbildung 28: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des Einfamilienhauses mit Pelletheizung**

Der Gesamt-Primärenergiebedarf der Referenzvariante mit Pelletheizung liegt bei 155 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a und damit etwas höher, als der der Variante mit Gas-Brennwertkessel. Der prinzipielle Verlauf der Kurven der Kostenoptima ist ähnlich wie in der Variante mit Gasheizung, das Kostenoptimum der Varianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage liegt bei Hüllqualität 3. Wegen der geringeren Effizienz des Holzheizsystems schneiden die Varianten in höheren Hüllqualitäten besser ab als im Gebäude mit Gasheizung. So liegen die Gesamtkosten der Variante in Hüllqualität 5 (Passivhaus) um 20 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> unter denen der Referenzvariante.

Im Vergleich zu den Gebäudevarianten mit Gasheizung fällt auf, dass die thermische Solaranlage unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sehr gut abschneidet. So ist im Pellet beheizten Haus die Variante in Hüllqualität 4 mit Fensterlüftung und mit Solaranlage mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 103 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a am wirtschaftlichsten. Ihre Gesamtkosten in 30 Jahren liegen um ca. 31 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> niedriger, als die der Referenz mit einem Primärenergiebedarf von 155 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a.

Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise und mit Pelletheizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $103 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die energetisch beste Variante (Hülle 5, WRG, Solaranlage) mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $80 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$  verursacht in 30 Jahren Mehrkosten von knapp  $21 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  gegenüber der Referenz. Dies entspricht Mehrkosten von etwa  $0,06 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat. Die Mehrkosten des Einfamilienhauses mit einer BGF von  $212 \text{ m}^2$  liegen damit – ohne Förderung - bei knapp  $13 \text{ EUR}$  pro Monat.

### 8.1.3 EFH - Massivbauweise, Wärmepumpenheizung



**Abbildung 29: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des EFH Massivbauweise mit Wärmepumpenheizung**

Der Gesamt-Primärenergiebedarf der Referenzvariante mit Erdreich-Wärmepumpe liegt bei knapp  $127 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Das Kostenoptimum der Varianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage liegt wie bei den Varianten mit Gas- und Pelletheizung bei Hüllqualität 3. Diese hat einen Primärenergiebedarf von knapp  $108 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Gesamtkosten der Variante in Hüllqualität 5 mit einem Primärenergiebedarf von knapp  $90 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  liegen um  $12 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  unter denen der Referenzvariante. Sowohl Solaranlage als auch Wärmerückgewinnung verursachen höhere Mehrkosten als in den Varianten mit Gas- bzw. Pelletheizung, da sie den Endenergieeinsatz eines vergleichsweise effizienten Wärmeversorgungs-Systems substituieren und da der Wärmepumpenstrom in Vorarlberg vergleichsweise günstig ist.

Die Sprünge im grünen und violetten Linienzug sind dadurch zu erklären, dass für die Hüllqualität 5 zusätzlich zur Variante mit Erdreich-Wärmepumpe zwei Varianten mit Wärmepumpen-Kompakt-

aggregat untersucht wurde. Für diese wurden der Wärmeschutz der Gebäudehülle und die Luftdichtheit nochmals leicht verbessert, so dass nicht nur ein  $\text{HWB}_{\text{PHPP}}$  von  $15 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ , sondern eine Heizlast $_{\text{PHPP}}$  von  $10 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$  erreicht wird.

Aufgrund der deutlich niedrigeren Investitionskosten (Entfall der Erschließung der Wärmequelle Erdreich, statt dessen Nutzung der Fortluft als Wärmequelle, Entfall des wassergeführten Wärmeverteilsystems) ergibt sich ein **zweites Kostenoptimum** für die Variante in Hüllqualität 5 mit Wärmepumpenkompaktaggregat. Diese Variante hat mit  $79 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$  einen sehr niedrigen Gesamt-Primärenergiebedarf.

Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $108 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ .

### 8.1.4 EFH - Holzbauweise, Gasheizung

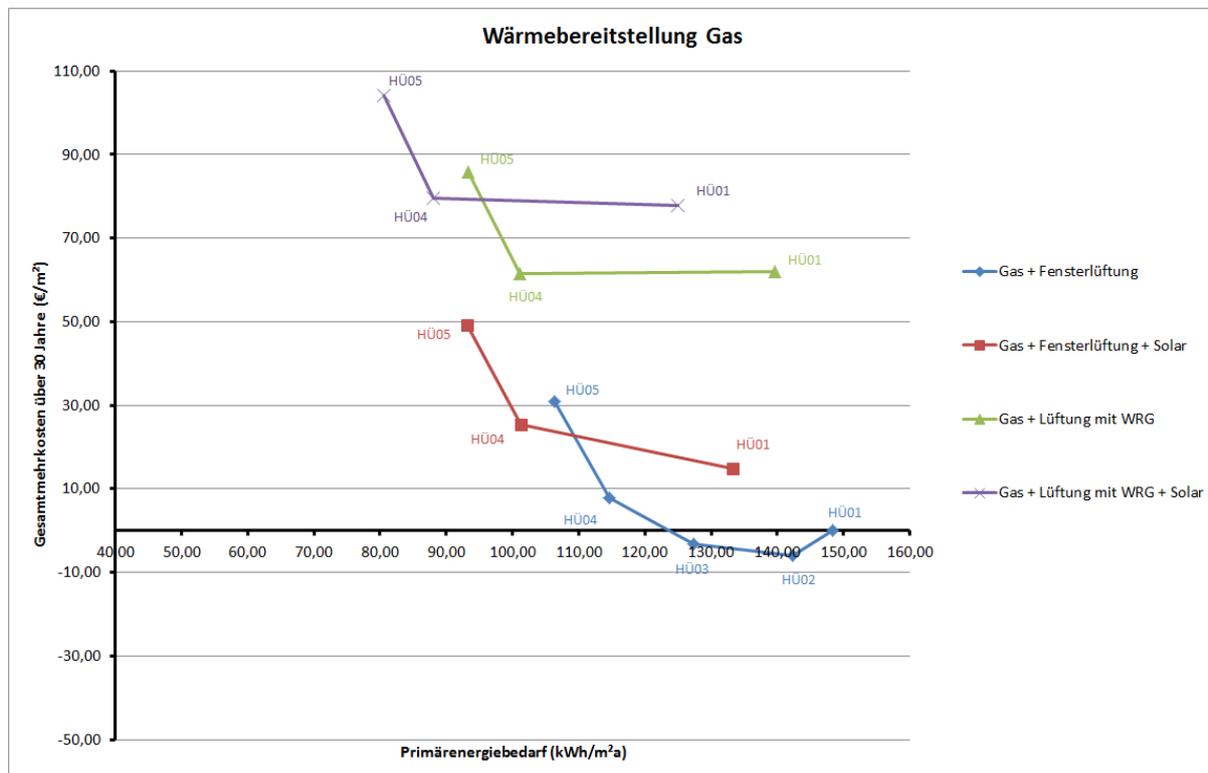


Abbildung 30: Berechnungsergebnisse für die Holzbauvarianten des Einfamilienhauses mit Gasheizung

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 2 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $142 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $6 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $148 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ .

Variante 5 (Hüllqualität Passivhaus) hat bei einem auf  $106 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$  reduzierten Gesamt-Primärenergiebedarf um  $31 \text{ EUR/m}^2$  höhere Gesamtkosten in 30 Jahren als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 (Mindestanforderung OIB RL 6 (2011)).

Das Kostenoptimum liegt für die gewählte Holzbauweise bei etwas höheren Werten des Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> als für die Massivbauvarianten.

Grund für diese Tatsache ist, dass für alle Holzbauvarianten angenommen wurde, dass die äußere Beplankung aus Holzweichfaserplatten unterschiedlicher Dicken besteht. Diese sind deutlich teurer, als die für die Massivbauvariante angenommenen Dämmstoffe EPS bzw. Mineralfaser. Günstigere Konstruktionen sind möglich, wenn statt der Vollholz-Steher dickere Doppelstegträger oder andere gespreizte Träger eingesetzt werden. In diesem Fall wird die Dicke der Dämmschicht zwischen den Stehern erhöht, die äußere Beplankung aus vergleichsweise teuren Holzweichfaserplatten kann deutlich dünner ausfallen.

Betrachtet man die 3 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und thermischer Solaranlage (roter Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 1. Diese Gebäudevariante mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von ca. 133 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> verursacht gegenüber der Referenzvariante (Hülle 1, Fensterlüftung, ohne Solaranlage) Mehrkosten von knapp 15 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren.

### 8.1.5 EFH - Holzbauweise, Pelletheizung

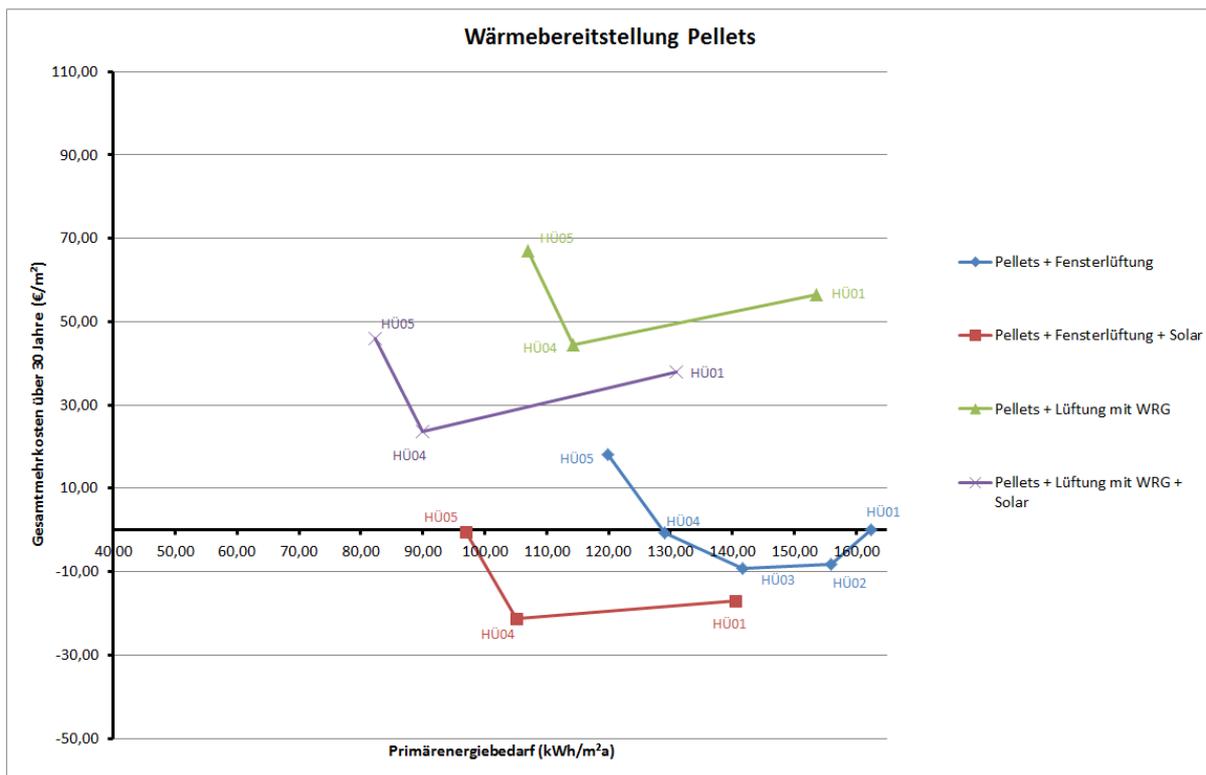


Abbildung 31: Berechnungsergebnisse für die Holzbauvarianten des Einfamilienhauses mit Pelletheizung

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 3 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 142 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa 9 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 162 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Variante 5 (Hüllqualität Passivhaus) hat bei einem auf 120 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> reduzierten Gesamt-

Primärenergiebedarf um 18 EUR/m<sup>2</sup> höhere Gesamtkosten in 30 Jahren als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 (Mindestanforderung OIB RL 6 (2011)).

Betrachtet man die 3 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und thermischer Solaranlage (roter Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 4. Diese Gebäudevariante mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von ca. 105 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> verursacht gegenüber der Referenzvariante (Hülle 1, Fensterlüftung, ohne Solaranlage) Mehrkosten von knapp 21 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren.

Betrachtet man die 3 Gebäudevarianten mit Wärmerückgewinnung und ohne thermische Solaranlage (grüner Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 4

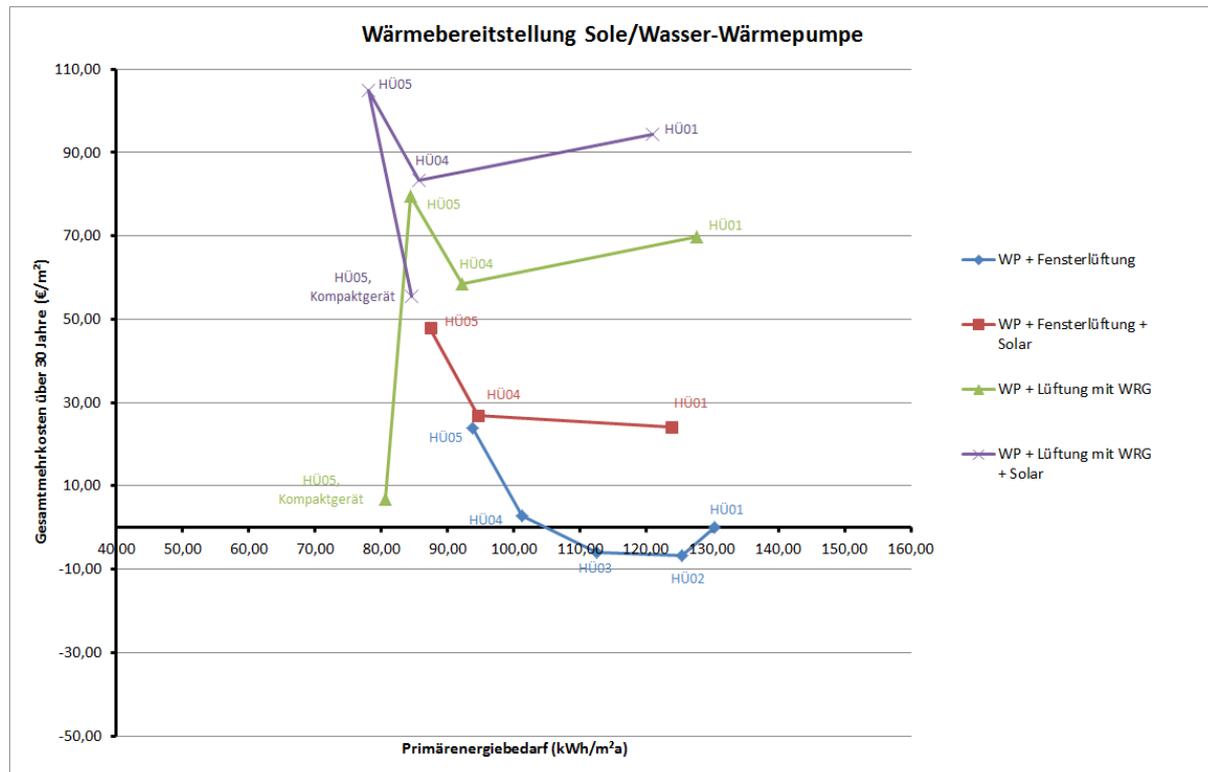
Betrachtet man die 3 Gebäudevarianten mit Wärmerückgewinnung und mit thermischer Solaranlage (violetter Linienzug), so liegt das Kostenoptimum ebenfalls bei Hüllqualität 4.

Vergleicht man die energetisch beste Variante (Hülle 5, mit Wärmerückgewinnung und mit Solaranlage) mit der Referenz, so kann der Primärenergiebedarf von 162 auf 82 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> reduziert werden. Vergleicht man den Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom (ohne Haushaltsstrom), so liegen die Werte zwischen 139 und 39 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des Einfamilienhauses in Holzbauweise und mit Pelletheizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 105 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Die Mehrkosten der energetisch besten Variante gegenüber der Referenzvariante betragen 46 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren, dies entspricht in etwa 0,13 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat. Die Mehrkosten des EFH mit 212 m<sup>2</sup> BGF liegen damit –ohne Förderung - bei etwa 27 EUR pro Monat.

### 8.1.6 EFH - Holzbauweise, Wärmepumpenheizung



**Abbildung 32: Berechnungsergebnisse für die Holzbauvarianten des Einfamilienhauses mit Wärmepumpenheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 2 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $125 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $7 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $130 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Variante 5 (Hüllqualität Passivhaus) hat bei einem auf  $94 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  reduzierten Gesamt-Primärenergiebedarf um  $24 \text{ EUR/m}^2$  höhere Gesamtkosten in 30 Jahren als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 (Mindestanforderung OIB RL 6 (2011)).

Betrachtet man die 3 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und thermischer Solaranlage (roter Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 1. Diese Gebäudevariante mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von ca.  $124 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  verursacht gegenüber der Referenzvariante (Hülle 1, Fensterlüftung, ohne Solaranlage) Mehrkosten von knapp  $24 \text{ EUR/m}^2$  in 30 Jahren.

Betrachtet man die 3 Gebäudevarianten mit Wärmerückgewinnung und ohne thermische Solaranlage (grüner Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bei Hüllqualität 5 mit Wärmepumpen-Kompakttaggregat mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $81 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese führt - ohne Förderung - zu Mehrkosten von knapp  $7 \text{ EUR/m}^2$  pro Monat.

Betrachtet man die 3 Gebäudevarianten mit Wärmerückgewinnung und mit thermischer Solaranlage (violetter Linienzug), so liegt das Kostenoptimum ebenfalls bei Hüllqualität 5 mit Wärmepumpen-Kompakttaggregat.

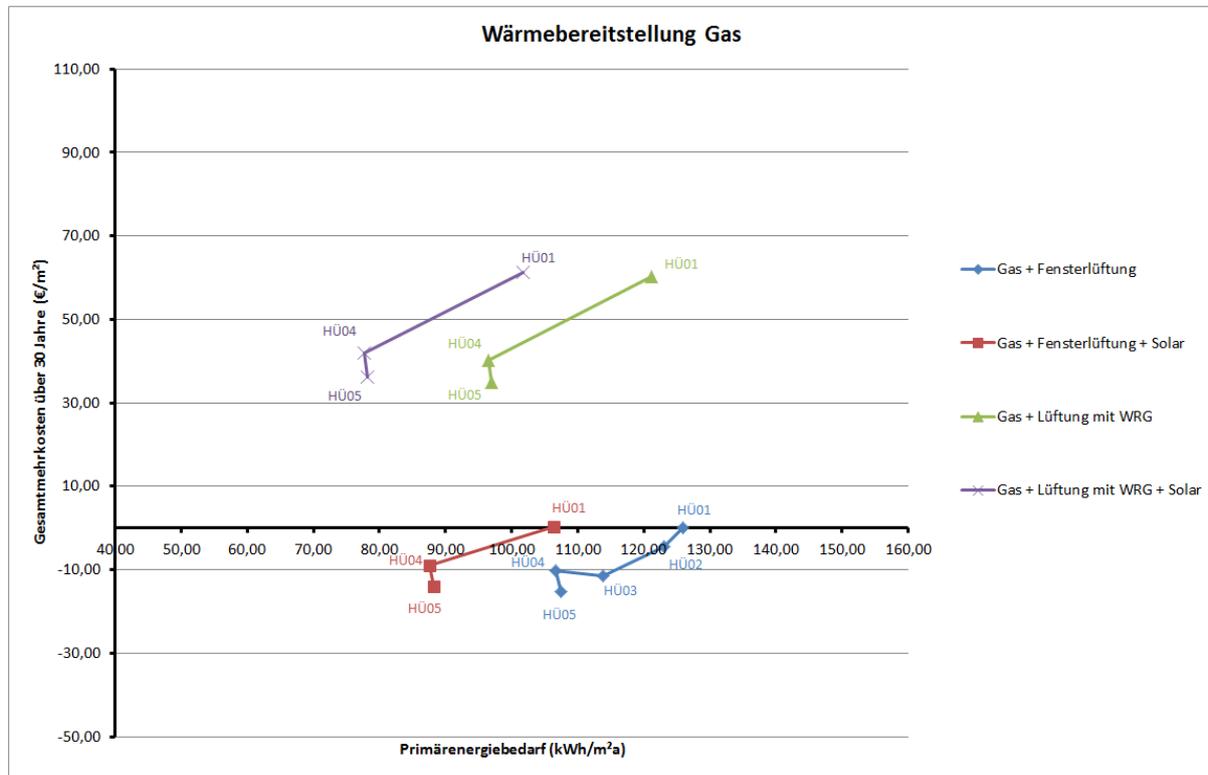
Vergleicht man die energetisch (zweit)beste Variante (Hülle 5, mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat, ohne Solaranlage) mit der Referenz, so kann der Primärenergiebedarf von 130 auf 81 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a reduziert werden. Vergleicht man den Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom (ohne Haushaltsstrom), so liegen die Werte zwischen 87 und 38 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Die Primärenergieeinsparung beträgt damit mehr als 56%.

Die Mehrkosten der Variante gegenüber der Referenzvariante betragen 7 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren, dies entspricht in etwa 0,02 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat. Die Mehrkosten des EFH mit 212 m<sup>2</sup> BGF liegen damit – ohne Förderung - bei etwa 4 EUR pro Monat.

Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des Einfamilienhauses in Holzbauweise und mit Wärmepumpenheizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 125 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a.

## 8.2 Detailergebnisse typisches Mehrfamilienhaus

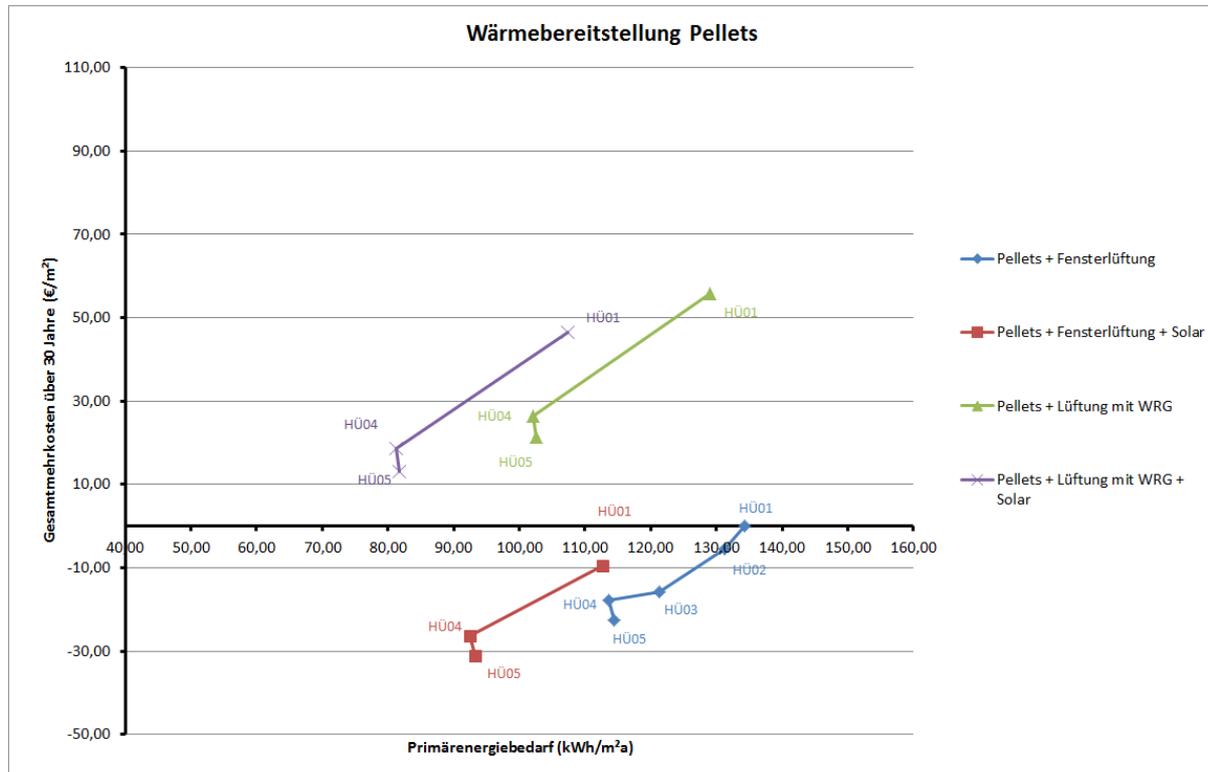
### 8.2.1 Typisches MFH - Massivbauweise, Gasheizung



**Abbildung 33: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des typischen Mehrfamilienhauses mit Gasheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 5 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa  $107 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $15 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $126 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Im Vergleich mit dem Einfamilienhaus ist eine deutlich höhere Hüllqualität wirtschaftlich, da aufgrund des besseren A/V Verhältnisses weniger besser gedämmte Hüllfläche zu finanzieren sind.

## 8.2.2 Typisches MFH - Massivbauweise, Pelletheizung



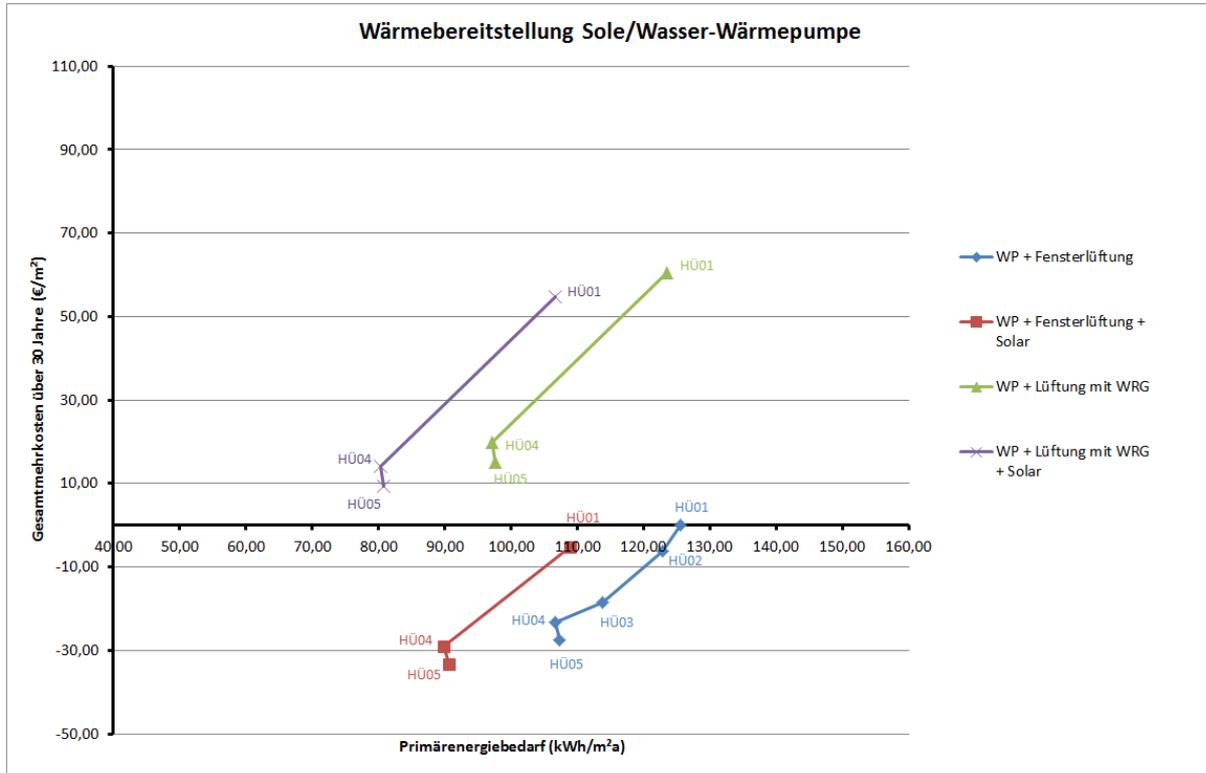
**Abbildung 34: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des typischen Mehrfamilienhauses mit Pelletheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 5 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa  $114 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $23 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $134 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des typ. Mehrfamilienhauses in Holzbauweise und mit Pelletheizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $93 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Dieser Wert wird von der Variante in Hüllqualität 5 und mit Solaranlage erreicht. Diese Variante verursacht in 30 Jahren um  $31 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGFa}}$  geringere Gesamtkosten, als die Referenzvariante. Dies entspricht einer Einsparung von etwa  $0,09 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

Die Mehrkosten der Varianten mit Wärmerückgewinnung liegen bei etwa  $57 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  in 30 Jahren. Dies entspricht etwa  $0,16 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

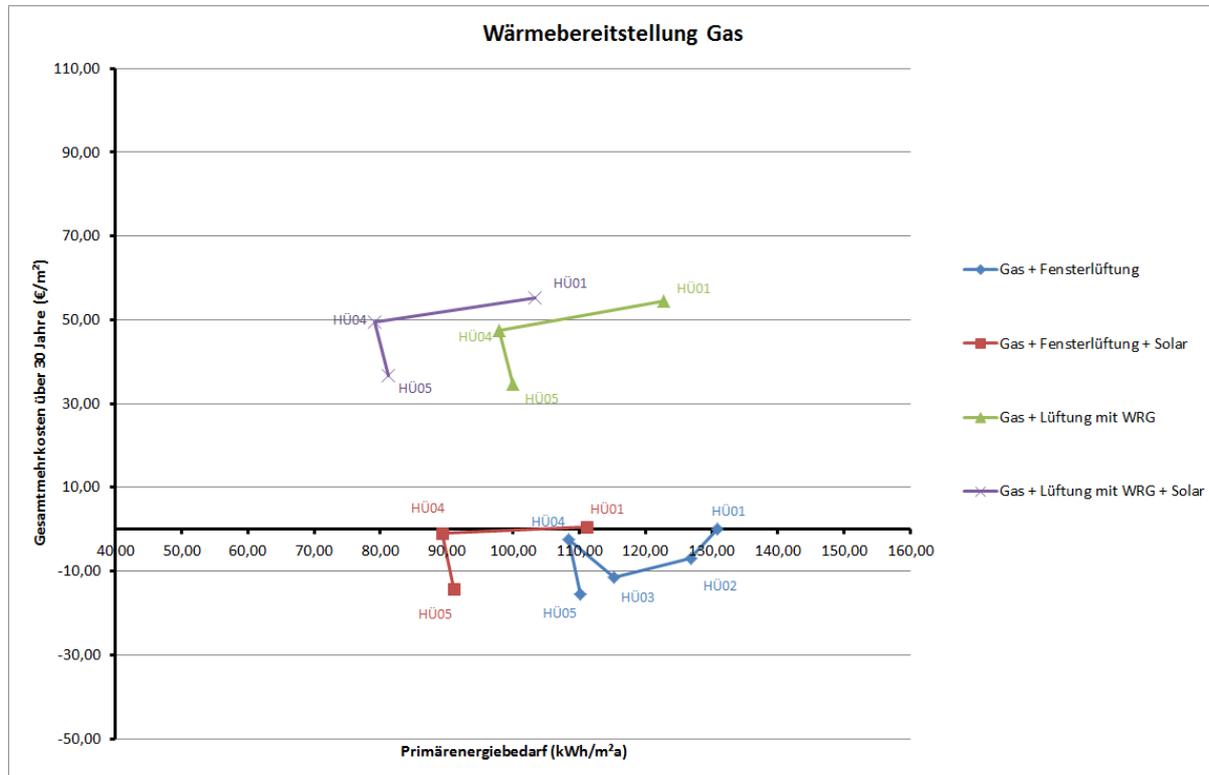
### 8.2.3 typisches MFH, Massivbauweise, Wärmepumpenheizung



**Abbildung 35: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des typischen MFH mit Wärmepumpenheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 5 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa  $107 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $27 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $126 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des typischen Mehrfamilienhauses in Holzbauweise mit WP-Heizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $91 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Dieser Wert wird von der Variante in Hüllqualität 5 und mit Solaranlage erreicht. Die Variante verursacht in 30 Jahren um  $33 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Gesamtkosten, als die Referenzvariante. Dies entspricht einer monatlichen Einsparung von etwa  $0,09 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$ .

