



INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT GmbH

Forschungseinrichtung
des Landes Hessen und
der Stadt Darmstadt

Annastraße 15
64285 Darmstadt
Tel. 0 61 51 / 29 04-0
Fax 0 61 51 / 29 04-97

eMail:
info@iwu.de

Gutachten zum energetischen Konzept im Wohngebiet „Weidenborn“ in Wiesbaden

Autoren: Dr. Andreas Enseling, Marc Großklos, Eberhard Hinz, Dr. Jens Knissel
Institut Wohnen und Umwelt

Darmstadt, den 05.11.2008

1 Ausgangslage	1
1.1 Hintergrund.....	1
1.2 Aufgabenstellung.....	1
1.3 Vorgehensweise.....	2
2 Energiebilanzberechnungen für vier Gebäudevarianten	4
3 Mehrkostenabschätzungen	7
3.1 Ermittlung der Mehrkosten.....	7
3.2 Mehrkosten verbesserter Standards.....	10
4 Wirtschaftlichkeitsberechnungen	11
4.1 Ermittlung der Wirtschaftlichkeit.....	11
4.2 Wirtschaftlichkeit verbesserter Standards.....	12
4.3 Grenzen der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	16
5 Hinweise zum Energieversorgungskonzept	18
5.1 Dezentrale Systeme.....	18
5.2 Zentrale Systeme.....	19
5.3 Abschätzung der Effizienz unterschiedlicher Versorgungsvarianten.....	20
5.4 Zusammenfassung aus energetischer Sicht.....	22
5.5 Zusätzliche Hinweise zur Wärmeversorgung.....	23
6 Fazit	25
Literatur	28
Anhang	30
Energiekennwerte von Wohngebäuden.....	30
Mehrkostentabellen.....	32

1 Ausgangslage

1.1 Hintergrund

Der Klimaschutz stellt Deutschland vor erhebliche Herausforderungen. Kurzfristig sind vor allem die Ziele des Kyoto-Protokolls zu erfüllen. Dazu muss die Bundesrepublik im Rahmen der EU-Lastenverteilung im Zielzeitraum 2008 - 2012 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 21 % gegenüber 1990 erreichen. Langfristig ist bis 2050 gemäß den Klimaschutz-Enquetekommissionen des Bundestages eine Absenkung der CO₂-Emissionen um mindestens 80 % anzustreben.

Wenn über Klimaschutzstrategien für den Gebäudesektor gesprochen wird, müssen bereits heute neben den kurzfristigen auch die langfristigen Ziele in die Überlegungen einbezogen werden. Dies gilt vor allem auf Grund der hohen Lebensdauer baulicher Maßnahmen und der großen Zeiträume, die die breite Einführung neuer Technologien benötigt.

Die größten CO₂-Einsparpotentiale bei Wohngebäuden liegen im Bestand, aber auch der Neubau trägt in erheblichem Maße zur CO₂-Bilanz bei, so dass auch die dort erzielten CO₂-Minderungen für die Erreichung von ehrgeizigen Klimaschutzzielen relevant sind. Insgesamt sind in Hessen bei Neubauten bis 2012 Einsparungen von jährlich 25.000 t CO₂ möglich, wenn die gesetzlichen Vorgaben der aktuell geltenden Energieeinsparverordnung (EnEV) um 30 % unterschritten werden [Diefenbach et al 2007].

Die Erreichung der Klimaschutzziele wirft jedoch auch die Frage auf, ob die aus den oben angegebenen Gründen erforderlichen Maßnahmen wirtschaftlich realisiert werden können. Die Refinanzierung der Mehrkosten energiesparender Neubauten unterscheidet sich wesentlich bei selbst genutzten und vermieteten Objekten. Bei selbst genutzten Objekten ist die Refinanzierung bei den gegebenen hohen Energiepreisen über die zukünftig eingesparten Energiekosten auch bei sehr weit reichenden Energiesparstandards in der Regel sicher gestellt. Im Falle der Vermietung kommen die Energiekostensparnisse dagegen dem Mieter zugute, der Vermieter muss sich in erster Linie über die zusätzlichen Mieterträge refinanzieren.

1.2 Aufgabenstellung

Ein Beschluss der Stadtverordnetenversammlung von Wiesbaden vom Dezember 2006 sieht vor, bei Neubauten der Stadt oder der städtischen Gesellschaften den Passivhausstandard anzustreben.

Die GWW Wiesbadener Wohnbaugesellschaft mbH plant eine umfangreiche Neubebauung im Quartier „Weidenborn“. Aufgrund der begrenzten Mietsteigerungspotentiale, der geschätzten Baukosten und des gegebenen Budgets für den Neubau und die (energetische) Modernisierung des Bestandes hält die GWW die Vorgabe des Magistrats im Vergleich zu einem Neubau nach EnEV weder für ökonomisch noch für ökologisch vorteilhaft. Die GWW bietet als Kompromissvorschlag an, bei Neubauten im Quartier „Weidenborn“ eine Begrenzung des spezifischen Heizwärmebedarfs auf 50 kWh/(m²a) anzustreben.

Die GWW möchte durch ein Gutachten geklärt wissen,

- ob die durch die GWW vorgelegten Energiekennwerte und Kosten plausibel sind;
- wie sich die Wirtschaftlichkeit der genannten Varianten bei der zu erzielenden Mietspiegel-miete darstellt;
- wie sich die Warmmieten der unterschiedlichen Varianten entwickeln;
- ob die diskutierten Energieversorgungskonzepte für das Quartier sinnvoll sind.

1.3 Vorgehensweise

Das Gutachten ist in vier Teile gegliedert:

1. Erstellung von Energiebilanzen für vier Gebäudevarianten

Als Untersuchungsbasis des Gutachtens werden für ein geplantes Beispielgebäude der GWW vier Neubauvarianten mit unterschiedlichen energetischen Standards definiert. Als Referenzfall wird eine Variante definiert, die den Mindestanforderungen der geltenden EnEV 2007 gerade entspricht („EnEV 07“). Die energetisch beste Variante stellt ein Passivhaus dar.

Die Erstellung der Energiebilanzen erfolgt auf Basis von Angaben der GWW zur thermischen Hülle des geplanten Neubaus (Flächen: Außenwand, Dach, Fenster inkl. Orientierung und Keller, beheizte Wohnfläche, Geschosshöhe, Zahl der Wohneinheiten). Die Berechnungen erfolgen EnEV-konform, die Bewertung erfolgt umgerechnet auf den m² Wohnfläche.

2. Mehrkostenabschätzung

In einem zweiten Schritt erfolgt eine Mehrkostenabschätzung durch einen "additiven" Ansatz d.h. die Mehrkosten werden ermittelt, indem ausgehend von der Variante „EnEV 07“ die Zusatzkosten für die energetisch besseren Standards bestimmt werden (baulichen Mehrkosten für die erhöhten Dämmstoffdicken bzw. die erhöhten Fensterkosten, Mehrkosten der Lüftungsanlage etc.). Gebäudeentwurf und Konstruktionsart der Bauteile bleiben dabei unverändert.

Die bauteilbezogenen Kostenansätze für die Energiesparmaßnahmen erfolgen auf Basis von im IWU vorhandenen Erfahrungswerten unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Quellen und Untersuchungen. Um die Plausibilität zu erhöhen, werden die verwendeten Kostenansätze mit Kostenansätzen des im Bau von Mehrfamilienhäusern im Passivhausstandard erfahrenen Architekturbüros faktor 10 aus Darmstadt abgeglichen [Rasch 2008].

3. Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit und zur Energieeinsparung

Durch ein im IWU entwickeltes Rechenmodell wird die Wirtschaftlichkeit der definierten Varianten verglichen. Das Rechenmodell basiert auf dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung. Mit Hilfe des Modells kann die Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen unter verschiedenen Gesichtspunkten analysiert werden. Eingabeparameter sind unter anderem die erzielbaren Mieten, sowie die Kosten und Energiekennwerte der untersuchten Gebäudevarianten.

4. Qualitative Hinweise zum Energieversorgungskonzept

Es werden allgemeine qualitative Hinweise zur effizienten Gestaltung des Energieversorgungskonzeptes bei Niedrigenergiehäusern bzw. Passivhäusern gegeben (dezentrale Systeme, Nah-/Fernwärme, Solaranlagen).

2 Energiebilanzberechnungen für vier Gebäudevarianten

Die Energiebilanzen wurden auf der Basis der Daten des Ingenieurbüros Braun & Schlockermann und Partner für den Haustyp 3: Mietshaus groß (ohne Keller und Tiefgarage), berechnet. Das Gebäude hat eine Gebäudenutzfläche nach EnEV von 1163 m², das beheizte Gebäudevolumen beträgt 3637 m³, das A/V-Verhältnis beträgt 0,413 m⁻¹. Die tatsächliche Energiebezugsfläche (näherungsweise entsprechend der vermieteten Wohnfläche) beträgt 1022 m².

Die Energiebilanzen wurden nach dem Monatsverfahren der EnEV 2007 (Neubau), Randbedingungen gemäß DIN 4108-6, Anhang D berechnet. Die Anlagenbewertung erfolgte nach DIN 4701-10 für ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen.

Als Untersuchungsbasis des Gutachtens werden insgesamt vier Gebäudevarianten definiert:

- „EnEV 07“: Das Gebäude entspricht den Mindestanforderungen der EnEV (Neubau). Aus Gründen einer zeitgemäßen Raumlufthygiene wird das Referenzgebäude mit einer einfachen Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung gerechnet, die eine kontinuierliche Grundlüftung gewährleistet. Die Hauptanforderung der EnEV an den Primärenergiekennwert wird bei einem zentral beheizten Gebäude mit Gas-Brennwertkessel exakt erfüllt.

Da jedoch nach Auskunft der GWW für das Neubaugebiet eine Nah/Fernwärmeversorgung als wahrscheinlich erachtet wird, wird für das Referenzgebäude eine fossil beheizte Kraft-Wärmekopplungsanlage mit Nahwärmenetz (NW/KWK/fossil) angesetzt. Durch die KWK-Anlage wird der Primärenergiekennwert auf 67 % der Mindestanforderung nach EnEV reduziert.

Das Gebäude mit NW/KWK/fossil hat einen Endenergiebedarf von ca. 82 kWh/(m²_{Wohnfl.}a) entsprechend gut 8,0 Liter Heizöl / m² Wohnfläche und Jahr. Dieses Gebäude wird als Referenzgebäude definiert.

Eine ökologisch sinnvolle solarthermische Anlage zur Unterstützung der Warmwassererzeugung ist aus ökonomischen Gründen im Zusammenhang mit der angesetzten KWK-Anlage und um die Vergleichbarkeit der hier untersuchten Varianten zu gewährleisten, nicht vorgesehen.

- „GWW Standard“: Als einzige Maßnahme gegenüber dem Referenzgebäude ist die Dämmung der Außenwand 6 cm dicker ausgeführt. Dies entspricht dem üblichen Standard der GWW im Neubau. Bei dieser Variante werden die Mindestanforderungen der EnEV gut erfüllt. Das Gebäude mit NW/KWK/fossil hat einen Endenergiebedarf von ca. 76 kWh/(m²_{Wohnfl.}a) entsprechend ca. 7,5 Liter Heizöl / m² Wohnfläche und Jahr.
- „KfW 40“: Dieses Gebäude hat gegenüber der Referenzvariante einen deutlich verbesserten Wärmeschutz. Die baulichen Maßnahmen entsprechen - abgesehen von der Dämmung der Kellerdecke und der passivhaustauglichen Haustür - denen beim Passivhaus. Allerdings wurde mit einem Wärmebrückenverlustkoeffizient von 0,05 W/(m²K) gerechnet. Damit wurde angenommen, dass keine besonderen Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken geplant wurden und dem entsprechend auch keine weitergehenden zusätzlichen Kosten entstehen. Zudem werden die KfW40-Anforderungen (Primärenergiebedarf Heizung & Warmwasser < 40 kWh/(m²_{An}a) / spezifische Transmissionswärmeverluste 45 % kleiner als der zulässige Grenz-

wert Neubau) ohne den Einsatz einer thermischen Solaranlage oder einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erfüllt. Nach EnEV berechnet hat dieses Gebäude mit NW/KWK/fossil einen Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser von insgesamt ca. 57 kWh/(m²_{Wohnfl.}a).

- „PH“: Dieses Gebäude entspricht in Bezug auf den baulichen Wärmeschutz und die Anlagentechnik in etwa den Anforderungen an ein Passivhaus. Nach EnEV berechnet hat dieses Gebäude mit NW/KWK/fossil einen Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser von insgesamt ca. 40 kWh/(m²_{Wohnfl.}a). Im Rahmen dieser Abschätzung ist die Berechnung nach EnEV ausreichend. Für eine genauere Planung von Passivhäusern empfehlen wir, nicht das Energiebilanzverfahren nach EnEV zu nutzen, sondern auf Planungswerkzeuge zurückzugreifen, die explizit für Passivhäuser entwickelt wurden.

