

Modellstudie zum Einsatz von Wärmepumpen in Einfamilienhäusern der 80er Jahre

Mit freundlicher Unterstützung des:



Rheinland-Pfalz

**Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz**

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

Datum: 24.10.2007

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

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Einleitung | 3 |
| 1 Ist-Analyse | 4 |
| 2 Vorstellung der Technik | 6 |
| 2.1 Erdreichwärmepumpe | 6 |
| 2.2 Solarthermische Anlage | 7 |
| 3 Wärmeversorgung Ist-Zustand | 9 |
| 3.1 Wärmebedarfsberechnung Ist-Zustand..... | 9 |
| 3.2 Dimensionierung Wärmepumpe Ist-Zustand | 10 |
| 4 Wärmeversorgung modernisierter Zustand | 14 |
| 4.1 Verbesserung des Dämmstandards | 14 |
| 4.2 Dimensionierung Wärmepumpe modernisierter Zustand | 16 |
| 4.3 Dimensionierung solarthermische Anlage zur Trinkwassererwärmung..... | 17 |
| 4.4 Energiebilanz | 19 |
| 4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | 20 |
| 5 Zusammenfassung | 24 |

Einleitung

Wärmepumpen stellen in Neubauten eine effiziente und mit niedrigen Betriebs- und Verbrauchskosten verbundene Variante zur Wärmeversorgung dar. Durch die frühzeitige Einbeziehung in die Hausplanung können die technischen Belange zum optimalen Einsatz von Wärmepumpen berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu sind beim Ersatz von brennstoffgefeuerten Heizanlagen durch Wärmepumpen die Wärmeverteilung und die Wärmeübertragung in den Räumen vorgegeben. Damit die Wärmepumpe auch hier effizient, d. h. mit einer hohen Jahresarbeitszahl, betrieben werden kann, ist eine detaillierte Planung vor der Umsetzung erforderlich.

In der Modellstudie wird beispielhaft für ein Einfamilienhaus aus den 80er Jahren der Ersatz des vorhandenen Erdgaskessels durch eine Wärmepumpe untersucht. Vom Hauseigentümer wird der Einsatz einer Erdreichwärmepumpe gewünscht. Um mit möglichst niedriger Vorlauftemperatur das Wohnhaus beheizen zu können, sind gegebenenfalls die Heizflächen neu zu dimensionieren. Anhand des berechneten Jahresgesamtwärmebedarfs erfolgt die Dimensionierung der Wärmepumpe und der Wärmequelle. Zur Trinkwassererwärmung wird eine thermische Solaranlage dimensioniert, die gemeinsam mit der Wärmepumpe den Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung deckt. Eine solare Raumheizungsunterstützung wird wegen umfangreicher Berechnungen zu Kombinationen aus Wärmepumpe und Solarthermie nicht betrachtet.

Nach der technischen Betrachtung werden eine Energiebilanz und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Zur Bewertung wird zur Wärmeversorgung eine Wärmepumpe einem Erdgas-Brennwertkessel gegenübergestellt.

Ziel der Studie ist die modellhafte Darstellung der Vorgehensweise bei der Planung einer Wärmepumpenanlage für ein älteres Einfamilienhaus. Darüber hinaus wird aufgezeigt, welche technischen Veränderungen notwendig sind, um den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe zu gewährleisten.

1 Ist-Analyse

Das freistehende Einfamilienhaus wurde 1978/79 errichtet. Das zweigeschossige Wohnhaus mit rund 248 m² Energiebezugsfläche ist unterkellert. Der Wärmedämmstandard entspricht dem Standard zur Zeit der Errichtung. So sind z. B. Kunststoffrahmenfenster mit Zwei-Scheiben-Isolierverglasung eingebaut.

Die Wärmeversorgung zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung erfolgt getrennt. Ein Gas-Schnellheizkessel ist zur Raumheizung installiert, während ein Gas-Vorratswasserheizer mit integriertem Warmwasserspeicher zur Trinkwassererwärmung dient.

| | Gas-Schnellheizkessel |
|---------------|-----------------------|
| Fabrikat | Hydrotherm |
| Wärmeleistung | 28 kW _{th} |
| Abgasverluste | 17,9 % |

Die Wärmeverteilung erfolgt hauptsächlich über Fußbodenheizung. Zusätzlich wurde in einigen Räumen Heizkörper installiert.