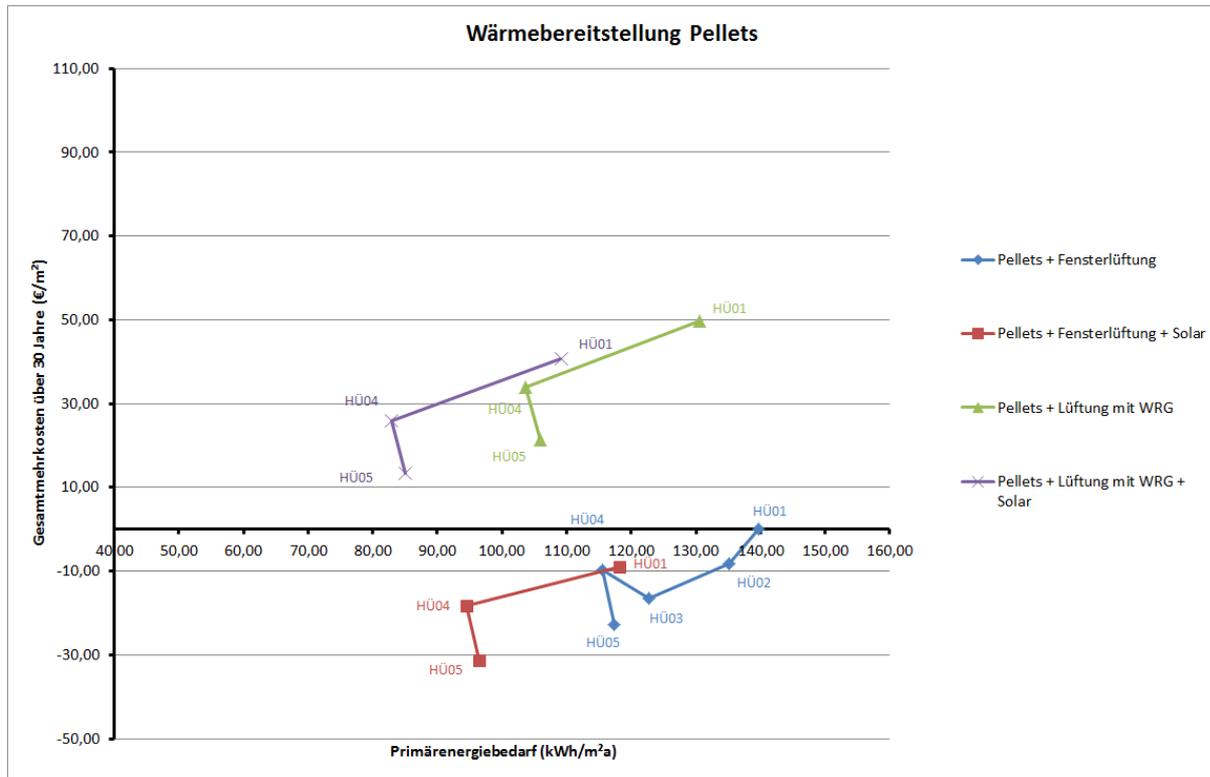
### 8.2.4 Typisches MFH - Holzbauweise, Gasheizung



**Abbildung 36: Berechnungsergebnisse für die Holzbauvarianten des typischen Mehrfamilienhauses mit Gasheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 5 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa  $110 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $16 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $131 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Variante in Hüllqualität 5 mit Solaranlage verursacht fast identische Gesamtkosten, hat aber mit  $91 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  einen deutlich niedrigeren Gesamt-Primärenergiebedarf.

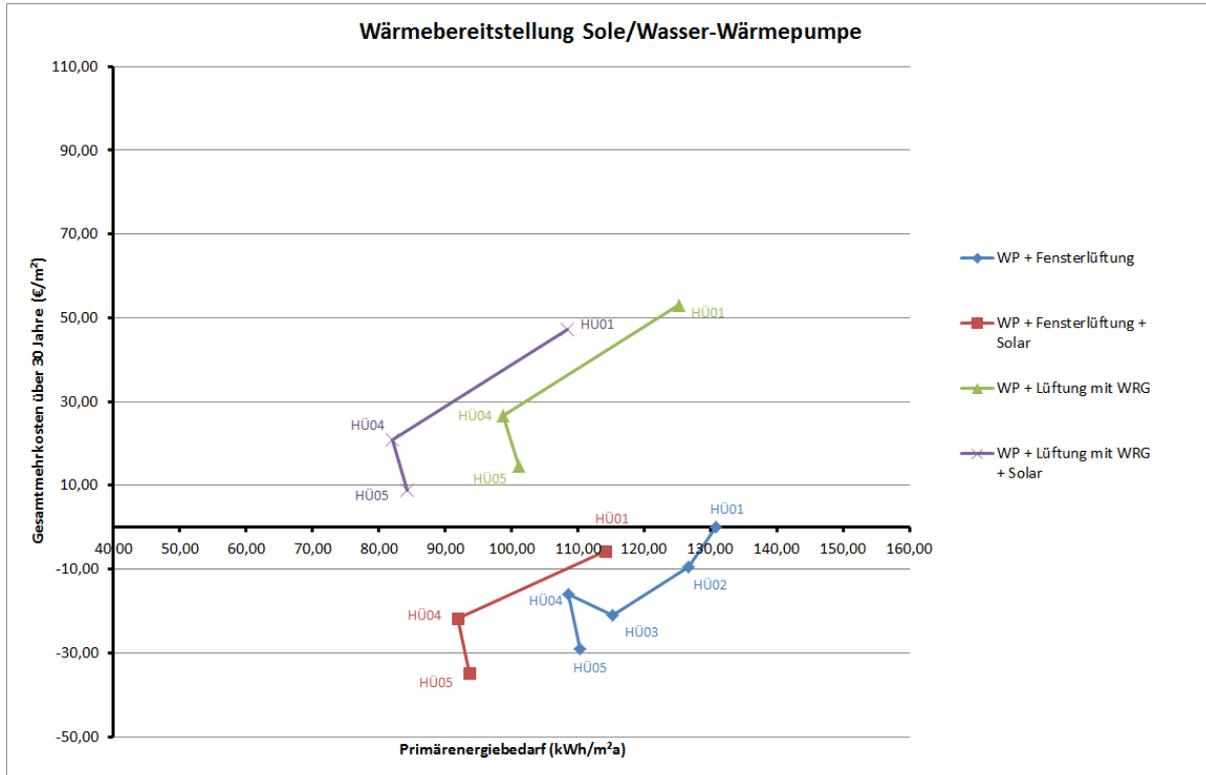
### 8.2.5 Typisches MFH - Holzbauweise, Pelletheizung



**Abbildung 37: Berechnungsergebnisse für die Holzbauvarianten des typischen Mehrfamilienhauses mit Pelletheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 5 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa  $117 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $23 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $140 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ . Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des typischen Mehrfamilienhauses in Holzbauweise und mit Pelletheizung liegt bei einem Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> von  $96 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ . Dieser Wert wird von der Variante in Hüllqualität 5 und mit Solaranlage erreicht. Diese Variante verursacht in 30 Jahren etwa  $31 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  geringere Gesamtkosten. Dies entspricht einer Einsparung von knapp  $0,09 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

## 8.2.6 Typisches MFH - Holzbauweise, Wärmepumpenheizung

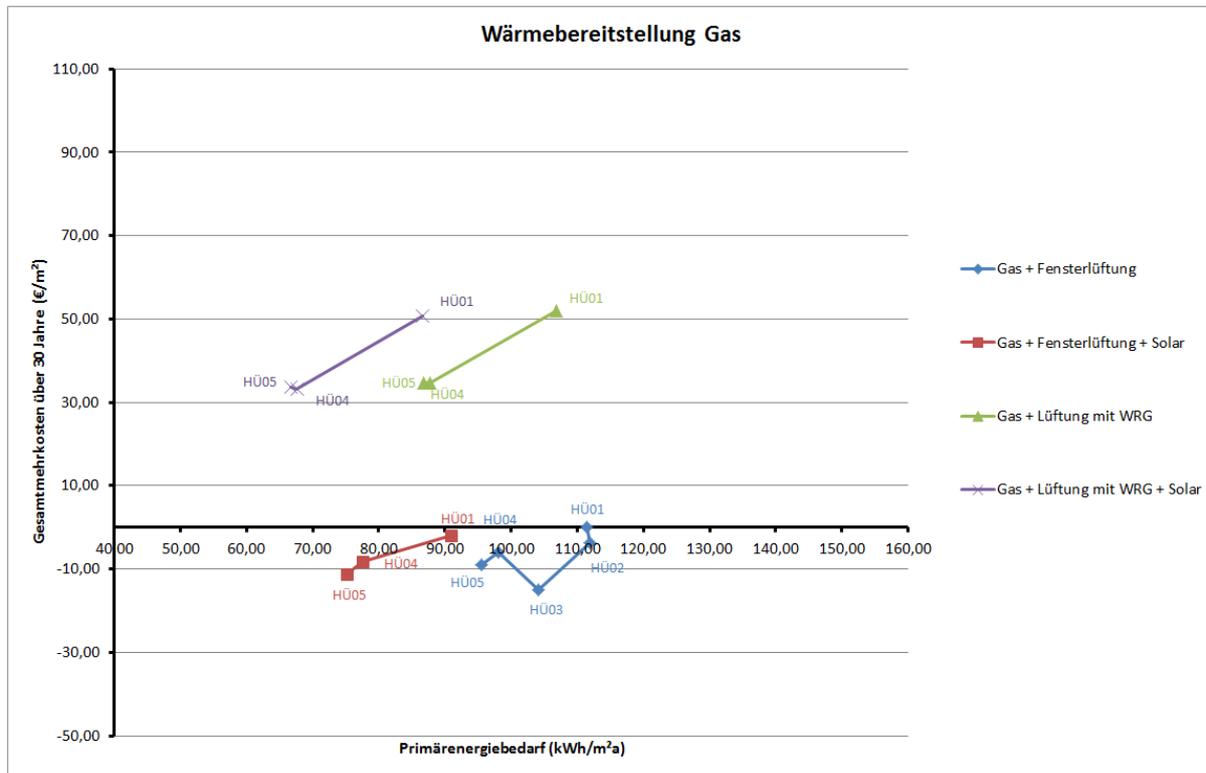


**Abbildung 38: Berechnungsergebnisse für die Holzbauvarianten des typischen MFH mit Wärmepumpenheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 5 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa  $110 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $29 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $131 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des typischen MFH in Holzbauweise und mit Wärmepumpenheizung liegt bei einem Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> von  $94 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Dieser Wert wird von der Variante in Hüllqualität 5 und mit Solaranlage erreicht. Die Variante verursacht in 30 Jahren um  $35 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Gesamtkosten, als die Referenzvariante. Dies entspricht Minderkosten von etwa  $0,10 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

## 8.3 Detailergebnisse großes Mehrfamilienhaus,

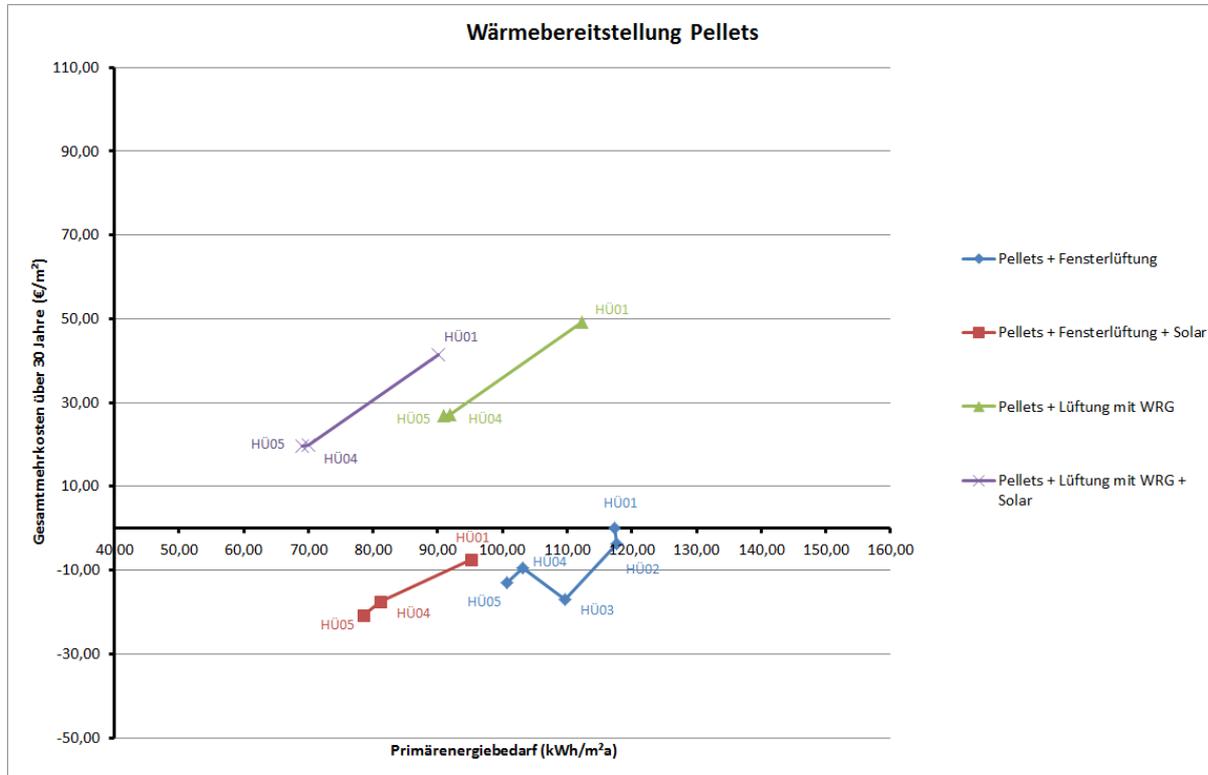
### 8.3.1 Großes MFH - Massivbauweise, Gasheizung



**Abbildung 39: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des großen Mehrfamilienhauses mit Gasheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 3 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa  $104 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa  $15 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von  $131 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Die Variante in Hüllqualität 5 mit Solaranlage verursacht nur unwesentlich höhere Gesamtkosten, hat aber mit  $75 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  einen deutlich niedrigeren Gesamt-Primärenergiebedarf. Die Varianten mit Komfortlüftung verursachen Gesamt-Mehrkosten von ca.  $45 \text{ bis } 50 \text{ EUR/m}^2$  in 30 Jahren gegenüber den identischen Varianten ohne Komfortlüftung. Dies entspricht Mehrkosten von etwa  $0,13 \text{ EUR/m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

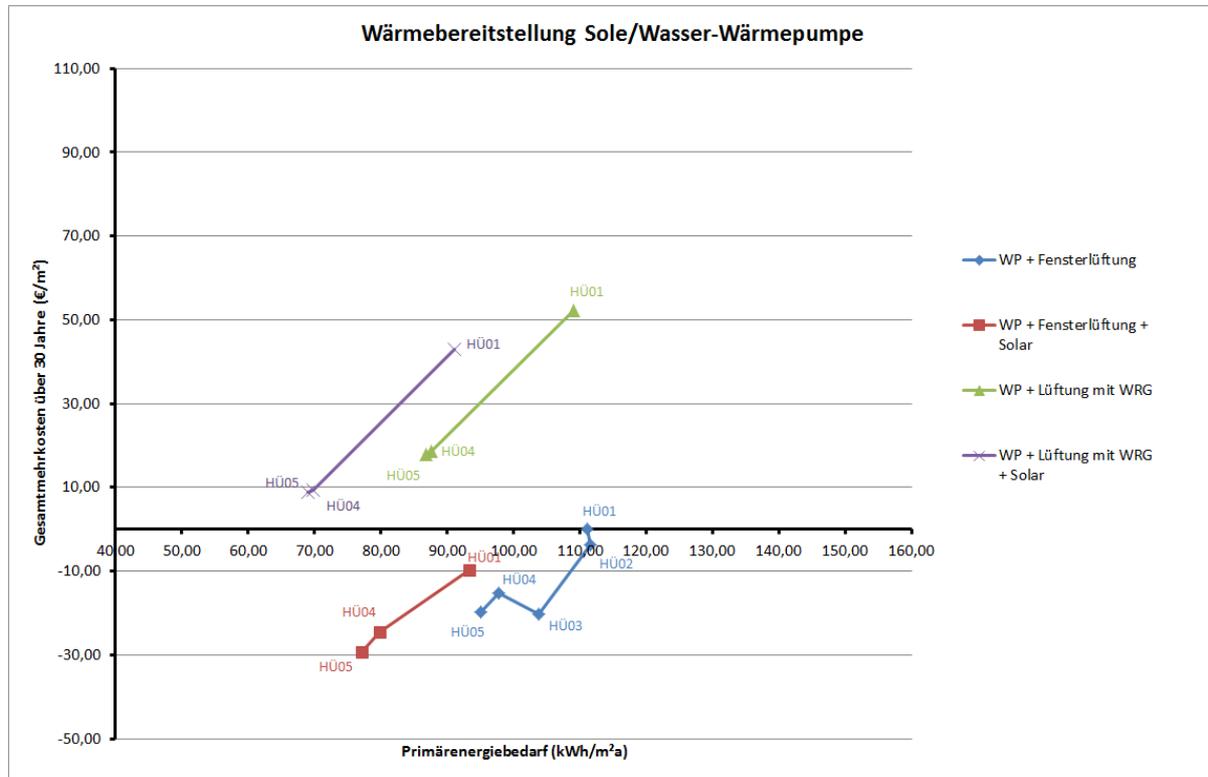
### 8.3.2 Großes MFH, Massivbauweise, Pelletheizung



**Abbildung 40: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des großen Mehrfamilienhauses mit Pelletheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegt das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs bei Hüllqualität 3 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa 110 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Diese Variante verursacht über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa 17 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> niedrigere Kosten als die Referenzvariante in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 117 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des großen Mehrfamilienhauses in Massivbauweise mit Pelletheizung liegt bei einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 79 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Dieser Wert wird von der Variante in Hüllqualität 5 und mit Solaranlage erreicht. Die Gesamtkosten der Variante liegen um 21 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> unter denen der Referenzvariante. Dies entspricht Minderkosten von etwa 0,06 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat.

### 8.3.3 Großes Mehrfamilienhaus, Massivbauweise, Wärmepumpenheizung



**Abbildung 41: Berechnungsergebnisse für die Massivbauvarianten des großen MFHs mit Wärmepumpenheizung**

Betrachtet man die 5 Gebäudevarianten mit Fensterlüftung und ohne Solaranlage (blauer Linienzug), so liegen die Kostenoptima bezüglich des Primärenergiebedarfs bei den Hüllqualitäten 3 und 5 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von etwa 104 bzw. 95 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Diese beiden Varianten verursachen über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren um etwa 20 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> niedrigere Kosten als die Referenz in Hüllqualität 1 mit einem Gesamt-Primärenergiebedarf von 111 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Das absolute Kostenoptimum aller 14 untersuchten Varianten des großen Mehrfamilienhauses in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung liegt bei einem Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> von etwa 77 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Dieser Wert wird von der Variante in Hüllqualität 5 und mit Solaranlage erreicht. Die Variante verursacht in 30 Jahren um 29 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> niedrigere Gesamtkosten, als die Referenzvariante. Dies entspricht Minderkosten von 0,08 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat

## 8.4 Mehr- und Minderkosten der energetisch besten Varianten

In den folgenden Abbildungen sind die Mehr- bzw. Minderkosten der energetisch besten Gebäudevarianten dargestellt.

Abbildung 42 zeigt die Mehrkosten gegenüber der Referenzvariante (Hüllqualität 1 = Mindestanforderung OIB Richtlinie 6 (2011), gleicher Gebäudetyp, gleiche Bauweise, gleiches Wärmeversorgungssystem).

Abbildung 43 zeigt die Mehrkosten gegenüber der kostenoptimalen Variante (gleicher Gebäudetyp, gleiche Bauweise, gleiches Wärmeversorgungssystem).

A	B	C	D			E			I	J	K
			Primärenergiebedarf inkl. HH-Strom			Primärenergiebedarf ohne HH-Strom					
			Referenz OIB RL 6 ohne Solar	PH mit Solar	Einsparung	Referenz OIB RL 6 ohne Solar	PH mit Solar	Einsparung			
kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>	kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>	kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>	kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>	kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>	%						
Gebäude	Bauweise	Wärmeversorgung	Mehrkosten 30 a		Mehrkosten Monat						
			[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> 30 a]	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> Monat]							
EFH	Massiv	Gas	144,0	75,0	69,0	101,0	32,0	68,3%	68,97	0,19	
EFH	Massiv	Pellet	155,2	79,2	76,0	112,2	36,2	67,7%	20,65	0,06	
EFH	Massiv	WP	126,6	73,4	53,2	83,6	30,4	63,6%	69,60	0,19	
EFH	Massiv	WP kompakt (ohne Solar)		79,0			36,0		-21,95	-0,06	
EFH	Holz	Gas	148,4	80,5	67,9	105,4	37,5	64,4%	104,15	0,29	
EFH	Holz	Pellet	162,4	82,4	80,0	119,4	39,4	67,0%	45,96	0,13	
EFH	Holz	WP	130,4	78,1	52,3	87,4	35,1	59,8%	104,80	0,29	
EFH	Holz	WP kompakt (ohne Solar)		80,7			37,7		6,89	0,02	
MFH <sub>typ</sub>	Massiv	Gas	125,9	78,2	47,7	82,9	35,2	57,5%	36,18	0,10	
MFH <sub>typ</sub>	Massiv	Pellet	134,3	81,8	52,5	91,3	38,8	57,5%	13,10	0,04	
MFH <sub>typ</sub>	Massiv	WP	125,6	80,8	44,8	82,6	37,8	54,2%	9,28	0,03	
MFH <sub>typ</sub>	Holz	Gas	130,8	81,2	49,6	87,8	38,2	56,5%	36,68	0,10	
MFH <sub>typ</sub>	Holz	Pellet	139,7	85,1	54,6	96,7	42,1	56,5%	13,41	0,04	
MFH <sub>typ</sub>	Holz	WP	130,8	84,3	46,5	87,8	41,3	53,0%	8,82	0,02	
MFH <sub>gr</sub>	Massiv	Gas	111,5	66,7	44,8	68,5	23,7	65,4%	33,77	0,09	
MFH <sub>gr</sub>	Massiv	Pellet	117,3	69,0	48,3	74,3	26,0	65,0%	19,68	0,05	
MFH <sub>gr</sub>	Massiv	WP	111,2	69,1	42,1	68,2	26,1	61,7%	8,78	0,02	

**Abbildung 42: Prozentuale Einsparung und Mehrkosten der energetisch besten gegenüber der Referenzvariante**

Die Abbildung zeigt, dass der Primärenergiebedarf der energetisch besten Varianten für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom gegenüber den Referenzvariante in gleicher Bauweise und mit gleichem Wärmeversorgungssystem um 53 bis 68,3% reduziert werden kann (Spalte I, Hervorhebung in grün). Im Einfamilienhaus in Massivbauweise mit Wärmepumpe verursacht die energetisch beste Variante (Wärmepumpen-Kompakttaggregat ohne Solaranlage) um 21,95 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> geringere Kosten in 30 Jahren, als die Referenzvariante mit Wärmepumpe. Dies entspricht monatlichen Minderkosten von 0,06 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.

In den übrigen Varianten des Einfamilienhauses liegen die Gesamtkosten der energetisch besten Varianten in 30 Jahren um 6,89 bis 104,80 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> höher, als die der Referenzvarianten (Spalte J). Dies entspricht monatlichen Mehrkosten von 0,02 bis 0,29 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.

In den Mehrfamilienhäusern liegen die Mehrkosten in 30 Jahren bei 8,78 bis 36,68 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Dies entspricht monatlichen Mehrkosten von 0,02 bis 0,10 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
			Primärenergiebedarf inkl. HH-Strom			Primärenergiebedarf ohne HH-Strom					
Gebäude	Bauweise	Wärmeversorgung	Variante			Variante			Einsparung	Mehrkosten 30 a	Mehrkosten Monat
			Kostenoptimum	PH mit Solar	Einsparung	Kostenoptimum	PH mit Solar				
			kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> a	%	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> 30 a]	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> Monat]					
EFH	Massiv	Gas	122,1	75,0	47,1	79,1	32,0	59,5%	90,88	0,25	
EFH	Massiv	Pellet	103,4	79,2	24,2	60,4	36,2	40,1%	52,04	0,14	
EFH	Massiv	WP	107,9	73,4	34,5	64,9	30,4	53,2%	94,41	0,26	
EFH	Massiv	WP kompakt (ohne Solar)	107,9	79,0	28,9	64,9	36,0	44,5%	2,88	0,01	
EFH	Holz	Gas	142,3	80,5	61,8	99,3	37,5	62,2%	110,19	0,31	
EFH	Holz	Pellet	105,1	82,4	22,7	62,1	39,4	36,6%	67,12	0,19	
EFH	Holz	WP	130,4	78,1	52,3	87,4	35,1	59,8%	111,45	0,31	
EFH	Holz	WP kompakt (ohne Solar)	125,4	80,7	44,7	82,4	37,7	54,2%	13,54	0,04	
MFH <sub>typ</sub>	Massiv	Gas	107,4	78,2	29,2	64,4	35,2	45,3%	51,37	0,14	
MFH <sub>typ</sub>	Massiv	Pellet	93,3	81,8	11,5	50,3	38,8	22,9%	44,10	0,12	
MFH <sub>typ</sub>	Massiv	WP	90,6	80,8	9,8	47,6	37,8	20,6%	42,45	0,12	
MFH <sub>typ</sub>	Holz	Gas	110,2	79,2	31,0	67,2	36,2	46,1%	65,06	0,18	
MFH <sub>typ</sub>	Holz	Pellet	96,4	85,1	11,3	53,4	42,1	21,2%	57,13	0,16	
MFH <sub>typ</sub>	Holz	WP	93,6	82,1	11,5	50,6	39,1	22,7%	55,48	0,15	
MFH <sub>gr</sub>	Massiv	Gas	104,1	66,7	37,4	61,1	23,7	61,2%	48,78	0,14	
MFH <sub>gr</sub>	Massiv	Pellet	78,5	69,0	9,5	35,5	26,0	26,8%	40,50	0,11	
MFH <sub>gr</sub>	Massiv	WP	77,2	69,1	8,1	34,2	26,1	23,7%	38,13	0,11	

**Abbildung 43: Prozentuale Einsparung und Mehrkosten der energetisch besten gegenüber der kostenoptimalen Variante**

Die Abbildung zeigt, dass der Primärenergiebedarf der energetisch besten Varianten für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom gegenüber den kostenoptimalen Varianten um 20,6 bis 62,2% reduziert werden kann (Spalte I, Hervorhebung in grün).

Die Mehrkosten der energetisch besten Varianten gegenüber den kostenoptimalen Varianten betragen zwischen 2,88 und 111,45 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren für die Einfamilienhäuser und zwischen 38,13 und 65,06 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren für die Mehrfamilienhäuser (Spalte J).

Dies entspricht monatlichen Mehrkosten von 0,01 bis 0,31 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> für die Einfamilienhäuser und von 0,11 bis 0,18 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> für die Mehrfamilienhäuser (Spalte K).

Die geringsten Mehrkosten der energetisch besten Varianten ergeben sich für die Varianten des Einfamilienhauses mit Wärmepumpen-Kompakttaggregat (WP kompakt) mit 0,01 bis 0,04 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat. Die Gebäudevarianten mit bedarfsangepasster, minimierter Wärmeversorgungstechnik sind damit deutlich günstiger als die mit additiven Wärmeversorgungssystemen.

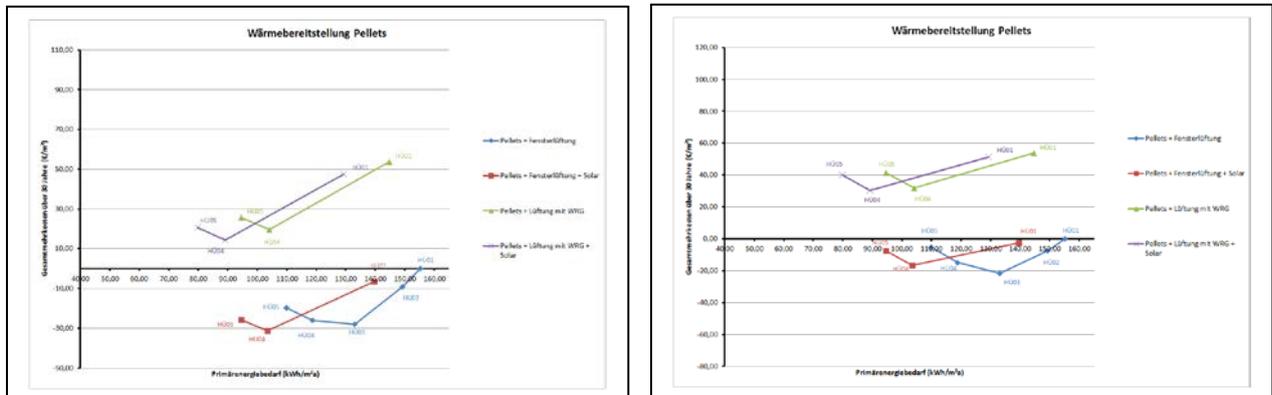
## 9 Sensitivitätsanalyse

Die wichtigsten Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind nachfolgend am Beispiel des Einfamilienhauses in Massivbauweise erläutert. In der Sensitivitätsanalyse wurden die in der folgenden Tabelle zusammengefassten Eingabeparameter einzeln verändert:

	Basisvariante	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
EPI Haushaltsstrom	1,5 %	0,5 %	2,5 %	1,5 %	1,5 %
EPI Erdgas	3 %	2 %	4 %	3 %	3 %
EPI Pellets	3 %	2 %	4 %	3 %	3 %
EPI WP-Strom	3 %	2 %	4 %	3 %	3 %
PI Wartung, Instandhaltung	0,5 %	0 %	1 %	0,5 %	0,5 %
CO <sub>2</sub> -Kosten	keine	keine	keine	dzt. 16,5€/Tonne; Durchschnittspreis 30 Jahre 35,28 €/Tonne	keine
Diskontsatz real	2 %	2 %	2 %	2 %	3 %

Abbildung 44: Eingabeparameter für Basisvariante und Sensitivitätsanalyse

## 9.1 Sensitivität 1: Energiepreissteigerung 1% geringer als in Grundvariante



**Abbildung 45: Einfluss einer um 1% niedrigeren Energiepreissteigerung auf die Kostenoptimalität (EFH massiv, Pellet)**

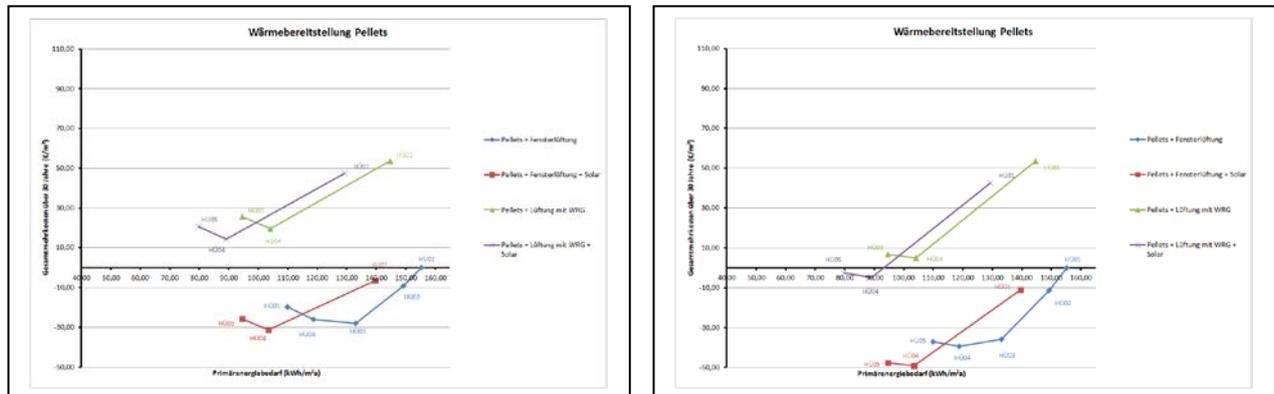
Die linke Abbildung zeigt den Verlauf der Kostenoptimalitätsstudie für die Berechnungen mit den Grundannahmen der Energiepreissteigerung am Beispiel des EFH in Massivbauweise mit Pelletheizung. Rechts ist der Verlauf für eine um 1% niedrigere Energiepreissteigerung dargestellt. Bei niedrigeren Annahmen für die Energiepreissteigerungen fallen die Kurven flacher aus. Führt beispielsweise die Verbesserung der Hüllqualität von OIB RL 6 Mindestanforderungen auf Passivhaus mit Grundannahmen zu einer Verringerung der Gesamtkosten von etwa 18 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren, so beträgt die Einsparung bei 1% niedrigeren Energiepreissteigerungen nur noch etwa 3 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren (siehe blaue Kurven).

Während die Verbesserung der Hüllqualität unter den Grundannahmen für die Energiepreissteigerung im Einfamilienhaus mit einer BGF von 212 m<sup>2</sup> zu Einsparungen von knapp 11 EUR pro Monat führt, liegen die Einsparungen bei 1% niedrigeren Energiepreissteigerungen bei knapp 2 EUR pro Monat.