Die folgende Grafik stellt die wesentlichen Unterschiede zwischen dem Niedrigenergiehaus und dem Passivhaus nochmals exemplarisch dar. Im Anhang finden sich weitere Erläuterungen zur Ermittlung von Energiekennwerten von Wohngebäuden.

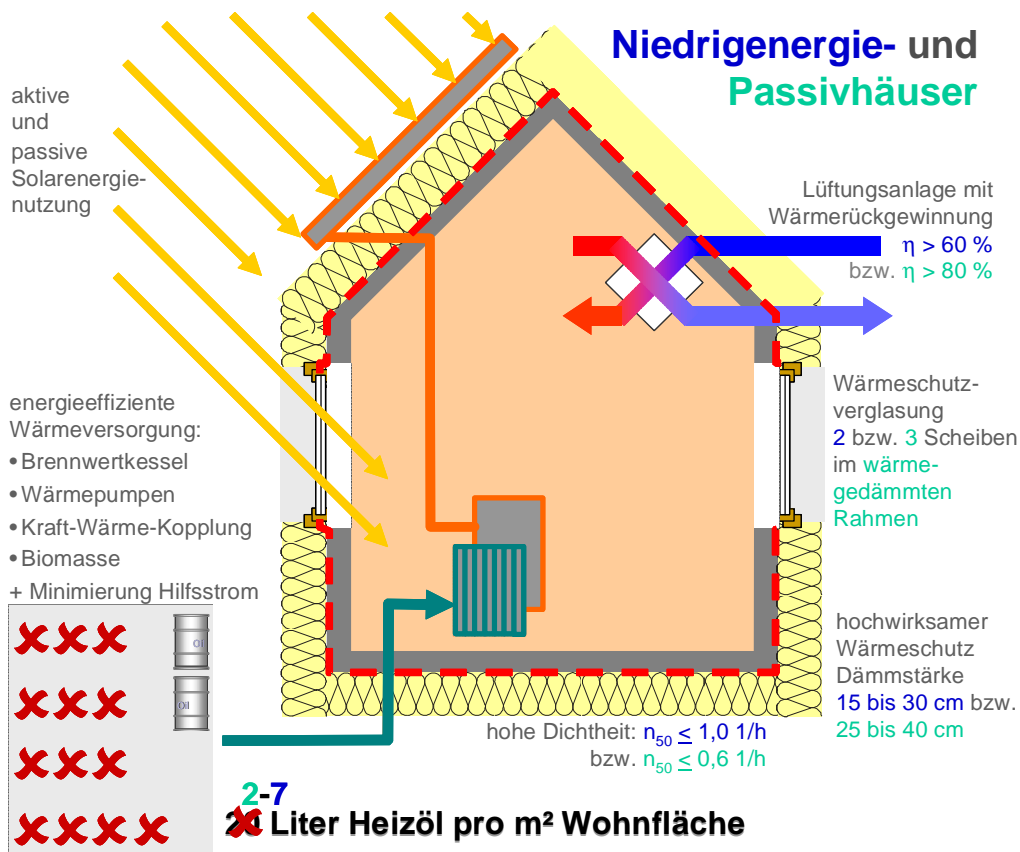


Abbildung 1: Niedrigenergie- und Passivhäuser

Die wesentlichen Kennwerte der vier Gebäudevarianten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Abweichend von der EnEV sind die Energiekennwerte in Tabelle 1 auf die Energiebezugsfläche bezogen dargestellt. Diese entspricht näherungsweise der vermieteten Wohnfläche. Damit ist die Kompatibilität der hier dargestellten Ergebnisse mit den unten dargestellten Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die sich ebenfalls auf die m² vermietete Wohnfläche beziehen, gewährleistet.

Kurzbezeichnung	ENEV 07	GWW - Standard	KfW 40	Passivhaus
U-Werte [W/(m²K)] / Dämmdicke / Wärmeleitfähigkeiten Dämmstoff [W/(mK)]				
Flachdach	0,25 / 17 cm / 0,040	0,25 / 17 cm / 0,040	0,11 / 40 cm / 0,040	0,11 / 40 cm / 0,040
Dachterrasse	0,24 / 14 cm / 0,035	0,24 / 14 cm / 0,035	0,13 / 25 cm / 0,035	0,13 / 25 cm / 0,035
Außenwand	0,37 / 8 cm / 0,035	0,23 / 14 cm / 0,035	0,13 / 25 cm / 0,035	0,13 / 25 cm / 0,035
Kellerdecke	0,35 / 5 cm / 0,035	0,35 / 5 cm / 0,035	0,35 / 8 cm / 0,035	0,12 / 25 cm / 0,035
Fenster	1,3 / 2-WSV	1,3 / 2-WSV	0,8 / 3-WSV	0,8 / 3-WSV
Wärmebrückenverlustkoeffizient	0,05 W/(m² _{Hüll} K)	0,05 W/(m² _{Hüll} K)	0,05 W/(m² _{Hüll} K)	Kein Zuschlag
Anlagentechnik				
Lüftung	Abluftanlage	Abluftanlage	Abluftanlage	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Wärmebereitstellungsgrad 80 %
Heizung & Warmwasser	KWK fossil, Nahwärmenetz	KWK fossil, Nahwärmenetz	KWK fossil, Nahwärmenetz	KWK fossil, Nahwärmenetz
Heizwärmebedarf [kWh/(m²_{Wohnfl.}a)] (Nutzenergie)				
Heizwärme	51	46	33	29
Kennwerte Heiz & WW [kWh/(m²_{Wohnfl.}a)]				
Endenergie	82	76	57	41
Primärenergie	64	60	45	37
CO₂-äquivalente Emissionen [kg/m²_{Wohnfl.}a]				
CO ₂ -äqui.	23,2	21,5	20,6	13,5
Haupt- und Nebenanforderungen EnEV2007				
spez. Transmissionswärmeverluste H _T	0,564 W/(m²K) entspr. 85 % des Grenzwertes	0,502 W/(m²K) entspr. 76 % des Grenzwertes	0,328 W/(m²K) entspr. 50 % des Grenzwertes	0,259 W/(m²K) entspr. 39 % des Grenzwertes
Primärenergiebedarf Q _P ' (bez. auf A _n)	56,1 kWh/(m²a) entspr. 67 % des Grenzwertes	52,3 kWh/(m²a) entspr. 62 % des Grenzwertes	39,5 kWh/(m²a) entspr. 47 % des Grenzwertes	32,1 kWh/(m²a) entspr. 38 % des Grenzwertes

Tabelle 1: Kennwerte der definierten Gebäudevarianten

3 Mehrkostenabschätzungen

Im Folgenden werden am Beispiel des Gebäudemodells und der Ausführungsvarianten aus Kapitel 2 die Mehrkosten abgeschätzt, die sich beim Neubau ergeben, wenn die gesetzlichen Vorgaben der momentan gültigen EnEV 2007 unterschritten werden.

Die Mehrkosten werden in der vorliegenden Untersuchung ermittelt, indem ausgehend von einem Gebäudeentwurf die Zusatzkosten für die besseren Standards beispielsweise in Form von Zusatzkosten für die höheren Dämmstoffdicken bestimmt werden. Gebäudeentwurf und Konstruktionsart der Bauteile bleiben dabei unverändert. Dies entspricht einem „additiven“ Ansatz.

3.1 Ermittlung der Mehrkosten

Bei der Abschätzung der Mehrkosten werden folgende Anteile berücksichtigt:

- Bauliche Mehrkosten entsprechend den Zusatzkosten für die erhöhten Dämmstoffdicken bzw. die erhöhten Fensterkosten
- Kosten für passivhaustaugliche Hauseingangstüren bei der Variante „PH“
- Mehrkosten der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bei der Variante „PH“
- Planerische Mehrkosten: 10 % der baulichen und anlagenspezifischen Mehrkosten

Zudem wird die Mehrwertsteuer in Höhe von 19 % hinzugerechnet, so dass es sich bei den angegebenen Gesamtkosten um Bruttowerte handelt.

Die bauteilbezogenen Kostenansätze für die Energiesparmaßnahmen erfolgen auf Basis von im IWU vorhandenen Erfahrungswerten. Um die Plausibilität zu erhöhen, werden mehrere Quellen betrachtet und zusätzlich mit Kostenansätzen des im Bau von Mehrfamilienhäusern im Passivhausstandard erfahrenen Architekturbüros faktor 10 aus Darmstadt abgeglichen. Hieraus wird anschließend eine sinnvolle Annahme für die Berechnung getroffen. Die in der weiteren Berechnung verwendeten Werte sind in den Tabellen grün hinterlegt.

Bauliche Mehrkosten

Die baulichen Mehrkosten bei Außenwand, Dach und Keller werden über Zuwachskosten je cm Dämmstoffdicke beschrieben. Bei der Außenwand wird von einem Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol ausgegangen. Auch bei den sehr gut gedämmten Varianten wird kein Wechsel der Konstruktionsart vorgenommen, auch wenn dies möglicherweise zu Kosteneinsparungen führen würde.

	[Darup 2003]	[Hinz 2004]	[Knissel 96]	Preislisten von Herstellern 2006			[Knissel 07]	Verwendet
				Steildach Klemmfilz WLG 035	Unterspar- rendäm. EPS WLG 035	Flachdach EPS WLG 035		
	€ je zusätzlichem cm Dämmstoffdicke pro m ² Bauteilfläche (netto)							
Wand (WDVS EPS)	1,07	1,38	1,25				1,40	1,40
Dach	1,00		0,75	0,5	0,94	1,11	1,00	1,10
Kellerdecke oberste GD	0,75	0,97 0,48	2,00				1,00 0,50	1,00 0,50

Tabelle 2: Zuwachskosten in € je zusätzlichem cm Dämmstoffdicke und m² Bauteilfläche

Faktor 10 rechnet für ein Passivhaus mit Zuwachskosten für die Dämmung der Hüllfläche von ca. 30 €/m² Hüllfläche (inkl. MwSt.). Beim gegebenen Gebäudemodell mit 1.182 m² Hüllfläche resultieren daraus Mehrkosten für die Dämmung in Höhe von ca. 35.400 € (inkl. MwSt.) bzw. 29.800 € (ohne MwSt.). Setzt man die oben grün unterlegten Werte für die bauteilspezifischen Zuwachskosten an (siehe Anhang) ergeben sich für die Variante „PH“ Mehrkosten der Dämmung in Höhe von 27.034 € (ohne MwSt.). Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung.

Die Mehrkosten der 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Passivhausrahmen pro m² Fensterfläche sind in Tabelle 3 dargestellt. Die von Faktor 10 angegebenen Mehrkosten von 22 €/m² Wohnfläche (brutto) rechnen sich im gegebenen Gebäudemodell um zu 59 €/m² Fensterfläche (netto). Dies kann als Mindestwert angesehen werden, der noch nicht in jedem Fall zu realisieren ist. In die Berechnungen geht daher im Rahmen einer konservativen Abschätzung ein Wert von 110 €/m² Fensterfläche ein.

	[Hinz 2004]	[Darup 2003]	[Feist 2000]	[Knissel 07]	[Rasch 08]	Verwendet
	€/m ² _{FE} (netto)					
2-Scheiben WSV - normaler Rahmen	333	275				
3-Scheiben WSV - PH-Rahmen	479	393				
Mehrkosten	146	118	78 bis 117	125	59	110

Tabelle 3: Mehrkosten von Fenstern mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und Passivhausrahmen

Passivhaustaugliche Hauseingangstüren

Im Passivhaus müssen passivhaustaugliche Hauseingangstüren verwendet werden. Die Mehrkosten belaufen sich nach faktor 10 auf ca. 3,8 €/m²_{WF} (netto) [Rasch 2008].

Mechanische Lüftungsanlage als Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

In der Variante „PH“ wird eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung benötigt. Die Kosten hierfür können Tabelle 4 entnommen werden.

		[Darup 2003] erste Schätzung MFH	Leistungs- verz. MFH	Schwörer 2007 MFH	ebök 2007 MFH	[Knissel 07] MFH	[Rasch 08] MFH	verwendet
Gerät	€/Stück	2332		2800				
Rohrnetz	€/WE	2383		1200				
Montage	€/WE	777		1000				
gesamt	€/WE	5492	6642	5000				
Energiebezugsfläche	m ² /WE	149	149	100				
spezifische Kosten	€/m ² _{EBZ}	37	45	50	60	45	42-92	80

Tabelle 4: Kosten für Zu- und Abluftanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung (netto)

Je nach Gebäudetyp, Wohnungsmix und Wohnungsgrößen muss vor dem Hintergrund der Investitions- und Unterhaltungskosten die Entscheidung für eine zentrale oder dezentrale Anlage getroffen werden. Nach faktor 10 können die Kosten dabei zwischen 42 und 92 €/m²_{WF} (netto) liegen. Die Kosten für Zu- und Abluftanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung werden hier konservativ mit 80 €/m²_{WF} abgeschätzt. Bei der hier unterstellten dezentralen Anlage fallen keine zusätzlichen Mehrkosten für Brandschutzeinrichtungen an. Weist ein MFH relativ große Wohneinheiten auf, können die spezifischen Kosten für Zu- und Abluftanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung niedriger liegen [Rasch 08].