Der Heizkessel weist sehr hohe Abgasverluste auf.

| | Gas-Vorratswasserheizer |
|--------------------|-------------------------|
| Fabrikat | Vaillant |
| Wärmeleistung | 8,6 kW _{th} |
| Warmwasserspeicher | 220 l |
| Baujahr | 1998 |

Der Gas-Vorratswasserheizer wurde 1998 erneuert.

Mit dem Erdgasverbrauch wird der Jahresgesamtwärmebedarf des Einfamilienhauses ermittelt.

| Einfamilienhaus | |
|--|--|
| Erdgasverbrauch, witterungsbereinigt und gemittelt 00 - 05 | 48.785 kWh _{Ho} /a |
| Jahresnutzungsgrad | 77 % |
| Jahresgesamtwärmeverbrauch | 34.061 kWh _{th} /a |
| installierte Heizleistung Raumheizung | 28 kW _{th} |
| installierte Heizleistung Trinkwassererwärmung | 8,6 kW _{th} |
| Vollbenutzungsstunden (bezogen auf Gesamtheizleistung) | 931 h/a |
| Energiebezugsfläche | 248 m ² |
| spez. Heizenergieverbrauch RH + WWB | 197 kWh _{HU} /(m ² a) |
| spez. Heizleistung RH | 113 W _{th} /m ² |
| spez. Heizleistung WWB | 35 W _{th} /m ² |
| gebäudetypische Werte | |
| spez. Heizenergiebedarf RH (EFH und ZFH 1979-1983) | 119 kWh _{HU} /(m ² a) ¹ |
| Vollbenutzungsstunden (EFH und ZFH vor 1994) | 1.900 h/a |
| spez. Nutzenergiebedarf WWB | 400 kWh/Person *a |

Tabelle 1-1 Ist-Daten Einfamilienhaus

Die niedrigen Vollbenutzungsstunden deuten auf eine Überdimensionierung der Anlage hin. Im Kapitel „Wärmerversorgung Ist-Zustand“ wird die erforderliche Heizleistung bestimmt.

¹ Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

2 Vorstellung der Technik

Bevor für das Einfamilienhaus die Wärmeversorgung mit einer Erdreichwärmepumpe und mit einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung in der Trinkwassererwärmung näher untersucht wird, werden die Techniken kurz vorgestellt.

2.1 Erdreichwärmepumpe

Eine Wärmepumpe kann mithilfe einer niedrig temperierten Umgebungswärme Wärme auf ein höheres Temperaturniveau anheben und diese zu Heizzwecken nutzen. Dazu ist hochwertige Antriebsenergie notwendig. Die gewonnene Nutzwärme sollte dabei ein Mehrfaches der Antriebsenergie betragen, um eine vernünftige Betriebsweise zu erhalten. Dieses Verhältnis, auch als Leistungszahl bekannt, ist von der Temperaturdifferenz der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur des Heizsystems abhängig. Aufgrund dessen sollte die Wärmequelle eine hohe Temperatur aufweisen und das Heizsystem eine möglichst niedrige Vorlauftemperatur besitzen. Großflächige Wärmeübertragungsfläche, wie z. B. Fußboden- oder Wandflächenheizungen, mit einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur bieten sich hierzu an.

Bei der Nutzung des oberflächennahen Erdreichs als Wärmequelle wird nach der Art des verwendeten Wärmetauschers zwischen horizontal und vertikal verlegten Erdreichwärmetauscher (Erdreichwärmekollektor) unterschieden.

