

Wissenschaftliche Unterstützung bei der Konzeption und Umsetzung von Plus-Energiehäusern

Mit freundlicher Unterstützung des:



Rheinland-Pfalz

**Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz**

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
Rheinland-Pfalz

Datum: 11.01.2008

Transferstelle Bingen · Am Langenstein 21 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl

Tel: 06721 / 98 4 24 16

Fax: 06721 / 98 4 24 29

pohl@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs

Tel: 06721 / 98 4 24 20

Fax: 06721 / 98 4 24 29

kriebs@tsb-energie.de

im

Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
1 Ist-Analyse	5
2 Wärmedämmstandard	6
2.1 Einsatz konventioneller Dämmstoffe	6
2.2 Einsatz neuer Dämmstoffe	9
3 Anlagentechnik	12
3.1 Luft/Wasser-Wärmepumpe	12
3.2 Sole/Wasser-Wärmepumpe	12
3.3 Zentrale mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	13
3.4 Dezentrale mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ...	13
3.5 Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung	14
3.6 Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung	14
3.7 Fotovoltaikanlage	15
4 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen	19
5 Wirtschaftlichkeit	27
5.1 Mögliche Fördermittel.....	27
5.1.1 KfW-Programm Ökologisch Bauen.....	27
5.1.2 KfW-Programm Solarstrom Erzeugen	28
5.1.3 Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt.....	28
5.1.4 Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich	30
5.1.5 Zinsvergünstigung für energieeffiziente Neubauten.....	31
5.1.6 Förderprogramm für energieeffiziente Neubauten, Rheinland-Pfalz	31
5.2 Investitionskosten.....	33
6 Zusammenfassung	35

Einleitung

In einem Neubaugebiet in Albisheim plant der Architekt und Bauträger Herr Waldherr des Unternehmens WABAU Massiv-Haus Bauträger GmbH + Co. KG, 15 Einfamilienhäuser zu errichten. Diese Häuser sollen sich durch niedrige Energiekosten und einen wirtschaftlichen Anschaffungspreis auszeichnen. Um dies zu erreichen, sind die unterschiedlichen am Markt erhältlichen Techniken zur Wärmedämmung, Lüftung, Wärme- und Stromversorgung technisch und wirtschaftlich sinnvoll zu kombinieren.

Es werden konkret für ein Musterhaus sechs verschiedene Varianten, die sich aus Vorüberlegungen ergeben haben, miteinander verglichen. Dazu wird in allen Varianten dieselbe Wärmedämmung vorausgesetzt. Lediglich durch den Einsatz einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage liegt für einige Variante durch den geringeren Lüftungswärmeverlust ein niedriger Jahresheizwärmebedarf vor.

- Variante 1
Luft/Wasser-Wärmepumpe
Fußbodenheizung
- Variante 2
Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde)
Fußbodenheizung
- Variante 3
Luft/Wasser-Wärmepumpe
Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Variante 4
Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde)
Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Variante 5
Luft/Wasser-Wärmepumpe
Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung
Fotovoltaikanlage
- Variante 6
Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde),Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung
Fotovoltaikanlage

Für alle Varianten wird der EnEV-Nachweis geführt sowie eine Heizlastberechnung erstellt, sodass die Haustechnik detailliert ausgelegt werden kann.

Ziel der Untersuchung ist ein hocheffizientes und bezahlbares Massivhauskonzept unter Einbeziehung der Energietechnik zu entwickeln und umzusetzen. Diese Studie wurde durch Berechnungen und Ergebnisse der WABAU Massiv-Haus Bauträger GmbH + Co. KG und der Pfalzwerke AG unterstützt.

1 Ist-Analyse

Am Beispiel eines Musterhauses werden die Berechnungen durchgeführt. Es wird WABAU Massiv-Haus Typ 235 zu Grunde gelegt. Die daraus konzeptionierten Plus-Energiehäuser werden unter dem Namen WABAU Massiv-Haus Typ 235 *PLUS* vermarktet.



Abbildung 1-1 Seitenansichten des Musterhauses

Für die Berechnungen wird davon ausgegangen, dass das Wohnhaus nicht unterkellert ist.

2 Wärmedämmstandard

Damit das Ziel Plus-Energiehäuser erreicht werden kann, ist ein möglichst hoher Wärmedämmstandard umzusetzen. Ausgehend von den Plänen des Musterhauses wurden unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit entsprechende Dämmmaßnahmen ausgewählt.

2.1 Einsatz konventioneller Dämmstoffe

In der Tabelle werden der Aufbau und die zugehörigen U-Werte der Bauteile aufgeführt. Zur Information sind die Höchstwerte der U-Werte nach Vorgaben der Energieeinsparverordnung angegeben.

Bauteil	Aufbau	U-Wert [W/(m ² K)]	Höchstwerte U-Wert [W/(m ² K)]
Bodenplatte	Bodenbelag 7 cm Estrich 15 cm Wärmedämmung 0,031 W/(mK) 3 cm Wärmedämmung WLG 035 Bitumenbahn 12 cm Stahlbeton	0,17	0,50
Dach	Gipskartonplatte 2,4 cm ruhende Luftschicht PVC-Folie 24 cm Wärmedämmung WLG 035	0,14	0,30
oberste Geschossdecke	Gipskartonplatte 2,4 cm ruhende Luftschicht PVC-Folie 24 cm Wärmedämmung WLG 035	0,14	0,30
Außenwand	Innenputz 24 cm Hohlblöcke 26 cm Wärmedämmung WLG 035 Außenputz	0,12	0,45
Fenster		1,30	1,70

Tabelle 2-1 Wärmedurchgangskoeffizienten

Mit dem gewählten Aufbau werden die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten, die in der Energieeinsparverordnung gefordert sind, deutlich unterschritten.

Der Einsatz einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung beeinflusst durch die geringeren Lüftungswärmeverluste ebenfalls den Jahresheizwärmebedarf. Zur kontrollierten Lüftung wird eine zentrale Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt.

Die Ergebnisse zum Jahreswärmebedarf und der erforderlichen Heizleistung sind in der Tabelle aufgeführt.

		Variante 1 - 2 Fensterlüftung	Variante 3 – 6 zentrale mecha- nische Be- und Entlüftung mit WRG
Gebäudenutzfläche	m ²	195,6	195,6
wärmeübertragende Umfassungsfläche	m ²	396,8	396,8
beheiztes Gebäudevolumen	m ³	611,2	611,2
A/V-Verhältnis	1/m	0,65	0,65
spez. Transmissionswärmeverlust zulässiger Höchstwert	W/(m ² K) W/(m ² K)	0,27 0,53	0,27 0,53
Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /a	7.251	4.055
spez. Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /(m ² a)	37,1	20,7
Norm-Gebäudeheizlast	W _{th}	5.736	4.188
spez. Heizlast	W _{th} /m ²	29	21

Tabelle 2-2 Jahresheizwärmebedarf und Norm-Gebäudeheizlast

Durch den Einsatz der dezentralen Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung liegt ein um etwa 44 % niedrigerer Jahresheizwärmebedarf vor. Auch die Norm-Gebäudeheizlast reduziert sich entsprechend um ca. 27 %.

Zur energetischen Bewertung der sechs Varianten wird der Jahresgesamtwärmebedarf, der sich aus dem Jahresheizwärmebedarf und dem Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung zusammensetzt, benötigt.

In der DIN V 4701-10¹ werden für den öffentlichen Nachweis 12,5 kWh_{th}/(m²a) als spezifischer Trinkwasser-Wärmebedarf zu Grunde gelegt. Es entspricht in etwa einem täglichen Trinkwarmwasserbedarf von 23 Liter pro Person bei 50 °C Wassertemperatur.

Daraus resultiert folgender Jahresgesamtwärmebedarf.

