

Passivhaus-Wärmeversorgung

Analyse der Versorgungsvarianten aus Kunden- und Energieversorger-Sicht

**Neubaugebiet „In der Rehre“
Hannover -Wettbergen**

Auftraggeber:

**KoK - Wärme
Stadtwerke Hannover**

AK-Technologie
Stadtwerke Hannover AG
Jörg Voss - OE353; (Pate)
Matthias von Oesen - proKlima, (Leitung)
Ulrich Imkeller-Benjes - proKlima, (Kundensicht)
Ingo Voigts - OE3511, (SWH-Sicht)
Jan Norrmann - proKlima, (Praxissemester)
Claas Husslik - proKlima, (Praxissemester)

Version Mai 2007 (gekürzt)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Grundlagen	4
	2.1 Modelle	4
	2.2 Sensivität	4
3	Variantenuntersuchung.....	5
	3.1 Stromdirekt	6
	3.1.1 ÖkoStromdirekt	6
	3.1.2 Stromdirekt + Solar	6
	3.2 Kompaktaggregat	6
	3.2.1 Kompaktaggregat + EWT	6
	3.2.2 ÖkoKompaktaggregat + EWT	6
	3.2.3 Kompaktaggregat + Solar	7
	3.2.4 Kompaktaggregat + EWT + Solar	7
	3.2.5 ÖkoKompaktaggregat + EWT + Solar	7
	3.3 Gas Brennwert.....	7
	3.3.1 Brennwert Flüssiggas	7
	3.3.2 Brennwert Biogas Netz	7
	3.3.3 Gas Brennwert + Solar	7
	3.3.4 Brennwert Biogas Netz + Solar	7
	3.4 NT BioÖl	7
	3.4.1 NT BioÖl + Solar	8
	3.5 Pellet-Ofen + Elt. TWWSommer.....	8
	3.5.1 Pellet Ofen + Solar	8
	3.6 Pellet-Kessel.....	8
	3.6.1 Pellet + Solar	8
	3.7 BHKW Typ1 /M.....	9
	3.7.1 BHKW Typ1 mit Biogas Netz.....	9
	3.7.2 BHKW 1 BioÖl	9
	3.8 BHKW Typ 2	9
	3.9 Wärmepumpe (Zeolith)	9
4	Varianten-Diskussion	10
	4.1 Einzelversorgung von freistehenden Einfamilienhäusern	11
	4.1.1 Kundensicht	11
	4.1.2 Zusammenfassung - Einzelversorgung (aus Kundensicht).....	17

4.1.3	Sensitivitätsanalyse der Einzelversorgung (Kundensicht).....	18
4.1.4	SWH-Sicht	20
4.2	Kopfstation – Heizzentrale für die Reihenhaus-Versorgung	22
4.2.1	Kundensicht	23
4.2.2	Zusammenfassung – Kopfstationen (aus Kundensicht)	27
4.2.3	Sensitivitätsanalyse der Reihenhausversorgungs-Varianten	27
4.2.4	SWH-Sicht	30
5	Fazit.....	31

1 Einleitung

Motivation und Fragestellung: Der starke Wandel der Baustandards und steigende Energiepreise veranlassen schon heute viele Bauherren nicht nur nach den gesetzlichen Mindestanforderungen der EnEV, sondern bessere Standards oder gleich im Passivhausstandard zu bauen. Auf der Seite der Bauherren besteht daher eine Vielzahl von Fragen hinsichtlich Versorgungsart, Wahl des Energieträgers und den Gesamtkosten des System.

Die sehr geringe Wärmedichte in Neubaugebieten und ein Mix unterschiedlicher Baustandards (EnEV, KfW40/60 oder Passivhaus) innerhalb eines Baugebietes fordern eine Vielzahl von Überlegungen hinsichtlich der Versorgungs- und Erschließungs-Strategie.

Aus Sicht des Energieversorgers besteht daher die Frage: „Lohnt sich noch ein Gas- oder Wärme-Netz? Welche alternativen Versorgungs-Varianten ergeben sich für die Kunden?

Arbeitsauftrag – Inhalt: Die Untersuchung soll anhand von Modellrechnungen die Wirtschaftlichkeit von Versorgungsvarianten für Passivhäuser zum einen aus Sicht der Kunden und zum anderen aus Sicht der SWH darstellen. Als Grundlage dienen allein versorgte freistehende Einfamilienhäuser und je fünf gemeinsam versorgte Reihenhäuser (Kopfstation), wie sie im Neubaugebiet „In der Rehre“ entstehen könnten. Mit den Ergebnissen soll eine Potentialabschätzung für das Baugebiet „In der Rehre“ möglich sein. Die Untersuchung soll sich ausschließlich mit marktfähigen Varianten befassen und bewusst zukünftige Versorgungsvarianten wie Sterlingmotoren, Brennstoffzellen, BHKW im 1 kW-Bereich, etc., nicht betrachten. Diese zukünftigen Versorgungsvarianten sollten möglichst in einer weiteren Untersuchung von einem neu formierten AK, eventuell auch mit Modellanwendungen (Leuchtturmprojekten) innerhalb des Versorgungsgebietes der SWH, näher betrachtet werden.

Rahmenbedingungen beim Baugebiet „In der Rehre“

Das Ziel beim Neubaugebiet „In der Rehre“ in Hannover Wettbergen ist eine Null-Emissionssiedlung auf Basis von Passivhäusern entstehen zu lassen.

Es sollen:

- die Gebäude mit der Emissionsminderungseffizienz mindestens eines Passivhauses errichtet werden;
- von der neuen Bebauung so wenig Emissionen wie möglich (einschl. Verkehr, Abfall, Abwasser usw.) ausgehen;
- die vor Ort stattfindende Energieerzeugung regenerativ erfolgen (Sonderfall elektrische Wärmepumpe für freistehende Einfamilien-Passivhäuser);
- der unvermeidbare „Belastungsüberschuss“ der Neubebauung durch die Miterrichtung von regenerativen Kompensationsmaßnahmen in der Region Hannover erfolgen.

Auswirkungen auf die zukünftige Versorgung von Baugebieten: Diese immer besser werdenden Baustandards und die weiter steigenden Energiepreise veranlassen schon heute viele Bauherren nicht nur nach den gesetzlichen Mindestanforderungen der EnEV, sondern bessere Standards oder gleich im Passivhausstandard, zu bauen. Die daraus resultierende deutliche Abnahme der Wärmedichte in Neubaugebieten war bereits Gegenstand des AK Versorgungsstrategie, der sich allerdings mehr mit dem Gebiet und weniger mit der Vielfalt der Versorgungsvarianten der einzelnen Häuser beschäftigt hat. Diese Untersuchung ist daher ergänzend.

2 Grundlagen

2.1 Modelle

Um die technisch wirtschaftliche Analyse der konkreten Versorgungsoptionen aus den beiden Blickwinkeln

- Sicht des Kunden
- Sicht der SWH

vornehmen zu können wurde eine Marktabfrage gestartet. Diese Marktabfrage brachte eine Fülle von unterschiedlichen Angeboten verschiedenster Firmen zu den einzelnen Versorgungsvarianten, die eine tiefe Genauigkeit in die Analyse einbringen. Aus diesen Angeboten wurde jeweils der Mittelwert zu den einzelnen Varianten gebildet was wiederum zu einer gewissen Unsicherheit in deren Genauigkeit zur Folge hat.

Innerhalb der beiden Blickwinkel wiederum werden zwei verschiedene Haustypen betrachtet:

- 1 freistehendes Einfamilienhaus mit **150m²** beheizter Nutzfläche
- 5 Reiheneinfamilienhäuser mit je **120m²** beheizter Nutzfläche

Bei den freistehenden Einfamilienhäusern befinden sich Wärmeerzeuger und Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung innerhalb des Gebäudes (Einzelversorgung). Der Heizwärmebedarf beträgt für die Raumheizung **15 kWh/m²a** und für die Trinkwarmwassererzeugung **20 kWh/m²a**.

Bei den Reiheneinfamilienhäusern ist der Wärmeerzeuger in einem separaten Anbau (Kopfstation) untergebracht. Die Wärmeerzeugung findet hier zentral statt und wird an die fünf Abnehmer verteilt. Die Lüftung erfolgt dezentral, jedes Reihnhaus besitzt ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Der Heizwärmebedarf beträgt für die Raumheizung **17,7 kWh/m²a** und für die Trinkwarmwassererzeugung **22,7 kWh/m²a**, jeweils 2,7 kWh/m²a zusätzlich gegenüber dem freistehenden Einfamilienhaus aufgrund von Verteilverlusten durch die Kopfstation.

Bei dieser Versorgungsvariante muss allerdings über ein Contracting, die Verwaltung über eine Betreibergesellschaft bzw. die Bildung einer Eigentümergemeinschaft nachgedacht werden.

Da jedes Haus sein eigenes Rohrnetz der Lüftungsanlage und identische Lüftungskomponenten besitzt, sind hierfür die Material- und Montagekosten bei beiden Haustypen und allen Versorgungsvarianten identisch. So sind Rohrnetz mit ca. **1.600€**, Lüftungskomponenten mit ca. **1.500€** und die Montage beider mit rund **2.000€** pro Haus veranschlagt.

Sämtliche Verbrauchsdaten, Energiepreise, Anlagenkomponenten und deren Material- und Montagekosten sind dem beigefügten Anhang zu entnehmen.

2.2 Sensivität

Zur Berechnung der Verbrauchskosten werden die heute in Hannover **gültigen Energiepreise (Stand Juli 2006, siehe Anhang)** verwendet. Um aber auch zukünftige Preisänderungen zu berücksichtigen sind zwei Varianten mit unterschiedlicher Preissteigerung der Energieträger erstellt worden, die jeweils nach 5 Jahren und nach 15 Jahren betrachtet wurden.

Variante I

Energieträger	Preissteigerung pro Jahr
Strom	1%
Biomasse	1%
Gas	3%

Variante II

Energieträger	Preissteigerung pro Jahr
Strom	3%
Biomasse	3%
Gas	10%

3 Variantenuntersuchung

Um eine möglichst große Vielzahl unterschiedlicher Varianten abzudecken und ein möglichst breites Gebiet zu untersuchen wird die Wärmeerzeugung innerhalb der beiden Haustypen bei 25 unterschiedlichen Varianten betrachtet. Diese Vielzahl von Varianten setzt sich aus wenigen Hauptvarianten und deren Untervarianten, in denen Kombinationen unterschiedlicher Systeme und Energieträger erstellt sind, zusammen. Bei der genaueren Betrachtung wird allerdings nur auf ausgewählte Varianten zurückgegriffen. Jede der 25 Varianten besitzt, wie im Passivhaus üblich, eine Komfortlüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Die Varianten ohne Erdreichwärmeübertrager (EWT) besitzen zusätzlich ein elektrisches Vorheizregister, um ein mögliches Einfrieren der Anlage im Winter zu vermeiden.

System-Nr. / Name des Systems	Einzelwärmeversorgung	Kopfstation
1. Stromdirekt (Referenzvariante)	X	X
2. ÖkoStromdirekt	X	
3. Stromdirekt + Solar	X	
4. Kompaktaggregat	X	
5. Kompaktaggregat + EWT	X	
6. ÖkoKompaktaggregat + EWT	X	
7. Kompaktaggregat + Solar	X	X
8. Kompaktaggregat + EWT + Solar	X	
9. ÖkoKompaktaggregat + EWT + Solar	X	
10. Gas Brennwert	X	X
11. Brennwert Flüssiggas	X	X
12. Brennwert Biogas Netz	X	X
13. Gas Brennwert + Solar	X	X
14. Brennwert Biogas Netz + Solar	X	X
15. NT BioÖl		X
16. NT BioÖl + Solar		X
17. Pellet-Ofen + Elt. TWWSommer	X	
18. Pellet-Ofen + Solar	X	
19. Pellet		X
20. Pellet + Solar		X
21. BHKW 1 Mephisto		X
22. BHKW 1 Biogas Netz		X
23. BHKW 1 BioÖl		X
24. BHKW 2 Senertec		X
25. Wärmepumpe(Zeolith)	X	

3.1 Stromdirekt

Die benötigte Wärme für die Raumheizung wird über Stromdirekt-Heizung mittels eines elektrischen Nachheizregisters in der Lüftungsanlage bereitgestellt. Das Trinkwarmwasser wird mittels eines elektrischen Durchlauferhitzers und einem Untertischgerät (Küche) erzeugt. Diese Variante dient beim Vergleich als Referenzvariante, auf die alle anderen Varianten bezogen werden.

Es handelt sich um eine sehr einfache und in der Investition preisgünstige Variante. Dies ist auch der Grund dafür, dass sie hin und wieder in der Praxis realisiert wird.

3.1.1 ÖkoStromdirekt

Wie **3.1** anstelle des üblichen Strom-Mix ("normalem Strom") erfolgt die Versorgung mit ÖkoStrom. Diese Variante ist zwar ökologisch interessant, aber vertraglich dauerhaft nicht festzuschreiben, da der Kunde den Stromanbieter bereits nach einigen Monaten wechseln kann und die Anlage dann wieder über den normalen Strom-Mix oder Atomstrom betrieben werden kann.