Da im vorliegenden Fall die Mehrkosten gegenüber „EnEV 07“ berechnet werden und in dieser Variante aus Gründen der Luftqualität und des Feuchteschutzes eine Lüftungsanlage vorgesehen ist, wird eine entsprechende Reduktion der Investitionskosten der Lüftungsanlage mit WRG durchgeführt. Die Kosten einer reinen Abluftanlage belaufen sich auf etwa 15 €/m²_{WF}.

Einsparungen bei den Heizkörpern

Bei der Variante „PH“ wird davon ausgegangen, dass die Beheizung der Zuluft mittels eines Nachheizregisters in der Lüftungsanlage erfolgt. Damit könnte in der Regel (bis auf das Bad) auf die raumweisen Heizkörper verzichtet werden. Eine Kostenreduktion durch den Wegfall der Heizkörper sollte aber laut faktor 10 nicht erfolgen, da das Nachheizregister soviel kostet wie zwei bis drei Heizkörper einschließlich der Vor- und Rücklaufleitungen. Außerdem ist es möglich, dass bei einem energetisch sehr ungünstig gelegenen Zimmer aus Komfortgründen ein Heizkörper noch gebraucht wird [Rasch 08]. Aus diesen Gründen werden für das vorliegende Gutachten keine Kosteneinsparungen für Wärmeverteilung und Heizkörper angesetzt.

3.2 Mehrkosten verbesserter Standards

Im Folgenden wird auf der Grundlage von Kap. 3.1 abgeschätzt, wie hoch die investiven Mehrkosten zum Erreichen der gegenüber EnEV 2007 verbesserten Standards sind. Die Berechnungen sind im Anhang ausführlich dokumentiert. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse.

Mehrkosten gegenüber EnEV 07		GWW Standard	KfW 40	PH
Energiebezugsfläche	m ²	1022,0	1022,0	1022,0
Gebäudenutzfläche	m ²	1163,7	1163,7	1163,7
Mehrkosten gesamt (brutto)	€	7.287	74.662	172.453
flächenspezifische Mehrkosten	€/m ² WF	7,1	73,1	168,7
flächenspezifische Mehrkosten	€/m ² An	6,3	64,2	148,2

Tabelle 5: Investive Mehrkosten gegenüber der Mindestanforderung (EnEV 07)

Für die Variante „PH“ wurden für das untersuchte Beispielgebäude Mehrkosten in Höhe von ca. 169 €/m²_{WF} (inkl. MwSt) ermittelt. In die nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen geht dieser Wert ein.

Schwankungen in den Mehrkosten können beim untersuchten Beispielgebäude durch mögliche Abweichungen von den verwendeten Kostenansätzen z.B. für Passivhausfenster und die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung entstehen. Ein alternatives Beispielgebäude könnte daneben selbst bei gleichen Kostenansätzen andere Mehrkosten aufweisen. Dies ergibt sich aus dem jeweiligen Gebäudeentwurf (AV-Verhältnis, Fensterfläche je Orientierung ...), der jeweiligen Baukonstruktion (Steildach-Flachdach ...) und dem gewählten Wärmeschutz- und Anlagenkonzept (Dämmstoffdicken je Bauteil, Berücksichtigung von 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, Lüftungsanlage, thermische Solaranlage, ...). In der Praxis können die Mehrkosten für ein Passivhaus darüber hinaus auch nach oben abweichen, z.B. wenn in Pilotprojekten fallweise höhere Planungsaufwendungen entstehen, wenn aufgrund der Integration von Lüftungsleitungen Raumanhebungen zur Sicherstellung der Wohnqualität als notwendig angesehen werden oder wenn innerstädtische Grundstücke vollständig ausgenutzt werden sollen und sich reale Wohnflächenverluste durch die zusätzliche Wärmedämmung der Außenwand nicht vermeiden lassen. Das Ergebnis der Mehrkostenabschätzung kann somit immer nur eine Größenordnung angeben.

Die Mehrkosten werden in der vorliegenden Untersuchung ermittelt, indem ausgehend von einem Gebäudeentwurf die Zusatzkosten für die besseren Standards „additiv“ bestimmt wurden. Gebäudeentwurf und Konstruktionsart der Bauteile bleiben dabei unverändert. Die Praxis zeigt jedoch, dass insbesondere beim Passivhaus die oben genannten Mehrkosten durch einen angepassten Gebäudeentwurf und eine angepasste Bauteilkonstruktion („integrierter“ Ansatz) reduziert werden können.

4 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

4.1 Ermittlung der Wirtschaftlichkeit

Durch das im IWU entwickelte „Calculation Model“ wird die Wirtschaftlichkeit der definierten Varianten verglichen. Das „Calculation Model“ ist ein Rechentool auf Basis von dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung. Mit Hilfe des Tools kann die Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen unter verschiedenen Gesichtspunkten analysiert werden. Eingabeparameter sind u.a. die erzielbaren Mieten, sowie die Kosten und Endenergiekennwerte der vier Gebäudevarianten [Ensling, Behle 2006].

Es erfolgt auf dieser Basis:

- Eine Berechnung der Energiekosteneinsparung der verbesserten Standards im Vergleich zu „EnEV 07“.
- Ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit (Gesamtertrag/Kapitalwert) der Neubauvarianten bei gegebener Mietspiegelmiets.
- Eine Berechnung der Warmmietenentwicklung der Mieter für alle Varianten im 1. Jahr, im 5. Jahr und im 10. Jahr.
- Eine Berechnung der notwendigen Neubaumiets für die Variante „PH“, damit auch ohne zusätzliche Förderung der gleiche Kapitalwert wie bei „GWW-Standard“ erzielt wird.

Das wesentliche Merkmal von dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung ist es, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen mit Hilfe der Zinseszinsrechnung auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt ab- oder aufzudiskontieren. Somit haben Einnahmen und Ausgaben nicht nur über ihren Betrag, sondern auch über den Zeitpunkt des Cashflows einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis. Dies ist der entscheidende Vorteil gegenüber den statischen Verfahren.

Zu den dynamischen Verfahren zählen u.a. die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode und die interne Zinsfußmethode.

Der Kapitalwert einer Investition ist die Summe aller mit dem Kalkulationszinssatz auf den Zeitpunkt $t = 0$ diskontierten Investitionszahlungen (Jahresüberschüsse).

Die Kapitalwertmethode setzt voraus, dass der Investor weiß, welchen "Zinsgewinn" er aus einer Investition mindestens erwirtschaften will. Diese – vom Marktzins und Risikogesichtspunkten abhängige – Mindestverzinsung nennt man Kalkulationszinssatz.

Die Kapitalwertmethode prüft, ob in einer Investition zumindest der gewählte Kalkulationszinssatz steckt und die Investition somit vorteilhaft ist (Kapitalwert > 0 bei der Beurteilung einer Einzelinvestition). Aus einer Menge von Investitionsalternativen ist diejenige Alternative optimal, die den größten Kapitalwert aufweist [Ensling et al 2006].

4.2 Wirtschaftlichkeit verbesserter Standards

Energiekosteneinsparung

Ausgehend von den ermittelten Endenergiekennwerten wird die Energiekosteneinsparung der energetisch effizienteren Varianten ermittelt. Für die Berechnung wurden folgende Randbedingungen angenommen:

- Endenergiekennwerte: siehe Tabelle 1
- Betrachtungszeitraum: 25 Jahre
- Kalkulationszins: 5 %
- Aktueller Energiepreis (Arbeitspreis; ESWE Economy Gas ab 1.10.2008): 6,77 Cent/kWh
- Energiepreissteigerung: 3 %/a / 5 %/a

Basierend auf diesen Randbedingungen ergeben sich folgende Energiekosteneinsparungen pro m² Wohnfläche und Jahr im Vergleich zu „EnEV 07“:

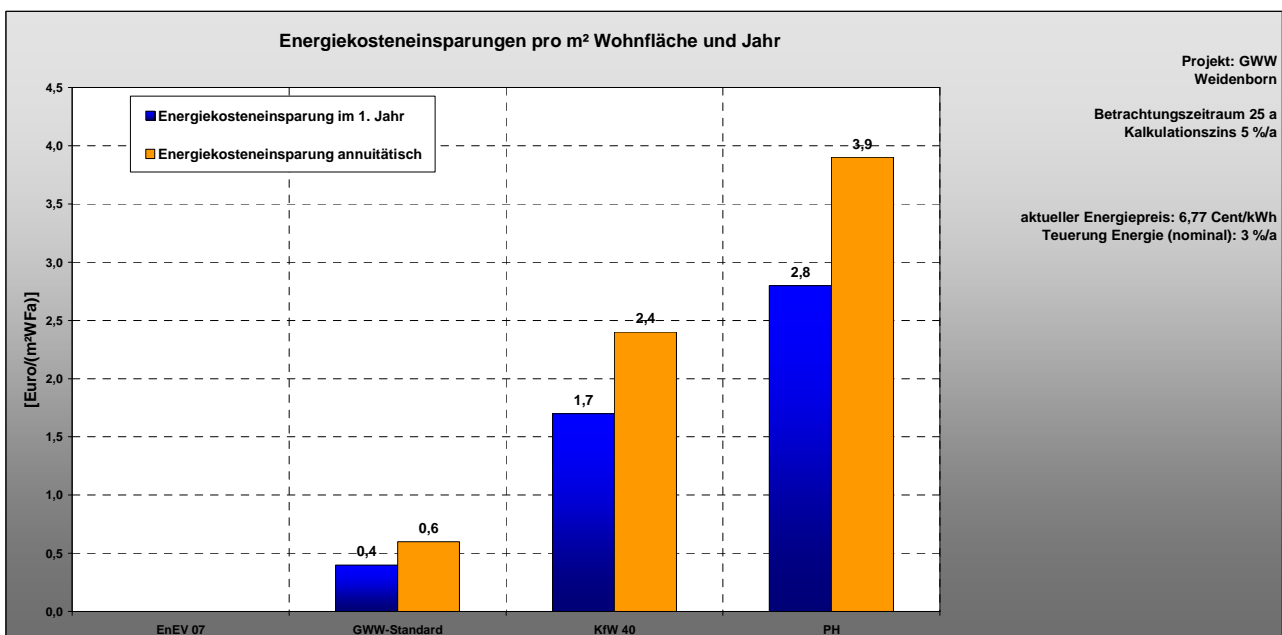


Abbildung 2: Energiekosteneinsparungen pro m² Wohnfläche

In Abbildung 4 dargestellt sind jeweils die Energiekosteneinsparungen im Jahr der Maßnahme und die jährlichen (annuitätischen) Energiekosteneinsparungen die sich über den Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreissteigerung von 3 %/a ergeben. Die annuitätischen Energiekosteneinsparungen liegen zwischen 0,6 €/ (m²a) für die Variante „GWW-Standard“ und 3,9 €/ (m²a) für die Variante „PH“. Bei einer zukünftigen Energiepreissteigerung von

5 %/a liegen die annuitätischen Energiekosteneinsparungen zwischen 0,7 €/m²a für die Variante „GWW-Standard“ und 4,9 €/m²a für die Variante „PH“.

Warmmietenentwicklung

Basierend auf den berechneten Energiekosten kann die Entwicklung der Warmmieten für die Varianten berechnet werden. Es wird davon ausgegangen, dass für alle Varianten eine Kaltmiete von 8,48 €/m²Monat (Wiesbaden; Mietspiegel Mitte) erzielt wird. Es wird von einer durchschnittlichen Steigerungsrate der Kaltmiete von 1,5 %/a ausgegangen. Bezüglich der Energiepreise gelten die oben getroffenen Annahmen (Ausgangspreis 6,77 Cent/kWh, 3 %/a Energiepreissteigerung).

Allgemeine Angaben					
Projekt		GWW			
Adresse		Weidenborn			
Kennung		MFH			
Baujahr		2008			
Variantenbezeichnung	[-]	EnEV 07	GWW-Standard	KfW 40	PH
Kaltmiete	[€/m ² Mon]	8,48	8,48	8,48	8,48
Energiekosten	[€/m ² Mon]	0,46	0,43	0,32	0,23
Warmmiete 1. Jahr	[€/m ² Mon]	8,94	8,91	8,80	8,71
Warmmiete 5. Jahr	[€/m ² Mon]	9,52	9,48	9,36	9,26
Warmmiete 10. Jahr	[€/m ² Mon]	10,30	10,26	10,12	10,00

Tabelle 6: Warmmietenentwicklung (3 %/a Energiepreissteigerung; 1,5 %/a Steigerung Kaltmiete)

Tabelle 6 zeigt die Warmmietenentwicklung der unterschiedlichen Varianten im ersten, fünften und zehnten Jahr. Der Unterschied der Warmmieten zwischen „EnEV 07“ und „PH“ - d.h. die Entlastung der Mieter im Passivhaus bzw. die Mehrbelastung der Mieter im EnEV-Neubau aufgrund der Energiekosten - beträgt im ersten Jahr 0,23 €/m²Monat, im fünften Jahr 0,26 €/m²Monat und im zehnten Jahr 0,30 €/m²Monat.