Die Mehrkosten der energetisch besten Variante gegenüber der Referenz liegen unter den Grundannahmen für die Energiepreissteigerungen bei etwa 21 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren, bei 1% niedrigeren Energiepreissteigerungen bei 40 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren (jeweils Punkt HÜ5 auf dem violetten Linienzug).

Die Mehrkosten des Einfamilienhauses im besten Energieniveau gegenüber der Referenz betragen damit ca. 12 EUR pro Monat unter Annahme der Grundannahmen zur Energiepreissteigerung. Bei 1% höheren Energiepreissteigerungen ist die Hausvariante in bester energetischer Qualität um ca. 23 EUR teurer als die Referenzvariante.

## 9.2 Sensitivität 2: Energiepreissteigerung 1% höher als in Grundvariante



**Abbildung 46: Einfluss einer um 1% höheren Energiepreissteigerung auf die Kostenoptimalität (EFH massiv, Pellet)**

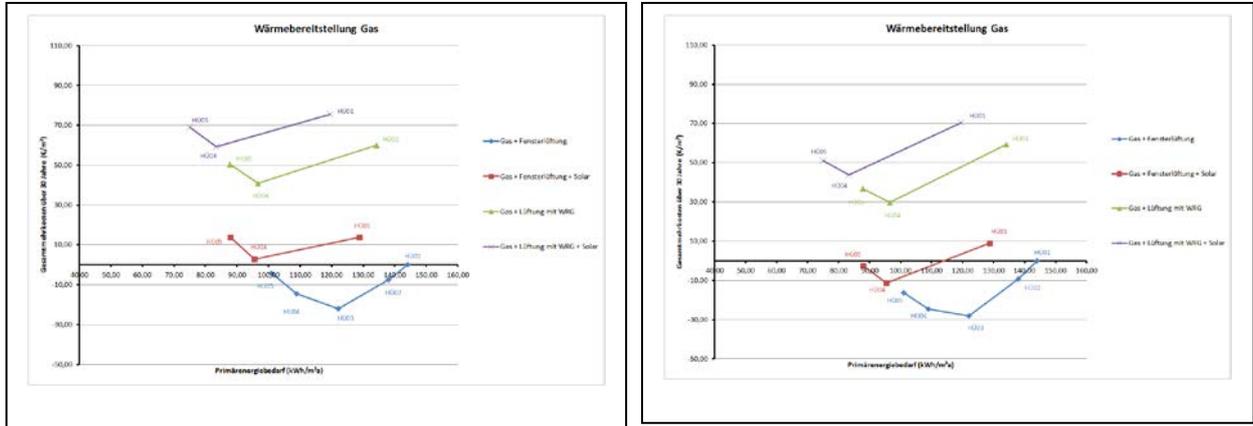
Die linke Abbildung zeigt den Verlauf der Kostenoptimalitätsstudie für die Berechnungen mit den Grundannahmen für die Energiepreissteigerung. Rechts ist der Verlauf für eine um 1% höhere Energiepreissteigerung dargestellt.

Bei höheren Annahmen für die Energiepreissteigerungen fallen die Kurven steiler aus. Führt beispielsweise die Verbesserung der Hüllqualität von OIB RL 6 Mindestanforderungen auf Passivhaus unter den Grundannahmen zur Energiepreissteigerung zu einer Verringerung der Gesamtkosten von etwa 18 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren, so beträgt die Einsparung bei 1% höheren Energiepreissteigerungen etwa 36 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren (siehe blaue Kurven).

Während unter den Grundannahmen für die Energiepreissteigerung im Einfamilienhaus mit einer BGF von 212 m<sup>2</sup> die Verbesserung der Hüllqualität zu Einsparungen von etwa 11 EUR pro Monat führt, liegen die Einsparungen bei 1% höheren Energiepreissteigerungen bei etwa 21 EUR pro Monat. Die Mehrkosten der energetisch besten Variante gegenüber der Referenz liegen unter den Grundannahmen für die Energiepreissteigerungen bei etwa 21 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren. Bei 1% höheren Energiepreissteigerungen führt die energetisch beste Variante zu Minderkosten von etwa 2 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren (jeweils Punkt HÜ5 auf dem violetten Linienzug).

Die Mehrkosten des Einfamilienhauses im besten Energieniveau gegenüber der Referenz betragen damit ca. 12 EUR pro Monat unter Annahme der Grundannahmen zur Energiepreissteigerung. Bei 1% höheren Energiepreissteigerungen ist das Einfamilienhaus in bester energetischer Qualität um ca. 1 EUR günstiger als die Referenzvariante.

### 9.3 Sensitivität 3: Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten



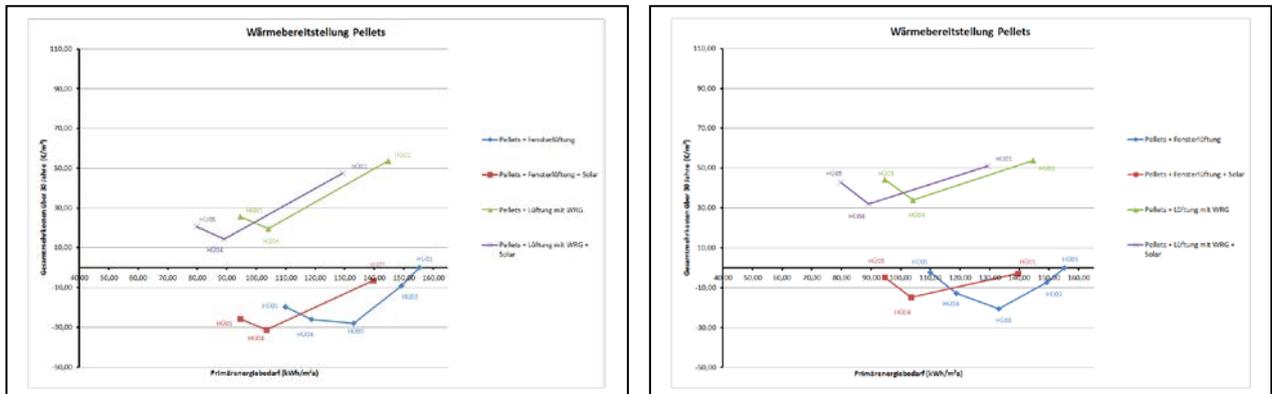
**Abbildung 47: Einfluss der Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten auf die Kostenoptimalität (EFH massiv, Gas)**

Die linke Abbildung zeigt den Verlauf der Kostenoptimalitätsstudie ohne Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten. Rechts ist der Verlauf mit Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten dargestellt.

Bei Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten fallen die Kurven steiler aus. Führt beispielsweise die Verbesserung der Hüllqualität von OIB RL 6 Mindestanforderungen auf Passivhaus unter den Grundannahmen zur Energiepreissteigerung zu einer Verringerung der Gesamtkosten von etwa 4 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren, so beträgt die Einsparung bei Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten etwa 16 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren (siehe blaue Kurven).

Während unter den Grundannahmen im Einfamilienhaus mit einer BGF von 212m<sup>2</sup> die Verbesserung der Hüllqualität zu Einsparungen von etwa 2 EUR pro Monat führt, liegen die Einsparungen bei Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten bei etwa 9 EUR pro Monat.

## 9.4 Sensitivität 4: Diskontsatz 1% höher



**Abbildung 48: Einfluss eines um 1% höheren Diskontsatzes auf die Kostenoptimalität (EFH massiv, Pellet)**

Die linke Abbildung zeigt den Verlauf der Kostenoptimalitätsstudie für die Berechnungen mit den Grundannahmen für den Diskontsatz. Rechts ist der Verlauf für einen um 1% höheren Diskontsatz dargestellt.

Bei höheren Annahmen für den Diskontsatz fallen die Kurven flacher aus. Führt beispielsweise die Verbesserung der Hüllqualität von OIB RL 6 Mindestanforderungen auf Passivhaus unter den Grundannahmen zum Diskontsatz zu einer Verringerung der Gesamtkosten von etwa 18 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren, so beträgt die Einsparung bei einem um 1% höheren Diskontsatz nur etwa 2 EUR/m<sup>2</sup> in 30 Jahren (siehe blaue Kurven).

Während unter den Grundannahmen für die Energiepreissteigerung im Einfamilienhaus mit einer BGF von 212m<sup>2</sup> die Verbesserung der Hüllqualität zu Einsparungen von etwa 11 EUR pro Monat führt, liegen die Einsparungen bei 1% höherem Diskontsatz bei etwa 1 EUR pro Monat.

Die Veränderung des Diskontsatzes hat damit einen ähnlich geringen Einfluss auf die Ergebnisse, wie die Veränderung der Annahme für die Energiepreissteigerung.

## 9.5 Resumé Sensitivitätsanalysen

Ein 1% höherer oder niedrigerer Ansatz der Energiepreissteigerung hat nur geringe Auswirkungen auf die monatlichen Gesamtkosten: Die Mehrkosten für das Einfamilienhaus mit einer BGF von 212m<sup>2</sup> verändern sich um +/- 10-11 EUR pro Monat.

In ähnlichen Größenordnungen liegt der Einfluss der Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten oder einer Veränderung der Diskontrate um 1%.

Die Sensitivitätsstudien zeigen, dass die Ergebnisse der Studie robust sind, keine der untersuchten Sensitivitäten führt zu wesentlichen Änderungen in den Kernaussagen.

## 10 Vergleich mit ähnlichen Studien

In Österreich wurden bislang mindestens vier Kostenoptimalitätsstudien nach der Methodik der EU veröffentlicht. Neben der offiziellen, nach Brüssel übermittelten Studie des OIB [7] sind dies eine Studie der AEA [4] und zwei Studien von e7 [5], [6]. Zur Plausibilitätsprüfung der eigenen Studie werden die wichtigsten Ergebnisse der vier Studien nachfolgend dargestellt.

### 10.1 Studie AEA

In der Studie der AEA werden ein Einfamilienhaus mit einer BGF von 192 m<sup>2</sup> und einem A/V Verhältnis von 0,75 sowie ein Mehrfamilienhaus mit einer BGF von 1.344 m<sup>2</sup> und einem A/V Verhältnis von 0,4 untersucht [4].

Für das Einfamilienhaus werden Varianten mit Heizwärmebedarfswerten von 52, 35 und 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> untersucht, für das MFH Varianten mit 35, 25 und 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

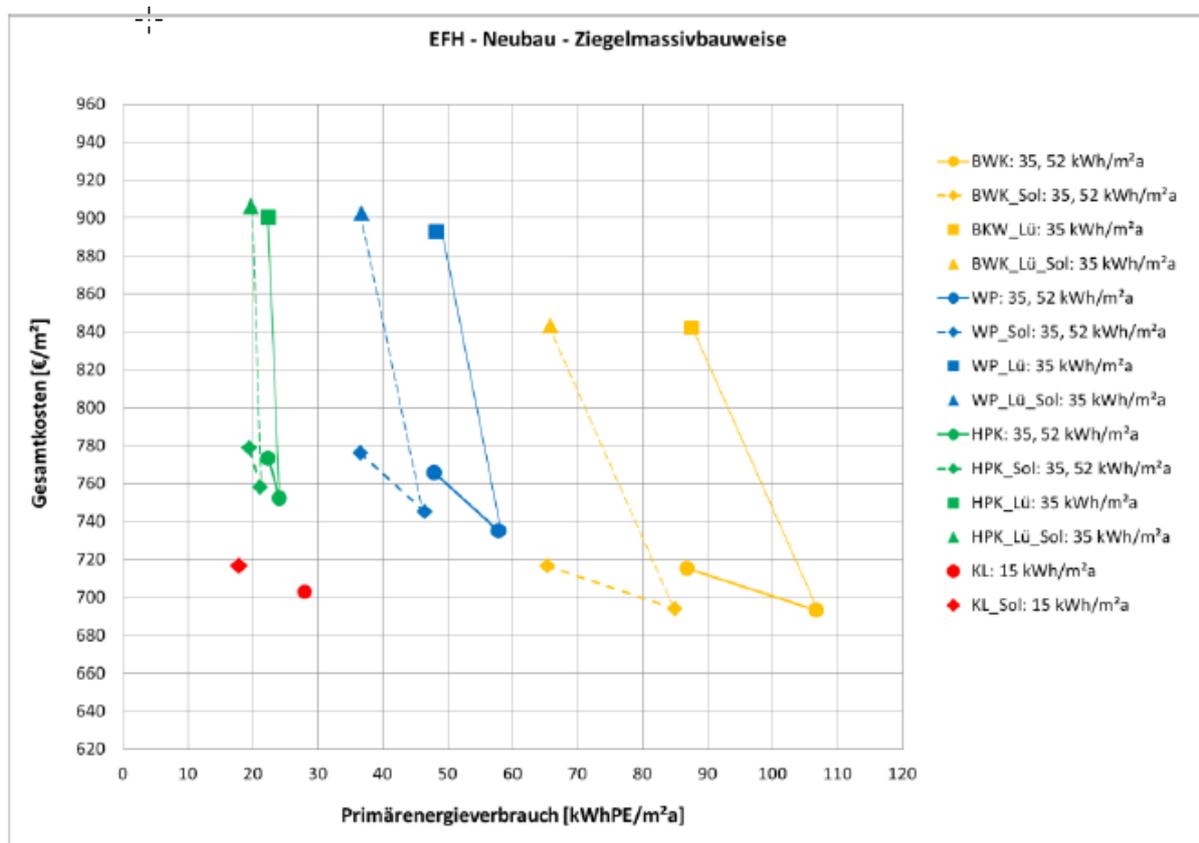


Abbildung 49: Gesamtkosten über dem Primärenergiebedarf (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) für das EFH [4]

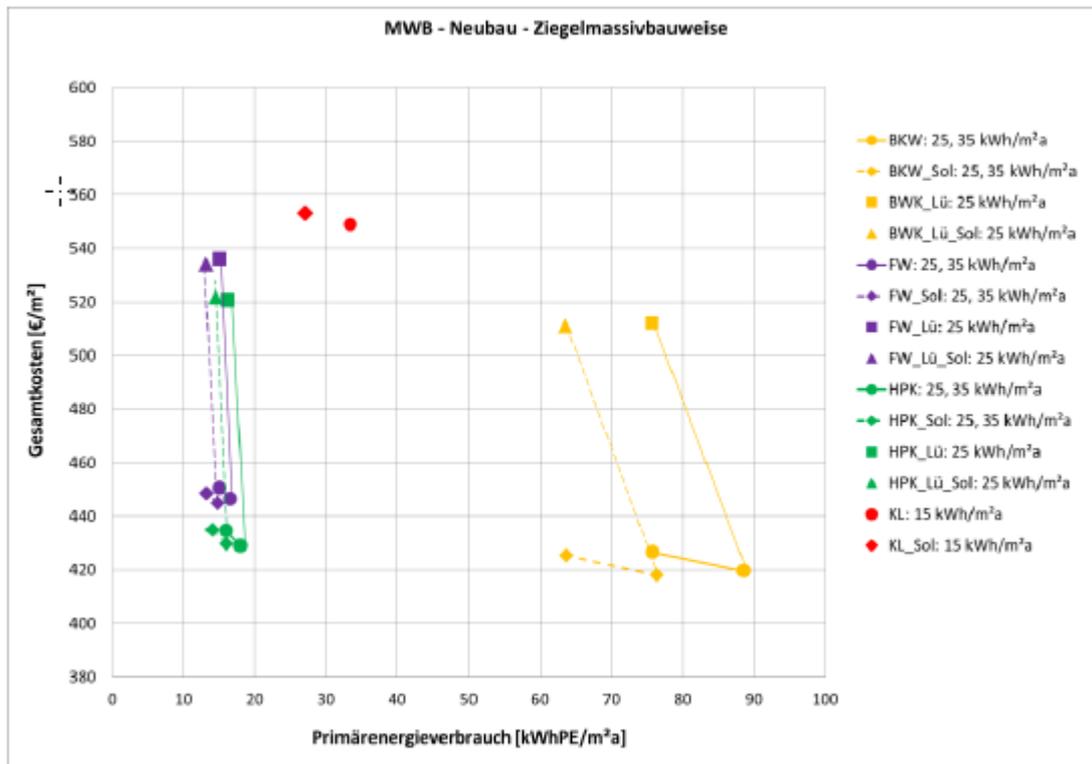
Anders als in der gegenständlichen Studie werden die Kostenoptima bezüglich des Primärenergiebedarfs<sub>Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom</sub> genannt. Der Haushaltsstrom ist in diesen Werten nicht enthalten.

Das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) liegt bei 86 bzw. 107 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a für zwei Varianten mit Gas-Brennwertkessel. Ein drittes Kostenoptimum liegt bei der Variante Passivhaus mit Wärmepumpen-Kompakttaggregat und ohne Solaranlage (roter Punkt). Diese hat einen Primärenergiebedarf von etwa 28 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a und verursacht Mehrkosten von weniger als 5 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren gegenüber den beiden anderen kostenoptimalen Varianten. Dies entspricht Mehrkosten von 0,01 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat.

Die Kostenoptima bezüglich des Primärenergiebedarfs<sub>gesamt</sub> liegen bei 129 bzw. 150 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a. Ein drittes Kostenoptimum liegt bei einem Primärenergiebedarf von etwa 70 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a.

Die Kostenoptima liegt damit deutlich unter den im Nationalen Plan festgelegten Werten von 190 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a (2014) bzw. 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a (2020).

Die Werte der Kostenoptima des Einfamilienhauses liegen damit in der AEA-Studie in der gleichen Größenordnung wie die der gegenständlichen Studie (100 bis 140 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a).



**Abbildung 50: Gesamtkosten über dem Primärenergiebedarf (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) für das MFH [4]**

Das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) liegt bei 77 bzw. 88 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a für zwei Varianten mit Gas-Brennwertkessel. Ein drittes Kostenoptimum liegt bei den Varianten mit HWB 25 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a und Holzpelletkessel.

Diese haben einen Primärenergiebedarf von etwa 14 bis 18 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>a und verursachen Mehrkosten von etwa 12 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren. Dies entspricht Mehrkosten von 0,03 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> pro Monat gegenüber den beiden kostenoptimalen Varianten.

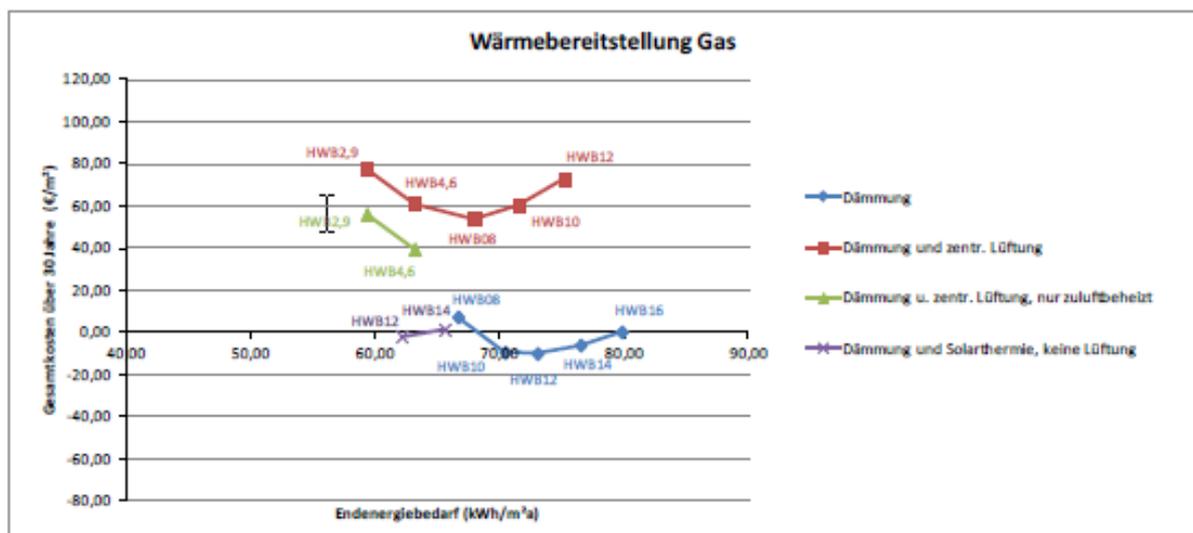
Die Kostenoptima bezüglich des Primärenergiebedarfs (Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom und Haushaltsstrom) liegen bei 120 bzw. 131 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Ein drittes Kostenoptimum liegt bei einem Primärenergiebedarf von etwa 60 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Die Kostenoptima bezüglich des Primärenergiebedarfs liegen damit deutlich unter den im Nationalen Plan festgelegten Werten von 190 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> (2014) bzw. 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> (2020).

Die Werte der Kostenoptima des Mehrfamilienhauses liegen in der AEA-Studie etwas höher als die der gegenständlichen Studie (90 bis 110 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für das typische MFH, 80 bis 100 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für das große MFH).

## 10.2 Studie e7 (deutsch)

In der Studie von e7 werden ein Einfamilienhaus mit einer BGF von 221 m<sup>2</sup> und einem A/V Verhältnis von 0,68, ein kleines Mehrfamilienhaus mit einer BGF von 576 m<sup>2</sup> und einem A/V Verhältnis von 0,51 sowie ein großes MFH mit einer BGF von 2.304 m<sup>2</sup> und einem A/V Verhältnis von 0,34 untersucht [5].



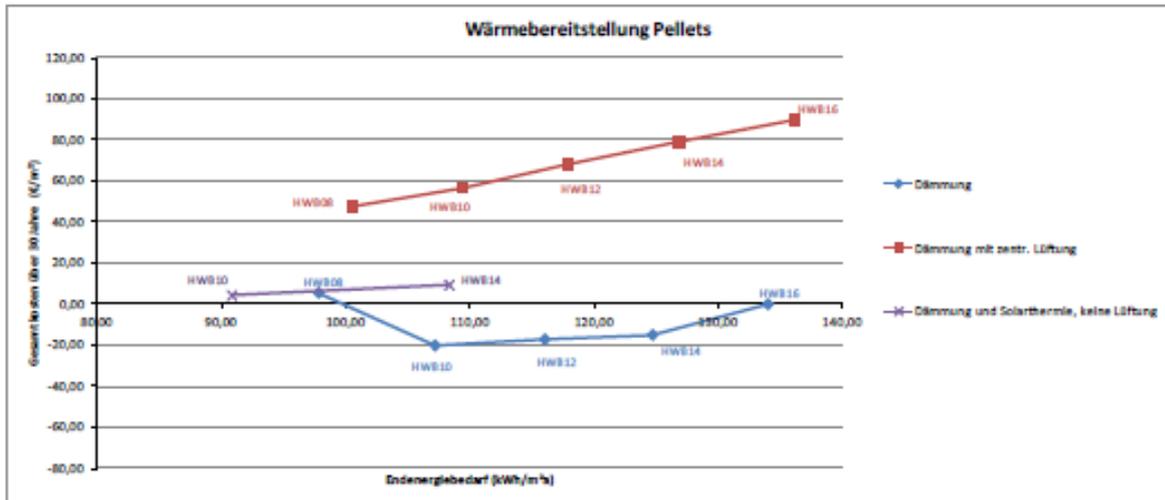
**Abbildung 51: Gesamt-Differenzkosten über 30 Jahre in Abhängigkeit vom Endenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom für das große MFH mit Gasheizung [5]**

Wie die Abbildung zeigt, liegt das Kostenoptimum bei einem **Endenergiebedarf** (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) von etwa 73 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Nimmt man den Hilfsstrombedarf mit 1 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> an, so entspricht dies einem Primärenergiebedarf (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) von 86,9 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Addiert man den Primärenergiebedarf von 43 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für den Haushaltsstrombedarf so kommt man auf einen Wert von 129,9 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für den Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub>.

Das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs liegt damit deutlich unter den im Nationalen Plan festgelegten Werten von 190 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> (2014) bzw. 160 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> (2020) und höher, als die der gegenständlichen Studie (80 bis 100 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>).



**Abbildung 52: Gesamt-Differenzkosten über 30 Jahre in Abhängigkeit vom Endenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom für das EFH mit Pelletheizung [5]**

Wie die Abbildung zeigt, liegt das Kostenoptimum bei einem **End**energiebedarf (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) von etwa  $107 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ . Nimmt man den Hilfsstrombedarf mit  $1 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  an, so entspricht dies einem Primärenergiebedarf (Heizung, Warmwasser + Hilfsstrom) von  $117 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ .

Addiert man den Primärenergiebedarf von  $43 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  für den Haushaltsstrombedarf so kommt man auf einen Wert von  $160 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  für den gesamten Primärenergiebedarf.

Das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs liegt damit gleich hoch, wie der im Nationalen Plan für 2020 festgelegte Wert.

Die Werte der Kostenoptima des Einfamilienhauses liegen damit in der Studie von e7 deutlich höher, als in der gegenständlichen Studie ( $122 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ ).

### 10.3 Studie e7 für EU

Die Studie von e7 für ein Mehrfamilienhaus ( $A/V = 0,34$ ,  $BGF = 2.304 \text{ m}^2$ ) wurde als EU-weites Beispiel für die Durchführung von Kostenoptimalitätsstudien erstellt [6]. Das Gebäude entspricht bezüglich BGF und  $A/V$  Verhältnis in etwa dem großen Mehrfamilienhaus in der gegenständlichen Studie.

Die Kostenoptima für das Gebäude wurden sowohl in Bezug auf den HWB des Gebäudes, als auch im Hinblick auf den Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom ermittelt.

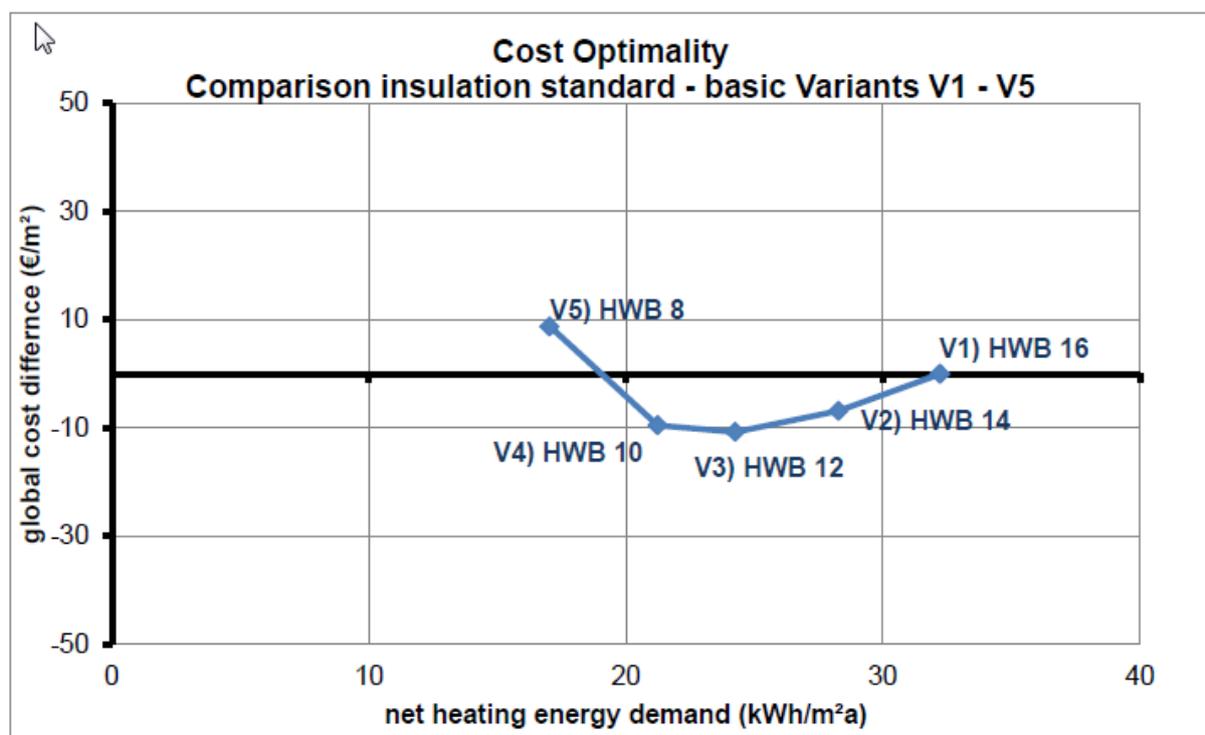


Abbildung 53: Gesamt-Differenzkosten in  $\text{EUR}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  über 30 Jahre für das MFH in Abhängigkeit vom Dämmniveau [6]

Abbildung 53 zeigt die Differenzkosten bei Verbesserung des Dämmniveaus von der 16er Linie (Referenz, Differenzkosten 0) bis zur 8er Linie.

Wichtigstes Ergebnis ist, dass das Kostenoptimum sehr flach ausgeprägt ist: die wirtschaftlich günstigste Variante (HWB-Linie 12 mit einem HWB von ca.  $24 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BGFa}}$  und die wirtschaftlich ungünstigste Variante (HWB Linie 8 mit  $\text{HWB} = 17 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BGFa}}$  haben Differenzkosten von nur  $20 \text{ EUR}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  in 30 Jahren. Dies entspricht einem Unterschied von etwa  $0,05 \text{ EUR}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat. Die Variante mit HWB-Linie 8 (Hülle sehr gutes Passivhaus-Niveau, z.B.  $U_{\text{Wand}} = 0,08 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ) mit einem  $\text{HWB} = 17 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BGFa}}$  hat Mehrkosten von knapp  $9 \text{ EUR}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  in 30 Jahren gegenüber der Referenzvariante (16er Linie) mit einem  $\text{HWB}$  von  $32,5 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BGFa}}$ . Dies entspricht einem Unterschied von etwa  $0,025 \text{ EUR}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  pro Monat.

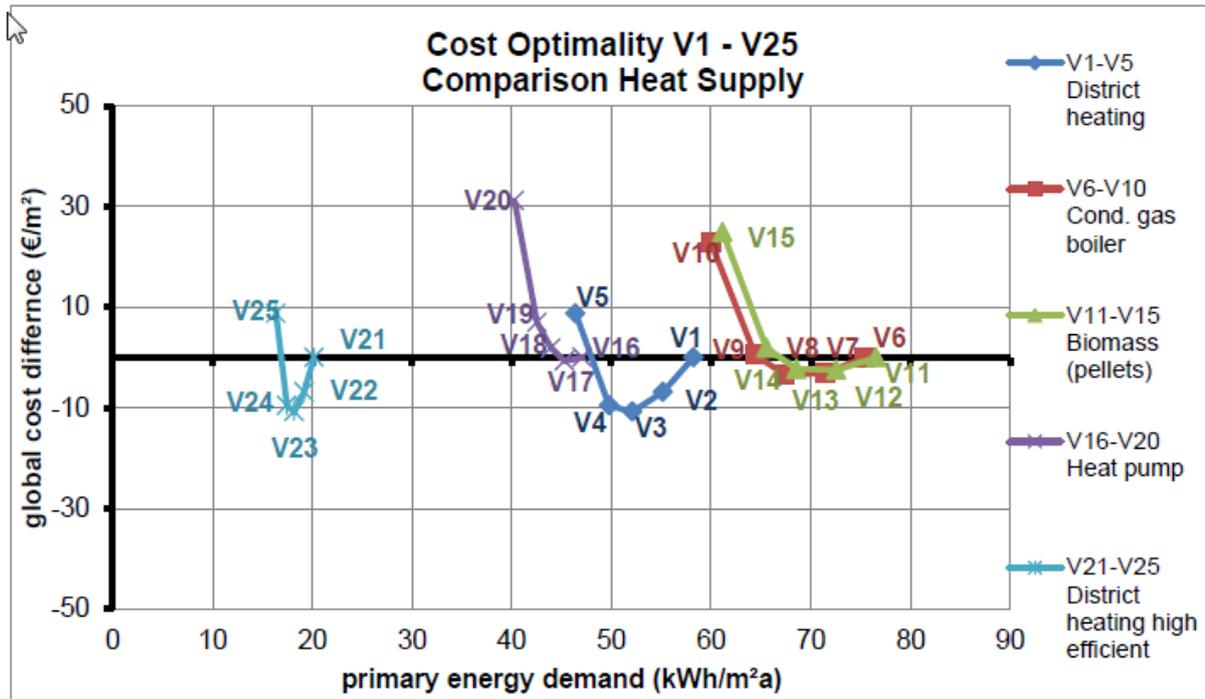


Abbildung 54: Gesamt-Differenzkosten in EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> über 30 Jahre für das MFH in Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem [6]

Abbildung 54 verdeutlicht die Abhängigkeit des Kostenoptimums vom gewählten Wärmeversorgungssystem: zwar liegt das Kostenoptimum aller dargestellten Varianten in etwa bei Hüllqualität 3 (HWB Linie 12), das Kostenoptimum bezüglich des Primärenergiebedarfs für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom liegt jedoch zwischen ca. 17 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für das Gebäude mit hocheffizienter Fernwärme und ca. 68 bis 72 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für die Wärmeversorgung mit Gas bzw. Pellets. Das Optimum für Wärmepumpen liegt bei etwa 46 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>.