		Variante 1 - 2 Fensterlüftung	Variante 3 – 6 zentrale mechanische Be- und Entlüftung mit WRG
Gebäudenutzfläche	m ²	195,6	195,6
Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /a	7.251	4.055
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	kWh _{th} /a	2.445	2.445
Jahresgesamtwärmebedarf	kWh _{th} /a	9.696	6.500

Tabelle 2-3 Jahresgesamtwärmebedarf

¹ DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, August 2003

2.2 Einsatz neuer Dämmstoffe

Am Beispiel eines neu entwickelten Dämmstoffs mit 0,022 W/(mK) Wärmeleitfähigkeit ab 45 mm Stärke des Dämmstoffs wird dessen Einsatz zur Außenwanddämmung, zur Dämmung der Bodenplatte, der obersten Geschossdecke und des Dachs betrachtet. Es handelt sich um Resol-Hartschaum, der zur Gruppe der Phenolharz-Hartschäume gehört.

Um den gleichen U-Wert der Bauteile mit den herkömmlichen Dämmstoffen zu erreichen, wird die erforderliche Dämmstärke ermittelt. Mit derselben Dämmstärke der konventionellen Dämmstoffe wird der U-Wert des Bauteils unter Einsatz des neu entwickelten Dämmstoffs bestimmt.

Zur wirtschaftlichen Bewertung werden die Materialkosten der unterschiedlichen Dämmstoffe abgeschätzt. Gegebenenfalls können sich durch geringere Dämmstärken Einsparungen hinsichtlich der Konstruktion ergeben. Im Rahmen dieser Studie werden die Auswirkungen auf die Investitionskosten nicht bewertet.

Die spezifischen Materialkosten beruhen auf Preislisten verschiedener Dämmstoffhersteller.

Der Dämmstoff Phenolharz-Hartschaum ist nicht als Perimeterdämmung geeignet. Er kann im Aufbau der Bodenplatte als Trittschalldämmung mit einer entsprechenden Druckfestigkeit eingesetzt werden.

Bodenplatte	Polystyrol	Phenolharz-Hartschaum	Phenolharz-Hartschaum
Dämmstärke und Wärmeleitfähigkeit	15 cm 0,031 W/(mK) 3 cm 0,035 W/(mK)	13 cm 0,022 W/(mK)	18 cm 0,022 W/(mK)
U-Wert	0,17 W/(m ² K)	0,17 W/(m ² K)	0,12 W/(m ² K)
Dämmstoffbedarf	18 m ³	13 m ³	18 m ³
Materialkosten	3.900 €	3.900 €	5.400 €

Tabelle 2-4 Dämmstoffvergleich Bodenplatte

Der neu entwickelte Dämmstoff wird zur Außenwanddämmung beworben.

Außenwand	Polystyrol	Phenolharz-Hartschaum	Phenolharz-Hartschaum
Dämmstärke und Wärmeleitfähigkeit	26 cm 0,035 W/(mK)	16 cm 0,022 W/(mK)	26 cm 0,022 W/(mK)
U-Wert	0,12 W/(m ² K)	0,12 W/(m ² K)	0,08 W/(m ² K)
Dämmstoffbedarf	39 m ³	24 m ³	39 m ³
Materialkosten	6.600 €	7.200 €	11.700 €

Tabelle 2-5 Dämmstoffvergleich Außenwand

Zur Dämmung der obersten Geschossdecke und des Dachs ist der neu entwickelte Dämmstoff ebenfalls geeignet.

oberste Geschossdecke	Mineralfaser	Phenolharz-Hartschaum	Phenolharz-Hartschaum
Dämmstärke und Wärmeleitfähigkeit	24 cm 0,035 W/(mK)	15 cm 0,022 W/(m ² K)	24 cm 0,022 W/(mK)
U-Wert	0,14 W/(m ² K)	0,14 W/(m ² K)	0,09 W/(m ² K)
Dämmstoffbedarf	12 m ³	8 m ³	12 m ³
Materialkosten	1.000 €	2.300 €	3.700 €

Tabelle 2-6 Dämmstoffvergleich oberste Geschossdecke

Dach	Mineralfaser	Phenolharz-Hartschaum	Phenolharz-Hartschaum
Dämmstärke und Wärmeleitfähigkeit	24 cm 0,035 W/(mK)	15 cm 0,022 W/(mK)	24 cm 0,022 W/(mK)
U-Wert	0,14 W/(m ² K)	0,14 W/(m ² K)	0,09 W/(m ² K)
Dämmstoffbedarf	14 m ³	9 m ³	14 m ³
Materialkosten	1.100 €	2.700 €	4.300 €

Tabelle 2-7 Dämmstoffvergleich Dach

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Materialkosten der Dämmstoffe für die Bodenplatte und die Außenwand in vergleichbarer Größenordnung liegen, wenn derselbe U-Wert der Bauteile erreicht werden soll. Die konstruktionsbedingten Kosten sind nicht berücksichtigt.

Die Dämmung der Bodenplatte ist von besonderer Bedeutung, da eine nachträgliche Dämmung kaum umsetzbar ist. Deswegen sollte der Aufbau der Bodenplatte in der Planung und Ausführung so gewählt werden, dass ein bestmöglicher U-Wert erreicht wird.

Die Außenwanddämmung ist ebenso von Bedeutung, denn sie beeinflusst die Fassade eines Gebäudes. Abhängig von der Dämmstärke verändert sich der konstruktive Aufwand wie z. B. der Dachüberstand und die Fensteranschlüsse. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist, dass bei feststehenden Außenmaßen eines Gebäudes eine Außenwanddämmung den Wohnraum verringert. Aufgrund dessen sind Dämmstoffe mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit von Bedeutung, damit mit geringen Dämmstärken eine gute Dämmwirkung erreicht werden kann.

Beim Einsatz des neuen Dämmstoffs mit denselben Dämmstärken wie die der konventionellen Dämmstoffe für die Bauteile Bodenplatte, Außenwand, oberste Geschossdecke und Dach stellt sich die Tabelle zum Jahresheizwärmebedarf wie folgt dar.

	Konventionelle Dämmstoffe bzw. neu entwickelter Dämmstoff derselbe U-Wert	neu entwickelter Dämmstoff dieselbe Dämmstärke
Variante 1 – 2 Fensterlüftung	7.251 kWh _{th} /a	6.422 kWh _{th} /a
Variante 3 – 6 zentrale mechanische Be- und Entlüftung mit WRG	4.055 kWh _{th} /a	3.288 kWh _{th} /a

Tabelle 2-8 Jahresheizwärmebedarf unterschiedliche Dämmstoffe

Unter Beibehaltung der Dämmstärke kann der neu entwickelte Dämmstoff den Jahresheizwärmebedarf um 11 % bei Fensterlüftung und 19 % bei mechanischer Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung reduzieren.

3 Anlagentechnik

Zur Wärmeversorgung des Musterhauses wird zwischen einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und einer Luft/Wasser-Wärmepumpe unterschieden. Zusätzlich wird eine solarthermische Anlage entweder nur zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung oder zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung dazu genommen. Je nach Wärmedämmstandard kommt außerdem eine mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz.

Die ausgewählten Anlagen werden mit ihren spezifischen Kennwerten kurz vorgestellt.

3.1 Luft/Wasser-Wärmepumpe

Eine Luft/Wasser-Wärmepumpe zur Innenaufstellung von Alpha-InnoTec GmbH wurde für das Musterhaus ausgewählt.

Fabrikat	Alpha-InnoTec GmbH
Bezeichnung	Compacte Luft/Wasser-Wärmepumpe LWC 60M-I
Heizleistung A2/W35	6,1 kW _{th}
COP A2/W35	3,0
Temperaturbereichsgrenzen Heizwasser	25 °C – 58 °C
Temperaturbereichsgrenzen Luft	-20 °C – 35 °C
elektrische Leistungsaufnahme A2/W35	2,0 kW _{el}
Elektroheizstab	6 kW _{el}

3.2 Sole/Wasser-Wärmepumpe

Eine Sole/Wasser-Wärmepumpe zur Innenaufstellung von Alpha-InnoTec GmbH wurde für das Musterhaus ausgewählt. Die Dimensionierung der Erdsonden hängt von den örtlichen Gegebenheiten, insbesondere der spezifischen Wärmeentzugsleistung des vorhandenen Erdreichs ab.