3.1.2 Stromdirekt + Solar

Da das Trinkwarmwasser ca. 60% des Wärmebedarfs ausmacht erscheint es sinnvoll Variante **3.1** mit einer thermischen Solaranlage zu ergänzen. Anstelle des Durchlauferhitzers und des Untertischgerätes erfolgt die Trinkwarmwasserbereitung über die thermische Solaranlage. Das Trinkwarmwasser wird mit einem Deckungsanteil von 60% mittels der Solaranlage erzeugt, die restlichen 40% direkt durch einen elektrischen Heizstab im Solartrinkwarmwasserspeicher.

3.2 Kompaktaggregat

Kombigerät aus Lüftungsgerät und Wärmeerzeuger. Mittels einer Wärmepumpe (Wärmequelle ist die Fortluft), die einen Wasserspeicher auflädt, wird die Nacherhitzung der Zuluft und die Trinkwarmwasserbereitung im Trinkwarmwasserspeicher realisiert. Der momentane Trend im Passivhaus geht zum Kompaktaggregat, man benötigt nur ein Gerät für die gesamte Haustechnik. Das Gerät selbst benötigt wenig Platz, ist relativ unkompliziert und besitzt einen guten Wärmebereitstellungsgrad.

3.2.1 Kompaktaggregat + EWT

Eine mögliche Ergänzung zur Variante **3.2** ist der Einbau eines Erdreichwärmeübertragers in das System, welcher die angesaugte Außenluft der Lüftungsanlage im Winter vorwärmt und im Sommer abkühlt, so kann auf das elektrische Vorheizregister verzichtet werden.

3.2.2 ÖkoKompaktaggregat + EWT

Wie **3.2.1** anstelle des üblichen Strom-Mix ("normalem Strom") mit ÖkoStrom betrieben. Allerdings mit derselben Problematik verbunden wie Variante **3.1.1**, dass es vertraglich schwer machbar ist und der Stromanbieter nach kurzer Zeit gewechselt werden kann.

3.2.3 Kompaktaggregat + Solar

Ebenfalls eine sinnvolle Ergänzung zu Variante **3.2**, um die Effizienz der Anlage zu steigern. Die thermische Solaranlage erzielt einen Deckungsanteil von 60% bei der Trinkwarmwasserbereitung, anstelle des Trinkwarmwasserspeichers wird ein Solartrinkwarmwasserspeicher mit zwei Wärmeübertragern benötigt.

3.2.4 Kompaktaggregat + EWT + Solar

Kombination aus **3.2.2** und **3.2.3**, in der das elektrische Vorheizregister eingespart wird und die Effizienz mit Hilfe der thermischen Solaranlage gesteigert wird.

3.2.5 ÖkoKompaktaggregat + EWT + Solar

Wie **3.2.4** anstelle des üblichen Strom-Mix ("normalem Strom") mit ÖkoStrom betrieben. Mit der gleichen Problematik der Varianten **3.1.1** und **3.2.2**,

3.3 Gas Brennwert

Die Standardvariante eines heutigen Einfamilienhauses um den Wärmebedarf zu decken. Hier wird die benötigte Wärme für Raumheizung und Trinkwarmwasser konventionell mittels eines Gasbrennwertkessels erzeugt. Dieser versorgt das Nachheizregister und den Trinkwarmwasserspeicher.

3.3.1 Brennwert Flüssiggas

Wie **3.3** anstelle von Erdgas wird die Anlage mit Flüssiggas betrieben. Bei dieser Variante entfällt der Erdgas-Hausanschluss, es wird jedoch ein Flüssiggastank benötigt.

3.3.2 Brennwert Biogas Netz

Wie **3.3** anstelle von Erdgas wird die Anlage mit Biogas aus dem Netz betrieben.

3.3.3 Gas Brennwert + Solar

Wie **3.3** zusätzlich erzeugt die thermische Solaranlage 60% der benötigten Wärme zur Trinkwarmwasserbereitung. Anstelle des Trinkwarmwasserspeichers wird ein Solartrinkwarmwasserspeicher mit zwei Wärmeübertragern benötigt.

3.3.4 Brennwert Biogas Netz + Solar

Wie **3.3.2** zusätzlich mit thermischer Solaranlage, die einen Deckungsanteil von 60% bei der Trinkwarmwasserbereitung erzielt. Anstelle des Trinkwarmwasserspeichers wird ein Solartrinkwarmwasserspeicher mit zwei Wärmeübertragern benötigt.

3.4 NT BioÖl

Die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser erfolgt über einen Bioöl BW/NT-Kessel der das Nachheizregister und den Trinkwarmwasserspeicher versorgt, es wird zusätzlich ein Öltank benötigt.

3.4.1 NT BioÖl + Solar

Wie **3.4** zusätzlich eine thermische Solaranlage mit 60% Deckungsanteil und anstelle des Trinkwarmwasserspeichers einen Solartrinkwarmwasserspeicher mit zwei Wärmeübertragern.

3.5 Pellet-Ofen + Elt. TWWSommer

Der im Wohnraum befindliche Pelletofen ist eine Mischung aus Kamin und Zentralheizung, er stellt die benötigte Wärme für Heizung und Warmwasser. Um ein überhitzen des Wohnraumes im Sommer zu verhindern erfolgt in diesem Zeitraum die Trinkwarmwasserbereitung über einen elektrischen Heizstab (normaler Strom-Mix) im Trinkwarmwasserspeicher.

3.5.1 Pellet Ofen + Solar

Wie **3.5** anstelle des elektrischen Heizstabes und des Trinkwarmwasserspeichers erfolgt die Trinkwarmwasserbereitung über eine thermische Solaranlage mit einem Deckungsanteil von 60% und einem Solartrinkwarmwasserspeicher mit zwei Wärmeübertragern.

3.6 Pellet-Kessel

Pellets sind Röllchen aus gepressten Holzspänen und Sägemehl. Der vollautomatische Pelletkessel erzeugt die Wärme für Heizung und Warmwasser. Es werden ein Pufferspeicher für die Versorgung des Trinkwarmwasserspeichers und des Nachheizregisters benötigt, sowie ein Pelletlager um eine entsprechende Menge an Brennstoff bereit zu stellen.

3.6.1 Pellet + Solar

Wie **3.6** zusätzlich eine thermische Solaranlage mit 40% Deckungsanteil und anstelle des Trinkwarmwasserspeichers einen Solartrinkwarmwasserspeicher mit zwei Wärmeübertragern.

3.7 BHKW Typ1 /M

Das Blockheizkraftwerk erzeugt bei der Verbrennung über die Kraftwärmekopplung (KWK) Wärme und Strom. Der Gasmotor treibt einen Elektrogenerator an, welcher wiederum Strom erzeugt. Dieser Strom wird für den Eigenbedarf genutzt, überschüssiger Strom wird gegen Vergütung in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die im Kühlwasser und in den Abgasen des Motors enthaltene Wärme wird gleichzeitig für die Versorgung des Nachheizregisters und des Trinkwarmwasserspeichers genutzt. (Typische Leistung 4-5 kW_{el})

3.7.1 BHKW Typ1 mit Biogas Netz

Wie 3.7 allerdings erfolgt der Betrieb der Anlage mit Biogas aus dem Netz anstelle von Erdgas.

3.7.2 BHKW 1 BioÖl

Wie 3.7 allerdings erfolgt der Betrieb der Anlage mit Bioöl anstelle von Erdgas.

3.8 BHKW Typ 2

Das 2. Blockheizkraftwerk (anderer Hersteller) ist ähnlich wie Variante 3.7 aufgebaut. Aufgrund unzureichender Angaben im Kostenangebot und zusätzliche getroffenen Annahmen, ist eine genauere Betrachtung dieser Variante nicht weiter sinnvoll, dient aber zur Abschätzung der oberen und unteren Grenze der Invest-Kosten.

3.9 Wärmepumpe (Zeolith)

Das Zeolith Heizgerät ist ein Hybridsystem, welches Brennwertechnik mit Umweltwärme koppelt. Es werden ca. 75% der benötigten Energie mithilfe der konventionellen Brennwertechnik erzeugt, die Restlichen ca. 25% werden aus der Umwelt generiert. Das Mineral Zeolith kann aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften in seinen Poren große Mengen Wasser aufnehmen, wobei Wärme entsteht. Mit Hilfe der Brennwertechnik wird der Zeolith erhitzt, das in ihm gespeicherte Wasser verdampft, kondensiert an der Oberfläche des Wärmeübertragers und gibt so die Kondensationswärme direkt an den Heizkreis ab. Nach Erreichen der Maximaltemperatur wird der Zeolith wieder abgekühlt. Um die Umweltwärme zu nutzen sind zwei Solarkollektoren und ein Luftkollektor mit dem Heizgerät verbunden. Diese Umweltwärme lässt das angefallene Kondensat nun wieder verdampfen, der Zeolith nimmt den Wasserdampf unter Erwärmung wieder auf, diese Wärme wird ebenfalls an den Heizkreis übertragen. Der Heizkreis versorgt das Nachheizregister und den Trinkwarmwasserspeicher. Dieser Verdampfungs- und Kondensationsprozess wiederholt sich kontinuierlich, bis keine Wärmeanforderung mehr vorliegt.

4 Varianten-Diskussion

Vorbemerkung

Fokus auf eine Auswahl der Varianten

Zur besseren Orientierung wurde der Fokus auf 6 wesentliche (Leit-)Varianten gelegt. Aus Sicht des Energieversorgers sind dies die „klassischen“ **Passivhaus-Versorgungsvarianten** mit den Kriterien „auf Markt verfügbar“, „praxiserprobt“ usw. jeweils kombiniert mit einer Solaranlage zur TWW-Bereitung.

Ein weiteres Kriterium ist z.B. „technisch sinnvoll“ d.h. ein Pellet-Ofen zur TWW-Bereitung innerhalb des Hauses führt zur sommerlichen Überhitzung, womit nur eine Kombination mit Solaranlage in Frage kommt.

Die restlichen 19 Varianten stellen Abwandlungen der „klassischen“ Systeme dar, oder sind (noch) nicht durchgängig auf dem Markt verfügbar oder sind derzeitiger eher noch im „Stadium des Feldversuchs“ einzuordnen (z.B. Zeolith-Wärmepumpe).

„klassische“ Varianten der Passivhaus-Versorgungssysteme

EFH – Einzelversorgung	Reihenhaus-Heizzentrale /Kopfstation
(1) Stromdirekt-Heizung (=Referenz-1)	(1) Stromdirekt-Heizung (=Referenz-1)
(4) Kompakt-Aggregat (=Referenz-2)	(4) Kompakt-Aggregat (=Referenz-2)
(7) Kompakt-Aggregat & Solar-TWW	(10) Gas-Brennwert
(10) Gas-Brennwert	(19) Pellet-Kessel
(13) Gas-Brennwert & Solar-TWW	(20) Pellet-Kessel & Solar-TWW
(18) Pellet-Ofen & Solar-TWW	(21) Erdgas-BHKW/1

Die Untersuchung wird jeweils getrennt die Systeme zur

- **Einzelversorgung** von freistehenden Einfamilienhäusern und
- **Heizzentrale** (Versorgung über Kopfstation) von Reihen-Einfamilienhäusern durchgeführt.

Im Folgenden werden die Varianten zunächst aus „**Kundensicht**“, hinsichtlich Investition, jährlichen Gesamtkosten, CO₂-Emission usw. untersucht.

Eine „**Sensitivitäts-Analyse**“ zeigt die Abhängigkeit der jährlichen Gesamtkosten vom Energiepreis (aus Kundensicht).

Zur Abrundung der Untersuchung werden die Effekte aus „**Sicht eines Energieversorgers**“ dargestellt (**SWH-Sicht**).

Die Kostenangaben beziehen sich immer auf **eine** Wohneinheit, die CO₂-Emission sind pro m² beheizte Wohnfläche angegeben. Der ausführliche Vergleich und weitere Details zu allen Varianten sind im Anhang exemplarisch aufgezeigt.

Problem der „Scheingenauigkeit“...

Die Kostenangaben der Hersteller, daraus abgeleitete Werte anderer Kostenblöcke oder auch geschätzte Werte bei fehlenden Angaben, sind selbstverständlich mit Unsicherheiten behaftet.

Während die Verbrauchs- und Betriebskosten relativ „sicher“ anzugeben sind, muss die Investitionsseite, d.h. die kapitalgebundenen Kosten mit einer Unsicherheit von 5% bis 10% angenommen werden.

Damit ergeben sich „natürliche“ Schwankungsbreiten für die Investitionshöhe von etwa 2.500 EUR bzw. 250 EUR/a bei den jährlichen Gesamt-Kosten

...Lösung: „Klasseneinteilung“

Versorgungssysteme die sich mit weniger als dieser Schwankungsbreite unterscheiden sind als gleichrangig zu bewerten. Eine genauere Betrachtung unterliegt somit einer Scheingenauigkeit. Zur Vereinfachung wurde daher in den Ergebnistabellen eine farbliche Klasseneinteilung vorgenommen.