Wärmeversorgungssystem	Kostenoptimum bezüglich Primärenergie Heizung, WW und Hilfsstrom Studie e7 englisch [6]	Kostenoptimum bezüglich Primärenergiegesamt (Heizung, WW, Hilfsstrom und Haushaltsstrom Studie e7 englisch [6])	Kostenoptimum bezüglich Primärenergie gesamt (Heizung, WW, Hilfsstrom und Haushaltsstrom Gegenständliche Studie EIV/e7)
	kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>	kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>	kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub>
Pellet	72	115	79
Gas	68	111	104
Fernwärme (PEF = 0,9)	53	96	
Wärmepumpe	46	89	77
Fernwärme hocheffizient (PEF = 0,3)	18	61	

Abbildung 55: Zusammenstellung der Kostenoptima des großen MFH [6]

Abbildung 55 zeigt einen Vergleich der in der e7 Studie ermittelten Kostenoptima mit den Werten der gegenständlichen Studie. Gemäß Studie e7 liegen die Kostenoptima bezüglich des Primärenergiebedarf<sub>gesamt</sub> für Pellet bei 79, für Gas bei 111 und für die Wärmepumpe bei 89 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>. Die Werte für Gas und Wärmepumpe stimmen gut mit den in der gegenständlichen Studie ermittelten Werten überein. Diese betragen 104 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für Gas und 77 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub> für die Wärmepumpe. Größere Abweichungen gibt es für die Varianten mit Pelletheizung.

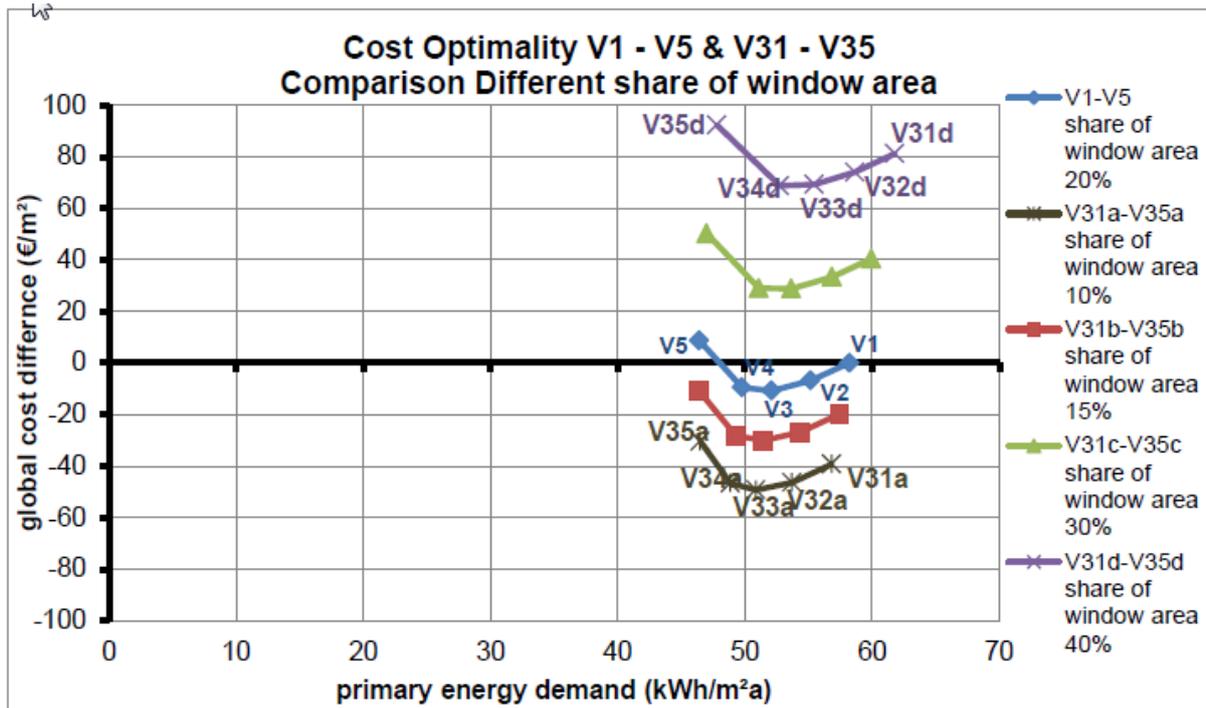


Abbildung 56: Gesamt-Differenzkosten in EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> über 30 Jahre für das MFH in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil [6]

Wie die Abbildung verdeutlicht, hat der Fensterflächenanteil einen weit höheren Einfluss auf die Kosten, als das Dämmniveau. Die Differenzkosten zwischen der Variante mit baurechtlich kleinstmöglichem Fensterflächenanteil von 10% und der Variante mit dem höchsten untersuchten Fensterflächenanteil von 40% liegt bei knapp 120 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> in 30 Jahren. Gleichzeitig zeigt die Grafik, dass der Primärenergiebedarf mit zunehmender Fensterfläche leicht steigt.

Der hohe Einfluss des Fensterflächenanteils auf Kosten und Wirtschaftlichkeit war einer der Gründe für die Durchführung einer eigenen Vorarlberger Studie zur Kostenoptimalität: Da der Fensterflächenanteil typischer Vorarlberger Neubauten oft höher ist als in den übrigen österreichischen Studien wurde er in der gegenständlichen Studie – zumindest für Einfamilienhaus und kleines MFH – höher angesetzt.

## 10.4 Studie OIB

In der Studie des OIB werden je zwei Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und Geschosswohnbauten untersucht [7]. Die Untersuchungen werden für 10 Standorte in Österreich durchgeführt, nachfolgend sind die wichtigsten Ergebnisse für den Standort Bregenz zusammengefasst.

ET	Standorte									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11,13	10,47	10,75	10,68	10,47	10,71	10,36	10,81	10,94	10,07

**Abbildung 57: Numerische Kostenoptima (HWB-Linien) für die 10 Standorte [7]; Standort 8: Bregenz**

Wie Abbildung 57 zeigt, liegt das Kostenoptimum bezüglich des HWB am Standort Bregenz (Standort 8) bei der 10,81er Linie [7]. In der Studie wird nicht spezifiziert, auf welches Wärmeversorgungssystem sich die Werte des HWB-Kostenoptimums beziehen.

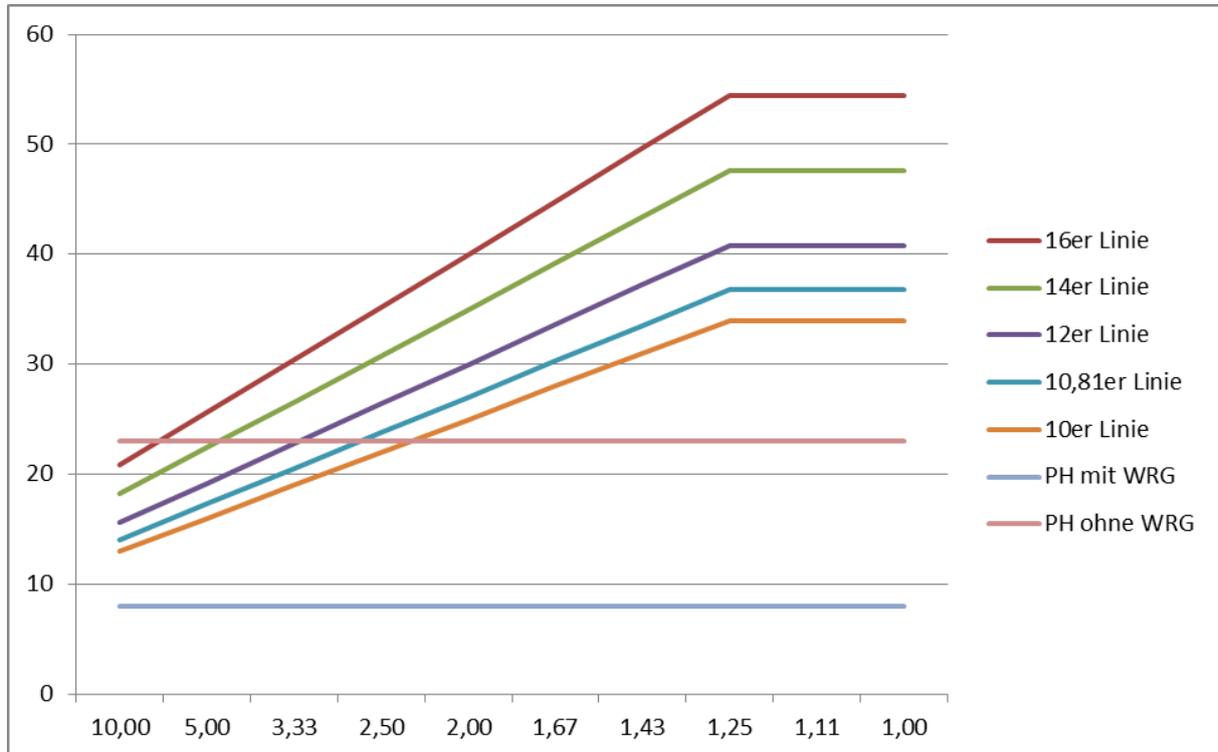
Eine Differenzierung der Kostenoptima in Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem findet sich in der Arbeitsversion der Studie [19].

ET	Standorte									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gas	11,1	10,5	10,7	10,7	10,5	10,7	10,5	11,2	10,9	10,5
Bio	12,3	11,2	11,2	11,2	11,2	11,4	11,0	11,4	11,9	10,5
HW	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,6
KWK	10,0	9,6	10,0	10,0	9,6	10,0	9,6	10,0	10,0	9,4
GW	11,4	10,5	11,1	11,1	10,5	11,1	10,5	11,1	11,1	10,5
DX	13,1	12,3	12,8	12,3	12,3	12,3	11,9	12,3	13,0	11,1

**Abbildung 58 : Numerische Kostenoptima (HWB-Linien) für die 10 Standorte in Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem [19]; Standort 8: Bregenz**

Abbildung 58 verdeutlicht, dass das Kostenoptimum bezüglich des HWB vom Wärmeversorgungssystem abhängt. So liegen die Kostenoptima für den Standort Bregenz je nach Wärmeversorgungssystem zwischen der 8,8er und der 12,3er Linie.

Der in der Endversion der Studie veröffentlichte Wert des HWB-Kostenoptimums [7] entspricht dem arithmetischen Mittel der Werte für die 6 untersuchten Wärmeversorgungssysteme [19].



**Abbildung 59: HWB-Linien in Abhängigkeit von  $l_c$**

Abbildung 59 zeigt die Mindestanforderungen des Nationalen Plans an den HWB für den Nachweisweg 1 für 2014 (16er Linie), 2016 (14er Linie), 2018 (12er Linie) und 2020 (10er Linie). Das für Bregenz ermittelte Kostenoptimum liegt bei der 10,81er Linie.

Dies entspricht HWB-Werten von etwa  $17 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  für  $l_c = 5$  ( $A/V = 0,2$ ) bis knapp  $37 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  bei  $l_c = 1,25$  ( $A/V = 0,8$ ).

Zum Vergleich: der HWB eines Gebäudes mit Passivhaus-Hülle und ohne Komfortlüftung liegt bei etwa  $23 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  (violette horizontale Linie), der HWB eines Gebäudes mit Passivhaus-Hülle und mit Komfortlüftung bei ca.  $8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$  (blaue horizontale Linie).

## 11 Quellen

- [1] RICHTLINIE 2010/31/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)
- [2] Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, ABl L 81/18.
- [3] Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, ABl C 115/1.
- [4] M. Mitterndorfer et al.:  
Berechnung von kostenoptimalen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (gemäß EPBD Art. 5) Austrian Energy Agency Wien, Dezember 2012
- [5] K. Leutgöb et al.:  
Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten  
Endbericht November 2012  
e7 Marktanalyse GmbH
- [6] K. Leutgöb, J. Rammerstorfer:  
Implementing the cost optimal methodology in EU countries  
Case study Austria  
e7 Marktanalyse GmbH Wien, 2012
- [7] Österreichisches Institut für Bautechnik  
OIB Dokument zum Nachweis der Kostenoptimalität der Anforderungen der OIB RL 6 bzw. des Nationalen Plans gemäß Artikel 4 (2) zu 2010/31/EU  
Wien, März 2013
- [8] EU energy trends to 2030 – update 2009  
EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Energy in collaboration with Climate Action DG and Mobility and Transport DG
- [9] H. Schöberl et al.:  
Ermittlung und Evaluierung der baulichen Mehrkosten von Passivhausprojekten  
Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 63/2011  
bmvit (Herausgeber)
- [10] Warger, R.:  
Die Metamorphose des Mehrgeschossigen Wohnbaus vom Niedrigenergie- zum Passivhaus.  
Ökonomischer Vergleich als Entscheidungshilfe für gewerbliche Bauträger. Master-Thesis. Department für Bauen und Umwelt der Donau-Universität Krems. Bregenz. 2009
- [11] M. Blank et al.:  
BKI Baukosten Bauelemente 2011 – Statistische Kostenkennwerte Teil 2  
BKI Baukosteninformationszentrum (Herausgeber), Stuttgart, 2011
- [12] W. Feist et al.:  
Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Phase V  
Protokollband Nr. 42 Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen  
Passivhaus Institut, Darmstadt, Mai 2013

- [13] Schöberl, H., Hofer, R.:  
Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern.  
Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und  
Technologie.  
Wien, 3/2012
- [14] Schöberl, H.:  
Reduktion der Wartungskosten von Lüftungsanlagen in Plus-Energiehäusern.  
Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und  
Technologie.  
Wien, 2/2012
- [15] Verein Deutscher Ingenieure (VDI)  
VDI 2067-Blatt 1 (Sep. 2012), Tabelle A2
- [16] M. Hassler  
Studie über Kostentreiber im Wohnbau im Raum Vorarlberg für die Besprechung am 11.04.2013
- [17] OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in  
einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU
- [18] Müller Wohnbau:  
Wie teuer ist ein Einfamilienhaus in Vorarlberg? Drei Förderstufen  
Kalkulation für Einfamilienhaus mit 130 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche  
Veröffentlicht in Vorarlberger Nachrichten, 19. Juli 2013, Teil D
- [19] Österreichisches Institut für Bautechnik  
OIB Dokument zum Nachweis der Kostenoptimalität der Anforderungen der OIB RL 6 bzw. des  
Nationalen Plans gemäß Artikel 4 (2) zu 2010/31/EU  
Energieeinsparung und Wärmeschutz  
Arbeitsexemplar 03. März 2013
- [20] W. Wagner et al.:  
Leitfaden – Ergebnisse der messtechnischen Begleituntersuchungen von „Haus der Zukunft“-  
Demonstrationsbauten  
bmvit, Herausgeber
- [21] M. Ploss:  
Modellvorhaben Kostengünstige Passivhäuser Kaiserslautern  
Forschungsbericht Dezember 2001  
Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz (Herausgeber)
- [22] W. Feist:  
Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen  
Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase V  
Passivhaus Institut, Darmstadt, 2013
- [23] W. Wagner et al.:  
Forschungsprojekt Passivhauswohnanlage Lodenareal – Endbericht  
Gleisdorf, Dezember 2012
- [24] H. Schöberl:  
Kostengünstige mehrgeschossige Passivwohnhäuser  
Kosten, Technik, Lösungen, Nutzererfahrungen  
Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2013

## 12 Anhang 1: Beschreibung der Beispielgebäude

Gemäß Anhang I der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 [2] haben die Mitgliedsstaaten Beispielgebäude (mindestens) für die folgenden Gebäudekategorien zu untersuchen:

- 1) Einfamilienhäuser;
- 2) Appartementhäuser und Mehrfamilienhäuser;
- 3) Bürogebäude.

Für jede Gebäudekategorie muss mindestens ein Referenzgebäude für neue Gebäude und mindestens zwei für bestehende Gebäude, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, untersucht werden [2, Anhang I, 1.1]. Auftragsgemäß beschränkt sich diese Studie auf den Wohnungsneubau. Anders als in den bisherigen österreichischen Studien wurden die geometrischen Daten realer Gebäude verwendet, im Einzelnen wurden die folgenden Typen berücksichtigt:

- EFH typisch
- MFH typisch
- MFH groß

Alle drei Gebäudeentwürfe sind nicht im Hinblick auf Energieeffizienz optimiert, sondern repräsentieren typische Vorarlberger Neubauten.

### 12.1 EFH typisch

	Einheit	Wert
Anzahl der Wohneinheiten		1
Anzahl der konditionierten Geschosse		2
BGF	m <sup>2</sup>	212,43
Energiebezugsfläche PHPP	m <sup>2</sup>	155,9
A/V Verhältnis		0,80
Glasflächenanteil (Glasfläche / Energiebezugsfläche)	%	23,4
Aufstellung Wärmeerzeuger		Keller unkonditioniert
Aufstellung Lüftungsgerät WRG		Keller unkonditioniert

Abbildung 60: Energetisch relevante Kenngrößen des Einfamilienhauses



Abbildung 61: EFH typisch – Ansicht 1

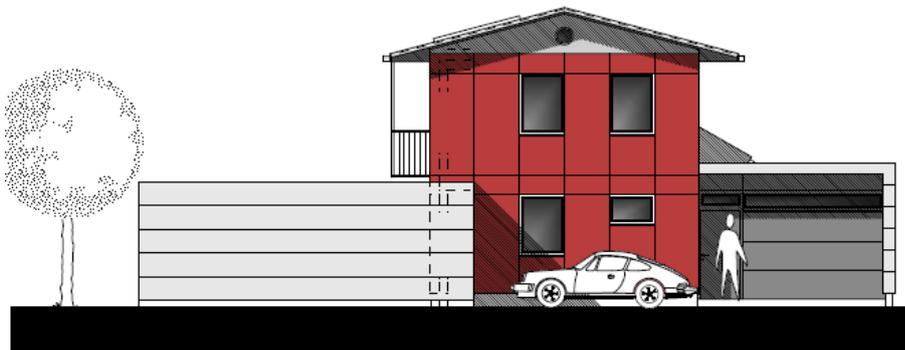


Abbildung 62: EFH typisch – Ansicht 2

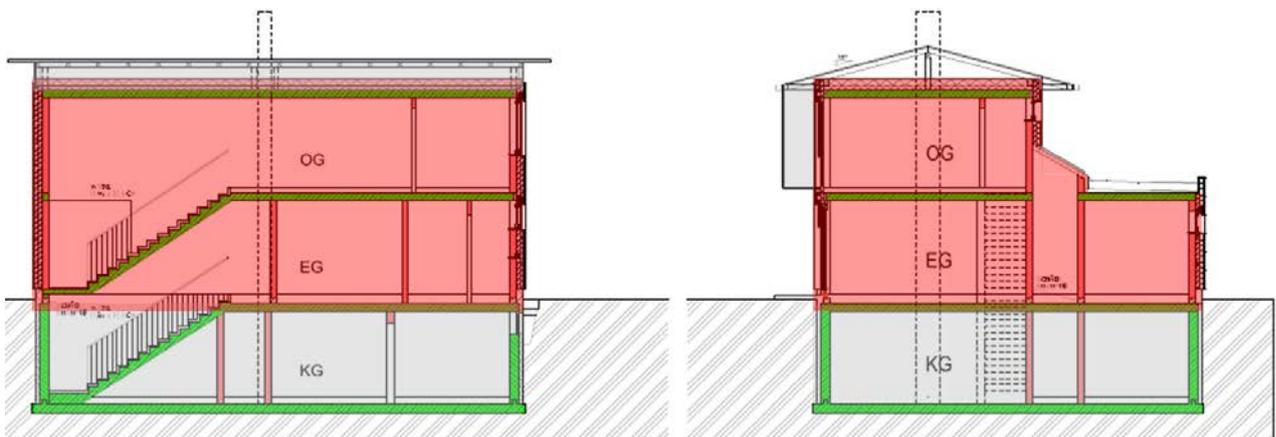


Abbildung 63: EFH typisch – Schnitte

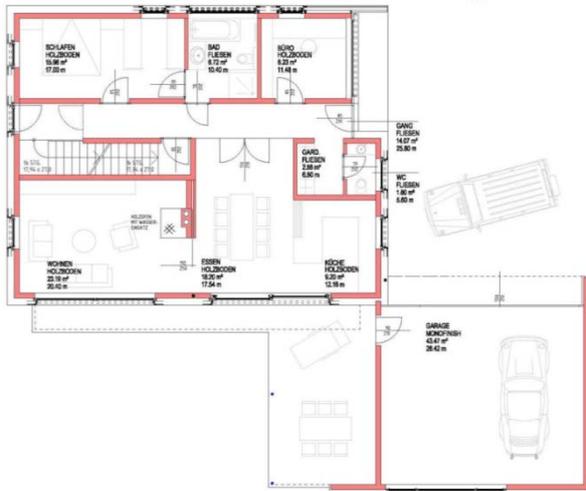


Abbildung 64: Grundriss EG

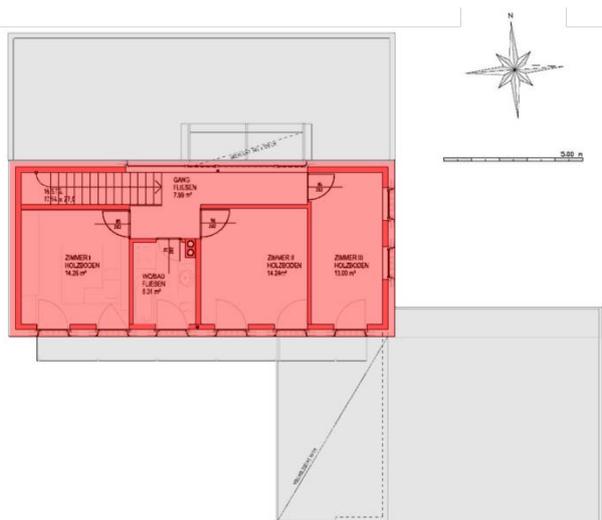
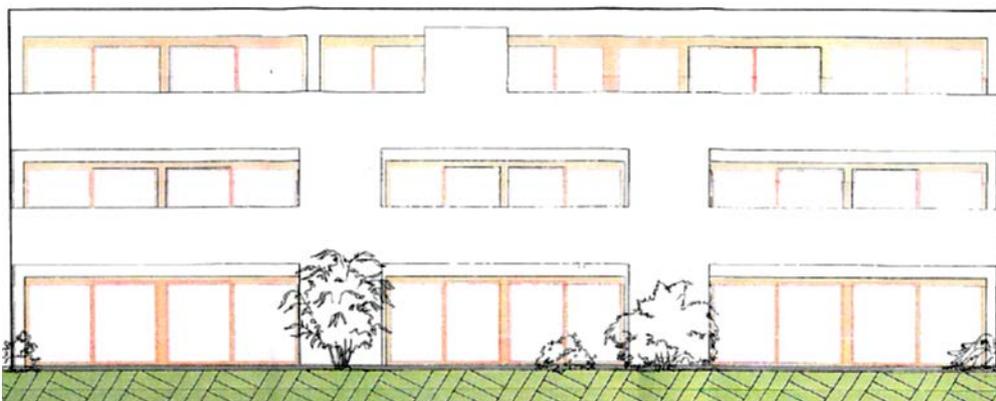


Abbildung 65: EFH typisch – Grundriss OG

## 12.2 MFH typisch

	Einheit	Wert
Anzahl der Wohneinheiten		8
Anzahl der konditionierten Geschosse		3
BGF	m <sup>2</sup>	699,8
Energiebezugsfläche PHPP	m <sup>2</sup>	823
A/V Verhältnis		0,49
Glasflächenanteil (Glasfläche / Energiebezugsfläche)	%	20,1
Aufstellung Wärmeerzeuger		Keller unkonditioniert
Aufstellung Lüftungsgerät WRG		Keller unkonditioniert

**Abbildung 66: Energetisch relevante Kenngrößen des typischen Mehrfamilienhauses**



**Abbildung 67: MFH typisch – Ansicht 1**

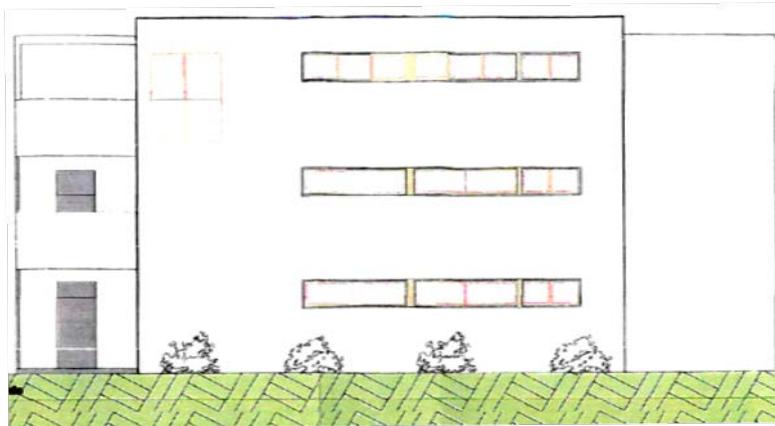


Abbildung 68: MFH typisch – Ansicht 2

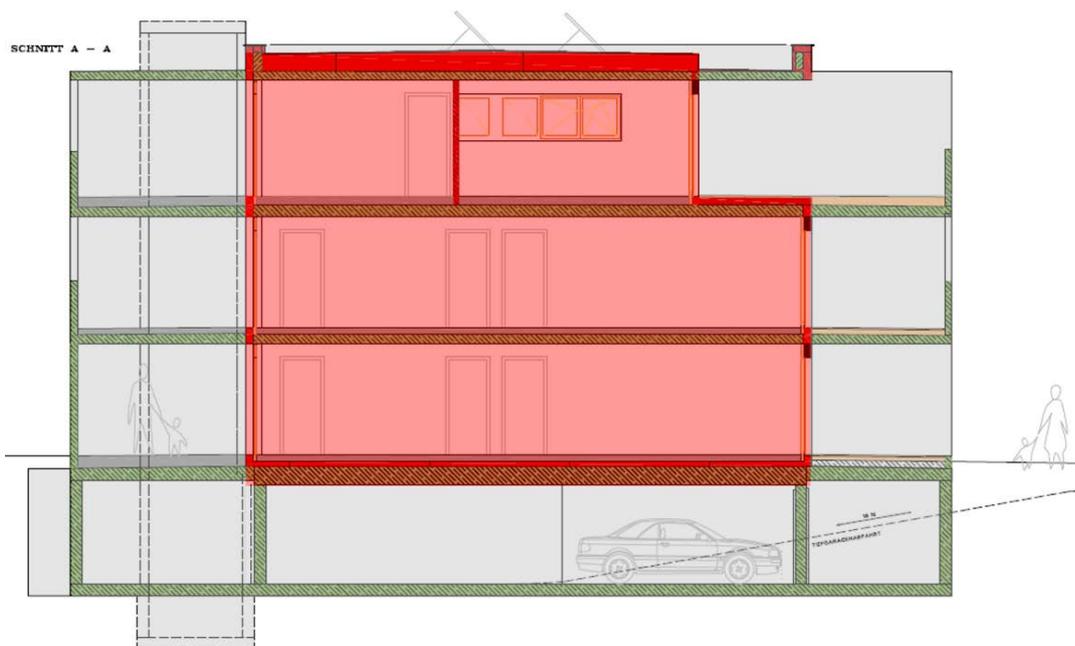
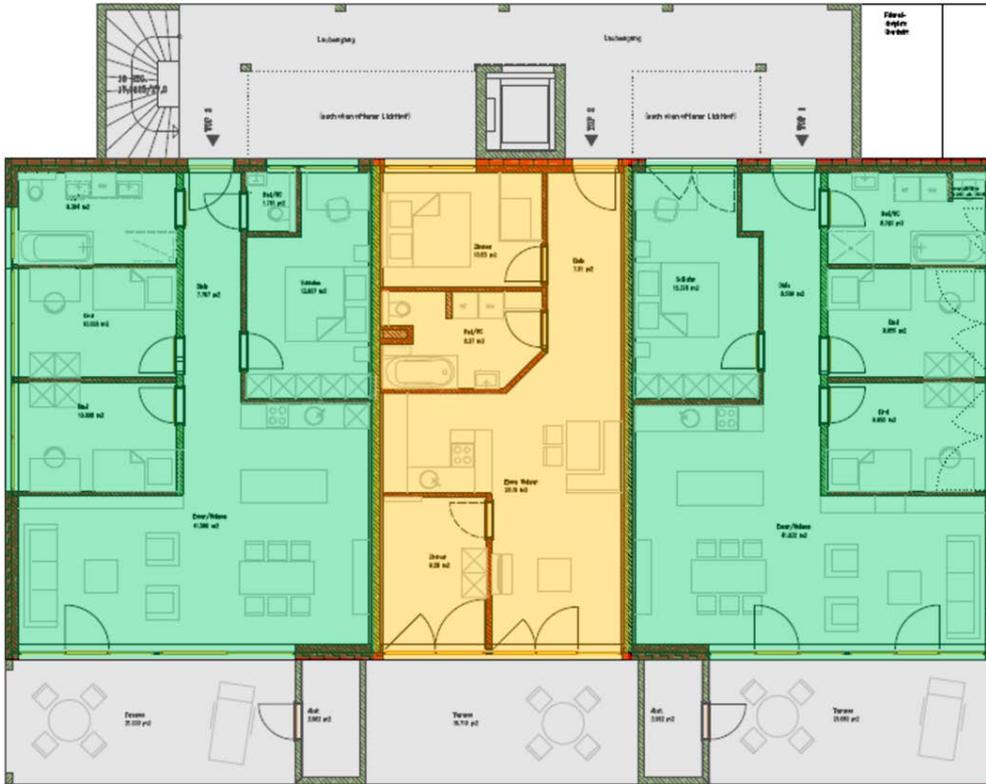


Abbildung 69: MFH typisch – Schnitt



**Abbildung 70: MFH typisch – Grundriss EG**

### 12.3 MFH groß

	Einheit	Wert
Anzahl der Wohneinheiten		22
Anzahl der konditionierten Geschosse		6
BGF	m <sup>2</sup>	2.029,95
Energiebezugsfläche PHPP	m <sup>2</sup>	1.534,12
A/V Verhältnis		0,35
Glasflächenanteil (Glasfläche / Energiebezugsfläche)	%	13,9
Aufstellung Wärmeerzeuger		Keller unkonditioniert
Aufstellung Lüftungsgerät WRG		Keller unkonditioniert

**Abbildung 71: Energetisch relevante Kenngrößen des typischen Mehrfamilienhauses**



**Abbildung 72: MFH groß – Ansicht 1**

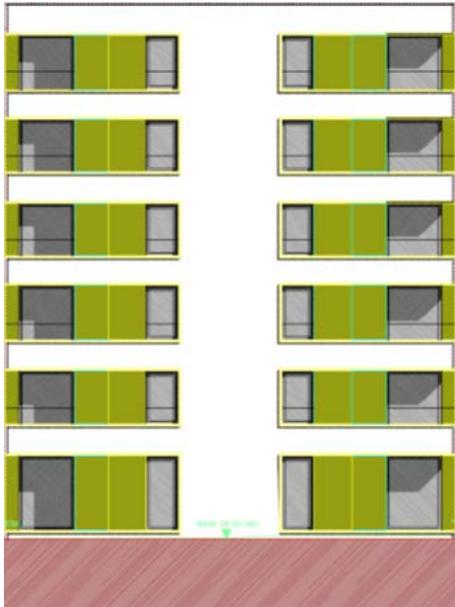


Abbildung 73: MFH groß – Ansicht 2

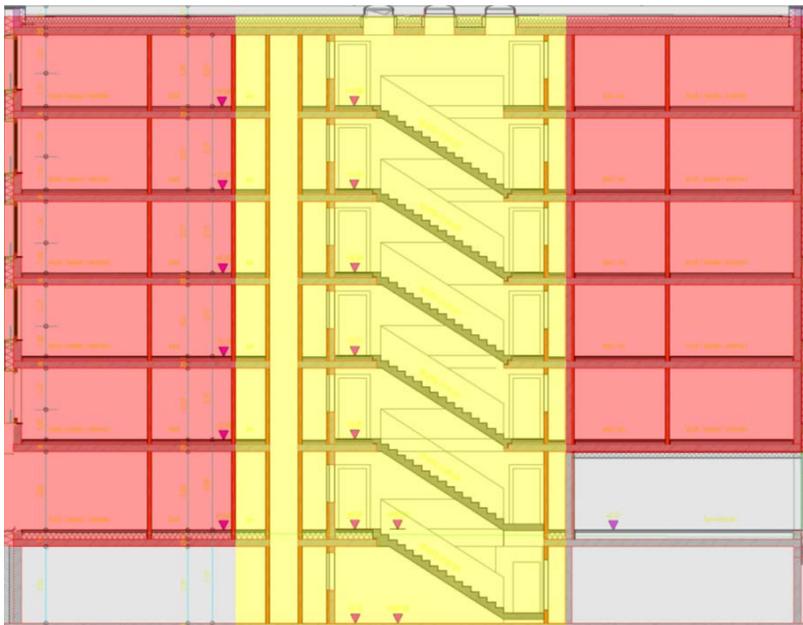


Abbildung 74: MFH groß – Schnitt



Abbildung 75: MFH groß – Grundriss EG

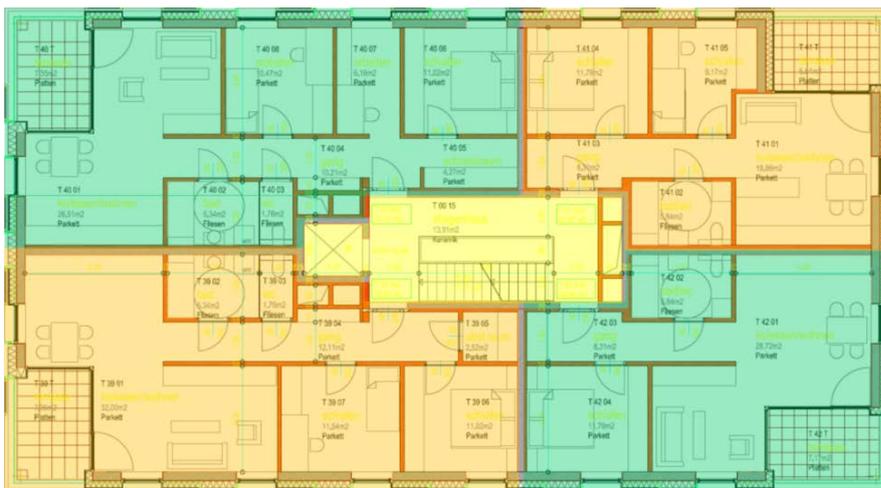


Abbildung 76: MFH groß – Grundriss Regelgeschoss

## 13 Anhang 2: Energetisch relevante Gebäudeeigenschaften

### 13.1 Konstruktionsart + Hüllqualität

Für jeden Gebäudetyp werden fünf abgestimmte U-Wert-Ensembles für die opaken Bauteile und die Fenster festgelegt. In diesen wird auch der Einfluss von Wärmebrücken und der Luftdichtheit der Gebäudehülle differenziert. Für das Einfamilienhaus werden Varianten in Ziegelbauweise mit Kompaktfassade sowie in reiner Holzbauweise berücksichtigt, für das kleine MFH Varianten in Ziegelbauvariante mit Kompaktfassade sowie in Mischbauweise mit massiver Tragstruktur und Gebäudehülle in Holzbauweise. Für das große Mehrfamilienhaus werden nur Varianten in Massivbauweise (STB) mit Kompaktfassade untersucht.