3.3 Zentrale mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

In den Varianten 3 bis 6 wird eine zentrale mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung von Paul Wärmerückgewinnung GmbH vorgesehen. Der Wärmebereitstellungsgrad beeinflusst den Lüftungswärmebedarf des Musterhauses. Er beträgt für die ausgewählte Anlage 88 %.

Fabrikat	Paul Wärmerückgewinnung GmbH
Bezeichnung	Atmos 175 DC
Luftvolumenstrom	150 – 300 m ³ /h
elektrische Leistungsaufnahme	15 – 125 W _{el}
Wärmebereitstellungsgrad	85 – 95 %
Temperaturbereich Wärmetauscher	-20 °C – 40 °C

Zur frostfreien Ansaugung kann ein Erdwärmetauscher oder eine elektrische Heizung eingesetzt werden.

3.4 Dezentrale mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Anstelle einer zentralen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung können auch sogenannte dezentrale Thermolüfter eingesetzt werden.

In einem Wohnraum werden mindestens zwei Thermolüfter benötigt. Während ein Thermolüfter Zuluft dem Raum zuführt, gibt der zweite Thermolüfter die Abluft nach draußen. Der integrierte Wärmespeicher nimmt dabei einen Teil der Wärme aus der Abluft auf. Nach einiger Zeit kehrt sich die Laufrichtung der Lüfter um. Mit dem Lüfter, der vorher die Abluft abgeführt hat, wird Außenluft vom Wärmespeicher aufgewärmt und als Zuluft in den Raum geführt. Durch die Arbeitsweise im Gegentakt wird die Wärmerückgewinnung ermöglicht. Der Wärmebereitstellungsgrad liegt über 80 %. Durch den abwechselnden Betrieb der Thermolüfter ist kein zusätzlicher Frostschutz notwendig.

Die Thermolüfter dürfen außer in fensterlosen Küchen, Bäder und Toilettenräumen in allen Räumen eingesetzt werden. Wenn ein in Gegentakt arbeitendes Gerätepaar in zwei verschiedenen Räumen betrieben wird, muss zwischen diesen Räumen ein ausreichender Raumluftverbund durch Überströmdurchlässe hergestellt sein. Falls in Küchen, Bädern oder Toilettenräumen mit Fenstern eine solche Lüftung eingesetzt werden soll, müssen zwei im Gegentakt arbeitende Lüfter installiert werden.

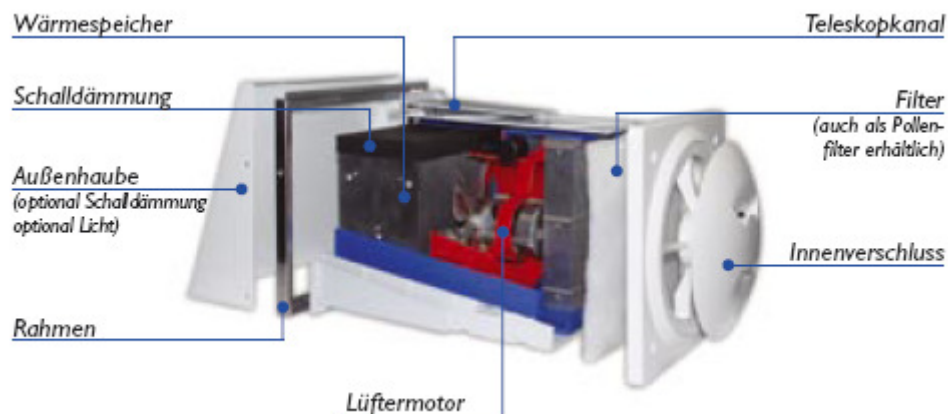


Abbildung 3-1 Thermolüfter (Quelle: LTM GmbH)

Im Musterhaus wären Thermolüfter in der Küche + Wohnen, im Arbeitszimmer, in den drei Kinderzimmern und im Elternzimmer zu installieren, sodass rund 83 % der Nutzfläche mechanisch belüftet werden kann. Damit würde das Musterhaus einen entsprechend geringeren Lüftungswärmeverlust aufweisen.

Falls die Gebäudegeometrie eine zentrale Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung nur unter hohem Aufwand zulässt, bietet sich als Alternative eine dezentrale Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wie z. B. Thermolüfter an. Auch in Bestandsgebäude können dezentrale Lüftungsanlage nachgerüstet werden. Dies ist weniger aufwendig als die nachträgliche Installation einer zentralen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

3.5 Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung

Zur solaren Unterstützung der Trinkwassererwärmung wird eine Flachkollektoranlage mit 4,5 m² angesetzt. Das Satteldach weist 40° Dachneigung auf.

3.6 Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung

Zur solaren Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung wird eine Flachkollektoranlage mit 11,25 m² angesetzt. Das Satteldach weist 40° Dachneigung auf.

3.7 Fotovoltaikanlage

Um den durchschnittlichen Jahresstromverbrauch eines Haushaltes sowie den Stromverbrauch der Heizanlage (Wärmepumpe, solarthermische Anlage) und Lüftungsanlage in der Jahresbilanz mit Fotovoltaik decken zu können, wird eine entsprechende Modulfläche dimensioniert. Die Dachflächen eines Gebäudes sind vorrangig mit Fotovoltaikmodulen zu belegen. Eine solarthermische Anlage kann auch an der Fassade installiert werden. Mit Vakuumröhrenkollektoren ist eine entsprechende Ausrichtung möglich.

Der Stromverbrauch eines Vier-Personen-Haushalts¹ beträgt 4.430 kWh_{el}/a. Der Strombedarf der Anlagenkombination aus Sole/Wasser-Wärmepumpe, mechanische Be- und Entlüftungsanlage und solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung beträgt laut Endenergiebedarf des EnEV-Nachweises etwa 2.240 kWh_{el}/a und mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe in derselben Anlagenkombination rund 2.350 kWh_{el}/a. Daraus ergibt sich insgesamt ein Strombedarf wie folgt.

		Sole/Wasser-Wärmepumpe	Luft/Wasser-Wärmepumpe
Stromverbrauch Haushalt	kWh _{el} /a	4.430	4.430
Strombedarf Anlagentechnik	kWh _{el} /a	2.240	2.350
Strombedarf gesamt	kWh _{el} /a	6.670	6.780

Tabelle 3-1 Strombedarf gesamt

Die Projektpartner (WABAU und Pfalzwerke) stimmten die Auslegung der Fotovoltaikanlage wie folgt ab.

Anzahl Module	30
Gesamtmodulfläche	40 m ²
Generatorleistung	5 kW _p

Die südliche Dachfläche des Beispielhauses ist etwa 73 m² groß. Abzüglich der Modulfläche einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung mit etwa 11 m² stehen rund 62 m² für Fotovoltaikmodule zur Verfügung. Bedingt durch die Maße der für Fotovoltaik noch verfügbaren Dachfläche und der Maße der Fotovoltaikmodule ergeben sich ca. 52 m² als Fotovoltaikanlage.

¹ Verband der Elektrizitätswirtschaft - VDEW: durchschnittlicher Stromverbrauch eines Vier-Personen-Haushalts, Stand September 2006

Mithilfe des Simulationsprogramms PVSol wurde die elektrische Netzeinspeisung bestimmt. Dazu wurden folgende Anlagendaten eingesetzt.