Klassen-einteilung	Investition	Klassen-einteilung	Jährliche Gesamtkosten
A	< 15.000 EUR	A	< 1.500 EUR/a
B	15.000 – 17.499 EUR	B	1.500 – 1.749 EUR/a
C	17.500 – 19.999 EUR	C	1.750 – 1.999 EUR/a
D	20.000 – 22.499 EUR	D	2.000 – 2.249 EUR/a
E	22.500 – 24.999 EUR	E	2.250 – 2.499 EUR/a
F	25.000 – 27.499 EUR	F	2.500 – 2.749 EUR/a
G	27.500 – 29.999 EUR	G	2.750 – 2.999 EUR/a
H	> 30.000 EUR	G	> 3.000 EUR/a

Tab.4: Farbliche Klasseneinteilung zur Bewertung der System

4.1 Einzelversorgung von freistehenden Einfamilienhäusern

4.1.1 Kundensicht

Aus Sicht des Kunden werden sowohl der Investitionsbedarf (A), die jährlichen Gesamtkosten (B) als auch die zu erwartende CO₂-Emissionen (C) betrachtet.

Einfluss von Förderprogrammen: Zusätzlich wird auch der Aspekt der Förderung mit in die Bewertung aufgenommen. Da die Förderung weder „zeitlich konstant“ noch bundesweit/regional einheitlich ist, erschwert der Aspekt Förderung eine umfassende Gesamtbewertung. Die hier getroffenen Annahmen stellen daher nur eine Momentaufnahme dar. Die Auswirkung der derzeitigen Förderlandschaft wird daher ergänzend bei der Darstellung des Investitionsbedarfes und den jährlichen Gesamtkosten aufgezeigt, wobei gewisse Vereinfachungen vorgenommen werden.

derzeitige Förderbeträge für das „proKlima-Fördergebiet“:

proKlima	
Passivhaus-Förderung (2006)	6.000 EUR *; jedoch keine Förderung für Stromdirekt-Systeme <i>Anmerkung: der überwiegende Anteil der Förderung müsste streng genommen dem Mehraufwand bei der Gebäudehülle zugerechnet werden. Die Anlagentechnik verursacht nur geringen Mehraufwand. Da aber z.B. ein Stromdirekt-System nicht gefördert wird, wird in dieser Betrachtung der gesamt Förderbetrag dem Versorgungssystem zugerechnet !</i>
Solar-Förderung für den Solar-Handwerker	80 EUR/m ² bei 5 m ² 400 EUR Betrag wird der Kundenseite gutgeschrieben
BAFA-Förderung	Stand Juli 2006
Solar	54,60 EUR/m ²
Pellet-Ofen	640 EUR
Pellet-Kessel	1088 EUR
EE-G / KWK-G	Einspeisevergütung
bei Erdgas	9,87 ct/kWh 0,55 ct/kWh Mineralölsteuersatz
bei Biogas/Bio-Öl	19,3 ct/kWh 0,00 ct/kWh Mineralölsteuersatz
KfW-Programme*	keine Berücksichtigung* <i>Anmerkungen: eine KfW-Förderung in Form eines zins-günstigen Darlehns wurde hier nicht berücksichtigt, da dies keine Auswirkung auf die Investitionshöhe hat. Es ergibt sich lediglich einen konstanten Betrag bei den Kapitalkosten, der aber für alle System gleich hoch wäre und somit keine Änderung bei der Reihenfolge der Systeme hätte. Unter Umständen ist auch mit einer Stromdirekt-Heizung noch ein KfW40 Haus erreichbar.</i>

A) Investition:

Der Investitionsbedarf der einzelnen Varianten ist in **Bild E-1.2** bzw. **Tabelle E-1.2** dargestellt. Unter dem Titel **"Wärmeerzeuger"** sind die Kosten für den Wärmeerzeuger, das Lüftungsgerät, die Trinkwarmwasserbereitung/Speicher, die Solarkollektoren sowie die Montage und die Inbetriebnahme selbiger zusammengefasst. Unter der **"restlichen Anlage"** sind die Kosten für Schornstein, Rohrnetz Lüftung, Lüftungskomponenten, Montage Lüftung/Rohrnetz und Erd-Solewärmeübertrager zusammengefasst. (Annahmen für die Komfort-Lüftung sind bereits unter Kap. 2.1 näher ausgeführt).

Systemvergleich Passivhaus -- Einzel-Wärmeversorgung -- (Kundensicht)

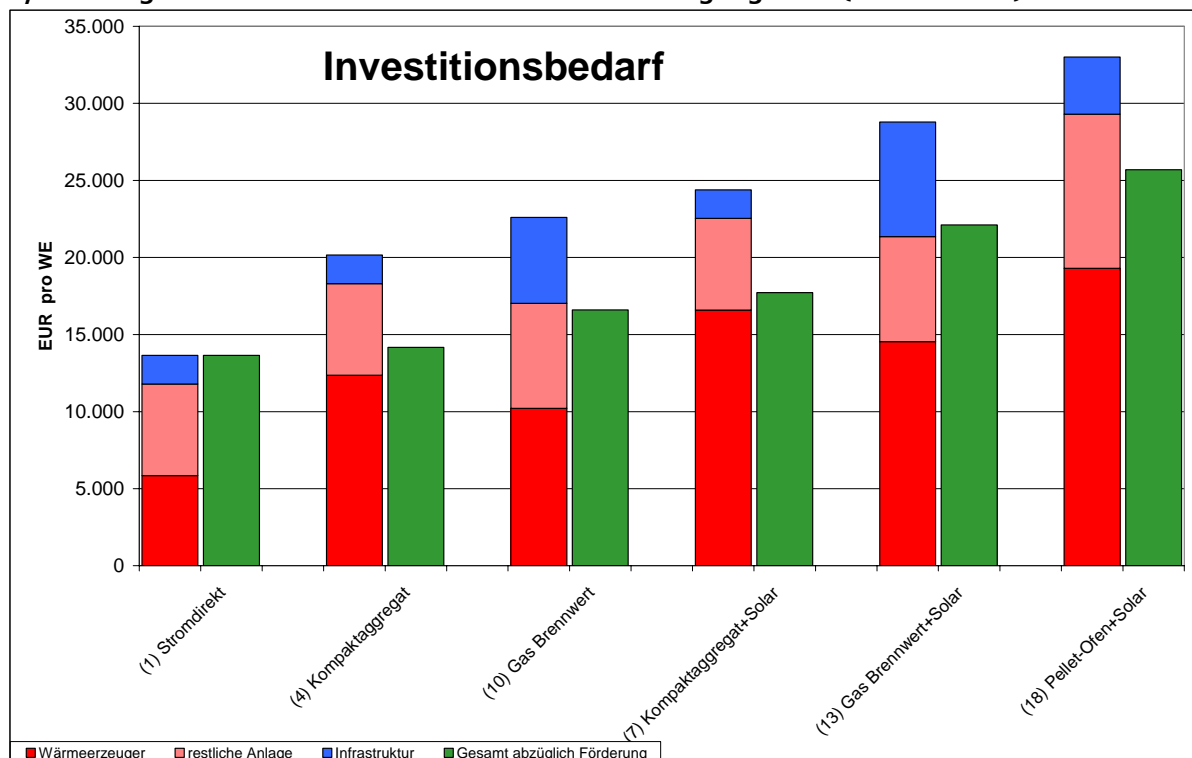


Bild E-1.2 A) Investition (Heizung/Lüftung + Warmwasser)

Variante	Wärmeerzeuger	restl. Anlage	Infrastruktur	Gesamt	Förderung	Gesamt inkl. Förderung
(1) Stromdirekt	5.846 €	5.950 €	1.856 €	13.652 €	0 €	13.652 €
(4) Kompaktaggregat	12.356 €	5.950 €	1.856 €	20.161 €	6.000 €	14.161 €
(10) Gas Brennwert	10.206 €	6.820 €	5.580 €	22.605 €	6.000 €	16.605 €
(7) Kompaktaggregat+Solar	16.590 €	5.950 €	1.856 €	24.395 €	6.673 €	17.722 €
(13) Gas Brennwert+Solar	14.536 €	6.820 €	7.436 €	28.792 €	6.673 €	22.119 €
(18) Pellet-Ofen+Solar	19.295 €	10.010 €	3.712 €	33.016 €	7.313 €	25.703 €

Tabelle E-1.2

Unter dem Titel „Infrastruktur“ sind die Kosten für den Hausanschluss und die Heizzentrale, eventuell Brennstofflager usw. enthalten. (Anmerkung: Der Detaillierungsgrad der Kostenermittlung wird für den Leser im Anhang an einem Beispiel ersichtlich.)

Resultat:

Die Strom-Direkt Variante (1) zeigt erwartungsgemäß den geringsten Investitionsbedarf auf. Das Kompaktaggregat (4) zeigt einen leichten Kostenvorteil gegenüber der Gas-Brennwert-Variante (10). Mit Einrechnung der Förderung ist das Niveau der Stromdirekt-Anlage erreichbar.

Das Kompaktaggregat plus Solar-WW (7) kann unter Berücksichtigung der „Scheingenaugigkeit“ mit der Gas-Brennwert-Variante (10) als gleichwertig betrachtet werden.

Als deutlich abgeschlagen können die Gas-Brennwert plus Solar-TWW (13) sowie die Pellet-Ofen-Variante (18) eingestuft werden.

Die Förderung ändert hier nichts an dieser Reihenfolge der Systeme.

B) Jährliche Gesamtkosten

Um die jährlichen Gesamtkosten einer Versorgungsvariante zu bestimmen, wurden die kapitalgebundenen, die Verbrauchskosten für Heizung/Lüftung, Warmwasser, Hilfsenergie sowie Grundkosten und die Betriebs- & Wartungskosten im Sinne eines Vollkostenvergleiches (in Anlehnung an VDI2067) ermittelt und in **Bild E-2.2** bzw. **Tabelle E-2.2** dargestellt.

Zugrunde gelegt sind dabei die aktuellen Energiepreise und Tarife der SWH (Stand 2006) sowie ein kalk. Zinssatz von 5% bzw. eine Nutzungsdauer von 15 und mehr Jahren*.

**Anmerk: Die differenzierten Annahmen der Energiepreise/Tarife (Arbeitspreise, Grundpreise usw.), sowie die Randbedingungen für die Ermittlung der kapitalgebundenen Kosten (kalk. Zinssatz, Nutzungsdauer der versch. Anlagenbestandteile usw.) sind im Anhang näher aufgeführt.*

Systemvergleich Passivhaus -- Einzel-Wärmeversorgung -- (Kundensicht)

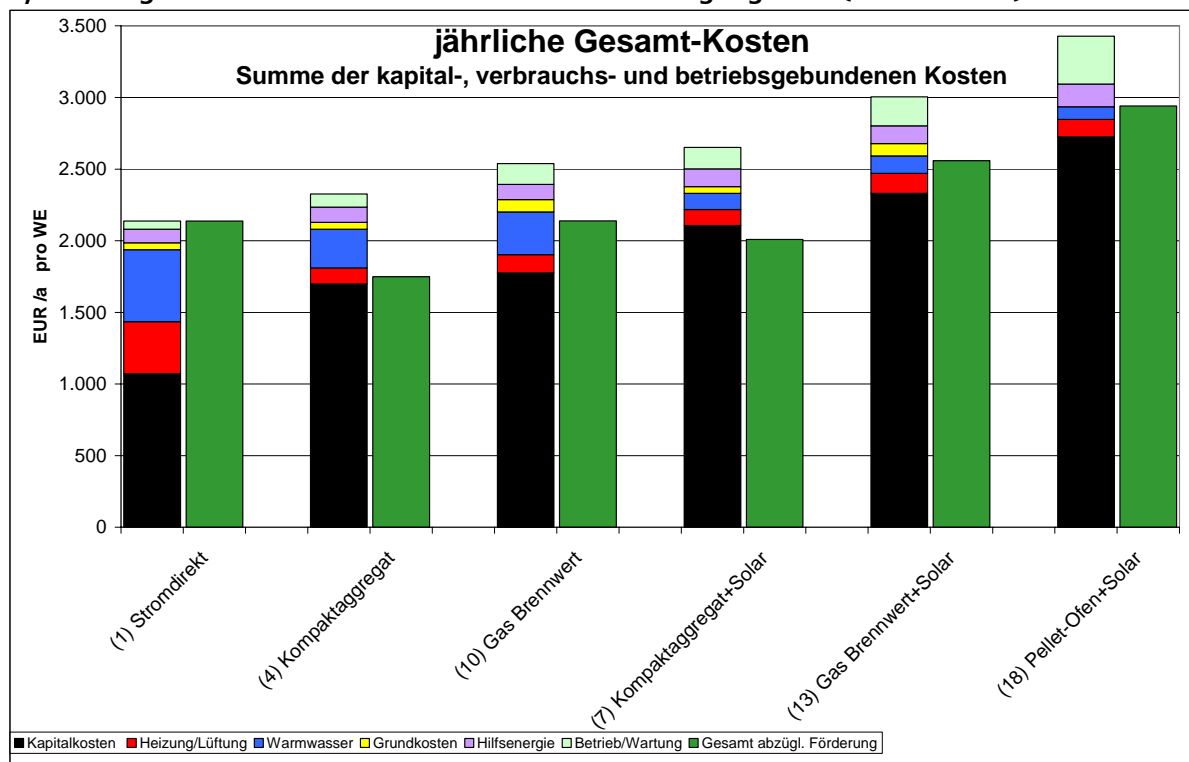


Bild E-2.2 B) jährliche Gesamtkosten

Variante	Kapitalkosten	Heizung/Lüftung	Warmwasser	Grundkosten	Hilfsenergie	Betrieb/Wartung	Gesamt	Gesamt inkl. Förderg
(1) Stromdirekt	1.071 €	365 €	502 €	48 €	94 €	58 €	2.138 €	2.138 €
(4) Kompaktaggregat	1.698 €	112 €	270 €	48 €	106 €	93 €	2.327 €	1.749 €
(10) Gas Brennwert	1.775 €	127 €	298 €	86 €	106 €	145 €	2.539 €	2.139 €
(7) Kompaktaggregat+Solar	2.106 €	112 €	112 €	48 €	123 €	151 €	2.652 €	2.009 €
(13) Gas Brennwert+Solar	2.331 €	140 €	122 €	86 €	123 €	203 €	3.004 €	2.560 €
(18) Pellet-Ofen+Solar	2.725 €	123 €	89 €	0 €	158 €	334 €	3.428 €	2.940 €

Tabelle E-2.2 EUR / a /WE

Resultat:

Ohne Förderung sind, trotz hoher Verbrauchskosten, die Gesamtkosten der Strom-Direkt Variante (1) am geringsten.