Die U-Wert Ensembles werden so festgelegt, dass sie Gebäude zwischen den Energieniveaus OIB RL6 (2011) bzw. BTV Vorarlberg 2013 und Passivhaus entsprechen. Im Einzelnen werden die folgenden Hüllqualitäten untersucht:

- Hülle 1: OIB RL 6 (2011) für Wohnungsneubauten
- Hülle 2: BTV Vorarlberg 2013 für Wohnungsneubauten
- Hülle 3: mod. 13er Linie:  $HWB_{\max} = 13 * (1+2,5 * A/V)$ ;  $HWB_{\max} = 39 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$
- Hülle 4: mod. 10er Linie:  $HWB_{\max} = 10 * (1+2,5 * A/V)$ ;  $HWB_{\max} = 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$
- Hülle 5: U-Wert-Ensemble Passivhaus mit  $HWB = 15 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFa}}$  gemäß Berechnung PHPP

Die Festlegung der U-Wert-Ensembles für die Hüllen 1 bis 4 erfolgte durch Berechnung nach der Rechenmethode der OIB RL 6 (2011) mit mitgeltenden Normen.

Für die Hülle 5 wurde das U-Wert-Ensemble mit PHPP so festgelegt, dass ein Energiekennwert Heizwärme (HWB) von  $15 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFa}}$  resultiert.

Für dieses U-Wert-Ensemble wurden im zweiten Schritt die Energiekennwerte nach der Rechenmethode der OIB RL 6 (2011) bestimmt.

Für die Berechnungen wurde der Klimadatensatz Bregenz verwendet. Die Verschattung wurde je Gebäudetyp einheitlich berücksichtigt. Für das Einfamilienhaus wurde in allen Orientierungen von Verschattungswinkeln von  $20^\circ$ , für die MFH von  $25^\circ$  ausgegangen.

Für die Hüllqualitäten 1 bis 4 wurden die Defaultwerte des Wärmebrückenzuschlags verwendet, für die Hüllqualität 5 wurde von einer wärmebrückenfreien Ausführung ausgegangen.

Für die untersuchten Gebäudetypen ergeben sich die folgenden U-Wert-Ensembles:

EFH Massiv	AW	DA	BO/KE	FE	Außentür	$n_{50}$
	W/(m <sup>2</sup> K)	h <sup>-1</sup>				
Hülle 1	0,25	0,20	0,31	1,01	1,67	1,5
Hülle 2	0,23	0,17	0,22	1,01	1,67	1,5
Hülle 3	0,18	0,11	0,15	1,01	1,67	0,6
Hülle 4	0,13	0,10	0,128	0,79	0,75	0,6
Hülle 5	0,095	0,087	0,19	0,79	0,75	0,6 <sup>*(0,4)</sup>

**Abbildung 77: U-Wert-Ensembles für das Einfamilienhaus in Massivbauweise**

\* Anmerkung: Die Varianten mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat (reine Luftheizung) wurden mit PHPP nicht auf einen Heizwärmebedarf von 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBFa</sub>, sondern auf eine Heizlast<sub>PHPP</sub> von 10W/m<sup>2</sup><sub>EBFa</sub> ausgelegt. Dazu wurde die Luftdichtheit dieser Gebäudevarianten auf 0,4 statt auf 0,6h<sup>-1</sup> angenommen. Außerdem wurde eine Kryptonverglasung statt der Argonverglasung angenommen.

EFH Holz	AW	DA	BO/KE	FE	Außentür	$n_{50}$
	W/(m <sup>2</sup> K)	h <sup>-1</sup>				
Hülle 1	0,25	0,17	0,33	1,01	1,67	1,5
Hülle 2	0,22	0,17	0,31	1,01	1,67	1,5
Hülle 3	0,155	0,11	0,22	1,01	1,67	0,6
Hülle 4	0,11	0,10	0,15	0,79	0,75	0,6
Hülle 5	0,091	0,088	0,128	0,79	0,75	0,6 <sup>*(0,4)</sup>

**Abbildung 78: U-Wert-Ensembles für das Einfamilienhaus in Holzbauweise**

MFH <sub>typ</sub> Massiv	AW	DA	BO/KE	FE	Außentür	$n_{50}$
	W/(m <sup>2</sup> K)	h <sup>-1</sup>				
Hülle 1	0,31	0,165	0,39	1,01	1,67	1,5
Hülle 2	0,24	0,165	0,39	1,01	1,67	1,5
Hülle 3	0,195	0,10	0,217	1,01	1,67	0,6

Hülle 4	0,13	0,10	0,19	0,79	0,75	0,6
Hülle 5	0,149	0,149	0,253	0,79	0,75	0,6

**Abbildung 79: U-Wert-Ensembles für das typische Mehrfamilienhaus in Massivbauweise**

MFH <sub>typ</sub> Misch	AW	DA	BO/KE	FE	Außentür	n <sub>50</sub>
	W/(m <sup>2</sup> K)	h <sup>-1</sup>				
Hülle 1	0,30	0,18	0,34	1,01	1,67	1,5
Hülle 2	0,26	0,18	0,30	1,01	1,67	1,5
Hülle 3	0,16	0,13	0,20	1,01	1,67	0,6
Hülle 4	0,12	0,10	0,16	0,79	0,75	0,6
Hülle 5	0,149	0,149	0,253	0,79	0,75	0,6

**Abbildung 80: U-Wert-Ensembles für das typische Mehrfamilienhaus in Holzbauweise**

MFH <sub>gr</sub> Massiv	AW	DA	BO/KE	FE	Außentür	n <sub>50</sub>
	W/(m <sup>2</sup> K)	h <sup>-1</sup>				
Hülle 1	0,21	0,15	0,30	1,01	1,67	1,5
Hülle 2	0,28	0,165	0,30	1,01	1,67	1,5
Hülle 3	0,22	0,14	0,216	1,01	1,67	0,6
Hülle 4	0,115	0,10	0,14	0,79	0,75	0,6
Hülle 5	0,113	0,101	0,169	0,79	0,75	0,6

**Abbildung 81: U-Wert-Ensembles für das große Mehrfamilienhaus in Massivbauweise**

Im Gegensatz zu den bisherigen österreichischen Studien wurden nur Fenster mit dreifach-Verglasung berücksichtigt, da diese in Vorarlberg bereits einen sehr großen Marktanteil haben und da die Mehrkosten gegenüber zweifach-Verglasungen in den vergangenen Jahren deutlich gesunken sind.

Dabei wurden zwei unterschiedliche Rahmenqualitäten berücksichtigt:

- Holz/Alu Rahmen 78mm für Hüllen 1, 2 und 3
- Holz/Alu Rahmen Effizienzklasse PH A für Hüllen 4 und 5

Als Standardverglasung wurde einheitlich eine argongefüllte Dreifachverglasung mit  $U_g$  0,52 W/(m<sup>2</sup>K) und hochwertigem thermisch getrenntem Abstandshalter angenommen.

Mit dieser Verglasung ergeben sich Fenster-U-Werte  $U_w$  von 1,01 W/(m<sup>2</sup>K) für das Fenster mit 78mm Holz-Alu Rahmen und von 0,79 W/(m<sup>2</sup>K) für das Fenster mit Holz-Alu Rahmen in PH Effizienzklasse A. Der g-Wert der Verglasung wurde mit ca. 53% angenommen. Die genauen Verglasungswerte differieren je nach Fensteranbieter geringfügig.

## 13.2 Lüftungsstrategie

Für einige Hüllqualitäten werden neben den Grundvarianten mit Fensterlüftung (EFH) bzw. Abluftanlage (MFH) auch Varianten mit Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung untersucht. Für das Einfamilienhaus wurde ein Gerät mit einem effektiven Wärmebereitstellungsgrad (PHPP) von 89% und einer leistungsspezifischen Stromaufnahme von 0,42 W/m<sup>3</sup> berücksichtigt, für die MFH ein Gerät mit 80% und 0,35 W/m<sup>3</sup>.

Die mittleren Luftvolumenströme wurden für die Auslegung der Passivhausvarianten mit PHPP nach dem tatsächlichen Bedarf ausgelegt, die resultierenden Luftwechselraten liegen zwischen 0,32 und 0,41 LW/h.

In den OIB-Berechnungen wurde einheitlich der Defaultwert eines Luftwechsels von 0,4 h<sup>-1</sup> verwendet.

### 13.3 Wärmeversorgungssystem

Bezüglich des Wärmeversorgungssystems werden drei Systeme berücksichtigt:

- Erdreich-Wärmepumpe
- Gas-Brennwertkessel
- Holzpelletkessel

Im Gegensatz zur Hüllqualität wurde – wie in den bisherigen Studien zur Kostenoptimalität in Österreich - die Qualität der Wärmeversorgungssysteme nicht differenziert.

Für die Passivhausvarianten des Einfamilienhauses werden zusätzlich auch Varianten mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat untersucht. Da dieses System, das die Fortluft nach dem Wärmetauscher des Wärmerückgewinnungsaggregats als Wärmequelle nutzt, nach OIB Methode nicht abzubilden ist, wurde die Systemeffizienz mit PHPP ermittelt.

Für das Wärmeverteilstück wurden die Default-Längen der OIB-RL 6 bzw. der mit geltenden Normen angenommen, sowohl Länge als auch Dämmung blieben in allen Varianten unverändert. Sowohl die Leistung des Wärmeerzeugers, als auch die der Erdsonden und des Wärmeabgabesystems (Fußbodenheizung) wurde der verringerten Heizlast der energetisch verbesserten Varianten angepasst.

### 13.4 thermische Solaranlage

Neben den Varianten ohne thermische Solaranlagen werden Varianten mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung untersucht. Die Dimensionierung der Solaranlagen wurde – wie in den bisherigen Studien zur Kostenoptimalität in Österreich - im Rahmen der Studie nicht differenziert.

Für das Einfamilienhaus wurde eine Anlage mit 6m<sup>2</sup> Absorberfläche und 500 Liter Speicher (800 Liter für Pelletheizung) berücksichtigt.

Für das typische wurden MFH 30m<sup>2</sup> Absorberfläche und 2.000 Liter Speicher, für das große MFH 80m<sup>2</sup> Absorberfläche und 5.000 Liter Speicher berücksichtigt.

## 14 Anhang 3: Annahmen bezüglich der technischen Lebensdauern

Die EU legt keine technischen Lebensdauern von Gebäudeelementen und –komponenten fest, sondern überlässt diese Festlegung den Einzelstaaten [2, (8)].

Einen Überblick über die in verschiedenen österreichischen Studien verwandten Annahmen vermittelt die folgende Tabelle. Ebenfalls dargestellt sind die in der gegenständlichen Studie verwandten Annahmen.

		OIB [7]	e7 [5]	AEA [4]	EIV/e7	EU
Lebensdauer Wärmedämmung in WDVS	Jahre		60		40	k.A.
Lebensdauer Wärmedämmung Keller + Dach	Jahre		60		40	k.A.
Lebensdauer Wärmedämmung in Holzkonstruktion	Jahre		k.a.		60	k.A.
Fenster	Jahre		35		35	k.A.
Lüftungszentrale	Jahre		20		25	k.A.
Lüftungsverteilung	Jahre		35		35	k.A.
Heizungszentrale	Jahre		20		20	k.A.
Heizungsverteilung und Abgabe	Jahre		35		35	k.A.
Quellerschließung Erdwärme	Jahre				40	k.A.
thermische Solaranlage	Jahre				30	k.A.
Planungsleistungen					40	k.A.

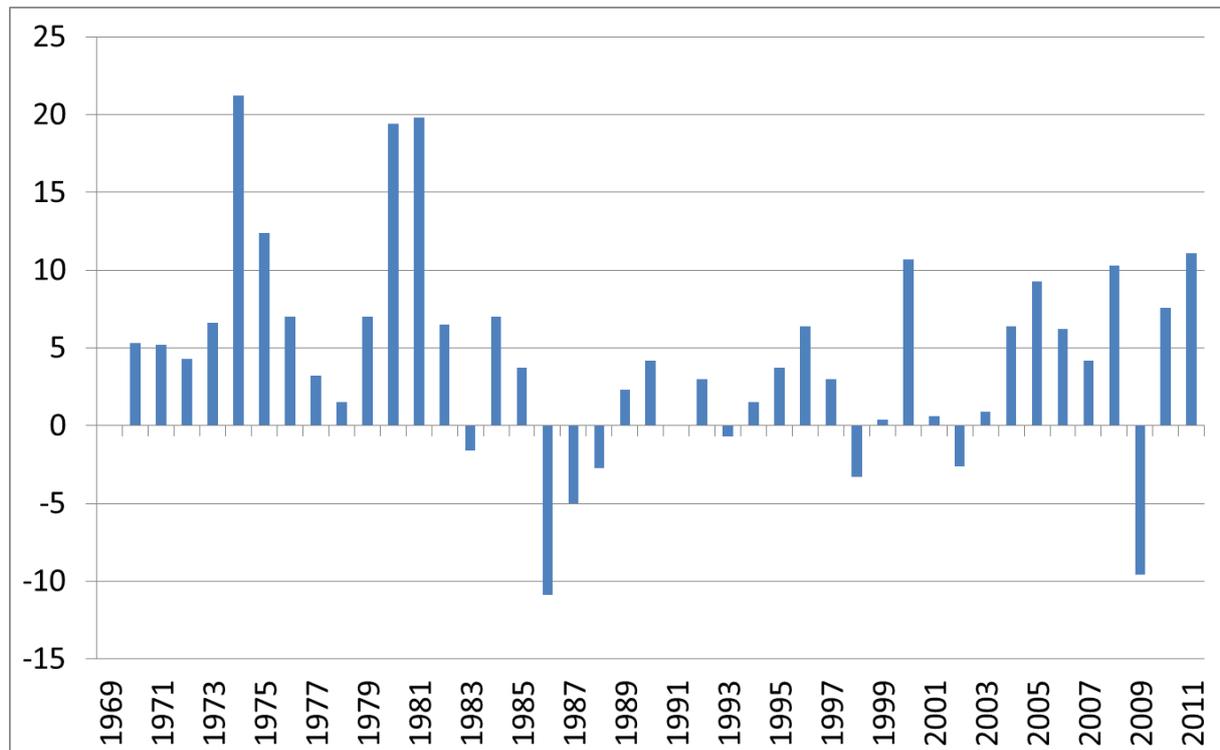
**Abbildung 82: Annahmen bezüglich der technischen Lebensdauern der Bauteile und Komponenten**

Die in der gegenständlichen Studie verwendeten Annahmen für die Lebensdauern orientieren sich an den Werten der Studie von e7 [5].

Gegenüber der Studie von e7 wurde die Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen und der Dämmung in Keller und Dach mit 40 statt mit 60 Jahren angenommen. Die Lebensdauer der Dämmung, die in Holzkonstruktionen vor Witterungseinflüssen geschützt ist, wurde mit 60 Jahren angenommen.

## 15 Anhang 4: Herleitung der Annahmen

### 15.1 Energiepreisentwicklung



**Abbildung 83: Nominaler Energiepreisindex (EPI) Österreich – Prozentuale Veränderung zum Vorjahr** Quelle: Statistik Austria; Berechnung Österreichische Energieagentur

Der langfristige Mittelwert des Energiepreisindex EPI von 1970 bis 2011 liegt bei 4,2%, der mittelfristige von 2001 bis 2011 bei 4,1% nominal.

Der Energiepreisindex hat den Vorteil, dass langfristige Daten verfügbar sind, so dass die Preisentwicklung der Vergangenheit auch aus der Langfristperspektive betrachtet werden kann. Nachteil des EPI ist, dass er die Preisentwicklung verschiedener Energieträger (auch Diesel und Superbenzin) zusammenfasst.

Eine differenzierte Betrachtung der Preisentwicklung bieten die von der Österreichischen Energieagentur nach Energieträger differenzierten bereitgestellten Daten.

Nachteil dieser Daten ist, dass sie erst für wenige Jahre in konsistenter Form verfügbar sind.

Begründung für die Differenzierung der Energiepreissteigerung für Strom:

In der gegenständlichen Studie wird die Energiepreissteigerung für Strom differenziert. Für Wärmepumpenstrom wird eine höhere Preissteigerung angenommen, als für Haushaltsstrom. Diese Annahme kann wie folgt begründet werden:

Wird das europäische Stromnetz zunehmend auf regenerative Energiequellen umgestellt (Atomausstieg D und CH, EU 20-20-20 Ziele), so wird ein Teil des im Winter benötigten Stroms im Sommer produziert und über eine jahreszeitliche Speicherung für die Nutzung in Wärmepumpen verfügbar gemacht werden (z.B. „wind to gas“). Tendenziell wird durch diese von vielen Experten erwartete Entwicklung der Strombezug im Winter teurer werden, als im Sommer.

	Öl	Gas	Strom	Fernwärme	Pellet	Brennholz
2006	12,5	6,1	3,5	5,8		6,8
2007	-1,2	8,3	9,2	3,0		6,4
2008	26,1	2,9	1,7	2,6		-1,1
2009	-28,8	6,7	4,1	2,0		3,2
2010	22,5	-4,5	1,0	1,0		0,4
2011	21,4	8,7	0,1	4,3	0,8	2,8
2012	8,4	5,0	0,9	8,3	1,0	1,5
Mittel	8,7	4,7	2,9	3,9		2,9

**Abbildung 84: Änderungsraten der Monatsdurchschnittswerte verschiedener Energieträger gegenüber dem Vorjahr (nominal) Quelle: Österreichische Energieagentur; Energiepreise für private Haushalte - Jahresrückblicke 2009 bis 2012 [http://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/energie\\_in\\_zahlen/](http://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/energie_in_zahlen/)**

Der mittlere Preisanstieg für Gas lag im Zeitraum von 2006 bis 2012 bei 4,7%, für Strom bei 2,9%, und für Brennholz bei 2,9% nominal. Angaben für die Entwicklung der Pelletpreise sind in der Statistik erst ab 2011 verfügbar.

Gemäß Pelletpreisindex PPI 06 des Verbandes pro Pellets Austria lag die durchschnittliche jährliche Preissteigerung für Pellets zwischen 2006 und 2013 bei durchschnittlich etwa 4,2% nominal.

## 15.2 VPI, Hypothekar- und Realzinssatz

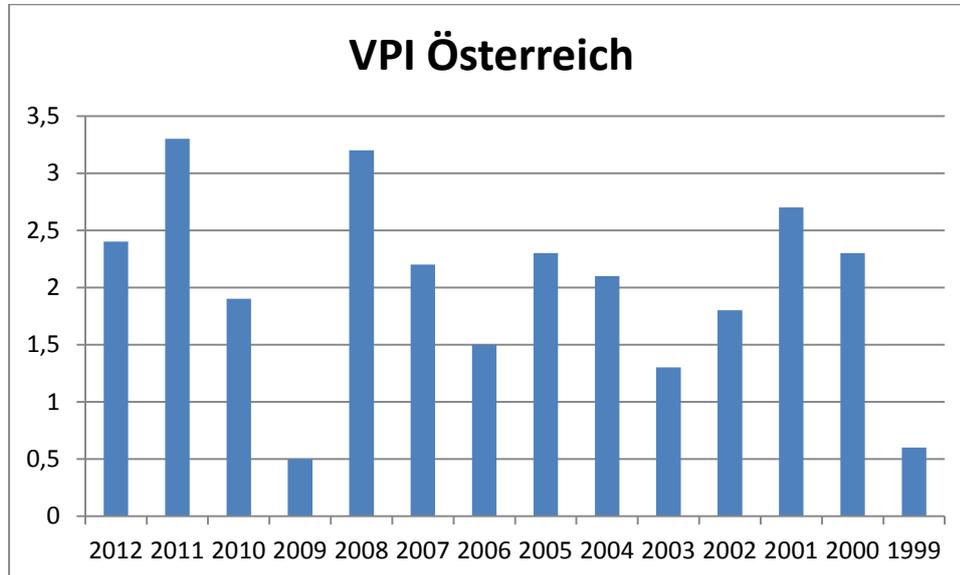


Abbildung 85: Inflationsraten Österreich 1999 bis 2012; Quelle: Inflationsraten und Indizes des VPI von 1999 bis 2012; Statistik Austria;

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex\\_vpi\\_hvpi/](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/)

Die Inflationsrate in Österreich schwankte seit 1999 zwischen 0,5 und 3,3%. Der Mittelwert lag bei 2,01%.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Mittel
in % p. a.																		
<b>Kreditzinssätze<sup>2)</sup></b>																		
<b>an private Haushalte<sup>3)</sup></b>																		
<b>für Wohnbau</b>																		
insgesamt	6,62	6,09	5,9	5,06	5,87	5,93	5,35	4,41	3,9	3,58	3,8	4,79	5,32	3,71	2,71	2,86	2,71	
mit anfänglicher Zinsbindung																		
bis 1 Jahr <sup>4)</sup>	6,84	6,29	6,1	5,23	6,06	6,14	5,54	4,63	4,24	3,94	4,25	5,27	5,79	3,75	2,69	2,92	2,7	4,85
1 bis 5 Jahre	x	x	x	x	x	x	x	4,03	3,42	2,98	3,15	3,95	4,44	3,4	2,57	2,52	2,62	
5 bis 10 Jahre	x	x	x	x	x	x	x	5,03	4,92	4,6	4,85	5,12	5,3	4,94	4,84	4,58	3,67	4,79
über 10 Jahre	x	x	x	x	x	x	x	4,82	4,8	5,09	4,76	5,32	5,63	5,25	4,76	4,98	3,89	4,93

Abbildung 86: Kreditzinssätze-Neugeschäft

Quelle: <http://www.oenb.at/isaweb/report.do;jsessionid=CF1CA19B73F3976B1F24D82F95E2D759?report=2.10>

Der mittlere nominale Hypothekarzinssatz im Neugeschäft lag zwischen 1996 und 2012 bei einer Zinsbindung von bis zu einem Jahr bei 4,85%. Der entsprechende Satz für eine Zinsbindung von 5 bis 10 Jahren lag in den Jahren 2003 bis 2012 (nur für diese sind Werte verfügbar) bei 4,79 und für Zinsbindungsdauern von über 10 Jahren bei 4,93%. Als Mittelwert der verschiedenen Zinsbindungsdauern kann daher von einem Hypothekarzinssatz von etwa 4,8% nominalausgegangen werden. Die Entwicklung der Realzinssätze sowie ein internationaler Vergleich der Realzinsen sind in den drei folgenden Abbildungen dargestellt.

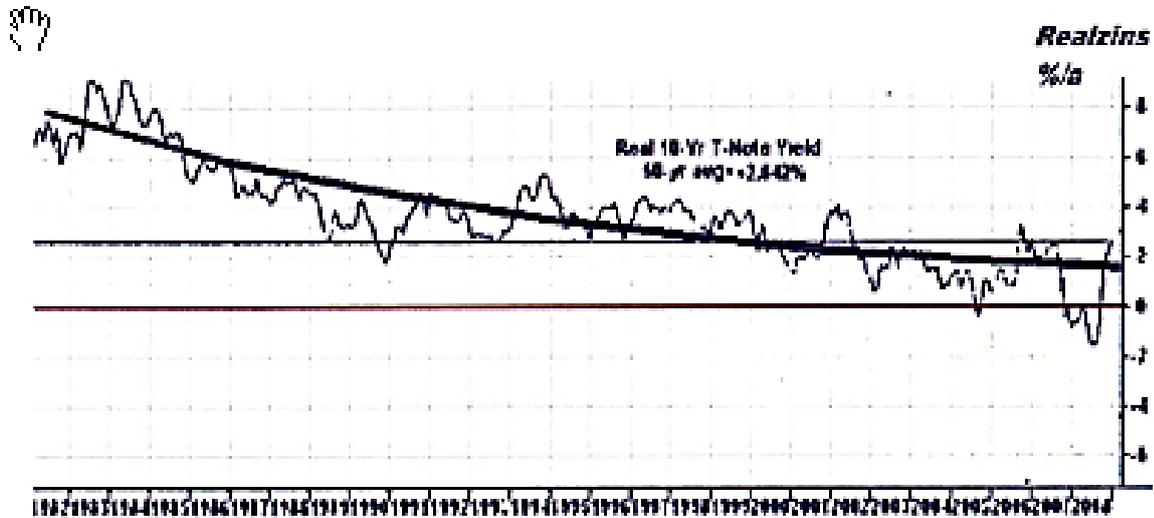


Abbildung 87: Entwicklung der Realzinsen in den USA zwischen 1980 und 2009 [12]

Wie Abbildung 87 zeigt, sind die Realzinsen in den USA in den vergangenen 30 Jahren stetig gefallen.

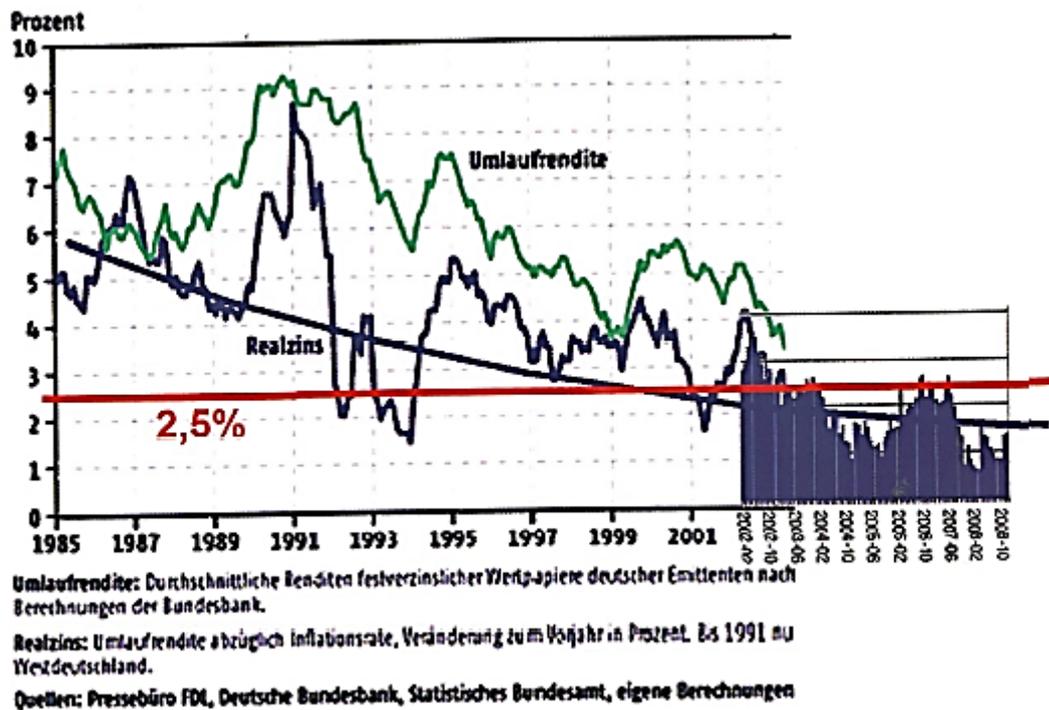


Abbildung 88: Entwicklung der Realzinsen in Deutschland [12]

Die Realzinssätze in Deutschland zeigen einen ähnlichen Verlauf, wie in den USA.

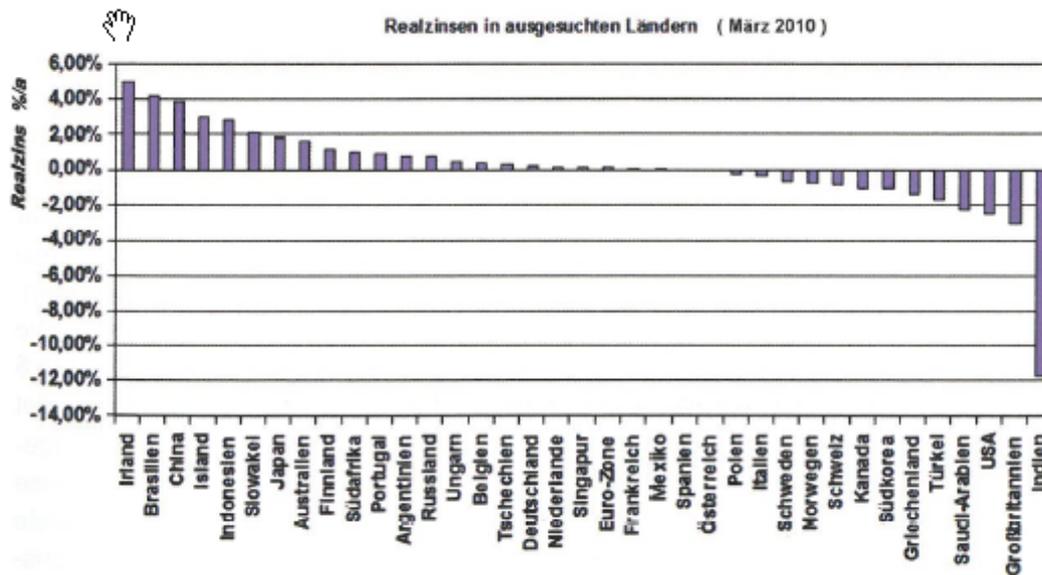


Abbildung 89: Realzinsen im internationalen Vergleich [12]

Der Realzinssatz in Österreich liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie in Deutschland und der Eurozone.