Fotovoltaikmodule	ErSol Solar Energy AG Blue Power 150 A
Wechselrichter	Mastervolt QS6400
Anzahl Module	41
Gesamtmodulfläche	52 m ²
Neigung	40 °
Ausrichtung	Süd
Generatorleistung	6,19 kW _P

Es resultierten unter Berücksichtigung einer Degradation von 10 % in 20 Jahren im Durchschnitt rund 5.576 kWh_{el}/a, die einem spezifischen Ertrag von 901 kWh_{el}/kW_P entsprechen. Die Netzeinspeisung beträgt nach der Simulation im ersten Jahr 5.868 kWh_{el}/a, damit wären ca. 87 % des gesamten Strombedarfs des Beispielhauses in der Jahresbilanz gedeckt.

Die spezifischen Erträge einer optimal ausgelegten Fotovoltaikanlage liegen nach Aussage der DGS e. V.¹ zwischen 850 kWh_{el}/kW_P in Niedersachsen und 1.000 kWh_{el}/kW_P in Südbayern. Den Ertrag beeinflusst die Region, die Ausrichtung, die Wetterbedingungen, die Anlagentechnik sowie die Qualität der Planung und Installation.

Mit der gewählten Anlagengröße kann kein Plus-Energiehaus umgesetzt werden. Der bereitgestellte Strom der Fotovoltaikanlage ist kleiner als der gesamte Jahresstrombedarf des Beispielhauses.

Ein Plus-Energiehaus beruht in der Regel auf einem Passivhaus, dessen Energieverbrauch hauptsächlich aus dem Haushaltsstrombedarf besteht. Durch den hohen Wärmedämmstandard wird kaum Energie zur Raumheizung benötigt. Eine solarthermische Anlage zur Trinkwassererwärmung verringert ebenfalls den Energieverbrauch.

Um das Beispielhaus dennoch als Plus-Energiehaus umzusetzen, wäre eine etwa 65 m² Fotovoltaikanlage notwendig. Damit wäre das ca. 73 m² große Süddach vollständig mit Fotovoltaikmodulen belegt. Die rund 11 m² große solarthermische Anlage müsste dann als Fassadenanlage ausgeführt werden. Alternativ wäre zu prüfen, ob eine Garage geeignete Flächen zur Installation von Fotovoltaikmodulen oder einer solarthermischen Anlage bietet.

¹ Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V.: Nutzerinformation Photovoltaik, Sonnenenergie – Nutzen für jedes Haus

Eine solarthermische Anlage und eine Fotovoltaikanlage stehen in Konkurrenz zueinander, da sie in der Regel auf Dachflächen installiert werden. Für das Plus-Energiehaus wird davon ausgegangen, dass bis auf die Fläche für eine solarthermische Anlage zur Unterstützung der Raumheizung und Trinkwassererwärmung auf der übrigen Dachfläche Fotovoltaikmodule installiert werden.

Es wird im Folgenden eine solarthermische Anlage der Erweiterung einer Fotovoltaikanlage gegenübergestellt. Es wird geprüft, ob die Erweiterung der Fotovoltaikanlage den Strombedarf für die Sole/Wasser-Wärmepumpe bereitstellen kann, um die sonst solar bereitgestellte Wärmemenge vollständig decken zu können. Dies erfolgt nur bilanztechnisch, da es sinnvoll ist den Fotovoltaikstrom ins öffentliche Netz einzuspeisen und nach EEG zu vergüten. Als Beispiel wird eine 11 m² große Fläche betrachtet.

		Solarthermie	Fotovoltaik
Modulfläche	m ²	11	11
Solare Wärmemenge	kWh _{th} /a	2.246	
Solare Strommenge	kWh _{el} /a		1.173

Tabelle 3-2 solaren Erträge Solathermie und Fotovoltaik

Wenn eine Sole/Wasser-Wärmepumpe zusätzlich den Wärmebedarf der solarthermischen Anlage ebenfalls decken müsste, würde sich bei einer Jahresarbeitszahl von 3,6 der Strombedarf auf etwa 694 kWh_{el}/a erhöhen. Dies wird bilanztechnisch von einer erweiterten Fotovoltaikanlage auf den Dachflächen der Solarthermie ebenfalls gedeckt, sodass es sich immer noch um ein Plus-Energiehaus handelt.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden beide Varianten miteinander verglichen. Hierzu werden die Kosten ohne gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

		Solarthermie	Fotovoltaik
Investitionskosten	€	9.076	5.867
inkl. Förderung	€	8.105	
Kapitalkosten	€/a	728	482
inkl. Förderung	€/a	650	
Verbrauchskosten	€/a	14	90
Betriebskosten	€/a	27	41
Summe Kosten	€/a	769	613
inkl. Förderung	€/a	691	
Gutschrift Einspeisevergütung	€/a		549
Jahreskosten	€/a	769	64
inkl. Förderung	€/a	691	

Tabelle 3-3 Vergleich Jahreskosten

Der Jahreskostenvergleich zeigt, dass eine Fotovoltaikanlage wirtschaftlich interessanter als eine solarthermische Anlage ist. Aufgrund dessen kann daraus geschlossen werden, dass Dachflächen grundsätzlich zur Installation einer Fotovoltaikanlage genutzt werden sollten. Dachflächen sind somit als Kraftwerke anzusehen.

Solarthermische Anlagen sollten auf Flächen installiert werden, die für Fotovoltaik weniger interessant sind. Sie könnten z. B. als Fassadenanlagen umgesetzt werden.

4 Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen

Nach der Energieeinsparverordnung ist bei Errichtung eines Gebäudes mit normalen Innentemperaturen ein Energiebedarfsausweis erforderlich. Dort werden spezifische Werte zum Transmissionswärmeverlust, die Anlagenaufwandszahl der Anlagen für Heizung, Trinkwarmwasserbereitung und Lüftung, der Endenergiebedarf der einzelnen Energieträger und der Jahres-Primärenergiebedarf angegeben.

Die Bundesregierung verabschiedete am 27.06.2007 die novellierte Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), die am 1. Oktober 2007 in Kraft getreten ist.

Für neue Wohnhäuser ändert sich gegenüber der EnEV 2004 bezüglich der Anforderungen eines Energieausweises nichts.

Die Ergebnisse der Energieausweise sind in der Tabelle zusammengeführt.

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		Luft/Wasser-WP	Sole/Wasser-WP	Luft/Wasser-WP Lüftungsanlage mit WRG	Sole/Wasser-WP Lüftungsanlage mit WRG	Luft/Wasser-WP Lüftungsanlage mit WRG Solarthermie Fotovoltaik	Sole/Wasser-WP Lüftungsanlage mit WRG Solarthermie Fotovoltaik
Gebäudenutzfläche	m ²	195,6	195,6	195,6	195,6	195,6	195,6
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	m ²	396,8	396,8	396,8	396,8	396,8	396,8
Beheiztes Gebäudevolumen	m ³	611,2	611,2	611,2	611,2	611,2	611,2
A/V-Verhältnis	1/m	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
spez. Transmissionswärmeverlust	W/(m ² K)	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
zulässiger Höchstwert	W/(m ² K)	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Anlagenaufwandszahl		1,18	1,08	1,01	0,97	0,74	0,72
Endenergiebedarf	kWh/a	3.802	3.477	2.962	2.837	2.350	2.241
Jahres-Primärenergiebedarf	kWh/a	11.408	10.431	9.840	9.464	7.274	7.008
spez. Jahres-Primärenergiebedarf	kWh/(m ² a)	58,33	53,34	50,31	48,39	37,19	35,83
zulässiger Höchstwert	kWh/(m ² a)	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62

Tabelle 4-1 Anlagenaufwandszahl, Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf

Für die einzelnen Varianten werden die Ergebnisse zusammengestellt. Außerdem wird geprüft, ob die Anforderungen für einen zinsgünstigen Kredit im Rahmen des KfW-Programms „Ökologisch Bauen“ erfüllt werden. Demnach werden Neubauten (Wohngebäude) gefördert, wenn sie den Standard eines KfW-Energiesparhauses 40 oder eines KfW-Energiesparhauses 60 erreichen.