Mit Förderung stellt sich für das Kompaktaggregat (4) sogar ein deutlicher Vorteil gegenüber der Stromdirekt-Heizung und dem Gas-Brennwert-System (10) ein.

Die Gas-Brennwert-Variante (10) und das Kompaktaggregat plus Solar (7) zeigen vergleichbare Kosten. Mit Förderung ergibt sich sogar ein leichter Vorsprung für das Kompaktaggregat.

Bedingt durch den hohen Anteil der kapitalgebundenen Kosten sind die Gas-Brennwert-Variante plus Solar-TWW (13) sowie die Pellet-Ofen-Variante (18) weiterhin (sowohl mit als auch ohne Förderung) deutlich abgeschlagen.

C) CO₂-Emissionen

Die aus dem Verbrauch der unterschiedlichen Energieträger für Heizung und Warmwasser sowie die aus dem Hilfsenergie-Einsatz anfallende CO₂-Mengen sind in **Bild E-6.2** bzw. **Tabelle E-6.2** dargestellt. Die CO₂-Faktoren sind gemäß GEMIS angesetzt worden. >>Details siehe Anhang

Anmerkungen zur Klassenbildung: die Einstufung erfolgt hier in Stufen von 5 kg CO₂ pro m² und Jahr. Bei Annahme einer Toleranz beim End-Energiebedarf von 10% sowie 10% bei den Emissionsfaktoren ergibt sich, gespiegelt am Strom-Direkt-System (1) eine (natürliche) Schwankungsbreite von etwa 5 kg/m²

Resultat: Der Einsatz von Biomasse und Solarenergie zeigt deutliche Vorteile gegenüber den konventionellen Systemen.

Die Pellet-Ofen-Variante sowie die Varianten mit Solar-TWW weisen die geringsten Emissionen auf. Das Kompaktaggregat und das Gas-Brennwert-System sind als gleichwertig zu bezeichnen. Deutlich abgeschlagen ist das Stromdirekt-System.

Anforderungen für CO₂-Ausgleichsmaßnahmen (Kompensation)

Eine „freie“ Wahl des Versorgungssystems für die geplante klimaneutrale Neubausiedlung „In der Rehre“ hätte für den Hauseigentümer die Konsequenz geeignete Kompensationsmaßnahmen zu treffen, die sich bezogen auf das Heizsystem mit den geringsten CO₂-Emissionen (im Falle der Einzelversorgung) messen lassen.

Systemvergleich Passivhaus -- Einzel-Wärmeversorgung -- (Kundensicht)

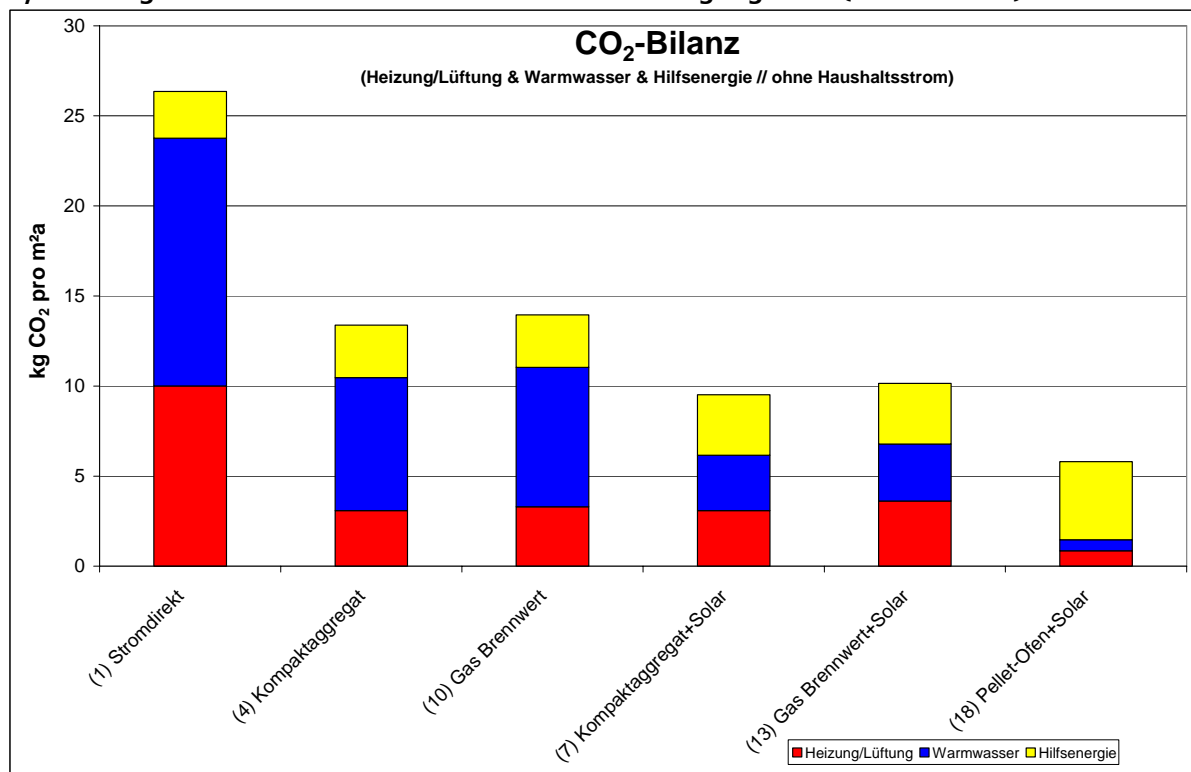


Bild E-6.2 C) CO₂-Bilanz anteilig aus Heizung/Lüftung, Warmwasser und Hilfsenergie

Variante	Heizung/Lüftung [kg/m²a]	Warmwasser [kg/m²a]	Hilfsenergie [kg/m²a]	Gesamt [kg/m²a]
(1) Stromdirekt	10,0	13,8	2,6	26,3
(4) Kompaktaggregat	3,1	7,4	2,9	13,4
(10) Gas Brennwert	3,3	7,7	2,9	13,9
(7) Kompaktaggregat+Solar	3,1	3,1	3,4	9,5
(13) Gas Brennwert+Solar	3,6	3,2	3,4	10,1
(18) Pellet-Ofen+Solar	0,9	0,6	4,3	5,8

Tabelle E-6.2

Anlegbare Vermeidungskosten / Kompensationskosten

Für den Fall der Einzelversorgung weist das Pellet-Ofen-System mit solarer TWW die geringsten CO₂-Emissionen auf. Dessen jährliche Gesamtkosten sind jedoch die höchsten im Vergleich mit den hier ausgewählten Systemen.

Im Vergleich mit z.B. einem Stromdirekt-System hat das Pellet-System ohne Förderung ca. 1.290 EUR/a an Mehrkosten (mit Förderung lediglich 800 EUR/a). Die CO₂-Vermeidung beträgt jedoch 20,5 kg/m²a bzw. 3,1 Tonnen/a. gegenüber dem Stromdirekt-System. Damit ergeben sich CO₂-Vermeidungskosten von ca. 420 EUR/Tonnen (ohne Förderung) und im Falle einer Förderung des Pellet-Systems dann von 260 EUR/Tonne.

Für den „Betreiber“ eines Stromdirekt-Systems bedeutet dies eine Kompensationsmaßnahme zu tätigen, die ca. 62 Tonnen CO₂ (über einen Nutzungszeitraum von 20 Jahren) einsparen muss. Um eine Gleichbehandlung mit dem Pellet-System zu gewährleisten, können dafür Vermeidungskosten von max. 420 EUR/Tonnen bzw. im Falle der Förderung von max. 260 EUR/Tonnen angelegt werden. Für die anderen Versorgungsvarianten ergeben sich folgende Werte.

Ableitung der CO ₂ -Vermeidungskosten von Einzelversorgungssystemen	Kostenvorteil (+) oder Mehrkosten (-) gegenüber Referenz-Variante*		erhöhte CO ₂ -Emission gegenüber Referenz-Variante*			CO ₂ -Vermeidungskosten	
	ohne Förderung EUR/a	mit Förderung EUR/a	[kg/m ² a]	pro Jahr und Wohneinheit [Tonnen/a]	über Nutzungsdauer [Tonnen]	ohne Förderung [EUR/Tonne]	mit Förderung [EUR/Tonne]
(18) Pellet-Ofen+Solar*	-	-	-	-	-	-	-
(1) Stromdirekt	1.290 €	800 €	20,5	3,1	61,6	420	260
(4) Kompaktaggregat	1.100 €	1.190 €	7,6	1,1	22,8	970	1.050
(10) Gas Brennwert	890 €	800 €	8,1	1,2	24,4	730	660
(7) Kompaktaggregat+Solar	775 €	930 €	3,7	0,6	11,2	1.390	1.670
(13) Gas Brennwert+Solar	425 €	380 €	4,3	0,7	13,0	650	590

Zum Vergleich die Größenordnung der Vermeidungskosten von typischen Systemen oder Maßnahmen zur CO₂-Einsparung (Annahmen für PV, Wind und Biomasse : EEG-Vergütungssatz pro eingespeister kWh und BRD-Strom-Mix für CO₂)/ Wärmedämmung eigene Berechnung)

typische CO ₂ -Vermeidungskosten verschiedener System und Maßnahmen				
Strom aus PV-Anlage	800	-	880	EUR/Tonne
Strom aus Windkraft-Anlage	250	-	275	EUR/Tonne
Strom aus KWK-Biomasse	300	-	330	EUR/Tonne
Einsparung durch Wärmedämmung im Bestand (Außenwand)	160	-	175	EUR/Tonne
derzeitiger Börsen-Handelspreis für CO ₂ -Emissions-Zertifikate	15	-	20	EUR/Tonne

4.1.2 Zusammenfassung - Einzelversorgung (aus Kundensicht)

Hinsichtlich Investitionshöhe und der jährlichen Gesamtkosten zeichnet sich (unabhängig einer Förderung) das Kompaktaggregat (4) mit deutlichen Vorteil gegenüber dem Gas-Brennwert-System (10) aus.

Mit Förderung liegen die jährlichen Kosten für das Kompaktaggregat (4) sogar unter dem Niveau der Strom-Direkt-Variante(1).

Die Varianten des Kompaktaggregates sowie die Brennwert-Varianten (jeweils mit/ohne Solaranlage) sind hinsichtlich der CO₂-Emissionen als gleichwertig einzustufen.

Die Pellet-Ofen- plus SolarWW-Variante hat auch mit Förderung die höchsten Gesamtkosten, weist aber die geringsten CO₂-Emissionen auf (insb. die benötigte Hilfsenergie (konventioneller Strom-Mix) hat daran den größten Anteil)

Eine Förderung bewirkt bei allen Systemen eine Absenkung der Kosten in Höhe von 5% bis 15%. Erwartungsgemäß verursacht die Trinkwarmwasserbereitstellung bei allen Systemen anteilig jeweils den größeren Beitrag zur den CO₂-Emissionen.

<p>Fazit:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Varianten des Kompaktaggregates gegenüber den Gas-Brennwert-Systemen deutliche Vorteile auf. - durch eine sinnvolle Förderung unterschreitet das Kompaktaggregat das Kostenniveau eines Stromdirekt-Systems. - Der Pellet-Ofen & Solar kann wirtschaftlich nur konkurrieren, wenn die Investitionsseite langfristig günstiger wird oder der Pelletpreis deutlich unter dem Gas-Preis bleibt. - als Preis der „Unabhängigkeit“ von leitungsgebundener Energie z.B. beim Pellet-System muss ein Kunde derzeit etwa 400 bis 1.200 EUR pro Jahr zusätzlich bezahlen. 	<p>Bei Einzelversorgung eines Passivhauses weisen (aus Kundensicht)...</p>
--	--

4.1.3 Sensitivitätsanalyse der Einzelversorgung (Kundensicht)

Die bisherigen Betrachtungen beruhen auf den heutigen Energiepreisen. Um eine zukunftsorientierte Aussage treffen zu können, wurden zwei Varianten mit unterschiedlichen Erhöhungen der Arbeitspreise für die jeweiligen Energieträgern (jeweils aus Kundensicht) erstellt.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung ist die Sensitivität von Bedeutung und liefert wichtige Schlüsse für eine mögliche Kunden-Entscheidung hinsichtlich des Energieträgers. Betrachtet wird die resultierende Änderung der Gesamtkosten jeweils nach 15 Jahren.