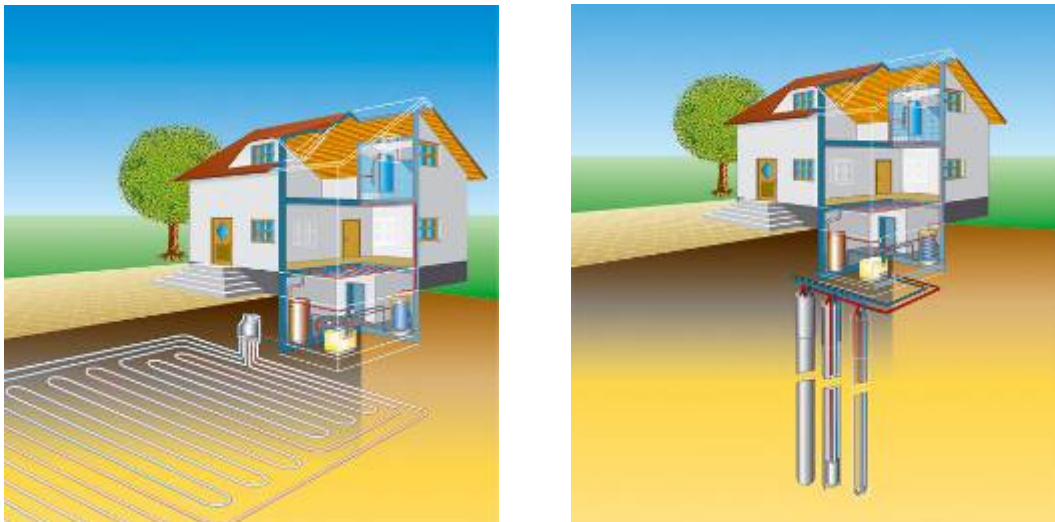


Abbildung 2-1 Wärmepumpenanlage mit Erdwärmekollektor und Erdwärmesonden
(Quelle: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.)

Vertikale Erdreichwärmetauscher, auch Erdwärmesonden genannt, weisen gegenüber den horizontalen Wärmetauschern einen wesentlich geringeren Flächenbedarf auf und werden deshalb bevorzugt bei kleinen Grundstücken eingesetzt. Der Wärmeentzug erfolgt über einen Solezwischenkreislauf. Die Sole leitet die Wärme vom Erdreich zum Wärmeträgermedium, das sich in einem geschlossenen Kreislauf befindet und die Wärme zur Wärmepumpe transportiert. Erdwärmesonden werden in vertikalen, bis zu 100 m tiefen Bohrungen einge-

bracht. Um einen guten Wärmeübergang zwischen Erdreich und Sonde zu gewährleisten, werden die Erdwärmesonden hinterfüllt. Hierbei hat sich eine Verpressung mit einer Bentonit-Zement- Suspension bewährt.

Anders als bei horizontalen Wärmetauschern, die sich in der heizfreien Zeit durch die solare Einstrahlung regenerieren, ist eine Regeneration des Erdreiches in tieferen Schichten nur bedingt möglich. Daher ist eine genaue Dimensionierung wichtig. Um langfristig den Gleichgewichtszustand zu halten, darf abhängig von den jeweiligen Untergrundeigenschaften, eine jährliche entzogene Wärmemenge zwischen 50 und 180 kWh_{th}/(m a) nicht überschritten werden.

Obwohl in der Regel der Betrieb einer Wärmepumpenanlage zur thermischen Nutzung des Untergrunds nicht zu nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt führt, muss das Arbeitsmittel so ausgewählt werden, dass im Schadensfall keine Umweltschädigung eintritt, wenn es in die Luft, den Boden und das Grundwasser gelangt.

Die Errichtung einer Wärmepumpenanlage mit Nutzung des Untergrundes durch Erdwärmesonden kann im Einzelfall ein erlaubnispflichtiger Benutzungstatbestand nach § 3 Abs. 2 Nr. 2 WHG sein unabhängig davon, ob beim Einbau Grundwasser angetroffen wird oder nicht. Es hängt von den technischen Daten der Anlage und den hydrogeologischen Gegebenheiten ab. Wenn ein Einwirken auf das Grundwasser zu erwarten ist, ist eine Bohranzeige nach § 35 WHG in Verbindung mit dem Landesrecht erforderlich.

2.2 Solarthermische Anlage

Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung zur Wärmeenergieerzeugung genutzt. Die Nutzung erfolgt hauptsächlich zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Um eine möglichst hohe Ausbeute über ein Jahr zu erzielen, ist eine Neigung der Kollektormodule von 30 bis 45° notwendig. Die Abweichung der Kollektorebene aus der Südrichtung (Azimut) sollte 45° nicht überschreiten.

Üblicherweise kann eine Solaranlage in Wohngebäuden bis zu 60 % des jährlichen Warmwasserbedarfs decken (solare Deckungsrate). Die Anlage sollte so dimensioniert werden, dass der Wärmebedarf im Sommer gedeckt wird.

Auf dem Markt sind verschiedene Systeme zu Solarkollektoren verfügbar (hauptsächlich Flach- oder Vakuum-Röhrenkollektoren). Diese unterscheiden sich im Aufbau, Wirkungsgrad und Preis.

Beim Flachkollektor dient ein flaches schwarz beschichtetes Kupferblech als Absorber. Auf der Rückseite sind kupferne Leitungen angebracht, welche direkt vom Wärmeträger durchflossen werden. Dieses System befindet sich meist in einem gedämmten Gehäuse, welches mit einer Glasplatte abgedeckt ist. Vakuum-Röhrenkollektoren bestehen aus mehreren evakuierten Glasröhren mit innen liegendem Absorber. Die Wärmeverluste werden minimiert. Bei gleicher Fläche liefern Röhrenkollektoren bis zu 40% mehr Ertrag als Flachkollektoren.