Anforderungen an ein KfW-Energiesparhaus 40:

- maximaler, spezifischer Jahres-Primärenergiebedarf: 40 kWh/(m²a)
- Unterschreitung des Höchstwertes des spezifischen Transmissionswärmeverlustes (Vorgabe EnEV) um mindestens 45 %

Anforderungen an ein KfW-Energiesparhaus 60:

- Maximaler, spezifischer Jahres-Primärenergiebedarf: 60 kWh/(m²a)
- Unterschreitung des Höchstwertes des spezifischen Transmissionswärmeverlustes (Vorgabe EnEV) um mindestens 30 %

Variante 1	
Luft/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung	
Gebäudenutzfläche	195,6 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	396,8 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	611,2 m ³
A/V-Verhältnis	0,65 1/m
spez. Transmissionswärmeverlust zulässiger Höchstwert	0,27 W/(m ² K) 0,53 W/(m ² K)
Unterschreitung des Höchstwertes	49 %
Jahresheizwärmebedarf	7.251 kWh _{th} /a
spez. Jahresheizwärmebedarf	37,1 kWh _{th} /(m ² a)
Norm-Gebäudeheizlast	5.736 W _{th}
spez. Heizlast	29 W _{th} /m ²
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	2.445 kWh _{th} /a
Jahresgesamtwärmebedarf	9.696 kWh _{th} /a
Anlagenaufwandszahl	1,18
Endenergiebedarf	3.802 kWh/a
Jahres-Primärenergiebedarf	11.408 kWh/a
spez. Jahres-Primärenergiebedarf zulässiger Höchstwert	58,33 kWh/(m ² a) 108,62 kWh/(m ² a)
KfW-Energiesparhaus	60

Tabelle 4-2 energetische Kennwerte Variante 1

Variante 2	
Sole/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung	
Gebäudenutzfläche	195,6 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	396,8 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	611,2 m ³
A/V-Verhältnis	0,65 1/m
spez. Transmissionswärmeverlust zulässiger Höchstwert	0,27 W/(m ² K) 0,53 W/(m ² K)
Unterschreitung des Höchstwertes	49 %
Jahresheizwärmebedarf	7.251 kWh _{th} /a
spez. Jahresheizwärmebedarf	37,1 kWh _{th} /(m ² a)
Norm-Gebäudeheizlast	5.736 W _{th}
spez. Heizlast	29 W _{th} /m ²
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	2.445 kWh _{th} /a
Jahresgesamtwärmebedarf	9.696 kWh _{th} /a
Anlagenaufwandszahl	1,08
Endenergiebedarf	3.477 kWh/a
Jahres-Primärenergiebedarf	10.431 kWh/a
spez. Jahres-Primärenergiebedarf zulässiger Höchstwert	53,34 kWh/(m ² a) 108,62 kWh/(m ² a)
KfW-Energiesparhaus	60

Tabelle 4-3 energetische Kennwerte Variante 2

Variante 3	
Luft/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung, mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	
Gebäudenutzfläche	195,6 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	396,8 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	611,2 m ³
A/V-Verhältnis	0,65 1/m
spez. Transmissionswärmeverlust zulässiger Höchstwert	0,27 W/(m ² K) 0,53 W/(m ² K)
Unterschreitung des Höchstwertes	49 %
Jahresheizwärmebedarf	4.055 kWh _{th} /a
spez. Jahresheizwärmebedarf	20,7 kWh _{th} /(m ² a)
Norm-Gebäudeheizlast	4.188 W _{th}
spez. Heizlast	21 W _{th} /m ²
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	2.445 kWh _{th} /a
Jahresgesamtwärmebedarf	6.500 kWh _{th} /a
Anlagenaufwandszahl	1,01
Endenergiebedarf	2.962 kWh/a
Jahres-Primärenergiebedarf	9.840 kWh/a
spez. Jahres-Primärenergiebedarf zulässiger Höchstwert	50,31 kWh/(m ² a) 108,62 kWh/(m ² a)
KfW-Energiesparhaus	60

Tabelle 4-4 energetische Kennwerte Variante 3

Variante 4	
Sole/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung, mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	
Gebäudenutzfläche	195,6 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	396,8 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	611,2 m ³
A/V-Verhältnis	0,65 1/m
spez. Transmissionswärmeverlust zulässiger Höchstwert	0,27 W/(m ² K) 0,53 W/(m ² K)
Unterschreitung des Höchstwertes	49 %
Jahresheizwärmebedarf	4.055 kWh _{th} /a
spez. Jahresheizwärmebedarf	20,7 kWh _{th} /(m ² a)
Norm-Gebäudeheizlast	4.188 W _{th}
spez. Heizlast	21 W _{th} /m ²
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	2.445 kWh _{th} /a
Jahresgesamtwärmebedarf	6.500 kWh _{th} /a
Anlagenaufwandszahl	0,97
Endenergiebedarf	2.837 kWh/a
Jahres-Primärenergiebedarf	9.464 kWh/a
spez. Jahres-Primärenergiebedarf zulässiger Höchstwert	48,39 kWh/(m ² a) 108,62 kWh/(m ² a)
KfW-Energiesparhaus	60

Tabelle 4-5 energetische Kennwerte Variante 4

Variante 5	
Luft/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung, mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung	
Gebäudenutzfläche	195,6 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	396,8 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	611,2 m ³
A/V-Verhältnis	0,65 1/m
spez. Transmissionswärmeverlust zulässiger Höchstwert	0,27 W/(m ² K) 0,53 W/(m ² K)
Unterschreitung des Höchstwertes	49 %
Jahresheizwärmebedarf	4.055 kWh _{th} /a
spez. Jahresheizwärmebedarf	20,7 kWh _{th} /(m ² a)
Norm-Gebäudeheizlast	4.188 W _{th}
spez. Heizlast	21 W _{th} /m ²
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	2.445 kWh _{th} /a
Jahresgesamtwärmebedarf	6.500 kWh _{th} /a
Anlagenaufwandszahl	0,74
Endenergiebedarf	2.350 kWh/a
Jahres-Primärenergiebedarf	7.274 kWh/a
spez. Jahres-Primärenergiebedarf zulässiger Höchstwert	37,19 kWh/(m ² a) 108,62 kWh/(m ² a)
KfW-Energiesparhaus	40

Tabelle 4-6 energetische Kennwerte Variante 5

Variante 6	
Sole/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung, mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung	
Gebäudenutzfläche	195,6 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	396,8 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	611,2 m ³
A/V-Verhältnis	0,65 1/m
spez. Transmissionswärmeverlust zulässiger Höchstwert	0,27 W/(m ² K) 0,53 W/(m ² K)
Unterschreitung des Höchstwertes	49 %
Jahresheizwärmebedarf	4.055 kWh _{th} /a
spez. Jahresheizwärmebedarf	20,7 kWh _{th} /(m ² a)
Norm-Gebäudeheizlast	4.188 W _{th}
spez. Heizlast	21 W _{th} /m ²
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	2.445 kWh _{th} /a
Jahresgesamtwärmebedarf	6.500 kWh _{th} /a
Anlagenaufwandszahl	0,72
Endenergiebedarf	2.241 kWh _{el} /a
Jahres-Primärenergiebedarf	7.008 kWh/a
spez. Jahres-Primärenergiebedarf zulässiger Höchstwert	35,83 kWh/(m ² a) 108,62 kWh/(m ² a)
KfW-Energiesparhaus	40

Tabelle 4-7 energetische Kennwerte Variante 6

Die Fotovoltaikanlage wird im Energieausweis nicht berücksichtigt, da dort nur eine energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen erfolgt.

Die Fotovoltaikanlagen sind so auszulegen, dass sie in der Jahresbilanz betrachtet zusätzlich zum Haushaltsstrombedarf die elektrische Arbeit bereitstellen, die die heiz- und lüftungstechnischen Anlagen benötigen.