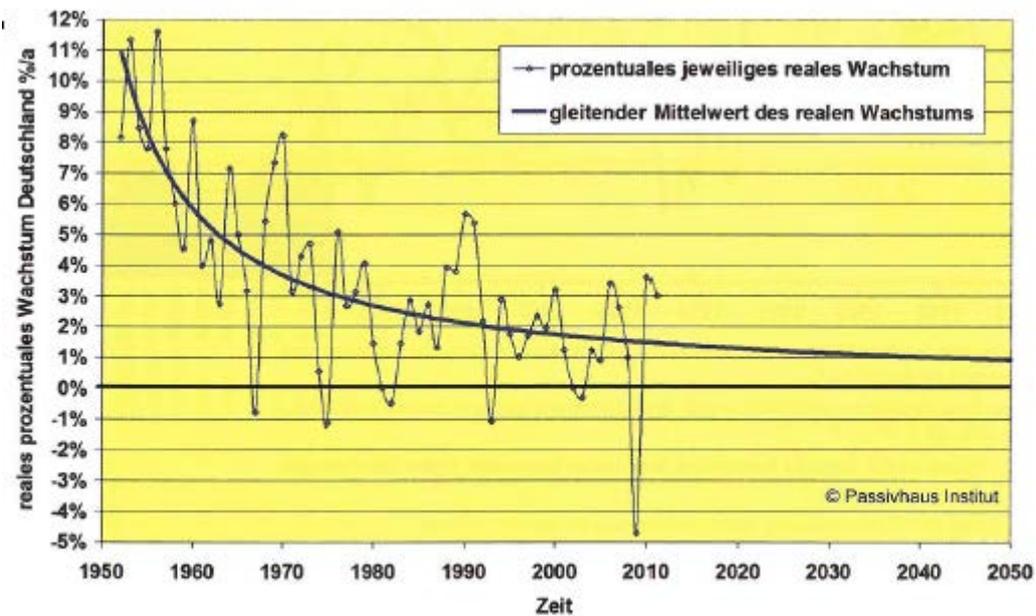


Abbildung 90: reales prozentuales Wachstum des BIP in Deutschland [12]

Der gleitende Mittelwert des realen BIP-Wachstums in Deutschland ist seit 1950 stetig gesunken.

## 16 Anhang 5: aktuelle Energiepreise

Die Energiepreise in Vorarlberg wurden im Mai 2013 erhoben. Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich der Vorarlberger Energiepreise mit denen, die in den Kosten-Optimalitätsstudien des OIB, von e7 und der Österreichischen Energieagentur verwendet wurden. Die EU überlässt die Recherche der regionalen Energiekosten den Einzelstaaten und macht keine Vorgaben.

			OIB [7]	e7 [5]	AEA [4]	EIV/e7	EU
Haushaltsstrom		EUR/kWh	0,1920	0,1920	0,1920	0,1599	k.a.
WP-Strom		EUR/kWh		0,1655		0,1239	
Gas		EUR/kWh	0,0730	0,0700	0,0749	0,0606	
Pellets		EUR/kWh	0,0500	0,0500	0,0501	0,0520	

**Abbildung 91: Aktuelle Energiepreise in Vorarlberg**

Die Energiekosten in Vorarlberg gehören zu den günstigsten in Österreich.

Für die gegenständliche Studie wurde der Strompreis differenziert: Für den Hilfsstrombedarf wird der Haushaltsstrombedarf angenommen, für den Wärmepumpenstrom (Leistungsaufnahme Kompressor) der Wärmepumpen-Stromtarif. Die Preissteigerung für Haushaltsstrom und für Wärmepumpenstrom wurde in der gegenständlichen Studie ebenfalls differenziert, siehe Anhang 4.

## 17 Anhang 6: Ergebnisse Energiebedarfsberechnung

1.202		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a	kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a	kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a	kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a	kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> BGF.a
Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO <sub>2</sub>
900	EFH t-HO01-Gas	54,4	88,0	0,9	148,4	28,0
901	EFH t-HO02-Gas	50,0	82,8	0,9	142,3	26,8
902	EFH t-HO03-Gas	38,1	70,2	0,9	127,4	23,8
903	EFH t-HO04-Gas	29,1	59,4	0,8	114,6	21,2
905	EFH t-HO05-Gas	23,7	52,5	0,7	106,4	19,6
906	EFH t-HO01-Gas-Sol6	54,4	73,0	1,4	133,3	24,8
909	EFH t-HO04-Gas-Sol6	29,1	45,9	1,2	101,2	18,4
911	EFH t-HO05-Gas-Sol6	23,7	39,2	1,2	93,2	16,8
912	EFH t-HO01-Gas-RLT+WRG	39,8	75,1	7,5	139,6	26,0
915	EFH t-HO04-Gas-RLT+WRG	13,1	44,4	6,6	101,1	18,3
917	EFH t-HO05-Gas-RLT+WRG	8,8	38,4	6,3	93,3	16,8
918	EFH t-HO01-Gas-RLT+WRG	39,8	60,6	8,0	125,0	22,9
921	EFH t-HO04-Gas-RLT+WRG-Sol6	13,1	31,2	7,0	88,1	15,6
923	EFH t-HO05-Gas-RLT+WRG-Sol6	8,8	25,3	6,7	80,5	14,1
950	EFH t-HO01-Pel	54,4	109,6	0,4	162,4	7,5
951	EFH t-HO02-Pel	50,0	103,7	0,4	156,0	7,4
952	EFH t-HO03-Pel	38,1	90,6	0,3	141,7	7,4
953	EFH t-HO04-Pel	29,1	79,0	0,3	129,1	7,3
955	EFH t-HO05-Pel	23,7	70,5	0,3	119,9	7,2
		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO <sub>2</sub>
956	EFH t-HO01-Pel-Sol6	54,3	85,7	1,4	140,5	8,0
959	EFH t-HO04-Pel-Sol6	28,9	53,4	1,2	105,1	7,8
961	EFH t-HO05-Pel-Sol6	23,6	46,0	1,2	97,0	7,7
962	EFH t-HO01-Pel-RLT+WRG	39,8	95,5	7,1	153,6	8,4

965	EFH t-HO04-Pel-RLT+WRG	13,1	61,1	6,2	114,2	7,9
967	EFH t-HO05-Pel-RLT+WRG	8,8	55,0	5,9	106,9	7,8
968	EFH t-HO01-Pel-RLT+WRG-Sol6	39,5	71,3	7,9	130,9	8,9
971	EFH t-HO04-Pel-RLT+WRG-Sol6	13,0	35,8	6,9	90,0	8,3
973	EFH t-HO05-Pel-RLT+WRG-Sol6	8,5	29,5	6,6	82,4	8,2
1000	EFH t-HO01-WP	54,4	24,1	5,3	130,4	20,8
1001	EFH t-HO02-WP	50,0	22,8	4,9	125,4	20,0
1002	EFH t-HO03-WP	38,1	19,6	4,0	112,6	17,9
1003	EFH t-HO04-WP	29,1	16,7	3,2	101,3	16,1
1005	EFH t-HO05-WP	23,7	14,8	2,7	93,9	14,9
1006	EFH t-HO01-WP-Sol6	54,4	20,7	5,7	123,8	19,7
1009	EFH t-HO04-WP-Sol6	29,1	13,3	3,6	94,7	15,1
1011	EFH t-HO05-WP-Sol6	23,7	11,4	3,1	87,4	13,9
1012	EFH t-HO01-WP-RLT+WRG	39,8	22,5	10,9	127,6	20,3
1015	EFH t-HO04-WP-RLT+WRG	13,1	13,7	7,9	92,2	14,7
		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2
1017	EFH t-HO05-WP-RLT+WRG	8,8	11,8	7,2	84,5	13,4
1018	EFH t-HO01-WP-RLT+WRG-Sol6	39,8	19,2	11,3	121,0	19,3
1021	EFH t-HO04-WP-RLT+WRG-Sol6	13,1	10,4	8,3	85,8	13,7
1023	EFH t-HO05-WP-RLT+WRG-Sol6	8,8	8,5	7,7	78,1	12,4
1100	EFH t-MA01-Gas	54,8	84,4	0,9	144,0	27,1
1101	EFH t-MA02-Gas	50,1	79,3	0,9	138,0	25,9
1102	EFH t-MA03-Gas	38,5	65,8	0,8	122,1	22,7
1103	EFH t-MA04-Gas	29,1	54,7	0,7	108,9	20,1
1105	EFH t-MA05-Gas	21,9	48,0	0,7	101,0	18,5
1106	EFH t-MA01-Gas-Sol6	54,8	69,2	1,3	128,8	23,9
1109	EFH t-MA04-Gas-Sol6	29,1	41,2	1,1	95,5	17,3
1111	EFH t-MA05-Gas-Sol6	21,9	34,7	1,1	87,9	15,7
1112	EFH t-MA01-Gas-RLT+WRG	40,2	71,0	7,3	134,2	24,9
1115	EFH t-MA04-Gas-RLT+WRG	13,6	40,8	6,4	96,6	17,4
1117	EFH t-MA05-Gas-RLT+WRG	7,6	34,3	6,0	87,8	15,7
1118	EFH t-MA01-Gas-RLT+WRG-Sol6	40,2	56,4	7,8	119,5	21,8

1121	EFH t-MA04-Gas-RLT+WRG-Sol6	13,6	27,5	6,9	83,4	14,7
1123	EFH t-MA05-Gas-RLT+WRG-Sol6	7,6	21,1	6,5	75,0	13,0
1150	EFH t-MA01-Pel	54,8	101,7	0,9	155,2	7,6
Geb.#		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2
1151	EFH t-MA02-Pel	50,1	96,1	0,9	149,2	7,6
1152	EFH t-MA03-Pel	38,5	81,4	0,8	133,0	7,5
1153	EFH t-MA04-Pel	29,1	68,2	0,7	118,7	7,4
1155	EFH t-MA05-Pel	21,9	60,2	0,7	109,9	7,4
1156	EFH t-MA01-Pel-Sol6	54,8	85,0	1,3	139,6	8,0
1159	EFH t-MA04-Pel-Sol6	29,1	51,9	1,2	103,4	7,8
1161	EFH t-MA05-Pel-Sol6	21,9	43,8	1,1	94,6	7,7
1162	EFH t-MA01-Pel-RLT+WRG	40,2	86,6	7,4	144,7	8,5
1165	EFH t-MA04-Pel-RLT+WRG	13,6	51,2	6,4	104,1	8,0
1167	EFH t-MA05-Pel-RLT+WRG	7,6	43,4	6,0	94,6	7,8
1168	EFH t-MA01-Pel-RLT+WRG-Sol6	40,2	70,0	7,8	129,3	8,8
1171	EFH t-MA04-Pel-RLT+WRG-Sol6	13,6	34,9	6,9	89,1	8,3
1173	EFH t-MA05-Pel-RLT+WRG-Sol6	7,6	27,3	6,5	79,8	8,1
1200	EFH t-MA01-WP	54,8	23,2	5,0	126,6	20,2
1201	EFH t-MA02-WP	50,1	21,9	4,6	121,7	19,4
1202	EFH t-MA03-WP	38,5	18,4	3,6	107,9	17,2
1203	EFH t-MA04-WP	29,1	15,3	2,8	96,1	15,3
1205	EFH t-MA05-WP	21,9	13,6	2,3	89,2	14,2
1206	EFH t-MA01-WP-Sol6	54,8	19,8	5,4	120,0	19,1
Geb.#		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2

1209	EFH t-MA04-WP-Sol6	29,1	12,0	3,2	89,6	14,3
1211	EFH t-MA05-WP-Sol6	21,9	10,3	2,7	82,7	13,2
1212	EFH t-MA01-WP-RLT+WRG	40,2	21,4	10,4	122,7	19,5
1215	EFH t-MA04-WP-RLT+WRG	13,6	12,6	7,5	87,9	14,0
1217	EFH t-MA05-WP-RLT+WRG	7,6	10,7	6,7	79,8	12,7
1218	EFH t-MA01-WP-RLT+WRG-Sol6	40,2	18,0	10,8	116,1	18,5
1221	EFH t-MA04-WP-RLT+WRG-Sol6	13,6	9,3	8,0	81,4	13,0
1223	EFH t-MA05-WP-RLT+WRG-Sol6	7,6	7,4	7,2	73,4	11,7
1300	MWH t-HO01-Gas	40,7	73,2	0,8	130,8	24,5
1301	MWH t-HO02-Gas	38,0	69,8	0,8	126,8	23,7
1302	MWH t-HO03-Gas	28,8	60,0	0,8	115,2	21,3
1303	MWH t-HO04-Gas	22,0	54,2	0,7	108,4	20,0
1305	MWH t-HO05-Gas	23,8	55,7	0,7	110,2	20,3
1306	MWH t-HO01-Gas-Sol30	40,7	55,2	1,1	111,2	20,5
1309	MWH t-HO04-Gas-Sol30	22,0	36,7	1,0	89,3	16,0
1311	MWH t-HO05-Gas-Sol30	23,8	38,1	1,0	91,1	16,4
1312	MWH t-HO01-Gas-RLT+WRG	28,6	61,6	7,1	122,7	22,6
1315	MWH t-HO04-Gas-RLT+WRG	8,8	42,5	6,2	97,9	17,7
1317	MWH t-HO05-Gas-RLT+WRG	10,2	44,0	6,3	100,0	18,1
		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2
1318	MWH t-HO01-Gas-RLT+WRG-Sol30	28,6	43,8	7,4	103,4	18,6
1321	MWH t-HO04-Gas-RLT+WRG-Sol30	8,8	25,2	6,5	79,2	13,9
1323	MWH t-HO05-Gas-RLT+WRG-Sol30	10,2	26,7	6,6	81,2	14,3
1350	MWH t-HO01-Pel	40,7	87,5	0,8	139,7	7,5
1351	MWH t-HO02-Pel	38,0	83,5	0,8	135,3	7,5
1352	MWH t-HO03-Pel	28,8	72,0	0,8	122,8	7,5
1353	MWH t-HO04-Pel	22,0	65,3	0,8	115,6	7,4
1355	MWH t-HO05-Pel	23,8	67,0	0,8	117,4	7,4
1356	MWH t-HO01-Pel-Sol30	40,7	66,2	1,1	118,1	7,7
1359	MWH t-HO04-Pel-Sol30	22,0	44,5	1,0	94,5	7,6
1361	MWH t-HO05-Pel-Sol30	23,8	46,2	1,0	96,4	7,6
1362	MWH t-HO01-Pel-RLT+WRG	28,6	74,1	7,1	130,6	8,4

1365	MWH t-HO04-Pel-RLT+WRG	8,8	51,4	6,2	103,7	7,9
1367	MWH t-HO05-Pel-RLT+WRG	10,2	53,2	6,3	105,9	7,9
1368	MWH t-HO01-Pel-RLT+WRG-Sol30	28,6	52,8	7,4	109,1	8,5
1371	MWH t-HO04-Pel-RLT+WRG-Sol30	8,8	30,7	6,5	82,9	8,0
1373	MWH t-HO05-Pel-RLT+WRG-Sol30	10,2	32,5	6,6	85,1	8,1
1400	MWH t-HO01-WP	40,7	26,8	3,9	130,8	20,8
1401	MWH t-HO02-WP	38,0	25,7	3,7	126,7	20,2
		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2
1402	MWH t-HO03-WP	28,8	22,4	3,1	115,2	18,3
1403	MWH t-HO04-WP	22,0	20,7	2,7	108,6	17,3
1405	MWH t-HO05-WP	23,8	21,1	2,8	110,3	17,5
1406	MWH t-HO01-WP-Sol30	40,7	20,0	4,1	114,1	18,2
1409	MWH t-HO04-WP-Sol30	22,0	13,9	2,9	91,9	14,6
1411	MWH t-HO05-WP-Sol30	23,8	14,3	3,0	93,6	14,9
1412	MWH t-HO01-WP-RLT+WRG	28,6	24,2	9,4	125,2	19,9
1415	MWH t-HO04-WP-RLT+WRG	8,8	17,5	7,2	98,8	15,7
1417	MWH t-HO05-WP-RLT+WRG	10,2	18,0	7,4	101,1	16,1
1418	MWH t-HO01-WP-RLT+WRG-Sol30	28,6	17,4	9,6	108,5	17,3
1421	MWH t-HO04-WP-RLT+WRG-Sol30	8,8	10,7	7,4	82,1	13,1
1423	MWH t-HO05-WP-RLT+WRG-Sol30	10,2	11,2	7,6	84,3	13,4
1500	MWH t-MA01-Gas	40,5	69,1	0,8	125,9	23,5
1501	MWH t-MA02-Gas	37,7	66,8	0,8	123,1	22,9
1502	MWH t-MA03-Gas	28,8	58,8	0,7	113,8	21,0
1503	MWH t-MA04-Gas	22,3	52,8	0,7	106,7	19,6
1505	MWH t-MA05-Gas	23,0	53,4	0,7	107,4	19,7
1506	MWH t-MA01-Gas-Sol30	40,5	51,2	1,0	106,4	19,5
1509	MWH t-MA04-Gas-Sol30	22,3	35,1	1,0	87,5	15,7
		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				

Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2
1511	MWH t-MA05-Gas-Sol30	23,0	35,7	1,0	88,2	15,8
1512	MWH t-MA01-Gas-RLT+WRG	28,7	60,5	7,0	121,2	22,3
1515	MWH t-MA04-Gas-RLT+WRG	9,2	41,5	6,1	96,5	17,4
1517	MWH t-MA05-Gas-RLT+WRG	9,7	41,8	6,2	97,0	17,5
1518	MWH t-MA01-Gas-RLT+WRG-Sol30	28,7	42,7	7,3	101,8	18,3
1521	MWH t-MA04-Gas-RLT+WRG-Sol30	9,2	24,1	6,4	77,7	13,6
1523	MWH t-MA05-Gas-RLT+WRG-Sol30	9,7	24,4	6,4	78,2	13,7
1550	MWH t-MA01-Pel	40,5	82,6	0,8	134,3	7,5
1551	MWH t-MA02-Pel	37,7	79,9	0,8	131,3	7,5
1552	MWH t-MA03-Pel	28,8	70,6	0,8	121,3	7,4
1553	MWH t-MA04-Pel	22,3	63,6	0,7	113,6	7,4
1555	MWH t-MA05-Pel	23,0	64,3	0,7	114,4	7,4
1556	MWH t-MA01-Pel-Sol30	40,5	61,3	1,0	112,7	7,7
1559	MWH t-MA04-Pel-Sol30	22,3	42,6	1,0	92,5	7,6
1561	MWH t-MA05-Pel-Sol30	23,0	43,3	1,0	93,3	7,6
1562	MWH t-MA01-Pel-RLT+WRG	28,7	72,8	7,0	129,0	8,3
1565	MWH t-MA04-Pel-RLT+WRG	9,2	50,1	6,1	102,1	7,8
1567	MWH t-MA05-Pel-RLT+WRG	9,7	50,5	6,2	102,6	7,9
1568	MWH t-MA01-Pel-RLT+WRG-Sol30	28,7	51,4	7,3	107,4	8,5
		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2
1571	MWH t-MA04-Pel-RLT+WRG-Sol30	9,2	29,4	6,4	81,3	8,0
1573	MWH t-MA05-Pel-RLT+WRG-Sol30	9,7	29,8	6,4	81,8	8,0
1600	MWH t-MA01-WP	40,5	25,3	3,6	125,6	20,0
1601	MWH t-MA02-WP	37,7	24,6	3,5	122,9	19,6
1602	MWH t-MA03-WP	28,8	22,1	2,9	113,8	18,1
1603	MWH t-MA04-WP	22,3	20,1	2,5	106,7	17,0
1605	MWH t-MA05-WP	23,0	20,3	2,6	107,4	17,1
1606	MWH t-MA01-WP-Sol30	40,5	18,6	3,8	108,9	17,3

1609	MWH t-MA04-WP-Sol30	22,3	13,3	2,7	89,9	14,3
1611	MWH t-MA05-WP-Sol30	23,0	13,5	2,8	90,6	14,4
1612	MWH t-MA01-WP-RLT+WRG	28,7	23,8	9,2	123,5	19,7
1615	MWH t-MA04-WP-RLT+WRG	9,2	17,0	7,0	97,1	15,5
1617	MWH t-MA05-WP-RLT+WRG	9,7	17,1	7,1	97,6	15,5
1618	MWH t-MA01-WP-RLT+WRG-Sol30	28,7	17,0	9,4	106,7	17,0
1621	MWH t-MA04-WP-RLT+WRG-Sol30	9,2	10,2	7,2	80,4	12,8
1623	MWH t-MA05-WP-RLT+WRG-Sol30	9,7	10,3	7,3	80,8	12,9
1900	MWH g-MA01-Gas	31,7	57,3	0,5	111,5	20,6
1901	MWH g-MA02-Gas	32,1	57,7	0,5	111,9	20,7
1902	MWH g-MA03-Gas	24,4	51,0	0,5	104,1	19,1
		kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
Geb.#	Berechnungsbezeichnung	HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO2
1903	MWH g-MA04-Gas	18,5	46,0	0,5	98,1	17,9
1905	MWH g-MA05-Gas	16,7	43,8	0,5	95,6	17,4
1906	MWH g-MA01-Gas-Sol80	31,7	38,6	0,8	90,9	16,4
1909	MWH g-MA04-Gas-Sol80	18,5	27,3	0,7	77,6	13,7
1911	MWH g-MA05-Gas-Sol80	16,7	25,2	0,7	75,1	13,2
1912	MWH g-MA01-Gas-RLT+WRG	20,4	49,2	6,6	106,9	19,5
1915	MWH g-MA04-Gas-RLT+WRG	5,5	34,7	5,8	87,7	15,7
1917	MWH g-MA05-Gas-RLT+WRG	4,1	34,3	5,6	86,8	15,5
1918	MWH g-MA01-Gas-RLT+WRG-Sol80	20,4	30,7	6,9	86,6	15,3
1921	MWH g-MA04-Gas-RLT+WRG-Sol80	5,5	16,4	6,0	67,6	11,6
1923	MWH g-MA05-Gas-RLT+WRG-Sol80	4,1	16,0	5,9	66,7	11,4
1950	MWH g-MA01-Pel	31,7	67,5	0,5	117,3	7,3
1951	MWH g-MA02-Pel	32,1	67,8	0,5	117,7	7,3
1952	MWH g-MA03-Pel	24,4	60,3	0,5	109,6	7,3
1953	MWH g-MA04-Pel	18,5	54,6	0,5	103,3	7,3
1955	MWH g-MA05-Pel	16,7	52,2	0,5	100,7	7,3
1956	MWH g-MA01-Pel-Sol80	31,7	45,7	0,8	95,1	7,5
1959	MWH g-MA04-Pel-Sol80	18,5	32,8	0,7	81,1	7,4
1961	MWH g-MA05-Pel-Sol80	16,7	30,4	0,7	78,5	7,4

Geb.#	Berechnungsbezeichnung	kWh/ m <sup>2</sup> BGF.a				
		HWB <sub>St</sub>	HEB ges	HE ges	PEB gesamt	CO <sub>2</sub>
1962	MWH g-MA01-Pel-RLT+WRG	20,4	58,2	6,7	112,3	8,1
1965	MWH g-MA04-Pel-RLT+WRG	5,5	41,5	5,8	91,9	7,7
1967	MWH g-MA05-Pel-RLT+WRG	4,1	41,0	5,6	90,9	7,6
1968	MWH g-MA01-Pel-RLT+WRG-Sol80	20,4	36,5	6,9	90,1	8,2
1971	MWH g-MA04-Pel-RLT+WRG-Sol80	5,5	20,0	6,0	70,0	7,8
1973	MWH g-MA05-Pel-RLT+WRG-Sol80	4,1	19,4	5,9	69,0	7,7
2000	MWH g-MA01-WP	31,7	21,2	2,8	111,2	17,7
2001	MWH g-MA02-WP	32,1	21,3	2,8	111,6	17,8
2002	MWH g-MA03-WP	24,4	19,1	2,4	103,8	16,5
2003	MWH g-MA04-WP	18,5	17,5	2,0	97,8	15,6
2005	MWH g-MA05-WP	16,7	16,8	1,9	95,1	15,1
2006	MWH g-MA01-WP-Sol80	31,7	14,0	2,9	93,3	14,8
2009	MWH g-MA04-WP-Sol80	18,5	10,3	2,2	79,9	12,7
2011	MWH g-MA05-WP-Sol80	16,7	9,6	2,0	77,2	12,3
2012	MWH g-MA01-WP-RLT+WRG	20,4	19,8	8,2	109,1	17,4
2015	MWH g-MA04-WP-RLT+WRG	5,5	14,3	6,4	87,7	14,0
2017	MWH g-MA05-WP-RLT+WRG	4,1	14,2	6,2	86,9	13,8
2018	MWH g-MA01-WP-RLT+WRG-Sol80	20,4	12,6	8,4	91,1	14,5
2021	MWH g-MA04-WP-RLT+WRG-Sol80	5,5	7,1	6,6	69,9	11,1
2023	MWH g-MA05-WP-RLT+WRG-Sol80	4,1	7,0	6,4	69,1	11,0

**Abbildung 92: Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung**

## 18 Anhang 7: Investitionskosten – Detailauswertungen

Die Investitionskosten für alle energierelevanten Bauteile wurden zusammen mit allen weiteren Inputdaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung in einer excel-Tabelle zusammengefasst. Abbildung 93 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt, in dem die Kostendaten der Außenwand des Einfamilienhauses in Massivbauweise in den 5 Hüllqualitäten aufgeführt sind.

Variantennr.		AW (WDVS)					
Varianten		Bauteilfläche	U-Wert	Kosten			Lebensdauer
		m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	EUR/m <sup>2</sup> Bauteil	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	a
<i>EFH typisch</i>		<i>Flächenänderung durch untere Hüllqualität inkl. 20% Ust</i>					
1	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0	217	0,250	144	31.176	200	40
2	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0	217	0,230	145	31.436	202	40
3	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_GA_SO-0	217	0,180	149	32.215	207	40
4	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-0	217	0,130	157	34.034	218	40
5	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-0	217	0,095	168	36.372	233	40

**Abbildung 93: Kosten der Wärmeerzeuger für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise (Ausschnitt)**

Für jede Variante sind Bauteilfläche, U-Wert und Lebensdauer dargestellt. Die Kosten sind sowohl absolut, als auch pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche und pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche aufgeführt. Im Beispiel ist ablesbar, dass die Ausführung der massiven Außenwand in Hüllqualität 5 zu spezifischen Mehrkosten von 24 EUR/m<sup>2</sup> Bauteilfläche führt (168 statt 144 EUR/m<sup>2</sup> Bauteilfläche). Legt man die Mehrkosten auf den m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche EBF um, so ergeben sich Mehrkosten von 33 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.

Variantennr.	EBF	BGF	Wärmeerzeugung				
			Gas, Pellets, Sole/Wasser WP, (ohne Kompaktgerät), Rauchfang nicht berücksichtigt				
Varianten	m2	m2	Anmerkung	Kosten		Wartung und Instandhaltung	Lebensdauer
			-	EUR	EUR/m2 EBF	EUR/a	a
<i>EFH typisch</i>							
1	156	212	Gas-Brennwert	8.760	56	219	20
2	156	212	Gas-Brennwert	8.736	56	218	20
3	156	212	Gas-Brennwert	8.677	56	217	20
4	156	212	Gas-Brennwert	8.629	55	216	20
5	156	212	Gas-Brennwert	8.593	55	215	20
6	156	212	Gas-Brennwert	8.760	56	219	20
7	156	212	Gas-Brennwert	8.629	55	216	20
8	156	212	Gas-Brennwert	8.593	55	215	20
9	156	212	Gas-Brennwert	8.686	56	217	20
10	156	212	Gas-Brennwert	8.551	55	214	20
11	156	212	Gas-Brennwert	8.520	55	213	20
12	156	212	Gas-Brennwert	8.686	56	217	20
13	156	212	Gas-Brennwert	8.551	55	214	20
14	156	212	Gas-Brennwert	8.520	55	213	20
15	156	212	Pelletsessel	18.154	116	1.089	20
16	156	212	Pelletsessel	17.963	115	1.078	20
17	156	212	Pelletsessel	17.491	112	1.049	20
18	156	212	Pelletsessel	17.109	110	1.027	20
19	156	212	Pelletsessel	16.817	108	1.009	20

**Abbildung 94: Kosten der Wärmeerzeuger für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise (Ausschnitt)**

Abbildung 94 zeigt einen Ausschnitt aus der gleichen Tabelle, in dem die Kosten der Wärmeerzeuger zusammengestellt sind. Für jeden Wärmeerzeuger wurden die Kosten für die Gebäudevariante mit der höchsten und der niedrigsten Heizlast per Ausschreibung ermittelt. Die Kosten des **Wärmeerzeugers** wurden jeweils basierend auf dem Heizwärmebedarf HWB und der Referenzheizlast interpoliert.

Auf diese Weise wurden die Kosten für den Gasbrennwertkessel, den Pelletkessel, den Pellet-Lagerraum und die Fördereinrichtung sowie für die Wärmepumpe und die Erdsonde ermittelt. Der Verlegeabstand der **Fußbodenheizung** hängt ebenfalls von der Heizlast des Gebäudes ab und wurde daher analog zu den Wärmeerzeugerkosten interpoliert.

Im Beispiel liegen die Kosten des Gas-Brennwertkessels daher zwischen 8.593 und 8.760 EUR. Zu erkennen ist, dass der Pelletkessel (inkl. Pufferspeicher) gegenüber dem Gas-Brennwertkessel zu deutlichen Investitions-Mehrkosten führt.

Ebenfalls dargestellt sind die jährlichen Kosten für Wartung und Instandhaltung. Zum Teil konnten eigene Werte verwendet werden, wo dies nicht möglich war, wurde auf die Angaben der VDI 2067 [15] zurückgegriffen.

In den folgenden Tabellen sind die wichtigsten Investitions-Kostendaten für die drei untersuchten Gebäude zusammengefasst. Jede Tabelle zeigt die Kosten der jeweils 14 untersuchten Varianten eines Gebäudes mit identischem Wärmeversorgungssystem. Pro Gebäude sind damit drei Tabellen (für Gas,- Pellet,- und Wärmepumpenheizung) aufgeführt.

## 18.1 EFH massiv

### 18.1.1 Gasheizung

Nr.	Bezeichnung	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Thermie		PEB	Summe energierelevante Bauteile + Komponenten	Kosten_energie-relevante_spez	Bauwerkskosten spezifisch	Mehrkosten_Prozent gegenüber OIB RL(2011) mit gleichem Wärmeerzeuger
		Kosten		Kosten		Kosten		Kosten						
		EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF					
		inkl. 20% U	Hülle	Wärmeversorgung						kWh/m <sup>2</sup> Gfz				
										mit HHSB	€	€/m <sup>2</sup> EBF	€/m <sup>2</sup> EBF	%
										von mb au				
1	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0	113.965	731	15.960	102	0	0	0	0	144,0	129.925	833	2.050	0,00%
2	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0	115.082	738	15.721	101	0	0	0	0	138,0	130.803	839	2.056	0,27%
3	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_GA_SO-0	119.424	766	15.131	97	0	0	0	0	122,1	134.555	863	2.080	1,45%
4	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-0	127.183	816	14.653	94	0	0	0	0	108,9	141.836	910	2.126	3,73%
5	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-0	133.675	857	14.287	92	0	0	0	0	101,0	147.962	949	2.166	5,64%
6	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-6	113.965	731	15.960	102	0	0	7.584	49	128,8	137.509	882	2.099	2,37%
7	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-6	127.183	816	14.653	94	0	0	7.584	49	95,5	149.420	958	2.175	6,10%
8	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-6	133.675	857	14.287	92	0	0	7.584	49	87,9	155.545	998	2.214	8,02%
9	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-0	113.965	731	15.218	98	10.500	67	0	0	134,2	139.683	896	2.113	3,05%
10	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-0	126.559	812	13.865	89	10.500	67	0	0	96,6	150.924	968	2.185	6,57%
11	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-0	133.675	857	13.560	87	10.500	67	0	0	87,8	157.735	1.012	2.228	8,70%
12	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-6	113.965	731	15.218	98	10.500	67	7.584	49	119,5	147.267	945	2.161	5,43%
13	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-6	127.183	816	13.866	89	10.500	67	7.584	49	83,4	159.132	1.021	2.237	9,14%
14	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-6	133.675	857	13.560	87	10.500	67	7.584	49	75,0	165.319	1.060	2.277	11,07%

**Abbildung 95: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise und mit Gasheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)**

Abbildung 95 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise und mit Gasheizung.

Die Gesamt-Bauwerkskosten der Referenzvariante in Massivbauweise (Hüllqualität 1, Fensterlüftung, ohne Solaranlage, Gasheizung) wurden mit 2.050 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> angenommen.

Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität (Summe aller Bauteile der Gebäudehülle, verbesserte Luftdichtheit, Wärmebrückenminimierung) gegenüber der Ausführung nach OIB RL 6 betragen  $857 - 731 = 126 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$
- Die Mehrkosten der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung betragen  $67 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$ .
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage betragen  $49 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um  $15 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2, 3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen  $227 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$ . Dies entspricht  $11,07\%$ .