Szenario I (best case): durchschnittliche Preissteigerung für **Strom** und Biomasse von **1%** pro Jahr und für **Gas 3%** pro Jahr,

Szenario II (worst case): durchschnittliche Preissteigerung für **Strom** und Biomasse von **3%** p.a. und für **Gas 10%** p.a.

Hinweis: eine Förderung (gemäß Kap. 4.1.2) ist bei der Sensitivität-Analyse nicht eingerechnet worden. Der Effekt der Preissteigerung kann auch unabhängig einer Förderung betrachtet werden. Vereinfachend sind hier die Betriebskosten unverändert (konstant) angenommen, diese würden bei allen Systemen entsprechend der Inflationsrate rel. gleichmäßig steigen.

Preis-Szenarien:

Die Preissteigerungsraten sind in Anlehnung an eine Studie des Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der Technischen Universität München abgeleitet worden. Dort wurden zwei Prognosen der Energiepreisentwicklung basierend auf Angaben des BM für Wirtschaft und Arbeit (2005) und Untersuchung zur Preissteigerung über die letzten 2,5 Jahre dargestellt.

(Weitere Überlegungen für eine geringe Preissteigerung bei Strom sind, die hohe Verfügbarkeit der Kohle für die Stromerzeugung und einhergehend eine preisstabilisierende Wirkung.

Im Falle des Erdgases wirken die zukünftige weltweit steigende Nachfrage und die begrenzte Verfügbarkeit eher zu hohen Preissteigerungsraten)

Sensitivitätsanalyse (best case) -- Einzel-Wärmeversorgung -- (Kundensicht)

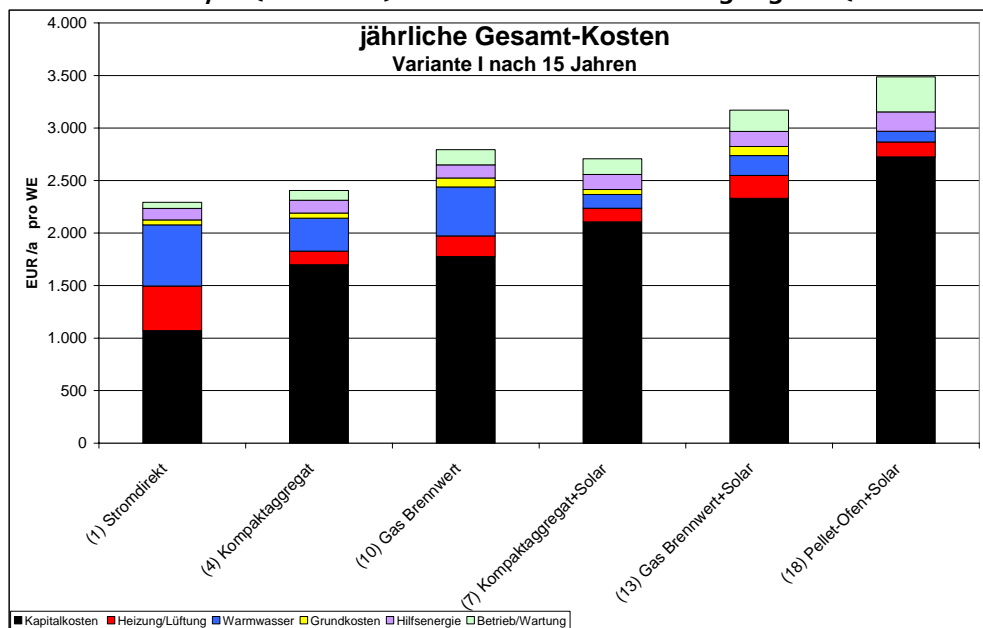


Bild E-2.6 Gesamtkosten nach 15 Jahren bei Energiepreissteigerung für Strom und Biomasse mit je 1%/p.a., bei Gas von 3%/p.a.

Variante	Kapitalkosten	Heizung/Lüftung	Warmwasser	Grundkosten	Hilfsenergie	Betrieb/Wartung	Gesamt
(1) Stromdirekt	1.071 €	424 €	583 €	48 €	110 €	58 €	2.293 €
(4) Kompaktaggregat	1.698 €	130 €	313 €	48 €	123 €	93 €	2.406 €
(10) Gas Brennwert	1.775 €	199 €	465 €	86 €	123 €	145 €	2.793 €
(7) Kompaktaggregat+Solar	2.106 €	130 €	130 €	48 €	142 €	151 €	2.708 €
(13) Gas Brennwert+Solar	2.331 €	217 €	190 €	86 €	142 €	203 €	3.170 €
(18) Pellet-Ofen+Solar	2.725 €	142 €	103 €	0 €	184 €	334 €	3.487 €

Tabelle E-2.6

Auswertung der Energiepreis-Szenarien

Schon bei einer moderaten Preissteigerung des Gases gegenüber Strom und Biomasse steigen die jährlichen Gesamtkosten der Gas Brennwert-Varianten deutlich über die der Kompaktaggregat-Varianten (Bild E-2.6).

Bei einer massiven Preissteigerung des Gases gegenüber Strom und Biomasse verändern sich sowohl die Gas Brennwert- als auch die Gas Brennwert+Solar-Variante hin zu den teuersten Systemen (Bild E-2.10).

Die anfänglichen Vorteile der Strom-Direkt Variante (1) heben sich zugunsten des Kompaktaggregates (4) auf.

Sensitivitätsanalyse (worst case) -- Einzel-Wärmeversorgung -- (Kundensicht)

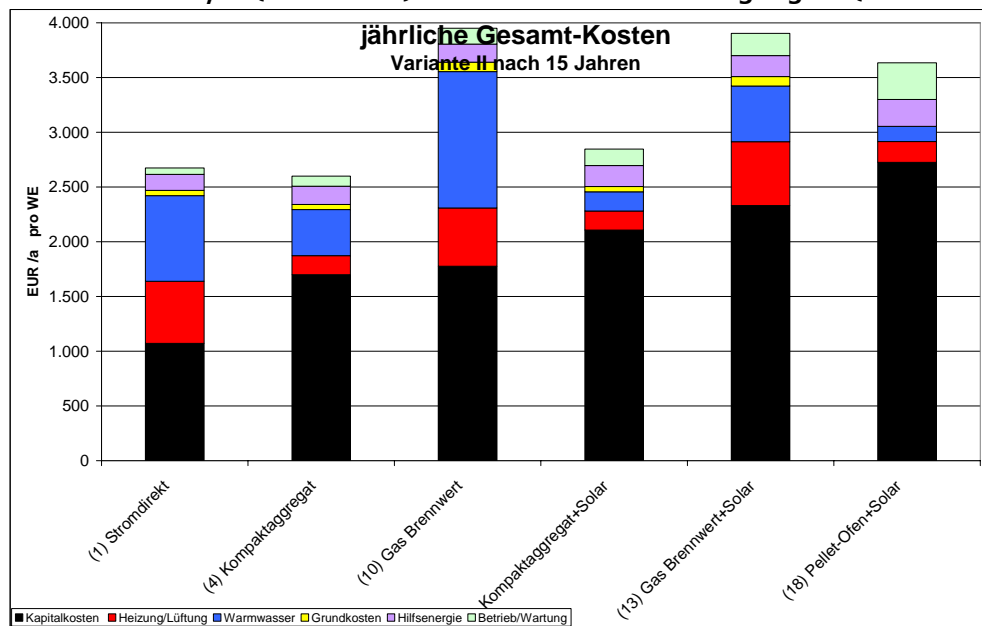


Bild E-2.10 Gesamtkosten nach 15 Jahren bei Energiepreissteigerung für Strom und Biomasse mit je 3% p.a., und bei Gas von 10% p.a

Variante	Kapitalkosten	Heizung/Lüftung	Warmwasser	Grundkosten	Hilfsenergie	Betrieb/Wartung	Gesamt
(1) Stromdirekt	1.071 €	568 €	782 €	48 €	147 €	58 €	2.674 €
(4) Kompaktaggregat	1.698 €	175 €	420 €	48 €	165 €	93 €	2.599 €
(10) Gas Brennwert	1.775 €	532 €	1.246 €	86 €	165 €	145 €	3.950 €
(7) Kompaktaggregat+Solar	2.106 €	175 €	175 €	48 €	191 €	151 €	2.846 €
(13) Gas Brennwert+Solar	2.331 €	583 €	509 €	86 €	191 €	203 €	3.903 €
(18) Pellet-Ofen+Solar	2.725 €	191 €	138 €	0 €	246 €	334 €	3.634 €

Tabelle E-2.10

Langfristig zeichnen sich die Varianten des Kompaktaggregates als die stabileren Systeme gegenüber den Gas-Brennwert-Systemen aus. (insb. dann, wenn zukünftig eher mit stärker ausfallenden Gaspreis-Steigerung gerechnet werden muss).

Nur wenn die Preissteigerungsrate bei Holzpellets geringer als bei Gas ausfallen, sind diese Systeme gegenüber Erdgas attraktiv.

4.1.4 SWH-Sicht

Aus Sicht der SWH AG werden nur die Varianten betrachtet, die auch bei dem derzeitigen Produktangebot zu Deckungsbeiträgen führen. Das heißt Varianten in denen der Energieträger nicht von den Stadtwerken geliefert wird wie z. B. Bioöl oder Holzpellets führen zu keinem Deckungsbeitrag. Dies bedeutet allerdings nicht, dass es sich hierbei um die schlechtesten Alternativen handelt.

Grundlage der Berechnungen ist das derzeitige Preisgefüge (Stand Juni 2006)

Mögliche Änderungen bei den Netznutzungsgebühren müssen (zukünftig) beachtet werden, daher stellt die Berechnung ebenfalls nur eine Momentaufnahme dar.

Systemvergleich Passivhaus -- Einzel-Wärmeversorgung -- (SWH Sicht)

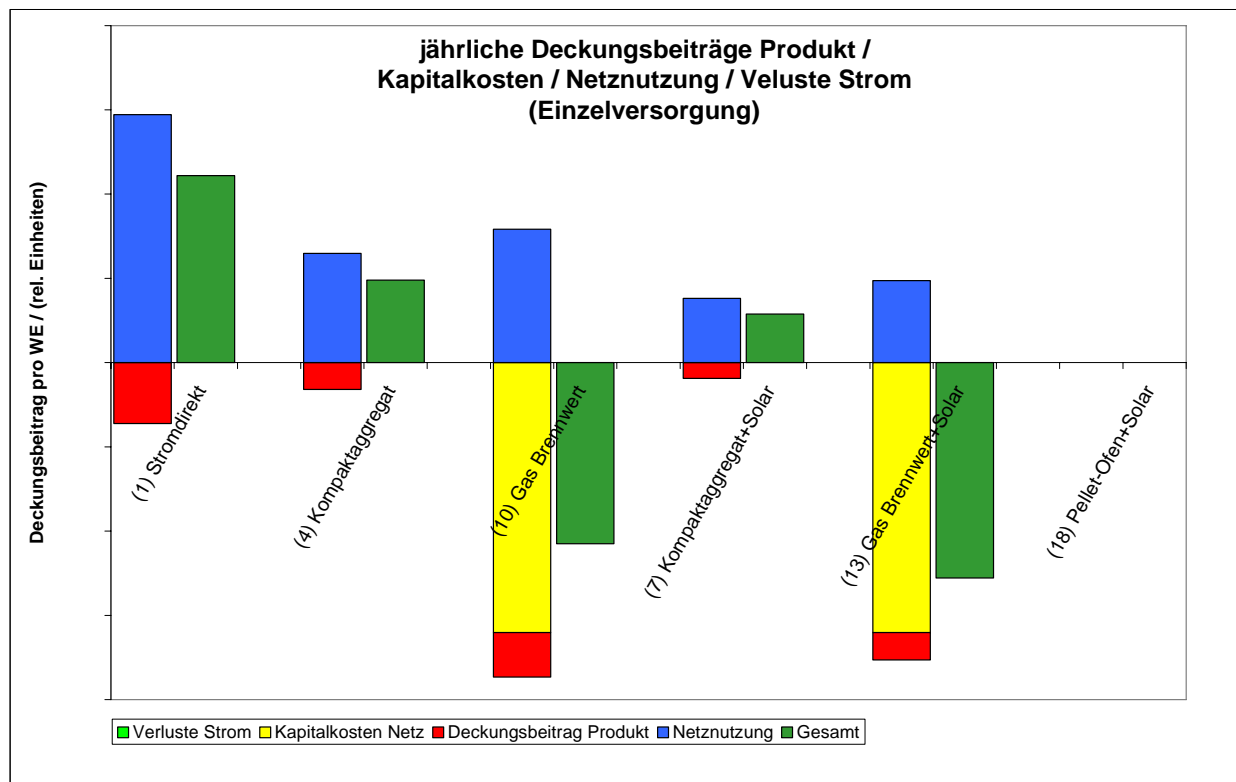


Bild E-9.1

In **Bild E-9.1** sind die wesentlichen Versorgungsarten ausgewählt. Dargestellt werden die Deckungsbeiträge für das Produkt, die Kapitalkosten für die Infrastruktur, die Netznutzungsentgelte NNE und bei BHKW Betrieb die DB Verluste im Stromabsatz.