5 Wirtschaftlichkeit

Zur wirtschaftlichen Bewertung der Varianten werden zunächst die möglichen Fördermittel und Zuschüsse genannt. Anschließend werden die erforderlichen Investitionskosten für die einzelnen Komponenten zusammengestellt. Die entsprechenden Förderungen werden zu den einzelnen Komponenten zugeordnet.

5.1 Mögliche Fördermittel

Als Fördermittel werden Programme für zinsgünstige Kredite und Zuschüsse genannt. Sie stellen sich als geldwerter Vorteil für ein energieeffizientes Bauen dar.

5.1.1 KfW-Programm Ökologisch Bauen

Mit dem KfW-Programm „Ökologisch Bauen“ wird die Errichtung, Herstellung und Erwerb eines KfW-Energiesparhauses oder eines Passivhauses über einen zinsgünstigen Kredit gefördert. Es wird zwischen einem KfW-Energiesparhaus 60 und einem KfW-Energiesparhaus 40 sowie einem Passivhaus unterschieden. Folgende Voraussetzungen müssen dazu erfüllt sein.

Anforderungen an ein Passivhaus:

- maximaler, spezifischer Jahres-Primärenergiebedarf: 40 kWh/(m²a)
- maximaler, spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf: 15 kWh_{th}/(m²a)
- Nachweis nach dem Passivhaus Projektierungspaket (PPP) oder einem gleichwertigen Verfahren auf der Grundlage der DIN EN 832 durch einen Sachverständigen

Anforderungen an ein KfW-Energiesparhaus 40:

- maximaler, spezifischer Jahres-Primärenergiebedarf: 40 kWh/(m²a)
- Unterschreitung des Höchstwertes des spezifischen Transmissionswärmeverlustes (Vorgabe EnEV) um mindestens 45 %

Anforderungen an ein KfW-Energiesparhaus 60:

- Maximaler, spezifischer Jahres-Primärenergiebedarf: 60 kWh/(m²a)
- Unterschreitung des Höchstwertes des spezifischen Transmissionswärmeverlustes (Vorgabe EnEV) um mindestens 30 %

Zur Finanzierung können 100 % der Bauwerkskosten (Baukosten ohne Grundstück) und maximal 50.000 € je Wohneinheit eines KfW-Energiesparhauses oder eines Passivhauses über einen zinsgünstigen KfW-Kredit beantragt werden. Je nach Wahl der Laufzeit und der

tilgungsfreien Anlaufjahre betragen die effektiven Zinssätze derzeit 3,09 bis 3,75 %¹ für ein KfW-Energiesparhaus 40 oder ein Passivhaus und 4,41 bis 4,80 % für ein KfW-Energiesparhaus 60.

5.1.2 KfW-Programm Solarstrom Erzeugen

Das KfW-Programm Solarstrom Erzeugen bietet die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit für die Investitionskosten einer Fotovoltaikanlage einschließlich der Kosten für Messeinrichtungen, Planungskosten, Montagekosten und die notwendigen Netzanschlusskosten zu erhalten. Antragsberechtigt sind Privatpersonen, Freiberufler, Landwirte, gewerbliche und gemeinnützige Investoren. Bis zu 100 % der förderfähigen Kosten und maximal 50.000 € je Vorhaben können über das Programm finanziert werden.

Die Kreditlaufzeit kann bis zu 20 Jahre mit mindestens 1 bis zu 3 tilgungsfreien Anlaufjahren betragen. Die Zinsbindungsfrist beträgt maximal 10 Jahre. Je nach Wahl der Laufzeit und der tilgungsfreien Anlaufjahre betragen die effektiven Zinssätze derzeit 5,19 bis 5,27 %². Die effektiven Zinssätze liegen im Rahmen der effektiven Zinssätze für Baudarlehen mit durchschnittlich 5 %, sodass es in dem Sinne keine Vergünstigung darstellt.

5.1.3 Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt

Nach dem Marktanzreizprogramm „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 05.12.2007 kann für Solarkollektoranlagen und für Wärmepumpenanlagen ein Investitionszuschuss beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden.

Solarkollektoranlagen

Für Solarkollektoranlagen zur Trinkwassererwärmung kann ein Investitionszuschuss von 60 € je angefangenem m² installierter Gesamtbruttokollektorfläche beantragt werden. Die Mindestförderung beträgt 410 € je Anlage.

Für solarthermische Anlagen zur kombinierten Warmwassererwärmung und Raumheizung kann ein Investitionszuschuss in Höhe von 105 € je angefangenem m² installierter Gesamtbruttokollektorfläche ebenfalls beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden. Dazu wird eine Mindestkollektorfläche von 9 m² bei Flachkollektoren und 7 m² bei Vakuumröhrenkollektoren gefordert. Außerdem muss das Pufferspeichervolumen mindestens 40 l/m² bei Flachkollektoren und 50 l/m² bei Vakuumröhrenkollektoren betragen.

¹ KfW-Förderbank: Ökologisch Bauen, KfW-Energiesparhaus oder Passivhaus, Zinskonditionen, 01.10.2007

² KfW-Förderbank: Solarstrom Erzeugen, Zinskonditionen, 28.09.2007

Voraussetzung für die Förderung ist, dass der jährliche Kollektorertrag von 525 kWh_{th}/a bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % beträgt und der Kollektor die Kriterien des Umweltzeichens RAL-UZ73 (Stand 2004) erfüllt bzw. mit dem „Blauen „Engel“ ausgezeichnet ist. Für Solarkollektoren, die ab 2007 nach DIN EN 12975 geprüft werden, sind nur die mit dem europäischen Prüfzeichen Solar Keymark förderfähig.

Neben dieser Basisförderung wird eine Bonusförderung für Anlagen zur kombinierten Warmwassererwärmung und Raumheizung gewährt, wenn eine besonders innovative oder effiziente Anwendung von Solarkollektoren vorgesehen wird. Dies trifft z. B. auf einen gleichzeitigen Austausch eines Heizkessels ohne Brennwerttechnik durch einen Brennwertkessel zu. Auch in Verbindung mit einer automatisch beschickten Anlage mit Leistungs- und Feuerungsregelung sowie automatischer Zündung zur Verfeuerung fester Biomasse oder einer effizienten Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung und die Bereitstellung des Heizwärmebedarfs wird der Bonus gewährt. Er beträgt 750 €.

Außerdem werden dazu ergänzend besonders effiziente Solarkollektorpumpen, die als Pumpen mit permanent erregtem EC-Motor ausgestattet sind, mit 50 € gefördert.

Ebenso erhalten besonders effiziente Umwälzpumpen, die Bestandteil eines hydraulisch und regeltechnisch optimierten Heizungssystems sein müssen, 200 € Fördermittel. Es wird ein Nachweis über den gemäß VOB/C – DIN 18380 durchgeführten hydraulischen Abgleich gefordert.

Wärmepumpen

Für die Errichtung von effizienten Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung und die Bereitstellung des Heizwärmebedarfs wird eine Basisförderung bereitgestellt. Als Voraussetzung muss ein Strom- und Wärmemengenzähler für elektrisch angetriebene Wärmepumpen zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl gemäß VDI 4650 bzw. ein Gas- und Wärmemengenzähler für gasmotorisch angetriebene Wärmepumpen eingebaut werden. Außerdem muss eine Fachunternehmererklärung vorgelegt werden, die nachweist, dass die geforderten Jahresarbeitszahlen eingehalten werden, der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage durchgeführt und die Heizkurve der Heizungsanlage an das Gebäude entsprechend angepasst wurde. Folgende Jahresarbeitszahlen sind mindestens gefordert.