Geht man bei sonst gleichen Annahmen von einer Energiepreissteigerung von 5 %/a aus beträgt der Unterschied der Warmmieten zwischen „EnEV 07“ und „PH“ im ersten Jahr 0,23 €/m²Monat, im fünften Jahr 0,28 €/m²Monat und im zehnten Jahr 0,36 €/m²Monat (Tabelle 7).

Allgemeine Angaben					
Projekt		GWW			
Adresse		Weidenborn			
Kennung		MFH			
Baujahr		2008			
Variantenbezeichnung	[-]	EnEV 07	GWW-Standard	KfW 40	PH
Kaltmiete	[€/m ² Mon]	8,48	8,48	8,48	8,48
Energiekosten	[€/m ² Mon]	0,46	0,43	0,32	0,23
Warmmiete 1. Jahr	[€/m ² Mon]	8,94	8,91	8,80	8,71
Warmmiete 5. Jahr	[€/m ² Mon]	9,56	9,52	9,39	9,28
Warmmiete 10. Jahr	[€/m ² Mon]	10,42	10,37	10,20	10,06

Tabelle 7: Warmmietenentwicklung (5 %/a Energiepreissteigerung; 1,5 %/a Steigerung Kaltmiete)

Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Wohnungsunternehmens

Bei selbst genutzten Objekten ist die Refinanzierung der Mehrkosten bei den gegebenen hohen Energiepreisen über die zukünftig eingesparten Energiekosten (siehe oben) auch bei weit reichen-

den Energiesparstandards wie „KfW 40“ oder „PH“ in der Regel sicher gestellt. Im Falle der Vermietung kommen die Energiekostensparnisse dagegen dem Mieter zugute, der Vermieter muss sich in erster Linie über die zusätzlichen Mieterträge refinanzieren.

Den Angaben der GWW folgend wird für alle Neubauvarianten unabhängig von der energetischen Qualität eine Mietspiegelmiete von 8,48 €/m²Monat erzielt. Unterscheiden sich Neubauvarianten durch unterschiedliche Gesamtkosten bei gleicher Ertragssituation und sonst gleichen Rahmenbedingungen, ist die Maßnahme mit den geringsten Gesamtkosten zwangsläufig die wirtschaftlichste. In den folgenden Berechnungen soll geklärt werden, ob sich die verbesserten Standards - insbesondere die Variante „PH“ - wirtschaftlich darstellen lassen.

Für die Variante „GWW-Standard“ werden im Rahmen einer Gesamtertragsrechnung die geschätzten durchschnittlichen Baukosten der GWW in Weidenborn (Stand / Basis 08; Kostenschätzung Schinkelstr. 19-25) verwendet (2.050 €/m²_{WF} (Brutto, inkl. NK). Kostenschätzungen für das untersuchte Beispielgebäude lagen bei Erstellung des Gutachtens noch nicht vor. Für die Minder- bzw. Zusatzkosten der Energiesparmaßnahmen der anderen Neubauvarianten werden die Ergebnisse der Mehrkostenermittlung (Tabelle 6) verwendet.

Die sonstigen Rahmenbedingungen der Berechnung werden wie folgt festgelegt:

- Betrachtungszeitraum: 25 Jahre
- Kalkulationszins: 5 %
- Kaltmiete: 8,48 €/m²Monat
- Steigerungsrate Kaltmiete: 1,5 %/a
- Instandhaltungskosten: 8 €/m²
- Verwaltungskosten pro Jahr: 300 €/Wohnung
- Steigerungsrate Instandhaltung und Verwaltung: 1,5 %/a
- Erwarteter Leerstand: 2 %/a
- Restwert (fiktiver Verkaufserlös nach 25 Jahren): Jahresrohertrag mal Faktor 13

Es wird zusätzlich unterstellt, dass für die Varianten „EnEV 07“ und „GWW-Standard“ keine Förderung verfügbar ist und dass die Varianten „KfW 40“ und „PH“ mit einem KfW-Kredit zu den aktuellen Konditionen gefördert werden können (Zinssatz 4,15 %, Laufzeit 20 Jahre, 3 tilgungsfreie Anlaufjahre, Zinsbindungsfrist 10 Jahre). Zusätzlich kann ein Zinszuschuss von 0,8 % für die ersten 5 Jahre aus dem Hessischen Programm für Energieeffizienz im Mietwohnungsbau in Anspruch genommen werden. Um die Förderung zu bewerten, wird der Barwert der Zinsverbilligung berechnet.

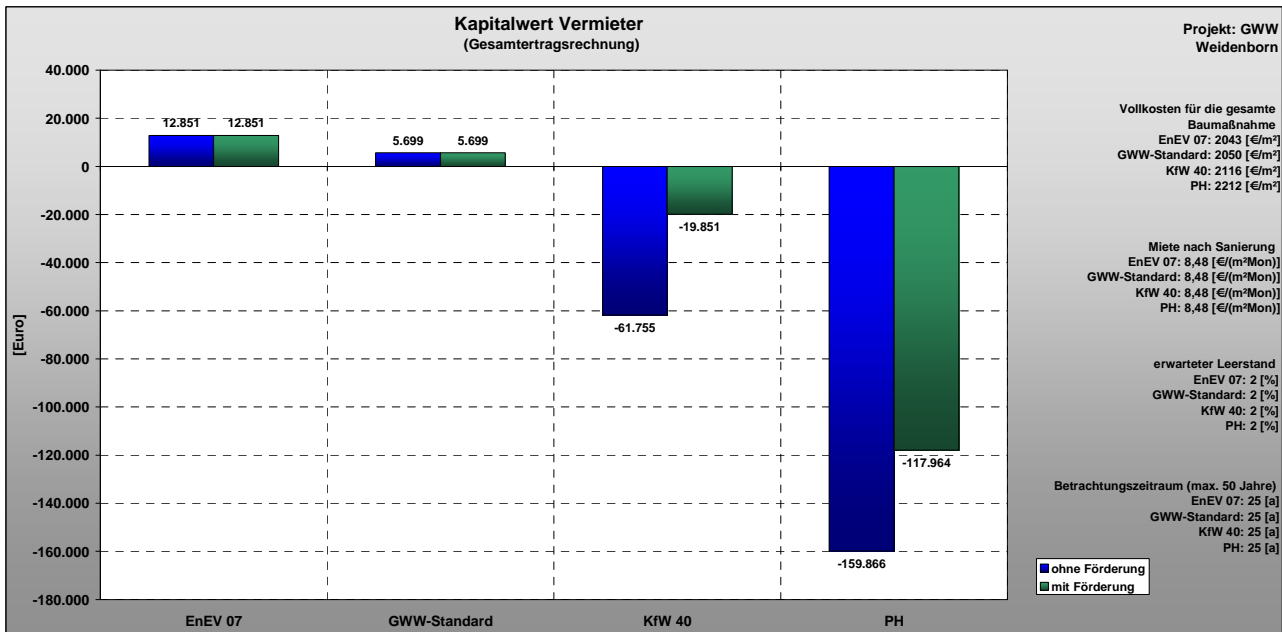


Abbildung 3: Kapitalwerte Gesamtertrag

Berechnet wird jeweils der Kapitalwert der Investitionsalternativen. Ein Kapitalwert in Höhe von Null bedeutet, dass bei Durchführung des Projektes die resultierenden Zins- und Tilgungszahlungen aus den Kapitalrückflüssen vollständig geleistet werden können (bei 100 % Fremdfinanzierung; Kreditaufnahme zum Kalkulationszinssatz von hier 5 %) bzw. dass die hinter dem Kalkulationszinssatz stehende Mindestverzinsung von hier 5 % gerade erreicht wird (bei 100 % Eigenfinanzierung).

Die Berechnung ergibt unter den gemachten Annahmen folgende Ergebnisse (Abbildung 3):

Die Variante „EnEV 07“ lässt sich unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich realisieren und erzielt einen leicht positiven Kapitalwert (12.853 €). Auch die Variante „GWW-Standard“ stellt sich aufgrund der geringen zusätzlichen Investitionen in den verbesserten energetischen Standard wirtschaftlich dar. Der Kapitalwert ist leicht positiv, jedoch etwas geringer als bei der Variante „EnEV 07“.

Die Variante „KfW 40“ erzeugt ohne Förderung einen negativen Kapitalwert. Durch die Förderung (KfW, Land Hessen) verbessert sich die Wirtschaftlichkeit, der Kapitalwert bleibt zwar leicht negativ, die durch den Kalkulationszinssatz definierte Wirtschaftlichkeitsschwelle wird jedoch annähernd erreicht.

Bei der Variante „PH“ entstehen die im Vergleich höchsten Mehrkosten. Es ergibt sich ohne Förderung ein negativer Kapitalwert. Bei Inanspruchnahme von Förderung verbessert sich die Wirtschaftlichkeit, der Kapitalwert bleibt jedoch negativ.

Im Folgenden wird untersucht, unter welchen geänderten Rahmenbedingungen auf der Ertragsseite die Wirtschaftlichkeit der Variante „PH“ verbessert werden kann:

1. Zusätzliche Mieterträge

Der Barwert der Förderung über KfW und Land Hessen beträgt ca. 41 €/m²_{WF}. Die bestehende „Lücke“ zum Erreichen des gleichen Kapitalwerts wie bei der Variante „GWW-Standard“ beträgt bei der Variante „PH“ ca. 121 €/m²_{WF} bzw. ca. 123.700 €. Diese „Lücke“ könnte geschlossen werden, wenn mit der Variante „PH“ am Markt eine höhere Kaltmiete und infolge dessen auch ein höherer fiktiver Verkaufserlös (Restwert) am Ende des Betrachtungszeitraums erzielt werden könnte. Die notwendige zusätzliche Kaltmiete zur Erreichung des gleichen Kapitalwerts wie „GWW-Standard“ beträgt ca. 47 Cent/m²Mon. Die Warmmietenbelastung beträgt in diesem Fall für die Mieter im „PH“ 9,18 €/m²Monat im Jahr der Maßnahme und damit 27 Cent mehr als für die Mieter in „GWW-Standard“ (siehe Tabelle 6). Dieser Abstand reduziert sich im Laufe der folgenden Jahre in Abhängigkeit von den angenommenen zukünftigen Energiepreissteigerungen. Wird die Steigerung des Restwerts nicht berücksichtigt, beträgt die erforderliche zusätzliche Miete ca. 63 Cent/m²Mon.

2. Warmmietenmodell

Können keine höheren Kaltmieten erzielt werden, besteht die Möglichkeit bei der Variante „PH“ auf ein Warmmietenmodell zu wechseln. Das Gebäude erfüllt in dieser Ausführungsvariante die dazu notwendigen Voraussetzungen der Heizkostenverordnung, da die Abrechnungskosten in keinem wirtschaftlich sinnvollen Verhältnis zu den Energiekosten mehr stehen. Die Kosten für die messtechnische Erfassung und Abrechnung des Heizenergieverbrauchs (Wärmemengenzähler, Ableseung, Abrechnung) entsprechend den Anforderungen der HeizkostenV betragen für ein vergleichbares Passivhaus mit wohnungsweisen Nachheizregistern in der Lüftungsanlage etwa 74 €/Wohneinheit/a [Behr et al 2007]. Neben dieser Verringerung der Betriebskosten werden Abrechnungskonflikte mit den Mietern vermieden und dadurch Verwaltungskosten reduziert. Die zu zahlende Warmmiete besteht aus der bisherigen Kaltmiete und einer Energiekostenpauschale. Je nach Höhe der Energiekostenpauschale verbessert sich die Wirtschaftlichkeit erheblich. Die Pauschale sollte neben den Energiekosten – die jetzt der Vermieter trägt - einen Sicherheitszuschlag gegen zukünftige Energiekostensteigerungen als Refinanzierungsanteil enthalten.

4.3 Grenzen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen müssen folgende Grenzen beachtet werden:

- Wirtschaftlichkeitsrechnungen können keine exakten Werte für zukünftige Kosten und künftige Nutzen von Investitionen liefern, da alle Aussagen mit Unsicherheiten behaftet sind (z. B. Zinsen, Energiepreise, Mieten, Leerstand, Restwert). Nur innerhalb einer "Bandbreite" – die im Übrigen u. U. bis zu ± 15 % der ursprünglich bestimmten Kosten ausmachen kann – kann eine Wirtschaftlichkeitsrechnung überhaupt verlässliche Aussagen machen.
- Die unterschiedlichen methodischen Ansätze zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Insbesondere entstehen durch unterschiedliche Nutzungsdauern der Investitionsalternativen und unterschiedliche Finanzierungsmodalitäten Verzerrungen beim Vergleich der verschiedenen Methoden.