Die Deckungsbeiträge für das Produkt ergeben sich aus dem Netto – Tarif abzüglich der Bezugskosten inkl. Steuer, KA etc. und den NNE. Im Zusammenhang mit den hohen NNE sind die Produkte Gas und Strom zurzeit defizitär.

Die Kapitalkosten für die Infrastruktur beinhalten im Gasbereich die Investitionen der Leitungen in dem Baugebiet, die nicht durch den Kunden als Anschlussbeiträge gedeckt sind. Das vorgelagerte Netz oder Instandhaltungskosten werden aus Vereinfachungsgründen nicht berücksichtigt. Im Strombereich sind keine zusätzlichen Kosten in das Netz über den ohnehin bereitgestellten Haushaltsstrom erforderlich.

Die NNE für Gas und Strom errechnen sich nach der Verbändevereinbarung. Als Annahme ist hierbei vorausgesetzt, dass die spezifischen NNE konstant bleiben, unabhängig von der durchgeleiteten Menge.

Die Verluste im Stromabsatz entstehen im wesentlichen bei einer BHKW Anlage mit Eigennutzung durch die geringeren NNE.

Die Grafiken sind im Ergebnis so zu interpretieren das die positiven und die negativen Beiträge saldiert werden müssen. Ist das Ergebnis in Summe noch positiv kann die Wirtschaftlichkeit gegeben sein. Bei einem negativen Ergebnis ist die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei einer Einzelhausversorgung von Passivhäusern siehe **Bild E-9.1** nur die Wärmeerzeugung mit Strom, durch die vermiedenen Kapitalkosten, ein positives Ergebnis für die SWH AG liefert. Für eine Gasversorgung sind die Absatzmengen wie bereits im AK Versorgungsstrategie aufgezeigt zu gering. Hier wäre nur über zusätzliche Investitionszuschüsse eine Versorgung für die SWH AG wirtschaftlich möglich.

4.2 Kopfstation – Heizzentrale für die Reihenhaus-Versorgung

Wie auch bei den Systemen der Einzelversorgung werden in gleicher Weise die Versorgungsvarianten einer Heizzentrale (Kopfstation) für eine Reihenhauszeile untersucht.

Insbesondere beim Investitionsbedarf ergeben sich hier günstigere Bedingungen (Synergien) durch die gleichzeitige Versorgung von 5 Reihenhäusern. Die Auswirkungen auf jährliche Gesamtkosten sowie die CO₂-Emissionen werden ergänzend dargestellt.

Hinweise:

Zur gleichen Vorgehensweise wie bei der Einzelversorgung, sowie der Berücksichtigung der Förderung siehe Vorbemerkungen zu Kap.4.1.2

Zur besseren Vergleichbarkeit der Tabellenwerte bei die Kopfstation-Systeme mit den Werten der Einzelversorgung sind die gleichen Farben (=Rangfolgen bzw. Klasseneinteilungen) verwendet worden.

Zum Vergleich mit den Einzelversorgungs-Varianten dienen die Referenzvarianten: Stromdirekt (1) und Kompaktaggregat (4). (mit jeweils angepassten Verbrauchs-werten entsprechend der kleineren Wohnfläche einer WE im Reihnhaus)

4.2.1 Kundensicht

A) Investition:

Die Aufteilung der Kosten in die Titel "Wärmeerzeuger" „restliche Anlage" und „Infrastruktur" erfolgt in gleicher Weise wie bei der Einzelversorgung.

Systemvergleich Passivhaus --Versorgung über Kopfstation-- (Kundensicht)

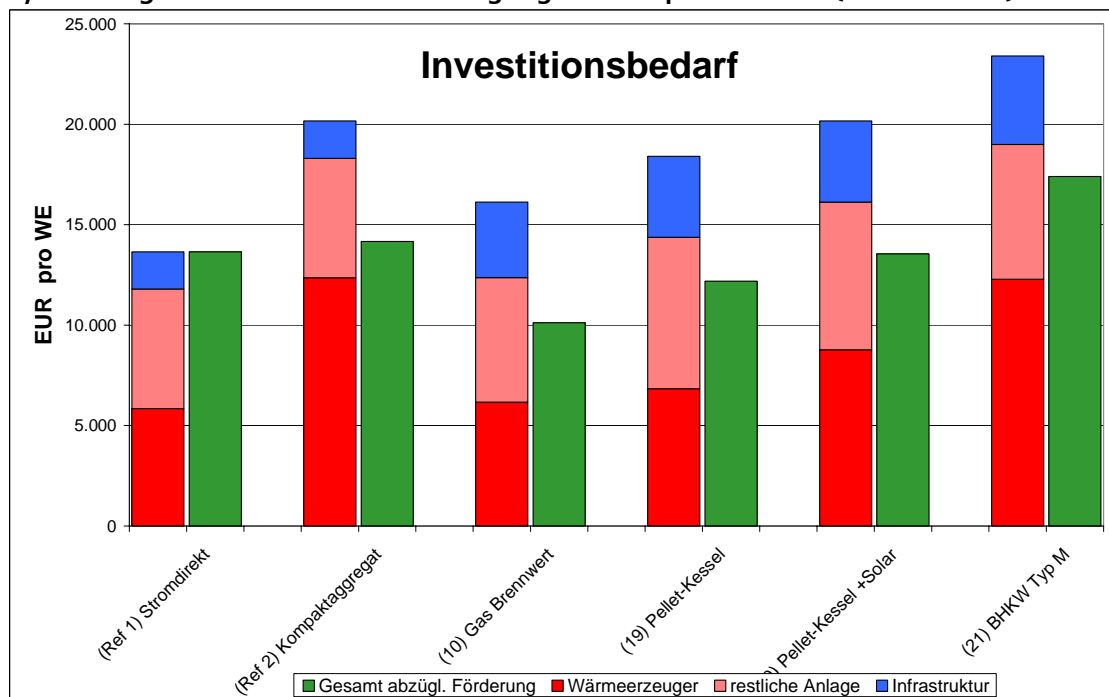


Bild K-1.2 A) Investition (Heizung/Lüftung + Warmwasser)

Variante	Wärmeerzeuger	restl. Anlage	Infrastruktur	Gesamt	Förderung	Gesamt inkl. Förderung
(Ref 1) Stromdirekt	5.846 €	5.950 €	1.856 €	13.652 €	0 €	13.652 €
(Ref 2) Kompaktaggregat	12.356 €	5.950 €	1.856 €	20.161 €	6.000 €	14.161 €
(10) Gas Brennwert	6.164 €	6.193 €	3.761 €	16.118 €	6.000 €	10.118 €
(19) Pellet-Kessel	6.832 €	7.539 €	4.037 €	18.407 €	6.218 €	12.190 €
(20) Pellet-Kessel +Solar	8.769 €	7.353 €	4.037 €	20.159 €	6.621 €	13.538 €
(21) BHKW Typ M	12.284 €	6.704 €	4.410 €	23.398 €	6.000 €	17.398 €

Tabelle K-1.2

Resultat

Das Gas-Brennwert-System (10) ist mit Förderung das kostengünstigste System und unterschreitet damit das Niveau der Stromdirekt-Variante (1) im Fall der Einzelversorgung.

Auch die Pellet-Kessel-Varianten (19,20) sind nur unwesentlich teuer und mit Förderung unterschreiten auch sie das Niveau der Stromdirekt-Variante.

Erwartungsgemäß zeigt die BHKW-Variante den größten Investitionsbedarf auf. Auch mit Förderung liegt dieses noch 1 Klassenbreite hinter den anderen Systemen.

B) jährliche Gesamtkosten

Systemvergleich Passivhaus --Versorgung über Kopfstation-- (Kundensicht)

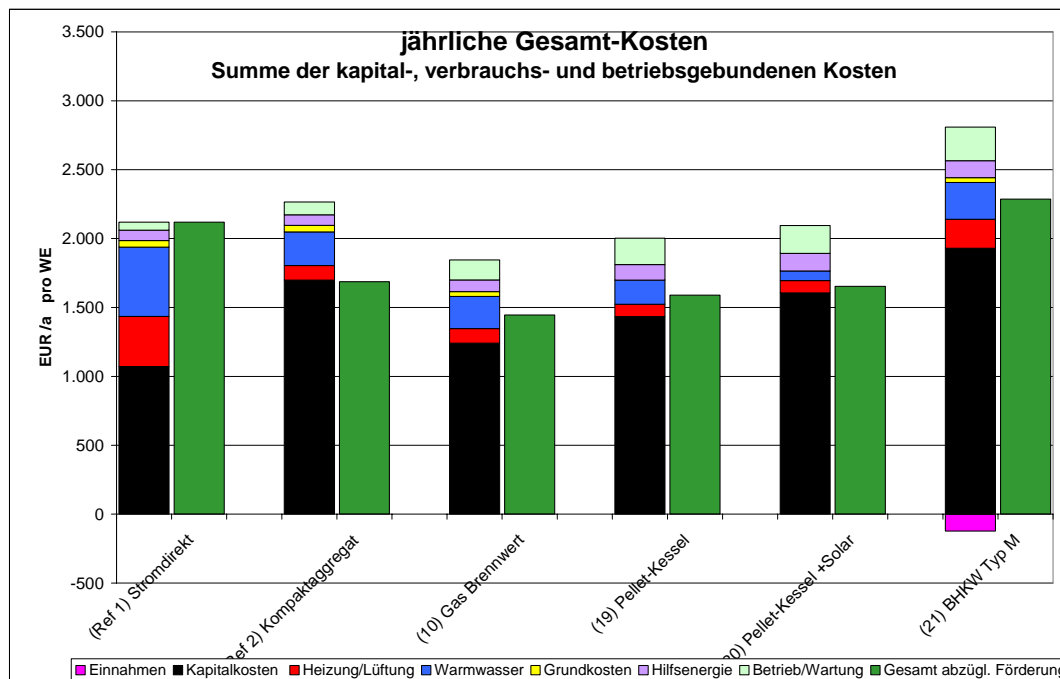


Bild K-2.2 B) jährliche Gesamtkosten

Variante	Ein-nahmen	Kapital-kosten	Heizung/ Lüftung	Warm-wasser	Grund-kosten	Hilfs-energie	Betrieb/ Wartung	Gesamt	Gesamt inkl. Förderg
(Ref 1) Stromdirekt	0 €	1.071 €	365 €	502 €	48 €	76 €	58 €	2.119 €	2.119
(Ref 2) Kompaktaggr.	0 €	1.698 €	106 €	244 €	48 €	76 €	93 €	2.265 €	1.687
(10) Gas Brennwert	0 €	1.241 €	105 €	234 €	35 €	85 €	145 €	1.845 €	1.445
(19) Pellet-Kessel	0 €	1.433 €	91 €	174 €	0 €	113 €	192 €	2.003 €	1.589
(20) Pellet-Kessel+S.	0 €	1.605 €	91 €	70 €	0 €	126 €	204 €	2.095 €	1.654
(21) BHKW Typ M	123 €	1.930 €	210 €	267 €	35 €	123 €	244 €	2.686 €	2.286

Tabelle K-2.2

Resultat: Sowohl das Gas-Brennwert-System (10) als auch die Pelletkessel-Varianten (19, 20) sind bei der Gesamtkostenbetrachtung als gleichrangig einzustufen. Der Synergieeffekt durch eine Kostenaufteilung bei der Kopfstation beträgt hierbei weniger als eine Klassenbreite.

Die Stromdirekt-Variante würde hier mit zusätzlich 400 bis 600 EUR pro Jahr und Wohneinheit zu Buche schlagen.

Trotz der (geringen) Einnahmen durch die Stromvergütung ist das BHKW ca. 700 bis 850 EUR pro Jahr teurer als die Pelletkessel bzw. Gas-Brennwert-Variante.

Vergleich Einzelversorgung / Kopfstation -- Vorteile / Nachteile ---

Kostengünstig bauen

Die Reihenhausversorgung über eine Kopfstation hat durch Synergieeffekte einen deutlich geringeren Investitionsaufwand (bei Gas-Brennwert ca. 6.000 EUR pro WE Differenz zwischen Einzelversorgung/Kopfstation). Im Vergleich zum Kompaktaggregat/Einzellösung und Gas-Brennwert/Kopfstation beträgt die Differenz ca. 4.000 EUR*). Damit stellt die Kopfstation ein probates Mittel für ein kostengünstiges Bauen dar.