	Neubau	Gebäudebestand
Sole/Wasser-Wärmepumpe Wasser/Wasser-Wärmepumpe	min. 4,0	min. 3,7
Luft/Wasser-Wärmepumpe	min. 3,5	min. 3,3
Gasmotorisch angetriebene Wärmepumpe	min. 1,2	min. 1,2

Tabelle 5-1 geforderte Mindest-Jahresarbeitszahlen für Wärmepumpen

Die Jahresarbeitszahl elektrisch angetriebener Wärmepumpen entspricht dem Ergebnis der abgegebenen Wärmemenge bezogen auf die eingesetzte Strommenge, die auch die Strommenge der peripheren Verbraucher wie Grundwasserpumpe, Soleumwälzpumpe, Notheizstab und Regelung einschließt. Ebenso sind für gasmotorisch angetriebene Wärme-

pumpen neben dem Energieinhalt des fossilen Brennstoffs auch die Strommenge der peripheren Verbraucher einzubeziehen.

Für Neubauten wird ein Investitionszuschuss von 10 € je m² Wohnfläche bei Sole/Wasser- oder Wasser/Wasser-Wärmepumpen bzw. maximal 2.000 € je Wohneinheit und 5 € je m² Wohnfläche bei Luft/Wasser-Wärmepumpen bzw. maximal 850 € je Wohneinheit gewährt. Für Bestandsgebäude beträgt der Zuschuss 20 € je m² Wohnfläche bei Sole/Wasser- oder Wasser/Wasser-Wärmepumpen bzw. maximal 3.000 € je Wohneinheit und 10 € je m² Wohnfläche bei Luft/Wasser-Wärmepumpen bzw. maximal 1.500 € je Wohneinheit.

Eine zusätzliche Innovationsförderung ist Wärmepumpen im Neubau mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 4,7 vorgesehen. Die entsprechenden Fördersätze erhöhen sich um 50 %. Mit mindestens 4,5 als Jahresarbeitszahl für Wärmepumpen in Bestandsgebäude erhöhen sich die Fördersätze ebenfalls um 50 %. Es ist zu beachten, dass die Innovationsförderung nicht mit dem Kombinationsbonus kumulierbar ist.

5.1.4 Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich

Die Einspeisevergütung des Fotovoltaikstroms ist im Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG) vom 21.07.2004 festgelegt. Die Mindestvergütung werden beginnend mit 2005 jährlich jeweils für nach diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 5 % des für die im Vorjahr neu in Betrieb genommenen Anlagen maßgeblichen Werts gesenkt und auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet. 2006 erhöht sich der Prozentsatz auf 6,5 %. Die Mindestvergütung wird für die Dauer von 20 Jahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres gezahlt.

Die Mindestvergütung für Fotovoltaikstrom von Anlagen, die ausschließlich an oder auf einem Gebäude installiert sind, beträgt für eine Leistung bis 30 kW und der Inbetriebnahme in 2008 46,75 Ct/kWh_{el}.

5.1.5 Zinsvergünstigung für energieeffiziente Neubauten

Neben der KfW-Bank bieten weitere Banken für energieeffizientes und umweltfreundliches Bauen zinsvergünstigte Kredite oder sonstige Nachlässe. Ein paar Banken und ihre Finanzierungsmodelle werden kurz vorgestellt.

GLS Bank:

Die Bank bietet für den Bau eines Passivhauses 0,5 % und eines Niedrigenergiehauses 0,3 bis 0,4 % Zinsnachlass an. Beim Einsatz umweltfreundlicher Baumaterialien werden 0,25 % Zinsbonus gewährt.

Quelle Bauspar AG:

Diese Bausparkasse arbeitet mit einem Programm „KlimaQuick“. Es wird eine bestimmte Anzahl von Kreditraten erlassen. Bei einer zehnjährigen Laufzeit eines Kredits werden auf zwei Kreditraten und bei einer Finanzierung über 20 Jahre auf bis zu 6 Raten verzichtet.

UmweltBank AG:

Die Bank bietet für Darlehen bis zu 400.000 € einen Zinsnachlass von 0,25 % unter der Voraussetzung, dass beim Bau des Wohnhauses Umweltaspekte berücksichtigt werden. Anhand einer Punkteliste wird der Zinsbonus bestimmt. Es werden der Energie-, Material- und Flächenverbrauch, Wasserverbrauch, Abwasseranfall und besonders ökologische Maßnahmen bewertet.

Alle drei Banken lassen die Kombination mit KfW-Krediten zu.

5.1.6 Förderprogramm für energieeffiziente Neubauten, Rheinland-Pfalz

Das rheinland-pfälzische Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz fördert seit Mai 2007 Neubauten, die als Passivhaus oder Energie-Gewinn-Gebäude errichtet werden. Der Schwerpunkt liegt auf Wohngebäude.

Für freistehende Einfamilienhäuser, Doppelhaushälften und Reihenhäuser mit regenerativem Energiegewinn kann ein Zuschuss von 5.000 € beantragt werden. Der Zuschuss für die Ausführung als Passivhaus betragen 3.500 €. Für Mehrfamilienhäuser als Energiegewinnhäuser werden pro Wohnung 2.500 € und als Passivhaus 1.750 € bezuschusst. Antragsberechtigt sind natürliche Personen und juristische Personen des öffentlichen und privaten Rechts.

Folgende Anforderungen sind für ein Energiegewinnhaus zu erfüllen.

- Spez. Primärenergiebedarf < 40 kWh/(m²a)
Nachweis nach EnEV 2004
- Unterschreitung des Höchstwertes des spez. Transmissionswärmeverlustes (Vorgabe EnEV) um mindestens 45 %
- Nachweis Ertragsprognose der zu installierenden Fotovoltaikanlage, dass mindestens die Energiemenge des Bedarfs gedeckt werden kann
Entweder: Deckung des Endenergiebedarfs zur Wärmeversorgung inklusive Hilfsenergie (EnEV-Nachweis)

Oder: Deckung des Primärenergiebedarfs zur Wärmeversorgung inklusive Hilfsenergie (EnEV-Nachweis)

- Erfolgreicher Luftdichtigkeitstest (Blower Door) mit 0,6 1/h Luftwechselrate bei 50 Pascal Druckdifferenz (n_{50} -Wert)

Die ersten zwei Punkte sind auch für ein KfW-Energiesparhaus 40 gefordert. Eine Kumulierung mit anderen öffentlichen Mitteln ist zulässig.

Der Antrag ist an die EffizienzOffensive Energie Rheinland-Pfalz (EOR) e. V. in Kaiserslautern einzureichen.

5.2 Investitionskosten

Die Investitionskosten der unterschiedlichen Wärmeversorgungsvarianten wurden von Herrn Waldherr auf Basis einer Luft/Wasser-Wärmepumpe zusammengestellt.

Technik	KfW-Standard	Investition	geldwerte Vorteile
NEH		145.600 €	
NEH Luft/Wasser-Wärmepumpe		+19.800 € 165.400 €	716 € Zuschuss (Wärmepumpe)
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe	KfW-60-Haus	+12.500 € 177.900 €	bis zu 4.000 € ¹ Zinsvergünstigung ca. 4.800 € ² Zinsvergünstigung 716 € Zuschuss (Wärmepumpe)
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG	KfW-60-Haus	+10.300 € 188.200 €	bis 4.000 € ¹ Zinsvergünstigung ca. 5.200 € ² Zinsvergünstigung 716 € Zuschuss (Wärmepumpe)
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG Solarthermie TWE	KfW-60-Haus	+4.700 € 192.900 €	bis zu 4.000 € ¹ Zinsvergünstigung ca. 5.400 € ² Zinsvergünstigung 716 € Zuschuss (Wärmepumpe) 300 € Zuschuss (Solarthermie)
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG Solarthermie TWE + RH	KfW-40-Haus	+ 6.100 € 199.000 €	bis zu 12.400 € ¹ Zinsvergünstigung ca. 5.600 € ² Zinsvergünstigung 1.466 € Zuschuss (Wärmepumpe) 1.100 € Zuschuss (Solarthermie)
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG Solarthermie TWE + RH Fotovoltaik	KfW-40-Haus	+ 22.000 € 221.000 €	bis zu 12.400 € ¹ Zinsvergünstigung ca. 5.600 € ² Zinsvergünstigung 1.466 € Zuschuss (Wärmepumpe) 1.029 € Zuschuss (Solarthermie) 54.740 € EEG 5.000 € ³ Zuschuss (RLP)

Tabelle 5-2 Investitionskosten und geldwerte Vorteile
auf Basis einer Luft/Wasser-Wärmepumpe

¹ KfW-Kredit für KfW-60-Haus: 10 Jahre Laufzeit, 10 Jahre Zinsbindungsfrist, KfW-60-Haus: 4,20 % effektiver Zins, KfW-40-Haus: 2,52 %, Stand 13.11.07

Zinsvergünstigung zu Baugeld mit 5 % durchschnittlichen effektivem Zins

² Zinsnachlass verschiedener Banken (energieeffiziente Neubauten), Annahme 0,25 %, 15 Jahre Zinsbindungsfrist

³ Förderprogramm energieeffiziente Neubauten, Rheinland-Pfalz

In der folgenden Tabelle sind die Mehrinvestitionen und die geldwerten Vorteile zusammengefasst.