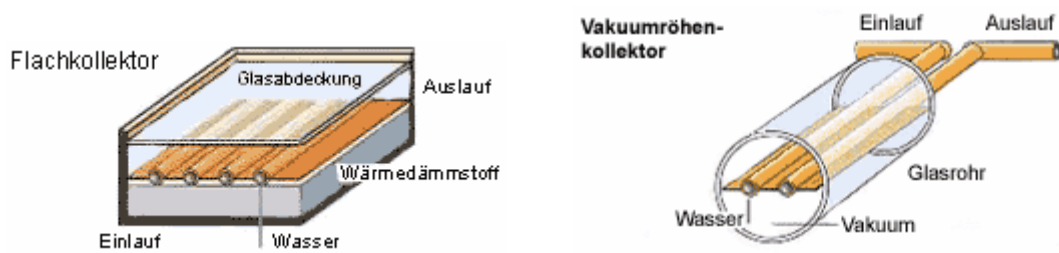


Abbildung 2-2 Flachkollektor und Vakuum-Röhrenkollektor (Quelle: Solarserver)

Je nach Wahl des zusätzlichen Heizsystems ist auf die hydraulische Schaltung und Auslegung des Pufferspeichers zu achten. Da eine solarthermische Anlage einen geringen Volumenstrom mit einer großen Temperaturspreizung aufweist, ist die Verbindung mit Systemen, die, wie z. B. eine Wärmepumpe, einen großen Volumenstrom mit kleiner Temperaturspreizung aufweisen, so auszuführen, dass beide Systeme sich nicht stören. Denn das Ziel ist, eine hohe solare Deckungsrate zur Unterstützung der Raumheizung und Trinkwassererwärmung sowie eine lange Laufzeit der Wärmepumpe zu erhalten.

Wenige Hersteller bieten Komplettpakete bestehend aus einer solarthermischen Anlage und einer Wärmepumpe mit einer optimalen Lösung an. Um Anlagen verschiedener Hersteller zusammen einsetzen zu können, ist die hydraulische Verschaltung entsprechend anzupassen.

Im Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007“ des Bundes-Wirtschaftsministeriums sind Förderungen für Solarkollektoranlagen vorgesehen. Für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung kann seit der Änderung des Marktanzreizprogramms vom 25. Juli 2007 ein Investitionszuschuss in Höhe von 60 € je angefangenem m² installierter Gesamtbruttokollektorfläche beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden.

Vorraussetzung 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 mit dem europäischen Prüfzeichen Solar Keymark förderfähig.

3 Wärmeversorgung Ist-Zustand

Für den Ist-Zustand, wie er in der Ist-Analyse beschrieben ist, wird die Wärmeversorgung durch eine Wärmepumpenanlage geprüft. Zunächst werden die Gebäudeheizlast und der Jahresheizwärmebedarf bestimmt. Die Raumheizlast und das vorhandene Heizsystem (Heizflächen und deren Vor- und Rücklauftemperatur) entscheiden über die Umsetzbarkeit einer Wärmepumpenanlage.

3.1 Wärmebedarfsberechnung Ist-Zustand

Für den Ist-Zustand wird eine Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 und eine Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs durchgeführt.

Die Ergebnisse der Heizlastberechnung sind in der Tabelle aufgeführt.

| | |
|----------------------------|---------------------|
| Transmissionswärmeverluste | 18 kW _{th} |
| Lüftungswärmeverluste | 4 kW _{th} |
| Gebäudeheizlast | 22 kW _{th} |

Tabelle 3-1 Ergebnisse Gebäudeheizlast Einfamilienhaus

Die Transmissionswärmeverluste über die Gebäudehüllfläche nehmen mit rund 82 % den größten Anteil an der benötigten Gebäudeheizlast ein. Es ergibt sich eine spezifische Wärmeleistung von rund 89 W_{th}/m². Damit ist der vorhandene Heizkessel mit 28 kW_{th} zur Raumheizung um ca. 21 % überdimensioniert.