Aspekt „eigene Lösung“ kontra Abrechnungsaufwand, Eigentumsverhältnisse, Betreibergemeinschaft

Das Kompaktaggregat (4) im Fall der Einzelversorgung ist lediglich 240 EUR pro Jahr teurer als die günstigste Gas-Brennwert-Variante bzw. nur unwesentlich teurer als die Pellet-Systeme.

Damit stellt sich die Frage, für welchen Mehrpreis der Kunde lieber eine eigene Lösung der Wärmeversorgung bevorzugt, um damit „unabhängig und frei“ von den Problemen, wie Betreibergemeinschaft, Klärung der Eigentumsverhältnisse und Abrechnungsaufwand zu sein. *(Die Mehrkosten einer Gas-Etagenheizung im Vergleich zur Zentralvariante sind im Wohnbestand meist noch höher, und trotzdem wird diese Lösung i.d.R. bevorzugt)*

***Problem: Gas-Hausanschluss nach Tarif**

Bei geringer Wärmedichte ist der Ansatz eines Pauschalpreises für einen Hausanschluss betriebswirtschaftlich nicht mehr möglich. Daher muss dies zukünftig durch eine konkrete Kalkulation im Einzelfall geprüft werden.

Dies dürfte auf Kundenseite i.d.R. zu einer Erhöhung der Kosten des Gas-Anschlusses führen.

In diese Studie ist jedoch der derzeitige pauschale Kostenansatz für den Gas-Anschluss zugrunde gelegt worden, so dass der Kostenvorteil der Gas-Brennwert-Lösung im Falle der Kopfstation relativiert werden muss!

C) CO₂-Emissionen

Systemvergleich Passivhaus --Versorgung über Kopfstation-- (Kundensicht)

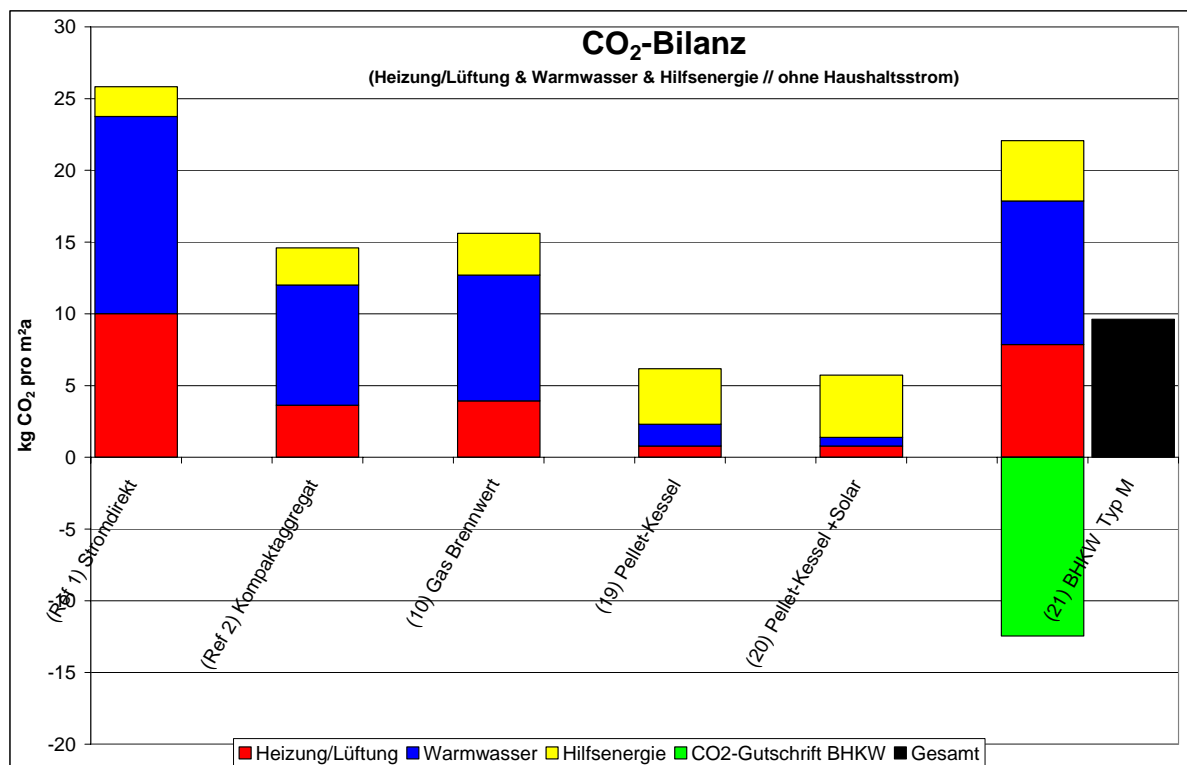


Bild K-6.2 C) CO₂-Bilanz anteilig aus Heizung/Lüftung, Warmwasser und Hilfsenergie

Variante	Heizung/Lüftung [kg/m²a]	Warmwasser [kg/m²a]	Hilfsenergie [kg/m²a]	CO2-Gutschrift [kg/m²a]	Gesamt [kg/m²a]
(Ref 1) Stromdirekt	10,0	13,8	2,1	0,0	25,8
(Ref 2) Kompaktaggregat	3,6	8,4	2,6	0,0	14,6
(10) Gas Brennwert	3,9	8,8	2,9	0,0	15,6
(19) Pellet-Kessel	0,8	1,5	3,9	0,0	6,2
(20) Pellet-Kessel +Solar	0,8	0,6	4,3	0,0	5,7
(21) BHKW Typ M	7,9	10,0	4,2	12,5	9,6

Tabelle K-6.2

Resultat: Der Einsatz der Biomasse und der KWK-Technik zeigt erwartungsgemäß die geringsten CO2-Emissionen.

Das Kompaktaggregat zeigt geringfügig kleinere CO2-Emissionswerte im Vergleich zur Gas-Brennwert-Variante auf.

Bei zukünftig steigendem Anteil der erneuerbaren Energien am BRD-Strom-Mix dürfte dieser Vorteil des Kompaktaggregates sogar weiter zunehmen. .

Anforderungen für CO2-Ausgleichsmaßnahmen (Kompensation)

Eine „freie“ Wahl des Versorgungssystems für eine klimaneutrale Neubausiedlung hätte für den Hauseigentümer die Konsequenz geeignete Kompensationsmaßnahmen zu treffen, die sich bezogen auf das Heizsystem mit den geringsten CO2-Emission (im Falle der Kopfstation Pellet-Solar-Variante (20)) bemessen werden müssen.

Anlegbare Vermeidungskosten / Kompensationskosten

Das Pellet-Ofen-System mit solarer TWW zeigt die geringsten CO2-Emissionen auf. Dessen jährliche Gesamtkosten sind aber in diesem Vergleich nicht die höchsten, sondern fast vergleichbar mit dem günstigsten Gas-Brennwert.

Im Vergleich mit den teuren Stromdirekt-System bzw. BHKW-System können auch negative Vermeidungskosten entstehen. Für den „Betreiber“ eines Stromdirekt-Systems bedeutet dies eine Kompensationsmaßnahme zu tätigen, die ca. 48 Tonnen CO2 (über einen Nutzungszeitraum von 20 Jahren) einsparen muss. Um eine Gleichbehandlung mit dem Pellet-System zu gewährleisten, können dafür Vermeidungskosten von max. 10 EUR/Tonnen bzw. im Falle der Förderung von max. 190 EUR/Tonnen angelegt werden. Für die anderen Versorgungsvarianten ergeben sich folgende Werte.

Ableitung der CO2-Vermeidungskosten von Heizzentralen /Versorgung über Kopfstationen	Kostenvorteil (+) oder Mehrkosten (-) gegenüber Referenz-Variante*		erhöhte CO2-Emission gegenüber Referenz-Variante*			CO2-Vermeidungskosten	
	ohne Förderung EUR/a	mit Förderung EUR/a	[kg/m²a]	pro Jahr und Wohneinheit [Tonnen/a]	über Nutzungsdauer [Tonnen]	ohne Förderung [EUR/Tonne]	mit Förderung [EUR/Tonne]
(20) Pellet-Kessel+S.*	0 €	0 €	0,0	0,0	0,0	0	0
(Ref 1) Stromdirekt	-25 €	-465 €	20,1	2,4	48,3	-10	-190
(Ref 2) Kompaktaggr.	-170 €	-35 €	8,9	1,1	21,3	-160	-30
(10) Gas Brennwert	250 €	210 €	9,9	1,2	23,7	210	180
(19) Pellet-Kessel	90 €	65 €	0,5	0,1	1,1	1.690	1.195
(21) BHKW Typ M	-590 €	-630 €	3,9	0,5	9,3	-1.260	-1.350

Zum Vergleich die Größenordnung der Vermeidungskosten von typischen Systemen oder Maßnahmen zur CO2-Einsparung (Annahmen für PV, Wind und Biomasse : EEG-Vergütungssatz pro eingespeister kWh und BRD-Strom-Mix für CO2)/ Wärmedämmung eigene Berechnung)

typische CO ₂ -Vermeidungskosten verschiedener System und Maßnahmen			
Strom aus PV-Anlage	800	-	880 EUR/Tonne
Strom aus Windkraft-Anlage	250	-	275 EUR/Tonne
Strom aus KWK-Biomasse	300	-	330 EUR/Tonne
Einsparung durch Wärmedämmung im Bestand (Außenwand)	160	-	175 EUR/Tonne
derzeitiger Börsen-Handelspreis für CO ₂ -Emissions-Zertifikate	15	-	20 EUR/Tonne

4.2.2 Zusammenfassung – Kopfstationen (aus Kundensicht)

Fazit: Für die Reihenhaus-Versorgung mittels einer Kopfstation ergibt sich aus Kundensicht folgende Bewertung...:

>> die Synergien/Kostenvorteile durch eine Kopfstation sind so groß, dass selbst auch die Einzelversorgung durch eine Stromdirekt-System (1) höhere Gesamtkosten aufweist.

>> die Gas-Brennwert-Zentrale ist auch ohne Förderung hierbei die kostengünstigste Variante

>> die Pelletkessel-Varianten sind nur noch geringfügig ungünstiger im Vergleich zu Gas-Brennwert.

>> der Einsatz der Biomasse (Holzpelletes) ist einer KWK-Lösung mittels Mini-BHKW (nicht nur aus Gründen des Klimaschutzes) eindeutig vorzuziehen.

>> bei einer Einzelversorgung im Reihenhaus mittels eines Kompaktaggregates kann gut mit der Gas-Brennwert-Lösung konkurrieren

Für nur geringe Mehrkosten für eine eigene Lösung können die Probleme der Abrechnung, Eigentumsverhältnisse und Betreibergemeinschaften umgangen werden

4.2.3 Sensitivitätsanalyse der Reihenhausversorgungs-Varianten

Wie bei der Einzelversorgung werden auch hier zwei Varianten mit unterschiedlichen Erhöhungen der Arbeitspreise der verschiedenen Energieträgern (jeweils aus Kundensicht) untersucht.

Szenario I (best case): durchschnittliche Preissteigerung für **Strom** und Biomasse von **1%** pro Jahr und für **Gas 3%** pro Jahr,

Szenario II (worst case): durchschnittliche Preissteigerung für **Strom** und Biomasse von **3%** p.a. und für **Gas 10%** p.a.

Betrachtet wird die aufgetretene Änderung jeweils nach je 15 Jahren.

Hinweis: siehe auch Anmerkungen zu Energiepreissteigerungen unter Kap. 4.1.3

Sensitivitätsanalyse (best case) -Versorgung über Kopfstation- (Kundensicht)

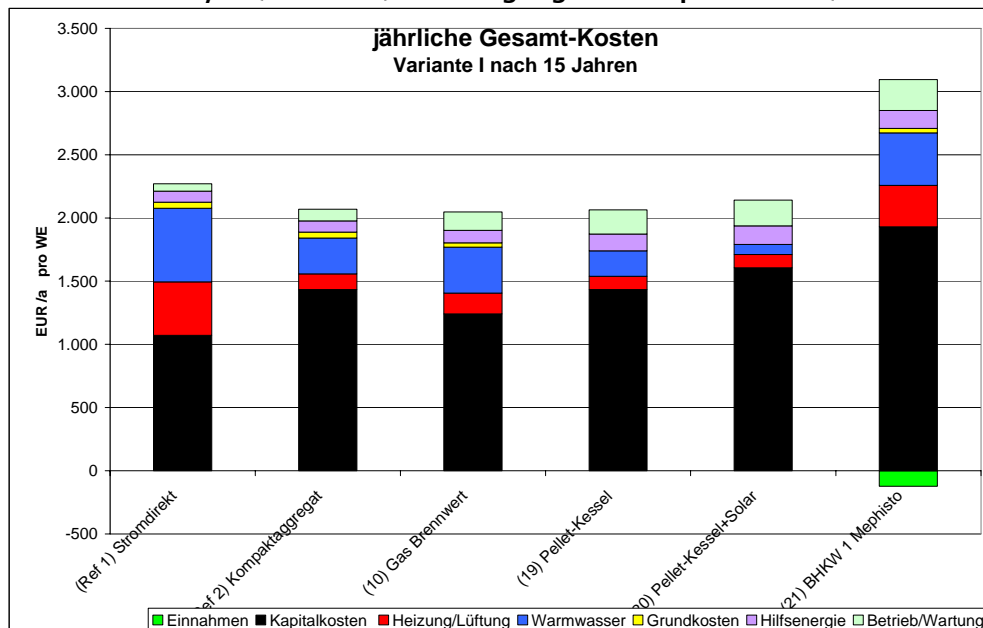


Bild K-2.6 Energiepreissteigerung: Strom und Biomasse je 1%p.a., Gas 3%p.a.