Technik	Investition	Mehrinvestition	geldwerte Vorteile
NEH Luft/Wasser-Wärmepumpe	165.400 €		bis zu 700 €
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe	177.900 €	12.500 €	bis zu 9.500 €
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG	188.200 €	22.800 €	bis zu 9.900 €
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG Solarthermie TWE	192.900 €	27.500 €	bis zu 10.400 €
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG Solarthermie TWE + RH	199.000 €	33.600 €	bis zu 20.500 €
4-Liter-Haus Luft/Wasser-Wärmepumpe Be- und Entlüftungsanlage mit WRG Solarthermie TWE + RH Fotovoltaik	221.000 €	55.600 €	bis zu 80.300 €

Tabelle 5-3 Mehrinvestition und geldwerte Vorteile
auf Basis einer Luft/Wasser-Wärmepumpe

6 Zusammenfassung

In einem Neubaugebiet in Albisheim plant der Architekt und Bauträger Herr Waldherr des Unternehmens WABAU Massiv-Haus Bauträger GmbH + Co. KG, 15 Einfamilienhäuser zu errichten. Diese Häuser sollen sich durch niedrige Energiekosten und einen wirtschaftlichen Anschaffungspreis auszeichnen. Ziel der Untersuchung ist ein hocheffizientes und bezahlbares Massivhauskonzept unter Einbeziehung der Energietechnik zu entwickeln und umzusetzen. Dazu arbeiten WABAU Massiv-Haus Bauträger GmbH + Co. KG und Pfalzwerke AG als Projektpartner zusammen.

Am Beispiel eines Musterhauses, WABAU Massiv-Haus Typ 235 *PLUS*, wurden sechs unterschiedliche Varianten miteinander verglichen. Für alle Varianten wurde dieselbe Wärmedämmung vorausgesetzt. Lediglich durch den Einsatz einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage liegt für einige Varianten durch den geringeren Lüftungswärmeverlust ein niedriger Jahresheizwärmebedarf vor.

Neben konventionellen Dämmstoffen wurde auch ein neu entwickelter Dämmstoff mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,022 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ab 45 mm Dämmstärke betrachtet. Es handelt sich um Resol-Hartschaum, der zur Gruppe der Phenolharz-Hartschäume gehört. Es wurde die erforderliche Dämmstärke ermittelt, um den gleichen U-Wert der Bauteile mit den herkömmlichen Dämmstoffen zu erreichen. So würde sich z. B. die Dämmstärke der Außenwanddämmung um 10 cm verringern. Außerdem wurde der U-Wert der Bauteile für den Einsatz des neu entwickelten Dämmstoffs mit derselben Dämmstärke der konventionellen Dämmstoffe bestimmt. Der U-Wert der Außenwand würde anstelle von $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nur noch $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ betragen.

Zur wirtschaftlichen Bewertung wurden die Materialkosten der unterschiedlichen Dämmstoffe abgeschätzt. Mögliche konstruktionsbedingte Mehrkosten wurden im Rahmen dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. Es ergaben sich für die Bodenplatte und die Außenwand vergleichbare Materialkosten für den konventionellen und den neu entwickelten Dämmstoff, wenn derselbe U-Wert erreicht werden soll.

Die Dämmung der Bodenplatte ist von besonderer Bedeutung, da eine nachträgliche Dämmung kaum umsetzbar ist. Deswegen sollte der Aufbau der Bodenplatte in der Planung und Ausführung so gewählt werden, dass ein bestmöglicher U-Wert erreicht wird.

Die Außenwanddämmung ist ebenso von Bedeutung. Abhängig von der Dämmstärke verändert sich der konstruktive Aufwand wie z. B. der Dachüberstand und die Fensteranschlüsse. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist, dass bei feststehenden Außenmaßen eines Gebäudes eine Außenwanddämmung den Wohnraum verringert. Aufgrund dessen sind Dämmstoffe mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit von Bedeutung, damit mit geringen Dämmstärken eine gute Dämmwirkung erreicht werden kann.

Die ausgewählten Varianten berücksichtigten, dass im Rahmen des KfW-Programms „Ökologisch Bauen“ ein zinsgünstiges Darlehen beantragt werden kann, was als Mindeststandard für die ersten Varianten gilt. In den letzten beiden Varianten wurde zusätzlich eine Fotovoltaikanlage so konzipiert, dass der jährliche Strombedarf der heiz- und lüftungstechnischen Anlagen in der Jahresbilanz vollständig mit Solarstrom gedeckt werden kann.

- Variante 1
Luft/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung
- Variante 2
Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde), Fußbodenheizung
- Variante 3
Luft/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Thermolüfter)
- Variante 4
Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde), Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Thermolüfter)
- Variante 5
Luft/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Thermolüfter)
solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung
Fotovoltaikanlage
- Variante 6
Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde), Fußbodenheizung
mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Thermolüfter)
solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung und Raumheizung
Fotovoltaikanlage

Eine Gegenüberstellung zwischen Solarthermie und Fotovoltaik hat gezeigt, dass Dachflächen grundsätzlich für Fotovoltaikanlagen genutzt werden sollten und solarthermische Anlagen auf Flächen, die weniger für Fotovoltaik interessant sind, z. B. als Fassadenanlage installiert werden sollten.

Ergebnisse		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		Luft/Wasser-WP	Sole/Wasser-WP	Luft/Wasser-WP Lüftung mit WRG	Sole/Wasser-WP Lüftung mit WRG	Luft/Wasser-WP Lüftung mit WRG Solarthermie Fotovoltaik	Sole/Wasser-WP Lüftung mit WRG Solarthermie Fotovoltaik
Gebäudenutzfläche	m ²	195,6	195,6	195,6	195,6	195,6	195,6
spez. Transmissionswärmeverlust	W/(m ² K)	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
zulässiger Höchstwert	W/(m ² K)	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Unterschreitung des Höchstwertes	%	49	49	49	49	49	49
Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /a	7.251	7.251	4.055	4.055	4.055	4.055
Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung	kWh _{th} /a	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445
Jahresgesamtwärmebedarf	kWh _{th} /a	9.696	9.696	6.500	6.500	6.500	6.500
Anlagenaufwandszahl		1,18	1,08	1,01	0,97	0,74	0,72
Endenergiebedarf	kWh/a	3.802	3.477	2.962	2.837	2.350	2.241
Jahres-Primärenergiebedarf	kWh/a	11.408	10.431	9.840	9.464	7.274	7.008
spez. Jahres-Primärenergiebedarf	kWh/(m ² a)	58,33	53,34	50,31	48,39	37,19	35,83
zulässiger Höchstwert	kWh/(m ² a)	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62
KfW-Energiesparhaus		60	60	60	60	40	40

Tabelle 6-1 Zusammenfassung energetische Kennwerte

Die Fotovoltaikanlage wird im Energieausweis nicht berücksichtigt, da dort nur eine energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen erfolgt.