## 18.1.2 Pelletheizung

Nr./Bezeichnung	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Thermie		PEB kWh/m <sup>2</sup> EBF mit HHSB en von mb au	Summe energierelevante Bauteile + Komponenten €	Kosten_energie-relevante_spez €/m <sup>2</sup> EBF	Bauwerkskosten spezifisch €/m <sup>2</sup> EBF	Mehrkosten_Prozent gegenüber OIB RL6(2011) mit gleichem Wärmeerzeuger %
	Kosten		Kosten		Kosten		Kosten						
	EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF					
15 EFHtyp_MA_HU01_FE_PE_SO-0	113.965	731	25.354	163	0	0	4.920	32	155,2	144.239	925	2.142	0,00%
16 EFHtyp_MA_HU02_FE_PE_SO-0	115.082	738	24.948	160	0	0	4.920	32	149,2	144.949	930	2.146	0,21%
17 EFHtyp_MA_HU03_FE_PE_SO-0	119.424	766	23.945	154	0	0	4.920	32	133,0	148.289	951	2.168	1,21%
18 EFHtyp_MA_HU04_FE_PE_SO-0	127.183	816	23.133	148	0	0	4.920	32	118,7	155.236	996	2.212	3,29%
19 EFHtyp_MA_HU05_FE_PE_SO-0	133.675	857	22.511	144	0	0	4.920	32	109,9	161.106	1.033	2.250	5,05%
20 EFHtyp_MA_HU01_FE_PE_SO-6	113.965	731	25.354	163	0	0	8.304	53	139,6	147.623	947	2.164	1,01%
21 EFHtyp_MA_HU04_FE_PE_SO-6	127.183	816	23.134	148	0	0	8.304	53	103,4	158.620	1.017	2.234	4,31%
22 EFHtyp_MA_HU05_FE_PE_SO-6	133.675	857	22.511	144	0	0	8.304	53	94,6	164.490	1.055	2.272	6,06%
23 EFHtyp_MA_HU01_WRG_PE_SO-0	113.965	731	24.092	155	10.500	67	4.920	32	144,7	153.478	984	2.201	2,77%
24 EFHtyp_MA_HU04_WRG_PE_SO-0	127.183	816	21.794	140	10.500	67	4.920	32	104,1	164.397	1.055	2.271	6,04%
25 EFHtyp_MA_HU05_WRG_PE_SO-0	133.675	857	21.276	136	10.500	67	4.920	32	94,6	170.371	1.093	2.309	7,83%
26 EFHtyp_MA_HU01_WRG_PE_SO-6	113.965	731	24.092	155	10.500	67	8.304	53	129,3	156.862	1.006	2.223	3,78%
27 EFHtyp_MA_HU04_WRG_PE_SO-6	127.183	816	21.795	140	10.500	67	8.304	53	89,1	167.782	1.076	2.293	7,05%
28 EFHtyp_MA_HU05_WRG_PE_SO-6	133.675	857	21.276	136	10.500	67	8.304	53	79,8	173.755	1.115	2.331	8,84%

Abbildung 96: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise und mit Pelletheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)

Abbildung 96 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise und mit Pelletheizung.

Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität und der Lüftung sind gleich wie in der Variante mit Gasheizung
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage sind mit 32 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> niedriger als in den Varianten mit Gasheizung, da für die Pelletheizung auch ohne thermische Solaranlage ein größerer Speicher berücksichtigt wurde
- Die Kosten der Pelletheizung liegen (inkl. Pufferspeicher, inkl. Pelletlagerraum) je nach Gebäudeausführung um etwa 7.000 bis 9.000 EUR höher, als die der Gasheizung
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um 27 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2, 3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen 189 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 8,84%.

### 18.1.3 Wärmepumpenheizung

Nr.	Variante	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Thermie		PEB kWh/m <sup>2</sup> GFa mit HHSB	Summe energierelevante Bauteile + Komponenten €	Kosten_energie-relevante_spez €/m <sup>2</sup> ZEBF	Bauwertkosten spezifisch €/m <sup>2</sup> ZEBF	Mehrkosten_Prozent gegenüber OIB RL6(2011) mit gleichem Wärmeerzeuger %
		EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> ZEBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> ZEBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> ZEBF					
29	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-0	113.965	731	24.018	154	0	0	0	0	126,6	137.983	885	2.102	0,00%
30	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_WP_SO-0	115.082	738	23.509	151	0	0	0	0	121,7	138.591	889	2.106	0,19%
31	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_WP_SO-0	119.424	766	22.161	142	0	0	0	0	107,9	141.585	908	2.125	1,10%
32	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-0	127.183	816	21.064	135	0	0	0	0	96,1	148.247	951	2.168	3,13%
33	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-0	133.675	857	20.223	130	0	0	0	0	89,2	153.897	987	2.204	4,86%
34	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-6	113.965	731	24.018	154	0	0	7.584	49	120,0	145.567	934	2.150	2,31%
35	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-6	127.183	816	21.064	135	0	0	7.584	49	89,6	155.831	1.000	2.216	5,45%
36	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-6	133.675	857	20.222	130	0	0	7.584	49	82,7	161.481	1.036	2.252	7,17%
37	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-0	113.965	731	22.401	144	10.500	67	0	0	122,7	146.866	942	2.159	2,71%
38	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-0	127.183	816	19.229	123	10.500	67	0	0	87,9	156.912	1.006	2.223	5,78%
39	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-0	133.675	857	18.576	119	10.500	67	0	0	79,8	162.751	1.044	2.261	7,56%
40	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-6	113.965	731	22.401	144	10.500	67	7.584	49	116,1	154.451	991	2.207	5,03%
41	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-6	127.183	816	19.230	123	10.500	67	7.584	49	81,4	164.496	1.055	2.272	8,09%
42	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-6	133.675	857	18.576	119	10.500	67	7.584	49	73,4	170.335	1.093	2.309	9,87%
43	EFHtyp_MA_HÜ05_KOMP_SO-0	134.465	863	2.700	17	23.538	151	0	0	79,0	160.703	1.031	2.247	6,93%
44	EFHtyp_MA_HÜ05_KOMP_SO-6	134.465	863	2.700	17	23.538	151	6.744	43	82,8	167.447	1.074	2.291	8,99%

Abbildung 97: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)

Abbildung 97 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Einfamilienhaus in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung. Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität, der Lüftung und der thermischen Solaranlage sind gleich wie in der Variante mit Gasheizung
- Die Kosten der Wärmepumpenheizung liegen (inkl. Sonden) je nach Gebäudeausführung um etwa 5.000 bis 8.500 EUR höher, als die der Gasheizung
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um 35 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2,3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen 208 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 9,87%.
- Die beiden Varianten mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat führen zu vergleichsweise niedrigeren Mehrkosten, als die Varianten mit Erdreich-Wärmepumpe.

## 18.2 MFH typisch, massiv

### 18.2.1 Gasheizung

Variantennr.	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Solar		PEB	Summe energierelevante Bauteile + Komponenten	Kosten_energie-relevante_spez	Bauwerkskosten spezifisch	Mehrkosten_Prozent gegenüber OIB RL6(2011) mit gleichem Wärmeverzweurer
	Kosten		Kosten		Kosten		Kosten						
	EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF					
Varianten	inkl. 20% Ust								mit HHSB	€	€/m <sup>2</sup> EBF	€/m <sup>2</sup> EBF	%
MFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0	319.471	453	57.000	81	10.584	15	0	0	125,9	387.055	549	1.500	0,00%
MFHtyp_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0	321.227	455	56.105	80	10.584	15	0	0	123,1	387.916	550	1.501	0,08%
MFHtyp_MA_HÜ03_FE_GA_SO-0	335.417	475	53.262	75	10.584	15	0	0	113,8	399.263	566	1.517	1,15%
MFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-0	350.292	496	51.185	73	10.584	15	0	0	106,7	412.061	584	1.535	2,36%
MFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-0	343.841	487	51.409	73	10.584	15	0	0	107,4	405.834	575	1.527	1,77%
MFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-30	319.471	453	57.000	81	10.584	15	23.520	33	106,4	410.575	582	1.533	2,22%
MFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-30	350.292	496	51.185	73	10.584	15	23.520	33	87,5	435.581	617	1.569	4,59%
MFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-30	343.841	487	51.409	73	10.584	15	23.520	33	88,2	429.354	609	1.560	4,00%
MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-0	319.471	453	53.230	75	55.320	78	0	0	121,2	428.021	607	1.558	3,87%
MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-0	350.292	496	47.000	67	55.320	78	0	0	96,5	452.613	641	1.593	6,19%
MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-0	343.841	487	47.160	67	55.320	78	0	0	97,0	446.321	633	1.584	5,60%
MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-30	319.471	453	53.230	75	55.320	78	23.520	33	101,8	451.541	640	1.591	6,09%
MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-30	350.292	496	47.000	67	55.320	78	23.520	33	77,7	476.133	675	1.626	8,42%
MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-30	343.841	487	47.160	67	55.320	78	23.520	33	78,2	469.841	666	1.617	7,82%

Abbildung 98: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Gasheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)

Abbildung 98 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Gasheizung. Die Gesamt-Bauwerkskosten der Referenzvariante in Massivbauweise (Hüllqualität 1, Fensterlüftung, Gasheizung, ohne Solaranlage) wurden in Anlehnung an [16] mit 1.500 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> angenommen. Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität (Summe aller Bauteile der Gebäudehülle, verbesserte Luftdichtheit, Wärmebrückenminimierung) gegenüber der Ausführung nach OIB RL 6 betragen 487 – 453 = 34 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Aufgrund der günstigeren Hüllgeometrie (weniger Hüllfläche pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche) betragen die Mehrkosten nur etwa ¼ der Werte beim Einfamilienhaus.
- Die Mehrkosten der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung gegenüber der Abluftanlage betragen 63 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage betragen 33 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um 14 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2, 3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen 117 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 7,82%.
- Das Gebäude mit Hülle in Qualität 10er Linie, mit Komfortlüftung und Solaranlage hat geringfügig bessere Energiekennwerte als die Variante in Hüllqualität PH und etwas höhere Kosten.

## 18.2.2 Pelletheizung

Variantennr.	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Solar		PEB	Summe energierelevante Bauteile + Komponenten	Kosten_energie-relevante_spez	Bauwerkskosten spezifisch	Mehrkosten_Prozent gegenüber OIB RL6(2011) mit gleichem Wärmereizener
	Kosten		Kosten		Kosten		Kosten						
	EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF					
Varianten	EUR	EUR/m <sup>2</sup>							mit HHSB	€	€/m <sup>2</sup> EBF	€/m <sup>2</sup> EBF	%
<i>MFH typisch</i>	<i>inkl. 20% Ust</i>												
MFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0	319.471	453	57.000	81	10.584	15	0	0	125,9	387.055	549	1.500	0,00%
MFHtyp_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0	321.227	455	56.105	80	10.584	15	0	0	123,1	387.916	550	1.501	0,08%
MFHtyp_MA_HÜ01_FE_PE_SO-0	319.471	453	72.216	102	10.584	15	7.080	10	134,3	409.351	580	1.532	0,00%
MFHtyp_MA_HÜ02_FE_PE_SO-0	321.227	455	71.033	101	10.584	15	7.080	10	131,3	409.924	581	1.532	0,05%
MFHtyp_MA_HÜ03_FE_PE_SO-0	335.417	475	67.275	95	10.584	15	7.080	10	121,3	420.355	596	1.547	1,02%
MFHtyp_MA_HÜ04_FE_PE_SO-0	350.292	496	64.529	91	10.584	15	7.080	10	113,6	432.485	613	1.564	2,14%
MFHtyp_MA_HÜ05_FE_PE_SO-0	343.841	487	64.825	92	10.584	15	7.080	10	114,4	426.330	604	1.556	1,57%
MFHtyp_MA_HÜ01_FE_PE_SO-30	319.471	453	72.216	102	10.584	15	24.000	34	112,7	426.271	604	1.556	1,57%
MFHtyp_MA_HÜ04_FE_PE_SO-30	350.292	496	64.529	91	10.584	15	24.000	34	92,5	449.405	637	1.588	3,71%
MFHtyp_MA_HÜ05_FE_PE_SO-30	343.841	487	64.825	92	10.584	15	24.000	34	93,3	443.250	628	1.580	3,14%
MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_PE_SO-0	319.471	453	67.232	95	55.320	78	7.080	10	129,0	449.104	637	1.588	3,68%
MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_PE_SO-0	350.292	496	58.997	84	55.320	78	7.080	10	102,1	471.689	669	1.620	5,77%
MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_PE_SO-0	343.841	487	59.208	84	55.320	78	7.080	10	102,6	465.449	660	1.611	5,19%
MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_PE_SO-30	319.471	453	67.232	95	55.320	78	24.000	34	107,4	466.024	660	1.612	5,24%
MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_PE_SO-30	350.292	496	58.997	84	55.320	78	24.000	34	81,3	488.609	693	1.644	7,33%
MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_PE_SO-30	343.841	487	59.208	84	55.320	78	24.000	34	81,8	482.369	684	1.635	6,76%

Abbildung 99: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Pelletheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)

Abbildung 99 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Pelletheizung. Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität und der Komfortlüftung sind gleich hoch, wie in der Varianten mit Gasheizung
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage sind mit 24 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> etwas niedriger, als in der Variante mit Gasheizung
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um 18 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2,3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen 103 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 6,76%.
- Das Gebäude mit Hülle in Qualität 10er Linie, mit Komfortlüftung und Solaranlage hat geringfügig bessere Energiekennwerte als die Variante in Hüllqualität PH und etwas höhere Kosten.

## 18.2.3 Wärmepumpenheizung

Variantennr.	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Solar		PEB kWh/m <sup>2</sup> EBFa	Summe energierelevante Bauteile + Komponenten	Kosten_energie-relevante_spez	Bauwerkskosten spezifisch	Mehrkosten_Prozent gegenüber OIB RL6(2011) mit gleichem Wärmeerzeuger
	Kosten		EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF					
Varianten	EUR	EUR/m <sup>2</sup>							mit HHSB	€	€/m <sup>2</sup> EBF	€/m <sup>2</sup> EBF	%
<i>MFH typisch</i>	inkl. 20% Ust												
MFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-0	319.471	453	102.545	145	10.584	15	0	0	125,6	432.600	613	1.565	0,00%
MFHtyp_MA_HÜ02_FE_WP_SO-0	321.227	455	100.386	142	10.584	15	0	0	122,9	432.197	613	1.564	-0,04%
MFHtyp_MA_HÜ03_FE_WP_SO-0	335.417	475	93.399	132	10.584	15	0	0	113,8	439.400	623	1.574	0,62%
MFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-0	350.292	496	88.179	125	10.584	15	0	0	106,7	449.055	636	1.588	1,49%
MFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-0	343.841	487	88.746	126	10.584	15	0	0	107,4	443.171	628	1.580	0,96%
MFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-30	319.471	453	102.545	145	10.584	15	23.520	33	108,9	456.120	646	1.598	2,13%
MFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-30	350.292	496	88.179	125	10.584	15	23.520	33	89,9	472.575	670	1.621	3,62%
MFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-30	343.841	487	88.746	126	10.584	15	23.520	33	90,6	466.691	661	1.613	3,09%
MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-0	319.471	453	93.320	132	55.320	78	0	0	123,5	468.111	663	1.615	3,22%
MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-0	350.292	496	77.354	110	55.320	78	0	0	97,1	482.967	685	1.636	4,56%
MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-0	343.841	487	77.775	110	55.320	78	0	0	97,6	476.936	676	1.627	4,02%
MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-30	319.471	453	93.320	132	55.320	78	23.520	33	106,7	491.631	697	1.648	5,35%
MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-30	350.292	496	77.354	110	55.320	78	23.520	33	80,4	506.487	718	1.669	6,69%
MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-30	343.841	487	77.775	110	55.320	78	23.520	33	80,8	500.456	709	1.661	6,15%

Abbildung 100: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)

Abbildung 100 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das typische Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung.

Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität und der Komfortlüftung sind gleich hoch, wie in der Varianten mit Gasheizung
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage sind mit 33 EUR/m<sup>2</sup>EBF gleich hoch wie in der Variante mit Gasheizung
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um 35 EUR/m<sup>2</sup>EBF
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2,3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen 97 EUR/m<sup>2</sup>EBF. Dies entspricht 6,15%.
- Das Gebäude mit Hülle in Qualität 10er Linie, mit Komfortlüftung und Solaranlage hat geringfügig bessere Energiekennwerte als die Variante in Hüllqualität PH und etwas höhere Kosten.

## 18.3 MFH groß, massiv

### 18.3.1 Gasheizung

Variantennr.	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Solar		Summe energierelevante Bauteile + Komponenten	Kosten_energie-relevante_spez	Bauwerkskosten spezifisch	Mehrkosten_Prozent gegen Variante mit Gasheizung
	Kosten		Kosten		Kosten		Kosten					
	EUR	EUR/m2	EUR	EUR/m2EBF	EUR	EUR/m2EBF	EUR	EUR/m2EBF				
Varianten									€	€/m2EBF	€/m2EBF	%
MFH groß	inkl. 20% Ust											Referenz: EPHyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0
MFHgr_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0	599.017	390	102.600	67	23.011	15	0	0	724.628	472	1.450	0,00%
MFHgr_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0	588.793	384	102.937	67	23.011	15	0	0	714.742	466	1.444	-0,44%
MFHgr_MA_HÜ03_FE_GA_SO-0	606.017	395	96.443	63	23.011	15	0	0	725.471	473	1.451	0,04%
MFHgr_MA_HÜ04_FE_GA_SO-0	657.103	428	91.466	60	23.011	15	0	0	771.581	503	1.481	2,11%
MFHgr_MA_HÜ05_FE_GA_SO-0	662.187	432	89.948	59	23.011	15	0	0	775.147	505	1.483	2,27%
MFHgr_MA_HÜ01_FE_GA_SO-80	599.017	390	102.600	67	23.011	15	55.320	36	779.948	508	1.486	2,49%
MFHgr_MA_HÜ04_FE_GA_SO-80	657.103	428	91.466	60	23.011	15	55.320	36	826.901	539	1.517	4,60%
MFHgr_MA_HÜ05_FE_GA_SO-80	662.187	432	89.948	59	23.011	15	55.320	36	830.467	541	1.519	4,76%
MFHgr_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-0	599.017	390	93.069	61	122.760	80	0	0	814.845	531	1.509	4,06%
MFHgr_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-0	657.103	428	80.501	52	122.760	80	0	0	860.364	561	1.538	6,10%
MFHgr_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-0	662.187	432	79.320	52	122.760	80	0	0	864.267	563	1.541	6,28%
MFHgr_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-80	599.017	390	93.069	61	122.760	80	55.320	36	870.165	567	1.545	6,54%
MFHgr_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-80	657.103	428	80.501	52	122.760	80	55.320	36	915.684	597	1.575	8,59%
MFHgr_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-80	662.187	432	79.320	52	122.760	80	55.320	36	919.587	599	1.577	8,76%

**Abbildung 101: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das große Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Gasheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)**

Abbildung 101 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das große Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Gasheizung.

Die Gesamt-Bauwerkskosten der Referenzvariante in Massivbauweise (Hüllqualität 1, Fensterlüftung, Gasheizung, ohne Solaranlage) wurden in Anlehnung an [16] mit  $1.400 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$  angenommen.

Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität (Summe aller Bauteile der Gebäudehülle, verbesserte Luftdichtheit, Wärmebrückenminimierung) gegenüber der Ausführung nach OIB RL 6 betragen  $432 - 390 = 42 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$ . Aufgrund der günstigeren Hüllgeometrie (weniger Hüllfläche pro  $\text{m}^2$  Energiebezugsfläche) sind die Mehrkosten deutlich geringer als beim Einfamilienhaus. Da für das große Mehrfamilienhaus aus Brandschutzgründen Mineralfaserdämmung statt EPS (im EFH und MFH typisch) angenommen wurde, liegen die Mehrkosten trotz nochmals günstigerer Geometrie etwas höher, als im typischen Mehrfamilienhaus.
- Die Mehrkosten der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung betragen  $80 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$ , die Mehrkosten gegenüber der Abluftanlage betragen  $65 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$ .
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage betragen  $36 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um  $15 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2, 3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen  $127 \text{ EUR/m}^2_{\text{EBF}}$ . Dies entspricht  $8,76\%$ .

### 18.3.2 Pelletheizung

Variantennr.	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Solar		Summe energierelevante Bauteile + Komponenten	Kosten_energie-relevante_spez	Bauwerkskosten spezifisch	Mehrkosten_Prozent gegen Variante mit Gasheizung
	Kosten		Kosten		Kosten		Kosten					
	EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF				
Varianten	EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	€	€/m <sup>2</sup> EBF	€/m <sup>2</sup> EBF	%
MFHgr_MA_HU01_FE_PE_SO-0	599.017	390	119.280	78	23.011	15	10.680	7	751.988	490	1.468	1,23%
MFHgr_MA_HU02_FE_PE_SO-0	588.793	384	119.675	78	23.011	15	10.680	7	742.160	484	1.461	0,79%
MFHgr_MA_HU03_FE_PE_SO-0	606.017	395	112.057	73	23.011	15	10.680	7	751.765	490	1.468	1,22%
MFHgr_MA_HU04_FE_PE_SO-0	657.103	428	106.218	69	23.011	15	10.680	7	797.012	520	1.497	3,25%
MFHgr_MA_HU05_FE_PE_SO-0	662.187	432	104.437	68	23.011	15	10.680	7	800.315	522	1.499	3,40%
MFHgr_MA_HU01_FE_PE_SO-80	599.017	390	119.280	78	23.011	15	55.800	36	797.108	520	1.497	3,26%
MFHgr_MA_HU04_FE_PE_SO-80	657.103	428	106.218	69	23.011	15	55.800	36	842.132	549	1.527	5,28%
MFHgr_MA_HU05_FE_PE_SO-80	662.187	432	104.437	68	23.011	15	55.800	36	845.435	551	1.529	5,43%
MFHgr_MA_HU01_WRG_PE_SO-0	599.017	390	108.098	70	122.760	80	10.680	7	840.555	548	1.526	5,21%
MFHgr_MA_HU04_WRG_PE_SO-0	657.103	428	93.354	61	122.760	80	10.680	7	883.897	576	1.554	7,16%
MFHgr_MA_HU05_WRG_PE_SO-0	662.187	432	91.968	60	122.760	80	10.680	7	887.595	579	1.556	7,33%
MFHgr_MA_HU01_WRG_PE_SO-80	599.017	390	108.098	70	122.760	80	55.800	36	885.675	577	1.555	7,24%
MFHgr_MA_HU04_WRG_PE_SO-80	657.103	428	93.354	61	122.760	80	55.800	36	929.017	606	1.583	9,19%
MFHgr_MA_HU05_WRG_PE_SO-80	662.187	432	91.968	60	122.760	80	55.800	36	932.715	608	1.586	9,35%

**Abbildung 102: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das große Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Pelletheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)**

Abbildung 102 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das große Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Pelletheizung. Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität betragen 42 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Mehrkosten der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung gegenüber der Abluftanlage betragen 65 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage betragen 29 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um 18 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2,3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen 118 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 8,03%.
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2, 3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage sowie mit Gasheizung betragen 136 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 9,35%.

### 18.3.3 Wärmepumpenheizung

Variantennr.	Summe Hülle		Summe Wärmeversorgung		Summe Lüftung		Summe Solar		Summe energierelevante Bauteile + Komponenten	Kosten_energie-relevante_spez	Bauwerkskosten spezifisch	Mehrkosten_Prozent gegen Variante mit Gasheizung
	Kosten		Kosten		Kosten		Kosten					
	EUR	EUR/m <sup>2</sup>	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF				
Varianten	EUR	EUR/m <sup>2</sup>							€	€/m <sup>2</sup> EBF	€/m <sup>2</sup> EBF	%
MFHgr_MA_HÜ01_FE_WP_SO-0	599.017	390	205.465	134	23.011	15	0	0	827.493	539	1.517	4,62%
MFHgr_MA_HÜ02_FE_WP_SO-0	588.793	384	206.127	134	23.011	15	0	0	817.932	533	1.511	4,19%
MFHgr_MA_HÜ03_FE_WP_SO-0	606.017	395	193.243	126	23.011	15	0	0	822.272	536	1.514	4,39%
MFHgr_MA_HÜ04_FE_WP_SO-0	657.103	428	183.178	119	23.011	15	0	0	863.293	563	1.540	6,23%
MFHgr_MA_HÜ05_FE_WP_SO-0	662.187	432	180.074	117	23.011	15	0	0	865.273	564	1.542	6,32%
MFHgr_MA_HÜ01_FE_WP_SO-80	599.017	390	205.465	134	23.011	15	55.320	36	882.813	575	1.553	7,11%
MFHgr_MA_HÜ04_FE_WP_SO-80	657.103	428	183.178	119	23.011	15	55.320	36	918.613	599	1.576	8,72%
MFHgr_MA_HÜ05_FE_WP_SO-80	662.187	432	180.074	117	23.011	15	55.320	36	920.593	600	1.578	8,81%
MFHgr_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-0	599.017	390	186.438	122	122.760	80	0	0	908.214	592	1.570	8,25%
MFHgr_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-0	657.103	428	160.410	105	122.760	80	0	0	940.274	613	1.591	9,69%
MFHgr_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-0	662.187	432	157.910	103	122.760	80	0	0	942.857	615	1.592	9,81%
MFHgr_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-80	599.017	390	186.438	122	122.760	80	55.320	36	963.534	628	1.606	10,74%
MFHgr_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-80	657.103	428	160.410	105	122.760	80	55.320	36	995.594	649	1.627	12,18%
MFHgr_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-80	662.187	432	157.910	103	122.760	80	55.320	36	998.177	651	1.628	12,30%

**Abbildung 103: Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das große Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung (Ausschnitt aus der Gesamtdatei)**

Abbildung 103 zeigt eine Zusammenstellung der Kosten der energierelevanten Bauteile und Komponenten für das große Mehrfamilienhaus in Massivbauweise und mit Wärmepumpenheizung. Ablesbar sind u.a. die folgenden Teilergebnisse:

- Die Mehrkosten der Gebäudehülle in Passivhausqualität betragen 42 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Mehrkosten der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung gegenüber der Abluftanlage betragen 65 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.
- Die Mehrkosten der thermischen Solaranlage betragen 36 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Kosten des Wärmeversorgungssystems sinken in der Variante mit Hülle 5, Komfortlüftung und Solaranlage um 31 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2,3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, mit gleichem Wärmeversorgungssystem, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage betragen 111 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 7,33%.
- Die Gesamt-Mehrkosten (KG 2,3 und 4) der Variante in Hüllqualität 5 mit Komfortlüftung und thermischer Solaranlage gegenüber der Variante nach OIB RL 6, ohne Komfortlüftung und ohne Solaranlage sowie mit Gasheizung betragen 178 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Dies entspricht 12,30%.

## 18.4 Detaildarstellung: Kosten Einzelbauteile und Komponenten

Im Folgenden werden einige Ergebnisse der Kostenermittlung für die wichtigsten Bauteile und Komponenten exemplarisch dargestellt.

### 18.4.1 EFH massiv – Außenwand

Die Kosten beziehen sich auf die folgende Konstruktion mit variablen Dämmstoffdicken:

Außenwand massiv	Beschreibung Material	Lambda [W/mK]
Schicht 1	Kalkzementputz	1,000
Schicht 2	Hochlochziegel porosiert $\leq 800 \text{ kg/m}^3$	0,250
Schicht 3	Polystyrol (EPS F15 z.B. Röfix EPS-F 031)	0,031
Schicht 4	Silikatputz armiert (z.B. Röfix Silikatputz)	0,700

Abbildung 104: Aufbau Außenwand EFH massiv

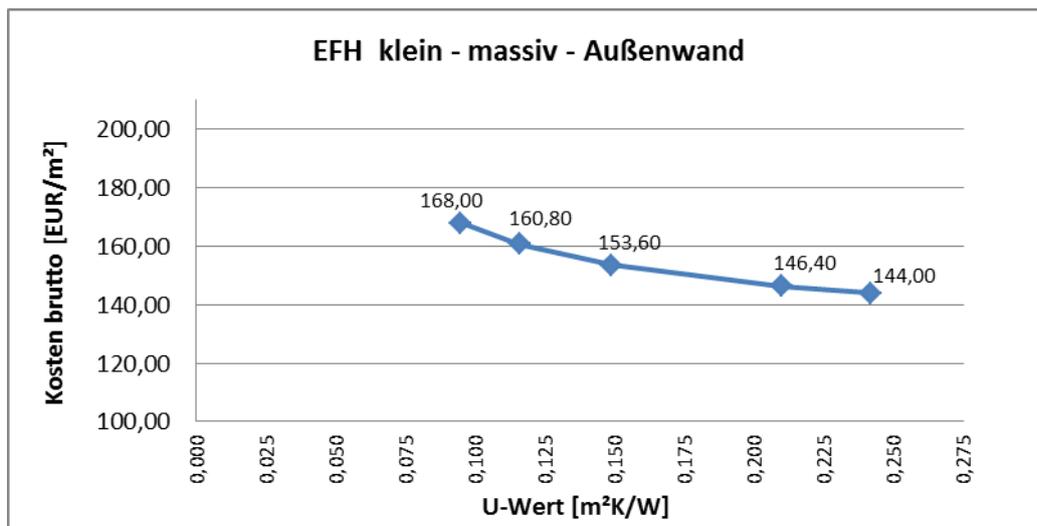


Abbildung 105: Bruttokosten der massiven Außenwand im Einfamilienhaus in Abhängigkeit vom U-Wert

### 18.4.2 EFH massiv – oberste Geschossdecke

Die Kosten beziehen sich auf die folgende Konstruktion mit variablen Dämmstoffdicken:

Oberste Geschossdecke	Beschreibung Material	Lambda [W/mK]
Schicht 1	EPS Dämmplatte	0,031
Schicht 2	Stahlbeton	2,100
Schicht 3	Kalkzementputz	1,000

Abbildung 106: Aufbau oberste Geschossdecke EFH massiv

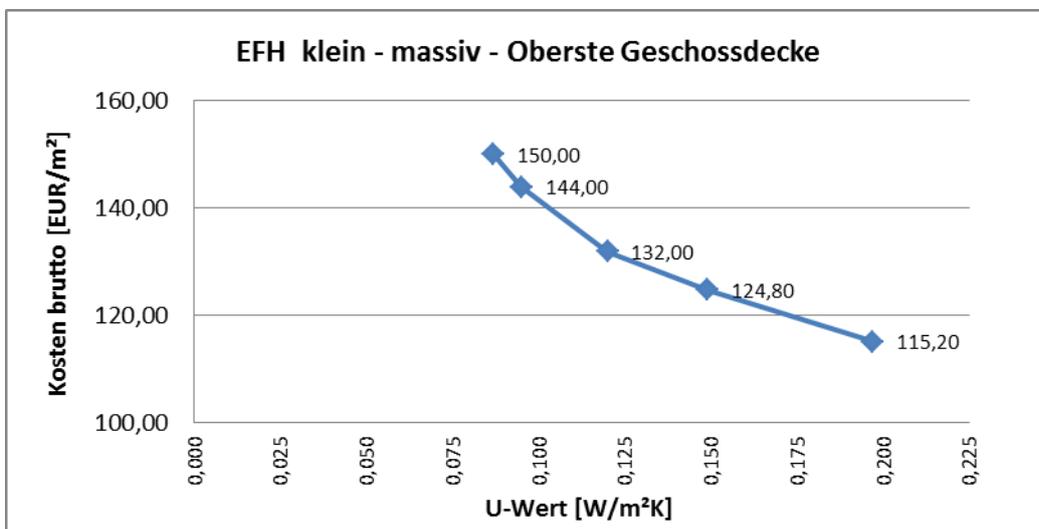


Abbildung 107: Bruttokosten der obersten Geschoßdecke im Einfamilienhaus (massiv) in Abhängigkeit vom U-Wert

### 18.4.3 EFH massiv, Bodenplatte

Die Kosten beziehen sich auf die folgende Konstruktion mit variablen Dämmstoffdicken:

Bodenplatte	Beschreibung Material	Lambda [W/mK]
Schicht 1	Bodenbelag	0,150
Schicht 2	Zementestrich	1,400
Schicht 3	Trittschalldämmung	0,045
Schicht 4	EPS	0,031
Schicht 5	Bitu-Alubahn	0,170
Schicht 6	Stahlbeton	2,100

Abbildung 108: Aufbau Bodenplatte EFH massiv

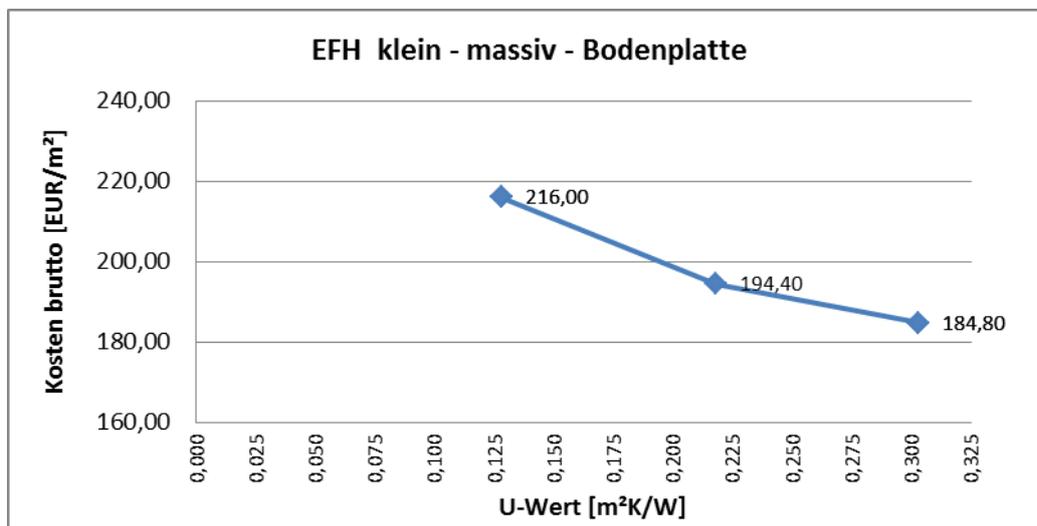


Abbildung 109: Bruttokosten der Bodenplatte im Einfamilienhaus in Abhängigkeit vom U-Wert

#### 18.4.4 EFH Holz – Außenwand

Die Kosten beziehen sich auf die folgende Konstruktion mit variablen Dämmstoffdicken:

Außenwand Holz	Beschreibung Material	Lambda [W/mK]
Schicht 1	Gipsfaserplatte Fermacell	0,320
Schicht 2	Installationsebene Holzfaser-Dämmplatte 12% Holz	0,042 0,130
Schicht 3	OSB Platte Agepan OSB/3 PUR	0,130
Schicht 4	Zellulose 12 % Holz	0,039 0,130
Schicht 5	Pavatex Pavatherm plus	0,043

Abbildung 110: Aufbau Außenwand EFH Holzbauweise

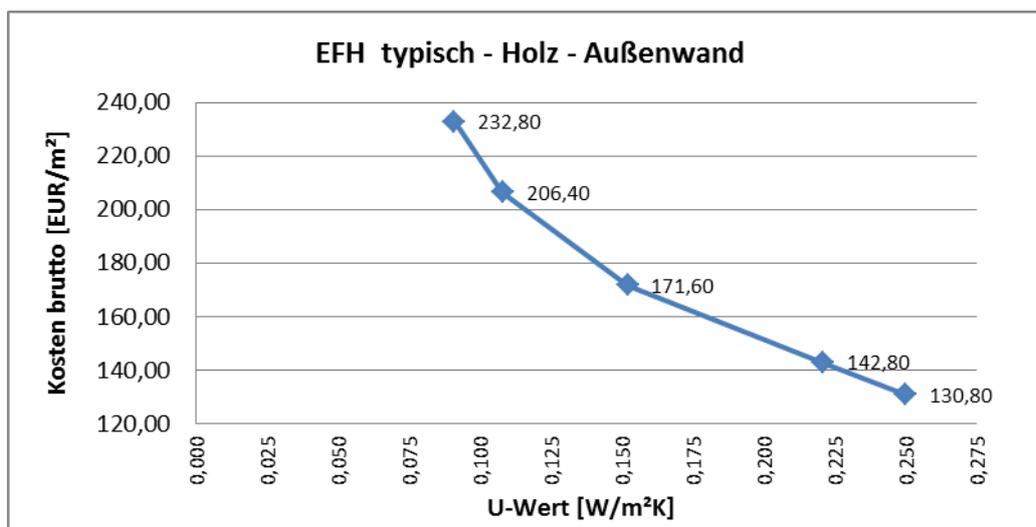


Abbildung 111: Bruttokosten der Außenwand in Holzbauweise im Einfamilienhaus in Abhängigkeit vom U-Wert

Die Mehrkosten für die Verbesserung des Wärmeschutzes fallen für die gewählte, für den Holzbau in Vorarlberg typische Konstruktion höher aus, als für die Massivbauvarianten. Dies liegt daran, dass die besseren Dämmwerte auch durch dickere außenseitige Bepankung aus Holzweichfaserplatten erreicht werden. Die Kosten dieses Dämmstoffs liegen deutlich über denen von EPS oder Mineralfaser.