Variante	Ein-nahmen	Kapital-kosten	Heizung/Lüftung	Warm-wasser	Grund-kosten	Hilfs-energie	Betrieb/Wartung	Gesamt
(Ref 1) Stromdirekt	0 €	1.071 €	424 €	583 €	48 €	88 €	58 €	2.271 €
(Ref 2) Kompaktaggregat	0 €	1.434 €	123 €	284 €	48 €	88 €	93 €	2.069 €
(10) Gas Brennwert	0 €	1.241 €	164 €	364 €	35 €	99 €	145 €	2.047 €
(19) Pellet-Kessel	0 €	1.433 €	105 €	202 €	0 €	131 €	192 €	2.064 €
(20) Pellet-Kessel+Solar	0 €	1.605 €	105 €	81 €	0 €	147 €	204 €	2.142 €
(21) BHKW 1 Mephisto	123 €	1.930 €	327 €	417 €	35 €	142 €	244 €	2.973 €

Tabelle K-2.6

Auswertung der Energiepreis-Szenarien

Schon bei einer moderaten Preissteigerung des Gases gegenüber Strom und Biomasse zeigt das Kompakt-Aggregat keine Nachteile gegenüber der Gas-Brennwert-Lösung bzw. den Pellet-Systemen mehr auf (Bild K-2.6).

Sensitivitätsanalyse (worst case)-Versorgung über Kopfstation-(Kundensicht)

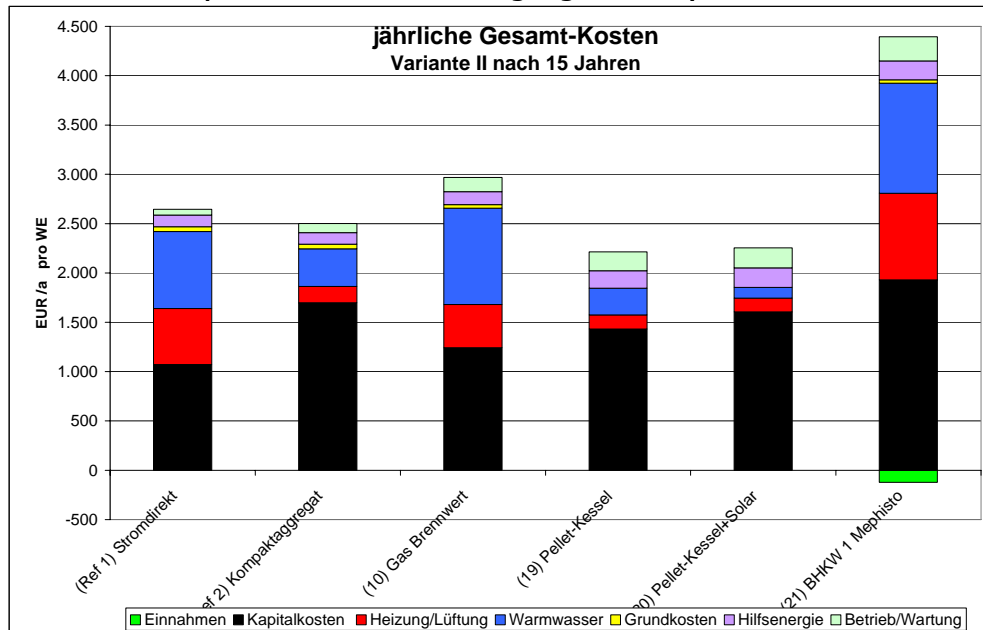


Bild K-2.10 Energiepreissteigerung: Strom und Biomasse je 3%p.a., Gas 10%p.a.

Variante	Ein-nahmen	Kapital-kosten	Heizung/Lüftung	Warm-wasser	Grund-kosten	Hilfs-energie	Betrieb/Wartung	Gesamt
(Ref 1) Stromdirekt	0 €	1.071 €	568 €	782 €	48 €	118 €	58 €	2.645 €
(Ref 2) Kompaktaggregat	0 €	1.698 €	165 €	381 €	48 €	118 €	93 €	2.502 €
(10) Gas Brennwert	0 €	1.241 €	439 €	977 €	35 €	132 €	145 €	2.969 €
(19) Pellet-Kessel	0 €	1.433 €	141 €	271 €	0 €	176 €	192 €	2.214 €
(20) Pellet-Kessel+Solar	0 €	1.605 €	141 €	109 €	0 €	197 €	204 €	2.256 €
(21) BHKW 1 Mephisto	123 €	1.930 €	878 €	1.117 €	35 €	191 €	244 €	4.272 €

Tabelle K-2.10

Bei einer massiven Preissteigerung des Gases gegenüber Strom und Biomasse wird die Gas Brennwert deutlich teurer und die BHKW-Variante wird dann sogar völlig uninteressant (Bild K-2.10).

Die anfänglichen Vorteile der Strom-Direkt Variante (1) heben sich zugunsten des Kompaktaggregates (4) auf.

Die Varianten der Pellet-Systeme und des Kompaktaggregates zeigen sich als die stabileren Systeme gegenüber einer zukünftig (als eher wahrscheinlich anzunehmenden) stärker ausfallenden Gaspreis-Steigerung.

4.2.4 SWH-Sicht

Systemvergleich Passivhaus -- Versorgung über Kopfstation -- (SWH Sicht)

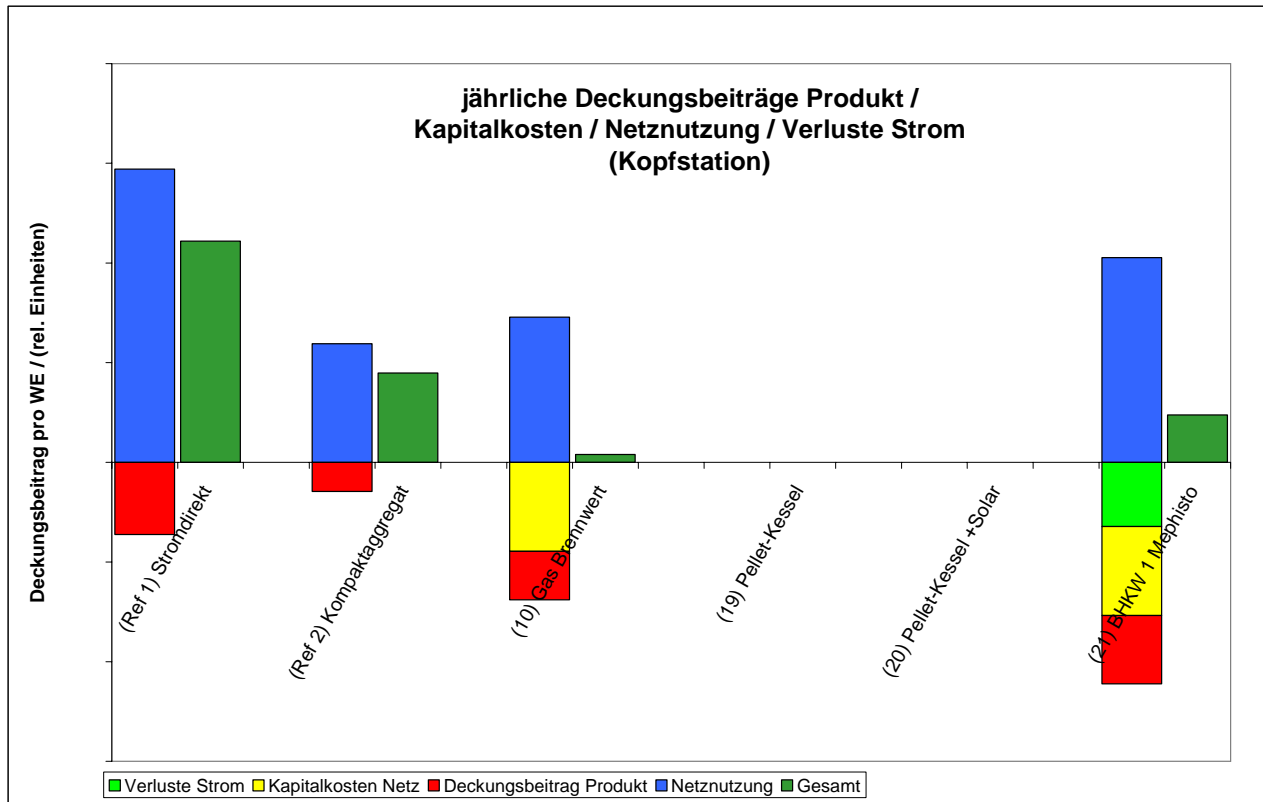


Bild K-9.1

Bei dem Systemvergleich von Versorgungsarten mit einer gemeinsamen Kopfstation sind als relevante Systeme für die SWH AG nur ein BHKW mit Pufferspeicher und eine Gasbrennwerttherme betrachtet worden. Die Stromvarianten sind Einzelhausversorgungen, die als Referenz mit abgebildet wurden. Pelletkessel haben wie oben beschrieben keine Auswirkungen auf die SWH AG.

Es ist festzustellen, dass bei den Kopfstationen die Varianten mit Gas auch zu einem neutralen Ergebnis führen. Positive und negative Auswirkungen halten sich in etwa die Waage. Das Risiko einer verlorenen Investition bleibt allerdings bei kleinen Margen bestehen. Auch die BHKW Variante ist in etwa in diesem Modell neutral. Die Verluste im Strombereich heben sich durch den zusätzlichen Wärme-/Gasabsatz auf. Ein BHKW mit Volleinspeisung ist aus Sicht der SWH AG diesem Beispiel vorzuziehen.

Als Ergebnis ist aus dieser Analyse festzuhalten, dass die Wärmeversorgung von Passivhäusern mit Strom die wirtschaftlichste und risikoärmste Lösung ist. Auch unter dem Aspekt, dass sich Baugebiete zeitlich oft schleppend entwickeln, sind technische Lösungen mit geringen Vorinvestitionen zu empfehlen. Die Lösungen mit Gas sind unter Umständen mit hohem Aufwand verbunden bei sehr geringem Absatz. Mit den Alternativen (Pellet etc.) würden die Stadtwerke den Wärmemarkt an dieser Stelle abgeben. Durch den Biomassehof mit Pelletvertrieb wäre hier gegebenenfalls dann zusätzliche DB zu erwirtschaften. Dies ist in dieser Untersuchung aber nicht betrachtet.

5 Fazit

Die Untersuchung bestätigt im Wesentlichen die bisherige Erfahrung, dass es aus ökonomischen Gründen **wenig sinnvoll erscheint, zukünftig Neubaugebiete im Passivhausstandard mit leitungsgebundenen Energieträgern (außer Strom) zu versorgen.**

Ausführlich belegt werden konnte die Erkenntnis, dass für die Kunden trotzdem zahlreiche Versorgungsvarianten als Alternativen auch heute schon bereitgestellt werden können, ohne dass es dabei für den Kunden zu ökonomischen oder ökologischen Einbußen kommen muss.

Bei einer monovalenten Versorgung ausschließlich mit Strom bieten so genannte Kompaktaggregate mit Kleinstwärmepumpe, Komfortlüftungsanlage und hoch-effizienter Wärmerückgewinnung, eine sinnvolle Alternative zu der bisher üblichen Gasversorgung mit Brennwärmtank.

Pelletanlagen stellen ebenfalls eine mögliche Versorgungsvariante dar, die zwar aus heutiger Investorensicht noch wesentlich teurer als die herkömmlichen Versorgungsvarianten ist, **für die aber zukünftig eine deutliche Steigerung des Marktanteils (induziert auch durch „weiche Faktoren“) erwartet werden kann. Es ist aber auch zu vermuten, dass sich der Pelletpreis langfristig am Öl/Gas-Preis orientieren wird.**

Weitere Aspekte („Weiche“ Faktoren) aus Kundensicht: Die tatsächliche Kaufentscheidung für ein Versorgungssystem hängt u.a. von der absoluten Investitionshöhe (begrenzt durch Budget als Hemmnis) und einer Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung, aber auch von „weichen“ Einflussfaktoren wie Unabhängigkeit, Versorgungssicherheit, Image / Statussymbol ökologisches Gewissen, etc., ab.

Der Aspekt der „Unabhängigkeit“ (...als Gegenmaßnahme zur starken Importabhängigkeit bei fossilen Energieträgern oder auch von Monopolstrukturen) sollte bei der Präferenz des Kunden für ein Versorgungssystem ernst genommen werden.

Auch die Neigung des Kunden eher ein Einzelversorgungssystem vorzuziehen, um damit keine Betreiber- oder Wohnungseigentümergeinschaft für eine Heizzentrale (Bildung von Sondereigentum, Vermeidung abrechnungstechnischer Probleme usw.) bilden zu müssen sind unbedingt zu beachten