- Häufig kann bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen keine Entscheidung zwischen unterschiedlichen Investitionsalternativen getroffen werden, da die Ergebnisse für verschiedene Alternativen oft so nah nebeneinander liegen, dass das Wirtschaftlichkeitskriterium allein keine vernünftige Entscheidung erlaubt.
- Ästhetische Gesichtspunkte und die Finanzierbarkeit einer Investition, aber auch Komfort- oder Repräsentationswünsche sowie eingespielte Abläufe beim Investor, sind häufig entscheidende Kriterien bei Investitionsentscheidungen. Diese können jedoch nur schwer, u. U. überhaupt nicht in eine Wirtschaftlichkeitsberechnung eingearbeitet werden.

Darüber hinaus gibt es durchaus "objektive" Kriterien, die neben der Wirtschaftlichkeit von großer Wichtigkeit sind:

- Komfort erhöhungen (z. B. angenehmeres Raumklima, bequemere Bedienung), die sich meist nicht oder nur schwer finanziell quantifizieren lassen.
- Sicherheitsgesichtspunkte (z. B. höhere Versorgungssicherheit durch höhere eigene Reserven an bestimmten Energieträgern).
- Umweltkriterien (z. B. geringere Emission und damit Schutz der menschlichen Gesundheit und der betroffenen Ökosysteme).
- Wertsteigerungen (z. B. Erhalt und Konservierung von Bausubstanz, künstlerische Gestaltung).
- Soziale Auswirkungen (z. B. Schaffung von Kommunikationsbereichen, Verbesserung des Wohnumfeldes).

Als Summe all dieser Kriterien ergibt sich eine bessere Vermietbarkeit und somit ein gesicherter Einnahmestrom für das Wohnungsunternehmen. In eine Wirtschaftlichkeitsrechnung lassen sich diese Gesichtspunkte aber nur schwer einarbeiten.

5 Hinweise zum Energieversorgungskonzept

Das gesamte Baugebiet umfasst in seinem Endausbau 8,5 ha, der über 10 Jahre realisiert werden soll. Geplant sind ca. 800 Wohneinheiten mit insgesamt 51.500 m² Wohnfläche. Da das gesamte Wohngebiet sich im Besitz der GWW Wiesbaden befindet, kommt neben individuellen Lösungen zur Energieversorgung für einzelne Gebäude grundsätzlich auch eine zentrale Versorgung über ein Nah- bzw. Fernwärmenetz in Frage. Günstig ist hier der Umstand, dass durch die Besitzverhältnisse mit einer 100%igen Anschlussquote gerechnet werden kann.

Im Folgenden sollen mögliche Versorgungsvarianten dargestellt werden, ohne dass die Aufzählung Anspruch auf Vollständigkeit erhebt:

5.1 Dezentrale Systeme

Dezentrale Wärmeversorgungssysteme bieten den Vorteil, dass die Planung nur für das aktuelle Gebäude durchgeführt werden muss und auf die entsprechende Situation angepasst werden kann. Dies kann jedoch bedeuten, dass bestimmte effiziente Anlagen kaum sinnvoll betrieben werden können.

Erdgas-Brennwertkessel dezentral

Hier wird in jedem Gebäude ein Erdgas-Brennwertkessel installiert, der die Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser übernimmt. Dies stellt die Basisvariante dar, bei der jedoch berücksichtigt werden muss, dass ehrgeizige Gebäudestandards, die auch die Finanzierung über Fördergelder oder vergünstigte Kredite erlauben, unter Umständen nicht erreicht werden können. Im gesamten Gebiet muss zudem ein Erdgasnetz vorhanden sein.

Erdgas-Brennwertkessel dezentral mit Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung

Zusätzlich zum Erdgas-Brennwertkessel wird eine thermische Solaranlage zur Deckung von 50 % des Brauchwarmwasserbedarfs installiert. Die Unterlagen der GWW zum Bauprojekt Schinkelstraße 19-25 deuten darauf hin, dass Flachdächer oder flach geneigte Dächer vorhanden sein werden, die bei jedem Gebäude unabhängig von der Orientierung eine Südausrichtung der Solaranlagen erlauben.

Dezentrales Erdgas-BHKW mit Brennwert-Spitzenkessel

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit in jedes Gebäude bzw. jeden zusammenhängenden Gebäudekomplex ein Blockheizkraftwerk zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme zu installieren. Aufgrund der großen Anzahl der Gebäude und den nennenswerten Investitions- und Wartungskosten ist kritisch zu prüfen, ob die Installation vieler dezentraler BHKW sinnvoll ist. Aus diesem Grund wird diese Variante nicht weiter betrachtet.

Dezentrale Holz-Pelletkessel mit Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung

Holz-Pellets können auch zur Wärmeversorgung eingesetzt werden, erfordern gegenüber einer Erdgasversorgung aber einen höheren Installations- und Wartungsaufwand (Aschensorgung, Reinigung Kessel, Bestellung Pellets). Außerdem wird zusätzlich Raum für den Pufferspeicher und die Pelletlagerung benötigt. In Kombination mit einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung kann

dieses System, besonders bei niedrigen Energieverbräuchen, eine interessante Versorgungsvariante darstellen.

Fortluftwärmepumpe mit Solaranlage

Aus der Vielzahl der verschiedenen Wärmepumpenvarianten soll hier die Fortluftwärmepumpe für Passivhäuser genannt werden. In Kombination mit einer thermischen Solaranlage zur Brauchwasserbereitung kann meist eine nahezu vollständige Deckung des Wärmebedarfs über die Wärmepumpe erreicht werden. Für Gebäude mit höherem Energieverbrauch ist diese Variante jedoch kaum geeignet, hier würde ggf. eine Abluftwärmepumpe eingesetzt, die aber eine nennenswerte Spitzenwärmeversorgung benötigt. Beim Einsatz von Fortluftwärmepumpen muss auf eine gute schalltechnische Entkopplung geachtet werden, da diese meist in den Wohnungen selbst aufgestellt werden.

5.2 Zentrale Systeme

Neben den dezentralen Varianten wurden verschiedene Nahwärmevarianten untersucht. Ob eine Nah- oder Fernwärmeversorgung sinnvoll geplant werden kann, kann durch die Bildung von Kennzahlen abgeschätzt werden. Wird die Wärmebedarfsdichte berechnet, d. h. der Quotient aus Wärmeabnahme pro Jahr im gesamten Baugebiet und der gesamten versorgten Fläche, dann ergibt sich für eine Bebauung mit Niedrigenergiehäusern mit 50 kWh/m²a inklusive Warmwasserbereitung und Verlusten ein Wert von ca. 515 MWh/ha*a. Wird die gesamte Siedlung in Passivhaus-Bauweise errichtet, ergibt sich eine Wärmebedarfsdichte von ca. 270 MWh/ha*a, Passivhäuser mit Solaranlagen erreichen nur ca. 200 MWh/ha*a. In [Böhnisch, Klingbiel, Nast 2006] wird eine Mindest-Wärmebedarfsdichte von 250-300 MWh/ha*a genannt, um ein Nahwärmenetz noch sinnvoll umsetzen zu können. Dies bedeutet, dass auf Grund dieser Kennzahlen bei Passivhausbauweise kaum von einem sinnvollen Betrieb eines Nahwärmenetzes ausgegangen werden kann, bei Niedrigenergiehäusern wäre ein solches Netz möglicher Weise sinnvoll zu betreiben. Der gesamte Wärmebedarf des Baugebiets Weidenborn beträgt im Endausbau für eine Komplettbebauung mit Niedrigenergiehäusern ca. 4000 MWh/a.

Im Folgenden wurden nach dem gleichen Verfahren wie bei den dezentralen Varianten auch verschiedene Nahwärmevarianten untersucht.

Nahwärmeversorgung mit Blockheizkraftwerk (BHKW) und Erdgas-Spitzenkessel

Für das gesamte Baugebiet existiert eine Heizzentrale, in der ein motorisches Blockheizkraftwerk und ein Erdgas-Spitzenkessel die Wärmeversorgung übernehmen. Schwierig ist die Anpassung an die sich verändernde Wärmeabnahme im Baugebiet abhängig vom Baufortschritt. Wichtig für die energetische Effizienz ist ein möglichst hoher Anteil des BHKW an der Wärmeerzeugung. Es sollte mindestens ca. 20 % der maximalen Wärmelast oder 50 % der jährlich erzeugten Wärme liefern, damit sich nennenswerte Primärenergieeinsparungen ergeben und der Aufwand für das Nahwärmenetz gerechtfertigt ist. Im vorliegenden Beispiel deckt das BHKW 70 % der Wärmeerzeugung, der Spitzenkessel übernimmt die verbleibende Wärmeproduktion.

Nahwärme mit BHKW und Erdgas-Spitzenkessel sowie dezentralen thermischen Solaranlagen

Üblicher Weise wird beim Einsatz von BHKWs auf thermische Solaranlagen verzichtet, da diese die Betriebszeiten der BHKW im Sommer stark reduzieren. Aus energetischer Sicht kann eine

Kombination von Nahwärme mit BHKW und thermischer Solaranlage aber interessant sein. Gegenüber der vorherigen Variante wird hier eine Anlagenkonfiguration betrachtet, bei der sich in jedem Gebäude eine thermische Solaranlagen zur Deckung des Warmwasserbedarfs in den Sommermonaten (Auslegung ca. 50 % Deckungsgrad) befindet. Das Nahwärmenetz kann aus diesem Grund von ca. Mitte April bis ca. Mitte September (oder länger) abgeschaltet werden, wodurch sich die Verluste deutlich reduzieren und sich die Gesamteffizienz erhöht.

Nahwärmeversorgung mit Biomasseheizwerk

Für das Baugebiet erscheint eine Biogasnutzung mit der Versorgung der dazu erforderlichen landwirtschaftlichen Produkte oder Reststoffe zurzeit als schwierig umsetzbar. Eine Nahwärmeversorgung erlaubt jedoch auch die Nutzung von Biomasse (und anderen regenerativen Energien), insbesondere in Form der Reststoffverbrennung von z. B. Stroh oder Holzhackschnitzel. Voraussetzung zur Umsetzung dieser Variante ist ein lokal verfügbares Reststoffangebot und zusätzlich einem Standort im Baugebiet zur Lagerung der Brennmateriale.

5.3 Abschätzung der Effizienz unterschiedlicher Versorgungsvarianten

Im Folgenden wird für ausgewählte Varianten der Wärmeversorgung und für jeweils zwei unterschiedliche Baustandards die Primärenergieaufwandszahl e_p der Wärmeversorgung für Heizung, Warmwasserbereitung und Verteilverluste abgeschätzt. Diese Kennzahl charakterisiert die Gesamteffizienz von Wärmeerzeugung und –verteilung. Die Berechnungen wurden nach [Diefenbach, Loga, Born 2005] durchgeführt und es wurde unterstellt, dass die Baustandards Passivhaus oder Niedrigenergiehaus (50 kWh/m²a) gemäß den Beispielrechnung im gesamten Baugebiet einheitlich umgesetzt werden. Die Ergebnisse sind als Anhaltswerte zu verstehen, denen keine exakte Anlagenplanung hinterlegt ist, sondern es wird mit typischen Kennwerten gerechnet, die überwiegend bei der Auswertung von Messergebnissen ermittelt wurden. Aus den Ergebnissen sollen Tendenzen für geeignete Wärmeversorgungssysteme abgeleitet werden.