### 18.4.5 EFH Holz – oberste Geschossdecke

Die Kosten beziehen sich auf die folgende Konstruktion mit variablen Dämmstoffdicken:

Oberste Geschossdecke	Beschreibung Material	Lambda [W/mK]
Schicht 1	Pavatex Pavatherm plus	0,043
Schicht 2	URSA Spannfalz 0.035 12% Holz	0,035 0,130
Schicht 3	OSB Platte Agepan OSB/3 PUR	0,130
Schicht 4	Zellulose 12% Holz	0,039 0,130
Schicht 5	Gipsfaserplatte Fermacell	0,320

Abbildung 112: Aufbau oberste Geschossdecke EFH Holzbauweise

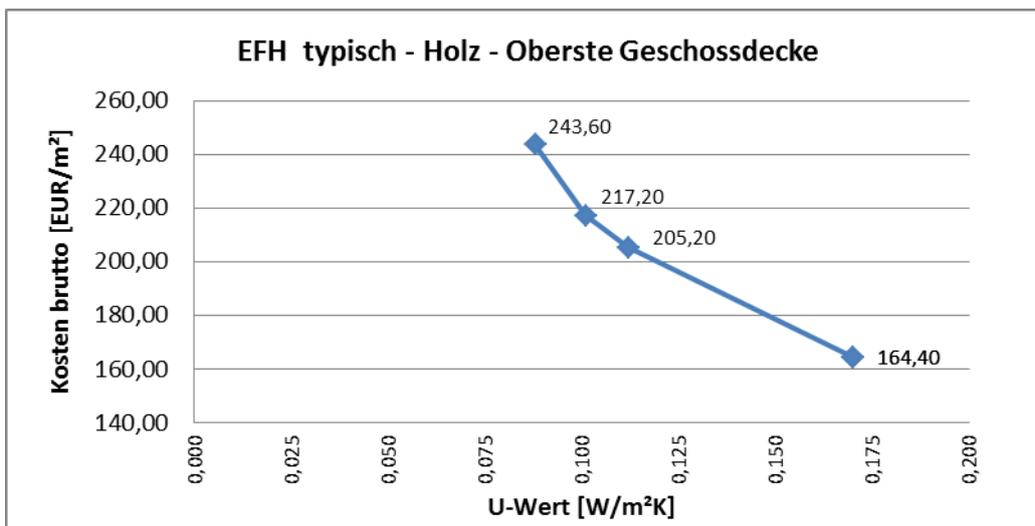


Abbildung 113: Bruttokosten der obersten Geschoßdecke im Einfamilienhaus (Holzbauweise) in Abhängigkeit vom U-Wert

### 18.4.6 EFH Holz – Bodenplatte

Die Kosten beziehen sich auf die folgende Konstruktion mit variablen Dämmstoffdicken:

Bodenplatte	Beschreibung Material	Lambda [W/mK]
Schicht 1	Bodenbelag	0,150
Schicht 2	Zementestrich	1,400
Schicht 3	Trittschalldämmung	0,045
Schicht 4	EPS Dämmplatte	0,031
Schicht 5	Bitu-Alubahn	0,170
Schicht 6	Stahlbeton	2,100

Abbildung 114: Aufbau Bodenplatte EFH Holzbauweise

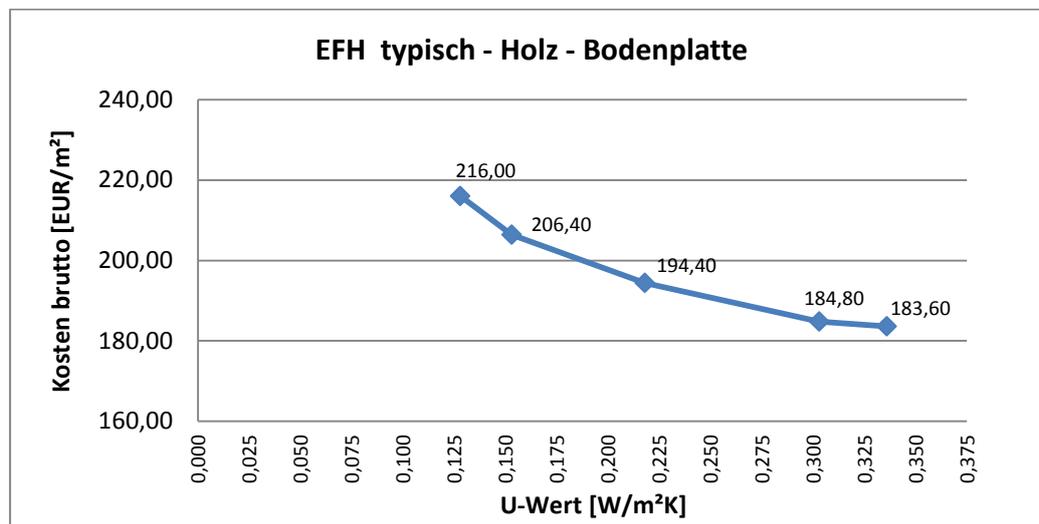


Abbildung 115: Bruttokosten der Bodenplatte im Einfamilienhaus (Holzbauweise) in Abhängigkeit vom U-Wert

### 18.4.7 Fenster

Für die Ermittlung der Fensterpreise wurden Fensteranzahl und -flächen der Referenzgebäude EFH typisch und MFH groß verwendet, die auf den realen Plänen basieren. Die Fensterpreise pro Quadratmeter der beiden Gebäude unterscheiden sich deutlich. Die Fensterkosten für das typische Mehrfamilienhaus wurden aus den Werten für das EFH und das große MFH interpoliert.

Angefragt wurden die Preise bei zwei Fensteranbietern in der Region.

Die Preisanfrage umfasste jeweils zwei Rahmen (Holz-Alu 78mm und Holz-Alu PH Effizienzklasse A) mit mehreren Varianten von Dreifach-Verglasungen.

	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus groß
Anzahl Fenster	24 Stk	152 Stk
Gesamtfläche Fenster	38,17 m <sup>2</sup>	468,39 m <sup>2</sup>
Anzahl Hebe-Schiebetüren	2 Stk	-
Gesamtfläche Hebe-Schiebetüren	9,7 m <sup>2</sup>	-
Anzahl Außentüren	2 Stk	1 Stk
Gesamtfläche Außentüren	3,57 m <sup>2</sup>	4,19 m <sup>2</sup>

Fensterrahmen		
Rahmen	Holz-Alu 78mm	Holz-Alu PH-Effizienzklasse A
U-Wert Rahmen	1,29 W/ m <sup>2</sup> K	0,86 W/ m <sup>2</sup> K

#### Abbildung 116: Ausschreibungsrelevante Daten Fenster

Da die angefragten Fensteranbieter die Verglasungen von unterschiedlichen Herstellern beziehen, wurden in der Studie die Kosten für eine Argon-gefüllte Verglasungsvariante mit einem  $U_g$  von ca. 0,50 W/(m<sup>2</sup>K) und einem g-Wert von etwa 0,50 berücksichtigt.

Für alle Fenster wurden der Gesamtpreis sowie der Preis pro Quadratmeter Fensterfläche erhoben. Unterschieden wurde zwischen Fenstern, Hebe-Schiebetüren und Außentüren. Die Montagekosten wurden gesondert je Kategorie (Fe, HeSchi, Tür) erfasst.

Bei der Auswertung der eingelangten Daten wurde auf eine Unterscheidung zwischen Drehkippenster, Kippenster und Festverglasungen verzichtet und stattdessen ein gemittelter Quadratmeterpreis inklusive Montage für Fenster, für Hebe-Schiebetüren und für Außentüren berechnet.

Die folgenden U-Werte der Fenster wurden mit PHPP ermittelt:

		78er Rahmen	Rahmen PH A
U-Wert Rahmen	W/m <sup>2</sup> K	1,29	0,86
Psi Glasrand	W/mK	0,50	0,025
U-Wert Glas	W/m <sup>2</sup> K	0,49	0,49
g-Wert Glas		0,50	0,50
U-Wert Fenster (1,23 * 1,48m)	W/m <sup>2</sup> K	1,01	0,79

**Abbildung 117: Technische Daten der berücksichtigten Fenster**

Die Fenster mit  $U_w = 1,01 \text{ W/m}^2\text{K}$  wurden für die Berechnungsvarianten mit den Hüllqualitäten 01 bis 03 eingesetzt, die Fenster mit  $U_w = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$  für die Varianten mit Hüllqualitäten 04 und 05. Die in der folgenden Tabelle zusammengefassten Kostendaten entsprechen den Mittelwerten der beiden eingelangten Angebote.

	EFHtyp	MFHgroß	MFH typisch
Preis Fenster 78er Rahmen	38,17 m <sup>2</sup> € 725,8	468,39 m <sup>2</sup> € 579,4	147 m <sup>2</sup> € 688,8
Preis Fenster PHA Rahmen	€ 768,7	€ 593,5	€ 724,4
Preis Hebe-Schiebe 78er	9,7 m <sup>2</sup> € 1.040,2	-	25,3 m <sup>2</sup> € 827,8
Preis Hebe-Schiebe PHA	€ 1.124,4	-	€ 868,8
Preis Haustür 78er	3,57 m <sup>2</sup> € 1.738,6	4,19 m <sup>2</sup> € 656,2	23,3 m <sup>2</sup> € 656,2
Preis Haustür PHA	€ 2.076,4	€ 763,2	€ 763,2

**Abbildung 118: Fensterkosten als Mittelwert der beiden eingelangten Angebote**

#### 18.4.8 Wärmebrücken

Die Kosten für den wärmebrückenoptimierten Fenstereinbau sind in den Montagekosten der Fenster inkludiert.

Für die Optimierung der sonstigen Wärmebrücken wurde in der Passivhausvariante (HÜ05) ein Zuschlag von  $5 \text{ €/m}^2_{\text{EBF}}$  inkl. USt für alle Gebäudetypen angenommen. Dieser Wert entspricht Kostenauswertungen abgerechneter Passivhausprojekte in Österreich [9].

#### 18.4.9 Luftdichtheit

Die Kosten für den luftdichten Einbau der Fenster sind in den Montagekosten der Fenster inkludiert. Die Luftdichtheit wird mit  $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$  für die Varianten mit Hüllqualität 01 und 02 sowie  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$  für die Varianten HÜ 03, 04 und 05 festgelegt. Für die erhöhte Luftdichtheit wurden Kosten von

4 €/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> inkl. USt. im Einfamilienhaus und 2 €/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> inkl. USt. im Mehrfamilienhaus angenommen. Die Luftdichtigkeit der Varianten Passivhaus mit Kompaktgerät (nur im Einfamilienhaus) wird mit  $n_{50} = 0,4 \text{ h}^{-1}$  festgelegt und mit 6 €/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> inkl. USt veranschlagt.

#### 18.4.10 Energierrelevante Haustechnik

Die energierelevante Haustechnik gliedert sich in die Bereiche Wärmeversorgung, Lüftung und Solarthermie. Für jedes Referenzgebäude wurden die drei Wärmeerzeuger Gasbrennwertkessel, Pelletkessel und Sole/Wasser-Wärmepumpe betrachtet, für die PH-Variante des Einfamilienhauses zusätzlich ein Variante mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat.

Die Gebäude wurden jeweils mit Fensterlüftung (bzw. Abluftanlage im MFH) sowie mit Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung untersucht. Für jeden Gebäudetyp wurden Varianten mit und ohne solarthermische Anlage betrachtet.

##### 18.4.10.1 Wärmeerzeugung

Die Kosten der energierelevanten Haustechnik wurden für jedes Gebäude für die energetisch schlechteste Variante (Hülle 1, Fensterlüftung/Abluft, ohne Solaranlage) und für die beste Variante (Hülle 1, Komfortlüftung mit WRG, mit Solarthermie) bei einem Vorarlberger Haustechnik-Planungsbüro abgefragt.

Die Kosten des Wärmeerzeugers, des Pelletlagerraums, des Wärmeabgabesystems Fußbodenheizung und der Erschließung der Wärmequelle Erdreich (für die Wärmepumpe) wurden jeweils basierend auf dem Heizwärmebedarf HWB und der Referenzheizlast interpoliert.

Die drei folgenden Tabellen zeigen die Abhängigkeit der Kosten der Wärmeerzeuger Gas-Brennwertkessel, Pelletkessel und Erdreich-Wärmepumpe exemplarisch am Beispiel des Einfamilienhauses.

Nr.	Variante	EBF	BGF	Wärmeerzeugung				
				Anmerkung	Kosten		Wartung und Instandhaltung	Lebensdauer
Bezeichnung				-	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR/a	a
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Gas, Pellets, Sole/Wasser WP, (ohne Kompaktgerät), Rauchfang nicht berücksichtigt				
	<i>EFH typisch</i>							
1	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.760	56	219	20
2	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.736	56	218	20
3	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.677	56	217	20
4	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.629	55	216	20
5	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.593	55	215	20
6	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-6	156	212	Gas-Brennwert	8.760	56	219	20
7	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-6	156	212	Gas-Brennwert	8.629	55	216	20
8	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-6	156	212	Gas-Brennwert	8.593	55	215	20
9	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.686	56	217	20
10	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.551	55	214	20
11	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-0	156	212	Gas-Brennwert	8.520	55	213	20
12	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-6	156	212	Gas-Brennwert	8.686	56	217	20
13	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-6	156	212	Gas-Brennwert	8.551	55	214	20
14	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-6	156	212	Gas-Brennwert	8.520	55	213	20

Abbildung 119: Kosten des Wärmeerzeugers am Beispiel der Ausführungsvarianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise mit Gaskessel

Die Kosten des Gas-Brennwertkessels sind unabhängig von der Heizlast des Gebäudes nahezu konstant.

Nr.	Variante	EBF	BGF	Wärmeerzeugung				
				Anmerkung	Kosten		Wartung und Instandhaltung	Lebensdauer
Bezeichnung				-	EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR/a	a
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Gas, Pellets, Sole/Wasser WP, (ohne Kompaktgerät), Rauchfang nicht berücksichtigt				
	<i>EFH typisch</i>							
15	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	18.154	116	1.089	20
16	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	17.963	115	1.078	20
17	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	17.491	112	1.049	20
18	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	17.109	110	1.027	20
19	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	16.817	108	1.009	20
20	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_PE_SO-6	156	212	Pelletsessel	18.154	116	1.089	20
21	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_PE_SO-6	156	212	Pelletsessel	17.110	110	1.027	20
22	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_PE_SO-6	156	212	Pelletsessel	16.817	108	1.009	20
23	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	17.560	113	1.054	20
24	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	16.480	106	989	20
25	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_PE_SO-0	156	212	Pelletsessel	16.236	104	974	20
26	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_PE_SO-6	156	212	Pelletsessel	17.560	113	1.054	20
27	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_PE_SO-6	156	212	Pelletsessel	16.480	106	989	20
28	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_PE_SO-6	156	212	Pelletsessel	16.236	104	974	20

Abbildung 120: Kosten des Wärmeerzeugers am Beispiel der Ausführungsvarianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise mit Pelletkessel

Die Kosten des Pelletkessels liegen für die energetisch beste Variante um knapp 2.000 EUR unter denen der Referenzvariante.

Nr.	Bezeichnung	EBF	BGF	Wärmeerzeugung				
				Anmerkung	Kosten		Wartung und Instandhaltung	Lebensdauer
		m2	m2	Gas, Pellets, Sole/Wasser WP, (ohne Kompaktgerät), Rauchfang nicht berücksichtigt				
				-	EUR	EUR/m2 EBF	EUR/a	a
	<i>EFH typisch</i>							
29	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	9.360	60	234	20
30	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	9.288	60	232	20
31	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	9.111	58	228	20
32	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	8.968	58	224	20
33	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	8.858	57	221	20
34	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-6	156	212	Sole/Wasser WP	9.360	60	234	20
35	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-6	156	212	Sole/Wasser WP	8.968	58	224	20
36	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-6	156	212	Sole/Wasser WP	8.858	57	221	20
37	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	9.137	59	228	20
38	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	8.732	56	218	20
39	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-0	156	212	Sole/Wasser WP	8.640	55	216	20
40	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-6	156	212	Sole/Wasser WP	9.137	59	228	20
41	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-6	156	212	Sole/Wasser WP	8.732	56	218	20
42	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-6	156	212	Sole/Wasser WP	8.640	55	216	20

Abbildung 121: Kosten des Wärmeerzeugers am Beispiel der Ausführungsvarianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise mit Erdreich-Wärmepumpe

#### 18.4.10.2 Erschließung der Wärmequelle Erdreich für die Wärmepumpe

Die folgende Tabelle zeigt die Abhängigkeit der Kosten der Quellerschließung der Wärmepumpe vom energetischen Gebäudeniveau am Beispiel des Einfamilienhauses.

Nr.	Bezeichnung	EBF	BGF	Wärmequelle						
				Anmerkung	Länge	Einheitspreis	Gesamtpreis	Kosten/m2 EBF	Wartung und Instandhaltung	Lebensdauer
		m2	m2	WP Tiefensonde						
				-	m	EUR/m Sondenlänge	EUR	EUR/m2EBF	EUR/m2	a
	<i>EFH typisch</i>									
29	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	113	66	7.458	48	0	40
30	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	108	67	7.236	46	0	40
31	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	97	68	6.596	42	0	40
32	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	88	69	6.072	39	0	40
33	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	81	70	5.670	36	0	40
34	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-6	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	113	66	7.458	48	0	40
35	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-6	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	88	69	6.072	39	0	40
36	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-6	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	81	70	5.670	36	0	40
37	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	99	68	6.732	43	0	40
38	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	73	71	5.183	33	0	40
39	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-0	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	68	72	4.896	31	0	40
40	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-6	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	99	68	6.732	43	0	40
41	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-6	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	73	71	5.183	33	0	40
42	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-6	156	212	Entzugsleistung 40W/lfm	68	72	4.896	31	0	40

Abbildung 122: Kosten Erschließung der Wärmequelle der Wärmepumpe am Beispiel der Ausführungsvarianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise mit Erdreich-Wärmepumpe

Die Kosten der Quellerschließung liegen in der energetisch besten Variante um etwa 17 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> unter denen der schlechtesten Variante.

### 18.4.10.3 Wärmeabgabesystem Fußbodenheizung

Die folgende Tabelle zeigt die Abhängigkeit der Kosten der Fußbodenheizung vom Energieniveau des Gebäudes am Beispiel des typischen Mehrfamilienhauses.

Variantennr.	EBF	BGF	Wärmeverteilung Flächenheizung				
			Anmerkung	Kosten		Wartung und Instandhaltung	Lebensdauer
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF	EUR	a
Varianten			-				
MFH typisch				alle Kosten inkl. 20% Ust			
1 MFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	36.000	51	360	35
2 MFHtyp_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	35.215	50	352	35
3 MFHtyp_MA_HÜ03_FE_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	32.718	46	327	35
4 MFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	30.895	44	309	35
5 MFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	31.091	44	311	35
6 MFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-30	706	827	Verlegeabstand variabel	36.000	51	360	35
7 MFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-30	706	827	Verlegeabstand variabel	30.895	44	309	35
8 MFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-30	706	827	Verlegeabstand variabel	31.091	44	311	35
9 MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	32.690	46	327	35
10 MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	27.220	39	272	35
11 MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-0	706	827	Verlegeabstand variabel	27.360	39	274	35
12 MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-30	706	827	Verlegeabstand variabel	32.690	46	327	35
13 MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-30	706	827	Verlegeabstand variabel	27.220	39	272	35
14 MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-30	706	827	Verlegeabstand variabel	27.360	39	274	35

**Abbildung 123: Kosten des Wärmeabgabesystems (Fußbodenheizung) am Beispiel der Ausführungsvarianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise mit Erdreich-Wärmepumpe**

Wird der Verlegeabstand der Fußbodenheizung der geringeren Heizlast angepasst, so reduzieren sich die Kosten um etwa 12 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.

### 18.4.10.4 Lüftung

Die Kosten für die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung wurden getrennt für Lüftungszentrale und für Lüftungskanäle abgefragt. Für die Variante mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat wurden zusätzlich die Kosten einer partiellen Dämmung der Luftverteilkkanäle berücksichtigt.

Quellen für die Kostenangaben sind das Angebot des für die Studie angefragten Haustechnikbüros und die Auswertung der Kosten geförderter Lüftungsanlagen in Vorarlberg. Letztere Kosten wurden 2012 erhoben und indexangepasst.

Abbildung 124 zeigt die Gesamtkosten der Lüftungsanlagen im Einfamilienhaus.

Nr.	Variante	EBF	BGF	Summe Lüftung	
				EUR	JR/m <sup>2</sup> EE
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		
				Kosten	
	<i>EFH typisch</i>				
28	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_PE_SO-6	156	212	10.500	67
29	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-0	156	212	0	0
30	EFHtyp_MA_HÜ02_FE_WP_SO-0	156	212	0	0
31	EFHtyp_MA_HÜ03_FE_WP_SO-0	156	212	0	0
32	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-0	156	212	0	0
33	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-0	156	212	0	0
34	EFHtyp_MA_HÜ01_FE_WP_SO-6	156	212	0	0
35	EFHtyp_MA_HÜ04_FE_WP_SO-6	156	212	0	0
36	EFHtyp_MA_HÜ05_FE_WP_SO-6	156	212	0	0
37	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-0	156	212	10.500	67
38	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-0	156	212	10.500	67
39	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-0	156	212	10.500	67
40	EFHtyp_MA_HÜ01_WRG_WP_SO-6	156	212	10.500	67
41	EFHtyp_MA_HÜ04_WRG_WP_SO-6	156	212	10.500	67
42	EFHtyp_MA_HÜ05_WRG_WP_SO-6	156	212	10.500	67
43	EFHtyp_MA_HÜ05_KOMP_SO-0	156	212	23.538	151
44	EFHtyp_MA_HÜ05_KOMP_SO-6	156	212	23.538	151

Abbildung 124: Kosten des Lüftungssystems am Beispiel der Ausführungsvarianten des Einfamilienhauses in Massivbauweise

Die Gesamtkosten der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung betragen 10.500 EUR, dies entspricht etwa 67 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. In der Studie von e7 werden die Kosten der Komfortlüftung im Einfamilienhaus mit 72 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> angegeben [5].

Die gelb hervorgehobenen Kosten beziehen sich auf spezielle Wärmepumpen-Kompaktaggregate für Gebäude im Passivhausniveau. Diese übernehmen die Aufgaben der Lüftung mit Wärmerückgewinnung, der Gebäudebeheizung und der Warmwasserbereitung. Die Kosten enthalten auch die Mehrkosten der partiell gedämmten Lüftungskanäle und eines Elektroheizkörpers im Bad.

	Variantennr.	EBF	BGF	Summe Lüftung	
				EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Kosten	
				EUR	EUR/m <sup>2</sup> EBF
	<b>Varianten</b>				
	<i>MFH typisch</i>				
1	<b>MFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-0</b>	706	827	10.584	15
2	<b>MFHtyp_MA_HÜ02_FE_GA_SO-0</b>	706	827	10.584	15
3	<b>MFHtyp_MA_HÜ03_FE_GA_SO-0</b>	706	827	10.584	15
4	<b>MFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-0</b>	706	827	10.584	15
5	<b>MFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-0</b>	706	827	10.584	15
6	<b>MFHtyp_MA_HÜ01_FE_GA_SO-30</b>	706	827	10.584	15
7	<b>MFHtyp_MA_HÜ04_FE_GA_SO-30</b>	706	827	10.584	15
8	<b>MFHtyp_MA_HÜ05_FE_GA_SO-30</b>	706	827	10.584	15
9	<b>MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-0</b>	706	827	55.320	78
10	<b>MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-0</b>	706	827	55.320	78
11	<b>MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-0</b>	706	827	55.320	78
12	<b>MFHtyp_MA_HÜ01_WRG_GA_SO-30</b>	706	827	55.320	78
13	<b>MFHtyp_MA_HÜ04_WRG_GA_SO-30</b>	706	827	55.320	78
14	<b>MFHtyp_MA_HÜ05_WRG_GA_SO-30</b>	706	827	55.320	78

**Abbildung 125: Kosten des Lüftungssystems am Beispiel der Ausführungsvarianten des typischen Mehrfamilienhauses in Massivbauweise**

Die Kosten des Abluftsystems betragen für das typische Mehrfamilienhaus etwa 15 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>, die der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung ca. 78 EUR/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. In der Studie von e7 werden die Kosten der Komfortlüftung im Mehrfamilienhaus mit 55 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> angegeben [5].

#### 18.4.10.5 Solaranlage

Die Kosten der thermischen Solaranlagen wurden getrennt nach Kollektor, Speicher und Regelung abgefragt.

Pro Gebäude wurde nur eine Kollektorfläche untersucht. Dabei wurden die folgenden Aperturflächen der Kollektoren angenommen:

- 6 m<sup>2</sup> beim typischen Einfamilienhaus
- 30 m<sup>2</sup> beim typischen Mehrfamilienhaus
- 80 m<sup>2</sup> beim großen Mehrfamilienhaus.

Die verwendeten **Pufferspeichervolumina** in Kombination mit der solarthermischen Anlage betragen



## 19 Zitate

### 19.1 Zitat 1

[1] Artikel (5)

Berechnung der kostenoptimalen Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz  
(1) Die Kommission erstellt mittels delegierter Rechtsakte gemäß den Artikeln 23, 24 und 25 bis zum 30. Juni 2011 einen Rahmen für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten.

Der Rahmen für die Vergleichsmethode wird gemäß Anhang III festgelegt; dabei wird zwischen neuen und bestehenden Gebäuden und unterschiedlichen Gebäudekategorien unterschieden.

(2) Die Mitgliedstaaten berechnen kostenoptimale Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz unter Verwendung des gemäß Absatz 1 festgelegten Rahmens für eine Vergleichsmethode und einschlägiger Parameter, beispielsweise klimatische Gegebenheiten und tatsächliche Zugänglichkeit der Energieinfrastrukturen, und vergleichen die Ergebnisse dieser Berechnung mit den geltenden Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz.

Über die Ergebnisse dieser Berechnung und die der Berechnung zugrunde gelegten Daten und Annahmen erstatten die Mitgliedstaaten der Kommission Bericht. Der Bericht kann den Energieeffizienz-Aktionsplänen gemäß Artikel 14 Absatz 2 der Richtlinie 2006/32/EG beigefügt werden. Die Mitgliedstaaten legen der Kommission diese Berichte in regelmäßigen Abständen, die fünf Jahre nicht überschreiten, vor. Der erste Bericht ist bis 30. Juni 2012 zu übermitteln.

(3) Zeigt das Ergebnis des nach Absatz 2 ausgeführten Vergleichs, dass die geltenden Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz wesentlich weniger energieeffizient sind als die kostenoptimalen Niveaus der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz, so rechtfertigt der betreffende Mitgliedstaat die Differenz schriftlich gegenüber der Kommission in dem Bericht gemäß Absatz 2, dem, soweit die Differenz nicht gerechtfertigt werden kann, ein Plan beigefügt ist, in dem geeignete Schritte dargelegt werden, mit denen die Differenz bis zur nächsten Überprüfung der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz gemäß Artikel 4 Absatz 1 wesentlich verringert werden kann.

## 19.2 Zitat 2

[2], Artikel (2)

Die Festlegung von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten obliegt den Mitgliedstaaten. Die Anforderungen sind mit Blick auf das Erreichen kostenoptimaler Niveaus festzulegen. Die Entscheidung darüber, ob die als Endergebnis der Kostenoptimalitätsberechnungen genutzte nationale Benchmark aus einer makroökonomischen Perspektive (unter Betrachtung der gesamtgesellschaftlichen Kosten und Nutzen von Energieeffizienzinvestitionen) oder nach rein finanziellen Gesichtspunkten (d. h. unter ausschließlicher Betrachtung der Investition) errechnet wird, liegt im Ermessen der Mitgliedstaaten.

Die nationalen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz sollten nicht mehr als 15 % unter den kostenoptimalen Ergebnissen der als nationale Benchmark verwendeten Berechnungen liegen. Das kostenoptimale Niveau muss in dem Bereich der Gesamtenergieeffizienzniveaus liegen, in dem die Kosten-Nutzen-Analyse über die Lebensdauer positiv ausfällt.