Die Berechnung zum Jahresheizwärmebedarf nach DIN V 4108-6 erfolgte mit dem Rechnerprogramm „Der Energieberater“. Die Ergebnisse können aus der Tabelle entnommen werden.

| | |
|-----------------------------|---|
| Jahresheizwärmebedarf | 46.330 kWh _{th} /a |
| Energiebezugsfläche | 248 m ² |
| spez. Jahresheizwärmebedarf | 187 kWh _{th} /(m ² a) |

Tabelle 3-2 Ergebnisse Jahresheizwärmebedarf Einfamilienhaus

Der unter normierten Bedingungen berechnete Jahresheizwärmebedarf ist deutlich größer als der Jahresgesamtwärmeverbrauch nach den Verbrauchsdaten. Trotzdem wird in den weiteren Berechnungen der berechnete Jahresheizwärmebedarf zu Grunde gelegt.

Der hohe, spezifische Jahresheizwärmebedarf ist auf den Wärmedämmstandard entsprechend den 80er Jahren zurückzuführen. In Bezug auf die Gebäudeheizlast mit 22 kW_{th} ergeben sich etwa 2.100 h/a Vollbenutzungsstunden.

Zur Bestimmung der erforderlichen Wärmeleistung zur Trinkwassererwärmung wird ein Erfahrungswert aus der Literatur¹ angenommen. Für die Trinkwassererwärmung ist eine zusätzliche Heizleistung von 0,25 kW_{th} pro Person für die Wärmepumpenanlage einzukalkulieren. Für das Einfamilienhaus ergibt sich 1 kW_{th} unter Annahme eines 4-Personen-Haushalts.

Nach der DIN V 4701-10 „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung und Lüftung“ werden als Nutz-Wärmebedarf zur Trinkwassererwärmung 12,5 kWh_{th}/(m²a) angenommen. Bezogen auf 248 m² Nutzfläche resultieren 3.100 kWh_{th}/a zur Trinkwassererwärmung.

In der Tabelle sind die Wärmeleistung und der Jahreswärmebedarf zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung für den Ist-Zustand zusammengefasst.

| | Wärmeleistung [kW _{th}] | Jahreswärmebedarf [kWh _{th} /a] |
|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| Raumheizung | 22 | 46.330 |
| Trinkwassererwärmung | 1 | 3.100 |
| Wärmeversorgung Einfamilienhaus | 23 | 49.430 |

Tabelle 3-3 Wärmeversorgung Einfamilienhaus

Zur Deckung des Jahresgesamtwärmebedarfs von 49.430 kWh_{th}/a wird eine Wärmeleistung in Höhe von 23 kW_{th} benötigt.

3.2 Dimensionierung Wärmepumpe Ist-Zustand

Die Dimensionierung der Wärmepumpe erfolgt nach der ermittelten Heizlast in Höhe von 22 kW_{th} und der erforderlichen Wärmeleistung zur Trinkwassererwärmung von 1 kW_{th}, sodass insgesamt 23 kW_{th} bereitzustellen sind. Die Energieversorger bieten Sondertarife für Wärmepumpen an, in denen u. a. Sperrzeiten vorgesehen sind. In den Sperrzeiten, die maximal dreimal zwei Stunden innerhalb von 24 Stunden betragen, kann kein Strom für die Wärmepumpe bezogen werden. Deswegen ist für die Auslegung ein Sperrzeitfaktor zu berücksichtigen, der für eine Sperrzeit von dreimal 1,5 Stunden 1,2 beträgt. In der Regel reicht es aus, die Wärmeleistung um 10 bis 15 % größer zu dimensionieren, weil nicht alle Räume gleichzeitig beheizt werden. Demnach sollte eine monovalent betriebene Wärmepumpe im bestehenden Wohngebäude im Ist-Zustand ca. 26 bis 27 kW_{th} als Wärmeleistung aufweisen. Da die tiefste Außenlufttemperatur nur an wenigen Tagen im Jahr erreicht wird, wäre eine solche Wärmepumpe an den meisten Tagen im Jahr überdimensioniert, was zu hohen

¹ Bine Informationsdienst: Heizen mit Wärmepumpen, Praxishandbuch für Installateure und Planer, 2001, Heidelberg

Investitionskosten führt. Unter diesen Voraussetzungen ist eine monovalent betriebene Wärmepumpe nicht zu empfehlen.

Als Alternative bietet sich eine monoenergetische Betriebsweise an. Dazu wird die Wärmepumpe mit einem Elektroheizstab oder einem Elektrodurchlauferhitzer kombiniert. Die Dimensionierung der Wärmepumpe erfolgt anhand eines Dimensionierungsfaktors. Nach Erfahrungswerten aus der Praxis ist die Wärmepumpe auf 60 % bis 70 % der Heizlast auszuliegen, sodass sie über 90 % des Jahreswärmebedarfs bereitstellt. Für das Einfamilienhaus ist eine Wärmepumpe mit mindestens etwa 15 kW_{th} auszuwählen.