Die folgenden Varianten der Wärmeversorgung wurden betrachtet:

- Erdgas-Brennwertkessel je Haus (Erdgas-BW)
- Erdgas-Brennwertkessel plus thermische Solaranlage zur Deckung von 50 % des Warmwasserbedarfs (BW+Sol (50%WW))
- Fortluftwärmepumpe plus thermische Solaranlage zur Deckung von 50 % des Warmwasserbedarfs (Fortluft-WP+Sol (50%WW))
- Holz-Pelletkessel plus thermische Solaranlage zur Deckung von 50 % des Warmwasserbedarfs (Pellet+Sol (50%WW))
- Nahwärme mit Biomasseheizwerk (NW-Bio)
- Nahwärme mit Blockheizkraftwerk zur Deckung von 70 % der Wärme und Erdgas-Spitzenkessel (NW-BHKW70%)
- Nahwärme mit Erdgas-BHKW (50 % Deckung) mit Erdgas-Spitzenkessel und dezentralen thermischen Solaranlagen Solaranlage zur Deckung von 50 % des Warmwasserbedarfs (NW BHKW dez.Sol)

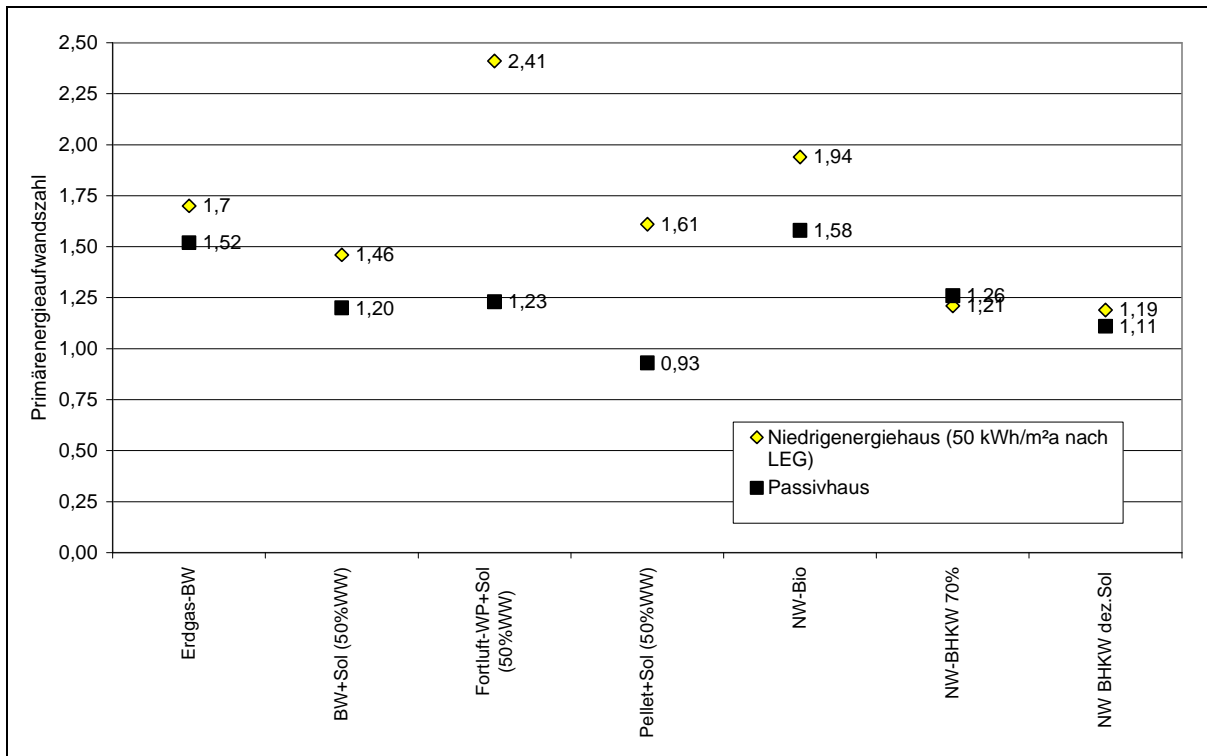


Abbildung 4: Effizienz unterschiedlicher Versorgungsvarianten

Die Referenzvariante Erdgas-Brennwertkessel erreicht beim Niedrigenergiehaus (gelbe Rauten) eine Primärenergieaufwandszahl e_p von 1,7, d. h. durch die Verluste bei Verteilung, Speicherung und Erzeugung der Wärme wird unter Berücksichtigung des Primärenergiefaktors f_p von 1,1 für Erdgas und 2,7 für Strom (für die Hilfsenergie) 70 % mehr Primärenergie eingesetzt, als im Gebäude als Nutzwärme abgenommen wird. Beim Passivhaus (schwarze Quadrate) liegt die Referenzvariante bei $e_p=1,52$.

Wird der Brauchwarmwasserbedarf zur Hälfte über thermische Solaranlagen gedeckt (BW+Sol (50%WW)), so ergibt sich mit dem Gas-Brennwertkessel ein e_p von 1,46 für das NEH und 1,20 für das Passivhaus, d. h. diese Varianten sind energetisch bereits günstiger.

Wird statt des Erdgaskessels eine Fortluftwärmepumpe eingesetzt - unter Beibehaltung der Solaranlage -, so unterscheiden sich die beiden Gebäudestandards deutlich. Während das NEH mit der Fortluft- bzw. Abluftwärmepumpe ein e_p von 2,41 erreicht (schlechteste aller Varianten), liegt beim Passivhaus die Primärenergieaufwandszahl mit 1,23 in der Größenordnung der Gasbrennwertvariante mit Solaranlage. Diese Energieversorgungsvariante ist somit nur für Gebäude mit sehr geringem Energieverbrauch geeignet, da der Wärmepumpe mit der Fortluft nur ein begrenztes Energiereservoir zur Verfügung steht. Beim NEH könnte eine Wärmepumpenlösung mit Erdspeichern günstigere Ergebnisse erbringen, hier ist jedoch die Frage der möglichen Anzahl von Bohrungen im Baugebiet zu klären.

Die Kombination eines Pelletkessels mit einer thermischen Solaranlage (Pellet+Sol(50%WW)) ergibt für das NEH ein e_p von 1,61, für das Passivhaus 0,93. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das verwendete Berechnungsverfahren ein Biomassebudget von 30 kWh/m²a berücksichtigt, das aus dem deutschen Biomasseaufkommen abgeschätzt wurde. Wird dieses Budget überschritten,

wird an Stelle des Primärenergiefaktors von 0,2 ein Faktor von 1,2 eingesetzt, da ein Verbrauch über dem Potenzial nicht mehr als regenerativ betrachtet werden kann. Das Passivhaus liegt nur wenig über der Grenze von 30 kWh/m²a für Heizung, Warmwasser und Verluste, so dass der niedrige e_p -Wert erreicht wird. Beim NEH liegt der Verbrauch noch so hoch, dass die Variante nur wenig günstiger abschneidet als der Erdgas-Brennwertkessel. Wird das Budget bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt, so ergeben sich zwar deutlich niedrigere Werte (NEH 0,53; PH 0,60 -> das PH liegt in diesem Fall wegen des höheren Hilfsstromeinsatzes für die Lüftungsanlage etwas über dem NEH). Diese Betrachtungsweise bedeutet jedoch, dass Varianten, die u. U. nicht als nachhaltig zu bezeichnen sind, bevorzugt werden.

Betrachtet man die Nahwärmeversorgung mit Biomasseverbrennung (NW-Bio), so liegt der Wert von e_p bei 1,94 für das NEH und bei 1,58 für das Passivhaus und somit über der Referenzvariante. Hier wird das Biomasse-Budget bei beiden Varianten überschritten, so dass, obwohl ein biogener Stoff eingesetzt wurde, der Primärenergieaufwand höher liegt als bei der Referenzvariante. Ohne Berücksichtigung des Biomassebudgets ergeben sich hier 0,57 für das NEH und 0,73 für das Passivhaus.

Bei der Versorgung des Baugebiets mit Nahwärme aus einem Blockheizkraftwerk, das 70 % der Wärme erzeugt (NW-BHKW70%), ergeben sich e_p -Werte von 1,21 für das Niedrigenergiehaus und 1,26 für das Passivhaus. Primärenergetisch zeigt sich hier, dass für das Niedrigenergiehaus dies bisher die günstigste Variante ist, beim Passivhaus fällt sie nicht besser aus als die dezentralen BW+Sol und Fortluft-WP.

Werden zusätzlich noch dezentrale thermische Solaranlagen installiert und das Nahwärmenetz im Sommer abgeschaltet (NW BHKW dezSol), so reduzieren sich die e_p -Werte auf 1,19 beim NEH und 1,11 beim PH. Sowohl beim NEH als auch beim PH zählt diese Variante zu den günstigsten. Bei der Realisierung eines solchen Konzepts muss jedoch neben regelungstechnischen Fragen auch die Nachheizung des Brauchwarmwassers in sommerlichen Schlechtwetterperioden geregelt werden (direktelektrische Nachheizung über elektronisch geregelte Durchlauferhitzer oder Erwärmung des gesamten Nahwärmenetzes für einen Brauchwasserspeicher mit Wärmeanforderung). Diese Fragen können im Rahmen dieses Gutachtens jedoch nicht geklärt werden.

Bei allen Varianten mit Kraft-Wärmekopplung wurde die Gutschriftenmethode verwendet, d. h. der erzeugte Strom wird so behandelt, als ob er als Abfallprodukt entsteht und Strom aus dem Kraftwerksmix verdrängt. Werden die elektrische und thermische Erzeugung anteilig ihrer Wirkungsgrade aufgeteilt (Wirkungsgrad oder Gesamteffizienzmethode), liegen die Primärenergiefaktoren höher, da der elektrische Strom dann nicht mehr ein Anfallprodukt der Wärmeproduktion darstellt.

5.4 Zusammenfassung aus energetischer Sicht

Die sinnvollste Variante der Wärmeversorgung des Baugebiets hängt vom umgesetzten energetischen Standard der Gebäude ab.

Für Passivhäuser existieren eine Reihe etwa gleichwertiger Versorgungsvarianten mit einem e_p von ca. 1,20 (Brennwert mit Solar, Fortluftwärmepumpe mit Solar, Nahwärme mit BHKW und ggf. Solar). Für die beste Variante, den Pelletkessel mit Solaranlage, ist die Umsetzbarkeit zu prüfen (Liefer- und Lagerfragen, Wartung im Betrieb), ggf. bietet es sich hier die Zusammenfassung von mehreren Gebäuden im Block zu einer Nahwärmeinsel mit Pelletkessel und Solaranlagen an, wobei

auch dann auf die Netzverluste geachtet werden muss, da diese den Effizienzvorsprung wieder zunichte machen können. Weiterhin sollte geklärt werden, ob eine Spitzenlastversorgung mit einem Energieträger notwendig ist, der nicht bevorratet werden muss.

Bei den Niedrigenergiehäusern liegt eine Nahwärmeversorgung mit einem hohen Kraft-Wärme-Kopplungsanteil vorne, ggf. in Verbindung mit dezentralen thermischen Solaranlagen, die sich üblicher Weise negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Nahwärme auswirken, energetisch bei einer geeigneten Betriebsweise durchaus positiv zu bewerten sind. Grundsätzlich bietet eine zentrale Versorgung auch die Möglichkeit kostengünstig einen Energieträgerwechsel für das gesamte Baugebiet durchzuführen oder neue regenerative Energiequellen zu nutzen (siehe Anmerkung zur Geothermie). Bei den dezentralen Versorgungsvarianten ist der Gas-Brennwert-Kessel mit thermischer Solaranlage als günstig einzustufen und gegebenenfalls der Pelletkessel, wenn man die Budgetüberschreitungen bei der Biomasse als nicht relevant einstuft.

Ergibt sich im Laufe der Jahre eine Mischbebauung (erste Gebäude werden nach heute gültiger EnEV errichtet, die letzten im Zuge der angekündigten EnEV-Verschärfungen als Passivhäuser), ergibt sich die Schwierigkeit die günstigste Wärmeversorgung zu ermitteln. In diesem Fall wäre es hilfreich ein strategisches Entwicklungskonzept zu erarbeiten, das eine Prognose des mittleren Wärmebedarfes erlaubt und somit die Auswahl des optimalen Versorgungskonzepts vereinfacht. Ist dies nicht möglich, bieten sich gegebenenfalls blockweise Lösungen an.

Allgemein kann festgestellt werden, dass effiziente Versorgungslösungen meist aufwändiger und somit teuer als die Standardlösung sind. Es ist somit eine Optimierung zwischen Effizienz und Ökonomie erforderlich. Diese Optimierung wird durch die Unsicherheiten bei der Prognose zukünftiger Energiepreise jedoch deutlich erschwert.

5.5 Zusätzliche Hinweise zur Wärmeversorgung

Im Folgenden sollen zu einzelnen Versorgungsvarianten zusätzliche Hinweise gegeben werden.

Fernwärmeversorgung

Im Baugebiet ist zurzeit kein Fernwärmenetz vorhanden. Grundsätzlich kann aber ein Anschluss an ein solches Fernwärmenetz sinnvoll sein, wenn Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärme aus Industrie- oder Kraftwerksprozessen eingespeist bzw. genutzt wird.

Nahwärme

- Beim energetisch effizienten Betrieb eines Nahwärmenetzes ist es wichtig, die Netzverluste zu minimieren. Neben kurzer Leitungsführung und einer verstärkten Dämmung der Verteilleitung im Erdreich kann zum Beispiel die teilweise Verlegung der Nahwärmeleitungen in den Hauskellern die Verluste reduzieren.
- In der Nähe des Baugebiets Weidenborn befinden sich ein Berufsschulzentrum sowie Sportanlagen. Hier könnte geprüft werden, ob durch einen Anschluss an das dort vorhandene Wärmenetz sich Synergieeffekte ergeben können und z. B. sich der Kraft-Wärme-Kopplungsanteil in diesem Netz damit erhöhen lässt, so dass sich für Schule und Baugebiet eine verbesserte Energieversorgung ergibt.

- Grundsätzlich sind in Wiesbaden durch geologische Anomalien geothermische Wärmeversorgungskonzepte denkbar, auch wenn die Situation direkt im Baugebiet evtl. ungünstig ist und Fragen der Genehmigung an anderer Stelle im Stadtgebiet zurzeit eine Nutzung kaum wahrscheinlich erscheinen lässt. Sollte jedoch mittelfristig eine Nutzung dieses Potenzials möglich sein, ist ein Nah-/Fernwärmenetz aus heutiger Sicht unverzichtbar.

Solare Nahwärme

Solare Nahwärme mit einer Langzeit-Wärmespeicherung in einem zentralen Speicher wurde in den letzten Jahren an verschiedenen Standorten erprobt. Bei den Modellprojekten wurden Deckungsgrade bis zu 50 % erreicht. Es ist jedoch zu prüfen, ob die Siedlungsstruktur im Baugebiet für eine solche zentrale solare Wärmeversorgung geeignet ist. Auch bei der solaren Nahwärme ist zur Erreichung eines hohen solaren Deckungsgrades eine möglichst kurze und effiziente Verteilung der Wärme erforderlich.

Fotovoltaik

Eine Stromerzeugung über Fotovoltaik ist durchaus sinnvoll, jedoch sollte, da sie mit der Wärmeversorgung nicht direkt in Verbindung steht, das mögliche Effizienzpotenzial beim Wärmeschutz und der Wärmeversorgung zuerst ausgeschöpft werden. Dazu gehört auch die thermische Nutzung der Sonnenenergie, die jedoch in Flächenkonkurrenz zur Fotovoltaik stehen kann, wenn die verfügbaren Flächen begrenzt sind.

6 Fazit

Anhand eines Beispielgebäudes der GWW Wiesbaden wurden unterschiedliche Neubaustandards für das Quartier „Weidenborn“ hinsichtlich Energieeinsparung, Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit untersucht. Außerdem wurden Hinweise für die Ausgestaltung des Energieversorgungskonzeptes gegeben. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Mit der Variante „EnEV 07“ werden die Mindestanforderungen der geltenden EnEV 2007 gerade erfüllt. Das Beispielgebäude weist in dieser Variante bereits einen Heizwärmebedarf von 51 kWh/(m²_{WFa}) und einen Endenergiebedarf von 82 kWh/(m²_{WFa}) auf.

Die Variante „GWW-Standard“ weist einen leicht verbesserten baulichen Wärmeschutz auf. Dadurch wird im Vergleich zu „EnEV 07“ eine Endenergieeinsparung von etwa 7 % bei geringen Mehrkosten von ca. 7 €/m²_{WF} (inkl. MwSt) erzielt. Mit dieser Variante könnten auch die Vorgaben der zukünftigen EnEV 2009 näherungsweise eingehalten werden.

Ein deutlich besserer energetischer Standard (verbesserter baulicher Wärmeschutz, Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung) wird mit der Variante „KfW 40“ erreicht. Dadurch lässt sich im Vergleich zu „EnEV 07“ eine Endenergieeinsparung von ca. 31 % erzielen. Diese Variante führt zu Mehrkosten von ca. 73 €/m²_{WF} (inkl. MwSt).

Die Variante „PH“ trägt am meisten zur Erreichung ehrgeiziger Klimaschutzziele bei. Sie beinhaltet neben einem weiter verbesserten baulichen Wärmeschutz, Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Nachheizregister. Im Vergleich zu „EnEV 07“ kann dadurch eine Endenergieeinsparung von ca. 50 % erreicht werden. In die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für das untersuchte Beispielgebäude gingen Mehrkosten in Höhe von ca. 169 €/m²_{WF} ein.

Ein alternatives Beispielgebäude könnte bei gleichen Kostenansätzen andere Mehrkosten aufweisen. Dies ergibt sich aus dem jeweiligen Gebäudeentwurf, der jeweiligen Baukonstruktion und dem gewählten Wärmeschutz- und Anlagenkonzept. In der Praxis können die Mehrkosten für ein Passivhaus darüber hinaus auch nach oben abweichen, z.B. wenn in Pilotprojekten fallweise höhere Planungsaufwendungen entstehen, wenn Raumanhebungen zur Sicherstellung der Wohnqualität als notwendig angesehen werden oder wenn innerstädtische Grundstücke vollständig ausgenutzt werden sollen und sich reale Wohnflächenverluste durch die zusätzliche Wärmedämmung der Außenwand nicht vermeiden lassen. Das Ergebnis der Mehrkostenabschätzung kann somit immer nur eine Größenordnung angeben.

Die Mehrkosten wurden in der vorliegenden Untersuchung ermittelt, indem ausgehend von einem Gebäudeentwurf die Zusatzkosten für die besseren Standards beispielsweise in Form von Zusatzkosten für die höheren Dämmstoffdicken bestimmt werden. Gebäudeentwurf und Konstruktionsart der Bauteile bleiben dabei unverändert. Dies entspricht einem „additiven“ Ansatz. Die Praxis zeigt jedoch, dass beim Passivhaus die oben genannten Mehrkosten durch einen angepassten Gebäudeentwurf und eine angepasste Bauteilkonstruktion („integrierter“ Ansatz) reduziert werden können.

Die Wirtschaftlichkeit der Varianten wurde mit einer Gesamtertragsrechnung aus Sicht des Wohnungsunternehmens untersucht. Für „GWW-Standard“ wurden Gesamtkosten in Höhe von 2.050 €/m²_{WF} (inkl. MwSt) angesetzt, diese Gesamtkosten wurden für die anderen Variante jeweils um die ermittelten Minder- bzw. Mehrkosten geändert. Mit allen Neubauvarianten wird nach Auskunft der GWW nach Fertigstellung die gleiche Mietspiegelmiete von 8,48 €/m²Monat erzielt. Die Varianten „KfW 40“ und „PH“ können durch einen zinsverbilligten KfW-Kredit und einen zusätzlichen Zinszuschuss aus dem Hessischen Programm für Energieeffizienz im Mietwohnungsbau gefördert werden. Die Varianten unterscheiden sich demnach lediglich durch unterschiedliche Gesamtkosten bei gleicher Ertragssituation und bis auf die unterstellte Förderung sonst gleichen Rahmenbedingungen.

Unter diesen Voraussetzungen sind „EnEV 07“ und „GWW-Standard“ für den Investor die wirtschaftlich besten Varianten. Die Variante „KfW 40“ liegt mit Förderung knapp unterhalb der Wirtschaftlichkeitsschwelle (leicht negativer Kapitalwert). Bei der Variante „PH“ entstehen die im Vergleich höchsten Mehrkosten. Es ergibt sich ohne Förderung ein negativer Kapitalwert. Bei Inanspruchnahme von Förderung verbessert sich die Wirtschaftlichkeit, der Kapitalwert bleibt jedoch negativ.

Die Wirtschaftlichkeit der Variante „PH“ lässt sich jedoch verbessern,

- wenn am Markt für ein besonders energiesparendes Gebäude mit hohem Wohnkomfort eine höhere Kaltmiete erzielt werden kann oder
- wenn auf ein Warmmietenmodell umgestellt werden kann. Die Variante „PH“ erfüllt die relevanten Anforderungen der Heizkostenverordnung. Die Kosten für die Erfassung und Verteilung des Wärmeverbrauchs könnten entfallen und damit zusätzliche Refinanzierungsspielräume für den Investor entstehen.

Es wird empfohlen, die Umsetzungsmöglichkeiten der genannten Punkte - insbesondere des Warmmietenmodells - im Quartier „Weidenborn“ zu überprüfen.

Die sinnvollste Variante der Wärmeversorgung des Baugebiets hängt vom umgesetzten energetischen Standard der Gebäude ab. Für Passivhäuser existieren eine Reihe etwa gleichwertiger Versorgungsvarianten mit einer Primärenergieaufwandszahl e_p von ca. 1,20 (Brennwert mit Solar, Fortluftwärmepumpe mit Solar, Nahwärme mit BHKW und ggf. Solar). Für die beste Variante, den Pelletkessel mit Solaranlage, ist die Umsetzbarkeit zu prüfen (Liefer- und Lagerfragen, Wartung im Betrieb), ggf. bietet es sich hier die Zusammenfassung von mehreren Gebäuden im Block zu einer Nahwärmeinsel mit Pelletkessel und Solaranlagen an, wobei auch dann auf die Netzverluste geachtet werden muss, da diese den Effizienzvorsprung wieder zunichte machen können.

Bei Niedrigenergiehäusern liegt eine Nahwärmeversorgung mit einem hohen Kraft-Wärme-Kopplungsanteil vorne. Grundsätzlich bietet eine zentrale Versorgung auch die Möglichkeit kostengünstig einen Energieträgerwechsel für das gesamte Baugebiet durchzuführen oder neue regenerative Energiequellen zu nutzen. Bei den dezentralen Versorgungsvarianten ist der Gas-Brennwert-Kessel mit thermischer Solaranlage als günstig einzustufen und gegebenenfalls der Pelletkessel, wenn man die Budgetüberschreitungen bei der Biomasse als nicht relevant einstuft.

Bei einer Mischbebauung (erste Gebäude werden als Niedrigenergiehäuser errichtet, die letzten als Passivhäuser) ergibt sich die Schwierigkeit die günstigste Wärmeversorgung zu ermitteln. In diesem Fall wäre es hilfreich, ein strategisches Entwicklungskonzept zu erarbeiten, das eine Prog-

nose des mittleren Wärmebedarfs erlaubt und somit die Auswahl des optimalen Versorgungskonzepts vereinfacht. Ist dies nicht möglich, bieten sich gegebenenfalls blockweise Lösungen an.

Literatur

[Baukosten 2000]

Schmitz, Krings, Dahlhaus, Meisel: Baukosten 2000, Instandsetzung / Sanierung / Modernisierung / Umnutzung; Verlag für Wirtschaft und Verwaltung, Hubert Wingen; Essen; 14. Auflage 1999

[Baukostenatlas SIRADOS 2007]

Mandel, Wolfgang; Holger König: Baukosten-Atlas 2007 – Neubau / Wohnungsbau; WEKA MEDIA GmbH; Kissing, 2006

[Behr et al 2007]

Behr, Iris; Andreas Enseling; Ulrike Hacke; Eberhard Hinz; Tobias Loga: Heizkosten im Passivhaus - Warmmiete oder Flatrate-Modell; im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, vorläufiger Endbericht; IWU; Darmstadt, 2007 (unveröffentlicht)

[Boese, Diefenbach 2000]

Boese, Markus; Nikolaus Diefenbach: Minderung der CO₂-Emissionen im Gebäudebestand durch Einführung einer Brennstoffkennzahl; im Auftrag des Umweltbundesamtes FB: 29897344; Aachen, 2000

[Böhnisch, Klingbiel, Nast 2006]

Böhnisch, Klingbiel, Nast: Nahwärme – Ratgeber zur Planung und Errichtung von Nahwärmenetzen, Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Wiesbaden, 2006

[Darup 2003]

Schulze Darup, Burkhard: Energetische Wohngebäudesanierung mit Faktor 10 – Analyse von Passivhauskonzepten und deren Anwendung auf die Sanierung; Dissertation am Fachbereich Architektur der Universität Hannover; Hannover, 2003

[Diefenbach et al 2007]

Diefenbach, Nikolaus; Andreas Enseling: Potentiale zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei der Wärmeversorgung von Gebäuden in Hessen bis 2012; Studie im Rahmen von INKLIM 2012 (Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen 2012); IWU; Darmstadt, 2007

[Diefenbach, Loga, Born 2005]

Diefenbach, Nikolaus; Tobias Loga; Rolf Born: Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Erfahrungen und Perspektiven; IWU; Darmstadt, 2005

[Enseling et al 2006]

Enseling, Andreas; Hermann Behle; Uwe Wullkopf: Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung im Zusammenhang mit Energieeinsparung und Investition; Ludwigshafen, 2006

[Enseling, Behle 2006]

Enseling, Andreas; Hermann Behle: Handbuch Calculation Model; Ludwigshafen, 2006

[Feist 2000]

Feist, Wolfgang: Varianten für die Wärmeversorgung von Passivhäusern im Vergleich; in Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Protokollband Nr. 20: Passivhaus –Versorgungstechnik; Passivhaus Institut; Darmstadt, 2000

[Fink 99]

Fink, Christian; Gottfried Purkarthofer: Thermische Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser; Studie im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Jungen und Familie – Österreich; Gleisdorf, 1999

[Hinz 2004]

Hinz, Eberhard: Auswertung der energetischen Modernisierungskosten von fünf Gebäuden; IWU; Darmstadt, 2004 (unveröffentlicht)

[Kennzifferkatalog 2004]

Kennzifferkatalog – Investitionsvorbereitung in der Energiewirtschaft; ENERGY CONSULTING (www.ener-cons.de) – GfEM Gesellschaft für Energiemanagement (www.gfem-berlin.de); Neuenhagen/Berlin, 2004

[Knissel 2007]

Knissel, Jens; Nikolaus Diefenbach; Rolf Born: Investive Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Neubauten und Bestandsgebäuden; im Auftrag des GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG, Ministère de l'Économie et du Commerce extérieur; IWU; Darmstadt, 2007 (unveröffentlicht)

[Knissel 96]

Knissel, Jens; Tobias Loga: Mehrkosten des Niedrigenergiestandards - gegenüber der Wärmeschutzverordnung 1995; IWU, Darmstadt, 1996

[Knissel 99]

Knissel, Jens: Energieeffiziente Bürogebäude – Hinweise zur primärenergetischen und wirtschaftlichen Optimierung; IWU; Darmstadt, 1999

[Loga, Großklos 1998]

Loga, Tobias; Marc, Großklos: Energetische Optimierung des Nahwärme-Sommerbetriebs am Beispiel der Niedrigenergiesiedlung Niedernhausen, Beitrag zur Fachtagung „Umweltverträgliche und kostengünstige Nahwärmesysteme“ am 28./29.09.1998 in Osnabrück, Fraunhofer UMSICHT, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1998

[Rasch 2008]

Rasch, Folkmer: Stellungnahme zum energetischen Konzept “Am Weidenborn“ in Wiesbaden; hier: Welche Kostenunterschiede bestehen beim Neubau oder einer Bestandssanierung vom gesetzlichen Energiestandard nach der EnEV zum Passivhausstandard? Darmstadt, 2008 (unveröffentlicht)

Anhang

Energiekennwerte von Wohngebäuden

Unter Annahme typischer Nutzungsbedingungen und eines mittleren Klimas lässt sich der Energieverbrauch eines Gebäudes bereits vor dem Bau bzw. bei bestehendem Gebäude vor der Durchführung der Modernisierungsmaßnahmen rechnerisch bestimmen. Um deutlich zu machen, dass es sich dabei um einen vorab ermittelten Wert handelt, der vom später tatsächlich gemessenen Energieverbrauch abweichen kann, spricht man hier auch vom „Energiebedarf“.

Dabei ist es wichtig, auseinander zu halten, was in die Bilanz einbezogen ist, auf welcher Ebene der Energieumwandlung bilanziert wird und auf welche Fläche der Energiebedarf bezogen wird. Für verschiedene Hauskonzepte werden unterschiedliche Rechenverfahren verwendet, deren Unterschiede im Folgenden erläutert werden:

Was wird bilanziert?

- Der Heizwärmebedarf ist die Wärmemenge, die im Verlauf des Winters in den Wohnräumen zur Verfügung gestellt werden muss, um behagliche Temperaturen zu erreichen. Er hängt vor allem von der Kompaktheit und vom Wärmeschutz des Gebäudes sowie von den bei der Lüftung entstehenden Wärmeverlusten ab. Die solaren Wärmegewinne spielen ebenfalls eine Rolle.
- Der Warmwasser-Wärmebedarf hängt allein davon ab, wie viel warmes Wasser die Bewohner täglich benötigen. Bei der Berechnung werden Standardwerte angesetzt.
- Zum Betrieb der Haustechnik (Pumpen, Regelung) sowie für Lüftungsanlagen wird in der Regel elektrische Hilfsenergie benötigt.
- Einige Hauskonzepte betrachten auch die elektrische Energie, die von den Bewohnern als Haushaltsstrom für Beleuchtung und den Betrieb von Geräten eingesetzt wird.
- Anlagen, die am Gebäude angebracht sind und regenerative Energie gewinnen, können ebenfalls in die Energiebilanz eingerechnet werden. Also im Wesentlichen Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen (PV).

Auf welcher Ebene wird bilanziert?

- Die Nutzenergie ist die Energiemenge, die dem Verbraucher tatsächlich an der Heizfläche oder dem Warmwasserhahn zur Verfügung steht. Anlagen-, Speicher- und Verteilverluste bleiben unberücksichtigt.
- Die Endenergie bezieht sich auf das, was der Gebäudeeigentümer (der „Endverbraucher“ der Energie) auf seiner Energiekostenrechnung bezahlen muss, also die Menge an benötigtem Öl, Gas, Strom, Holzpellets oder Fernwärme.

- Bei der Primärenergie werden zu den kWh, die im Gebäude verbraucht werden, noch alle Aufwendungen an nicht erneuerbarer Energie addiert, die zu Gewinnung, Verarbeitung und Transport der Endenergie nötig waren. Die Primärenergie beschreibt also den gesamten Energieaufwand für Heizung und Warmwasserbereitung. Sie ist das relevante Maß für die Umweltwirkung (Ressourcenverbrauch, Emissionen).

Worauf wird der Bedarf bezogen?

Der Energiebedarf kann, unabhängig davon, welche der genannten Ebenen betrachtet wird, immer in Kilowattstunden pro Jahr, d. h. kWh/a, angegeben werden. Er hängt natürlich noch entscheidend von der Größe des Gebäudes ab. Um die Energieeffizienz des Hauses zu bewerten, wird er durch die Gebäudefläche dividiert und in kWh pro m² und Jahr (kWh/m²·a) ausgewiesen. Hier sind zwei unterschiedliche Definitionen zu beachten:

- Üblicher Maßstab für die Größe einer Wohnung oder eines Gebäudes ist die Wohnfläche. Sie wird daher auch häufig für die Definition von Energiekennwerten herangezogen.
- Die Energieeinsparverordnung verwendet allerdings eine andere Größe, die so genannte „Gebäudenutzfläche“ A_N . Hier handelt es sich um eine hypothetische Größe, die auf Grundlage des beheizten Gebäudebruttovolumens berechnet wird.

Beim Vergleich von Energiekennwerten ist dieser Unterschied immer zu beachten: Die beiden Werte unterscheiden sich nämlich zumeist deutlich. Als grobe Faustregel kann man davon ausgehen, dass die Gebäudenutzfläche um 25 % größer ist als die Wohnfläche. Da der Energiebedarf durch die Fläche dividiert wird, liegen somit Kenngrößen, die sich auf die Gebäudenutzfläche A_N beziehen, um etwa 20 % niedriger als die wohnflächenbezogenen Werte. Ein systematischer Zusammenhang besteht jedoch nicht.

Mehrkostentabellen

Mehrkosten und Energieeinsparung "GWW -Standard" gegenüber "EnEV 07" <u>Annahmen</u> Gebäude aus Energiebilanzrechnungen				Mehrfamilienhaus GWW					
				1022,0 m ² reale Energiebezugsfläche EBZ 1163,7 m ² Gebäudenutzfläche An 0,413 AV-Verhältnis					
<i>Zuwachskosten pro m² Bauteil je cm Dämmstoffdicke in</i> <i>€/(cm m²)</i>				bezogen auf EBZ			Kennwerte in kWh/(m²a)		
				"EnEV 07" "GWW -Standard"			Heizw.	Enden.	Primären.
				<i>Bauteil-</i> <i>fläche</i>		<i>Dämm-</i> <i>stoffdicke*</i>		<i>Mehr-</i> <i>kosten</i>	
				U-Wert	cm	€			
				W/(m ² K)					
Außenwand	Mauerwerk + WDVS	1,4	"EnEV 07" "GWW -Standard"	663 m ²	0,37 0,23	8 14	5.567		
Dach	Flachdach Stegträger/Einblasdämmung	1,1	"EnEV 07" "GWW -Standard"	188 m ²	0,25 0,25	17 17	0		
Dachterasse	Dämmung oberste Geschossdecke	0,5	"EnEV 07" "GWW -Standard"	72 m ²	0,24 0,24	14 14	0		
Fenster	2-Scheiben-Wärmeschutz- Verglasung		"EnEV 07" "GWW -Standard"	321 m ²	1,3 1,3		0		
Kellerdecke	Dämmung unter Kellerdecke	1	"EnEV 07" "GWW -Standard"	260 m ²	0,35 0,35	5 5	0		
Summe bauliche Mehrkosten (netto)									5.567
Planungsmehrkosten von 10 % der Bau- und Anlagenmehrkosten									557
Mehrwertsteuer 19%									1.163
Mehrkosten gesamt €									7.287
flächenspezifische Mehrkosten €/m ² _{An}									6,3
flächenspezifische Mehrkosten €/m ² _{EBZ}									7,1
*) Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs 0,035 W/(mK) bei Einblasdämmung 0,04 W/(mK)						IWU; 23.09.2008			

Tabelle 8: Mehrkosten „GWW-Standard“ gegenüber „EnEV 07“

Mehrkosten und Energieeinsparung "KfW 40" gegenüber "EnEV 07" <u>Annahmen</u> Gebäude aus Energiebilanzrechnungen				Mehrfamilienhaus GWW			
				1022,0 m ² reale Energiebezugsfläche EBZ 1163,7 m ² Gebäudenutzfläche An 0,413 AV-Verhältnis			
<i>Zuwachskosten pro m² Bauteil je cm Dämmstoffdicke in</i> <i>€/(cm m²)</i>				Kennwerte in kWh/(m²a)			Mehr- kosten €
				<i>Bauteil- fläche</i>	<i>U-Wert</i> W/(m ² K)	<i>Dämm- stoffdicke*</i> cm	
				bezogen auf EBZ			
				"EnEV 07"	51	82	64
				"KfW 40"	33	57	45
Außenwand	Mauerwerk + WDVS	1,4	"EnEV 07" "KfW 40"	663 m ²	0,37 0,13	8 25	15.772
Dach	Flachdach Stegträger/Einblasdämmung	1,1	"EnEV 07" "KfW 40"	188 m ²	0,25 0,11	17 40	4.746
Dachterasse	Dämmung oberste Geschossdecke	0,5	"EnEV 07" "KfW 40"	72 m ²	0,24 0,13	14 25	398
Fenster	3-Scheiben-Wärmeschutz- Verglasung	110	"EnEV 07" "KfW 40"	321 m ²	1,3 0,8		35.343
Kellerdecke	Dämmung unter Kellerdecke	1	"EnEV 07" "KfW 40"	260 m ²	0,35 0,12	5 8	779
Summe bauliche Mehrkosten (netto)							57.038
Planungsmehrkosten von 10 % der Bau- und Anlagenmehrkosten							5.704
Mehrwertsteuer 19%							11.921
Mehrkosten gesamt €							74.662
flächenspezifische Mehrkosten €/m ² _{An}							64,2
flächenspezifische Mehrkosten €/m ² _{EBZ}							73,1
*) Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs 0,035 W/(mK) bei Einblasdämmung 0,04 W/(mK)				IWU; 23.09.2008			

Tabelle 9: Mehrkosten „KfW 40“ gegenüber „EnEV 07“

Mehrkosten und Energieeinsparung "PH" gegenüber "EnEV 07" <u>Annahmen</u> Gebäude aus Energiebilanzrechnungen				Mehrfamilienhaus GWW				
				1022,0 m ² reale Energiebezugsfläche EBZ 1163,7 m ² Gebäudenutzfläche An 0,413 AV-Verhältnis				
<i>Zuwachskosten pro m² Bauteil je cm Dämmstoffdicke in</i> €/(cm m ²)				Kennwerte in kWh/(m²a)				
				bezogen auf EBZ				
				Heizw.	Enden.	Primären.		
				"EnEV 07"	51	82	64	
				"PH"	29	35	34	
				Bauteil- fläche	U-Wert W/(m ² K)	Dämm- stoffdicke* cm	Mehr- kosten €	
Außen- wand	Mauerwerk + WDVS	1,4	"EnEV 07"	663 m ²	0,37	8		
			"PH"		0,13	25	15.772	
Dach	Flachdach Stegträger/Einblasdämmung	1,1	"EnEV 07"	188 m ²	0,25	17		
			"PH"		0,11	40	4.746	
Dach- terasse	Dämmung oberste Geschossdecke	0,5	"EnEV 07"	72 m ²	0,24	14		
			"PH"		0,13	25	398	
Fenster	3-Scheiben-Wärmeschutz- Verglasung	110	"EnEV 07"	321 m ²	1,3			
			"PH"		0,8		35.343	
Keller- decke	Dämmung unter Kellerdecke	1	"EnEV 07"	260 m ²	0,35	5		
			"PH"		0,12	25	5.190	
Summe bauliche Mehrkosten (netto)							61.449	
Lüftungsanlage mit WRG gegenüber Abluftanlage							66.430	
Passivhaustaugliche Hauseingangstüren							3.865	
Planungsmehrkosten von 10 % der Bau- und Anlagenmehrkosten							13.174	
Mehrwertsteuer 19%							27.534	
Mehrkosten gesamt €							172.453	
flächenspezifische Mehrkosten €/m ² _{An}							148,2	
flächenspezifische Mehrkosten €/m ² _{EBZ}							168,7	
*) Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs 0,035 W/(mK) bei Einblasdämmung 0,04 W/(mK)				IWU; 23.09.2008				

Tabelle 10: Mehrkosten „PH“ gegenüber „EnEV 07“