Von den unterschiedlichen Wärmepumpenherstellern wird eine Wärmepumpe mit 17,1 kW_{th} Heizleistung ausgewählt, die etwa 94 % des Jahresheizwärmebedarfs abdeckt. Diese Leistung gilt für ein Heizsystem mit 35°C Vorlauftemperatur. Ein Elektroheizstab mit rund 10 kW_{th} Heizleistung wird dazu kombiniert.

Die Fußbodenheizung ist zwar für eine Vor- und Rücklauftemperatur von 35°C/25°C ausgelegt, was für die ausgelegte Wärmepumpe geeignet ist, allerdings sind die Heizkörper auf eine Vor- und Rücklauftemperatur von 70°C/55°C dimensioniert. Da eine Vorlauftemperatur von 35°C mit Heizkörpern und eine Vorlauftemperatur von 70°C mit einer Wärmepumpe nicht umsetzbar sind, wird als Alternative zur ausgewählten Wärmepumpe ein System mit einer Vorlauftemperatur von 50°C zusätzlich betrachtet. Dadurch ändern sich die Heizleistung und die Leistungszahl der Wärmepumpe.

| | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Wärmepumpentyp | SI 17 TE | SI 17 TE |
| Betriebsbereich | B0/W35 | B0/W50 |
| Heizleistung | 17,1 kW _{th} | 16,7 kW _{th} |
| Leistung Wärmequelle | 13,4 kW _{th} | 11,5 kW _{th} |
| elektrische Leistungsaufnahme | 3,7 kW _{el} | 5,2 kW _{el} |
| COP ¹ | 4,6 | 3,2 |

Tabelle 3-4 Vergleich Wärmepumpe für verschiedene Betriebsbereiche

¹ COP - Coefficient of Performance, Wärmeleistung Verflüssiger bezogen auf Antriebsleistung Verdichter und Hilfsenergie

Für die zwei verglichenen Betriebsbereiche wird in Bezug auf die Vorlauftemperatur geprüft, wie sich die vorhandenen Heizflächen darstellen.

Die Fußbodenheizung mit einer Vor- und Rücklauftemperatur von 35 °C/25 °C ist unproblematisch. Bis auf das Elternschlafzimmer ist in allen Räumen eine Fußbodenheizung verlegt und z. T. noch zusätzlich Heizkörper installiert. Da sich im Elternschlafzimmer nur ein Heizkörper befindet, handelt es sich um den ungünstigsten Raum. Dieser wird im Folgenden für die beiden Heizsysteme mit 35 °C/25 °C und 50 °C/40 °C im Vergleich zu derzeit 70 °C/55 °C untersucht.

| Elternschlafzimmer | | Heizsystem 70 °C/55 °C | Heizsystem 50 °C/40 °C | Heizsystem 35 °C/25 °C |
|---|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Raumheizlast | W_{th} | 1.969 | 1.969 | 1.969 |
| Wärmeleistung vorhandener Heizkörper | W_{th} | 2.344 | 1.172 | 322 |

Tabelle 3-5 Vergleich Wärmeleistung vorhandener Heizkörper Elternschlafzimmer für verschiedene Heizsysteme

Der Vergleich zeigt, dass der vorhandene Heizkörper für Heizsysteme mit niedrigeren Vor- und Rücklauftemperaturen nicht mehr zur Deckung der Raumheizlast ausreicht. In den übrigen Räumen mit Fußbodenheizung und Heizkörpern wäre ebenfalls ein Austausch oder eine Erneuerung der Heizkörper notwendig, wenn die Heizkörper die gesamte Raumheizlast abdecken sollen.

Das Heizsystem beeinflusst auch die Erschließung der Wärmequelle, denn die erforderliche Wärmeentzugsleistung unterscheidet sich für das Heizsystem 35 °C/25 °C und 50 °C/40 °C aufgrund der verschiedenen Leistungszahlen. Unter Annahme einer spezifischen Wärmeentzugsleistung des vorhandenen Untergrunds von 50 W_{th}/m werden für das Heizsystem 35 °C/25 °C etwa 3 Erdsonden mit jeweils 90 m Länge und für das Heizsystem 50 °C/40 °C rund 3 Erdsonden mit jeweils 77 m Länge benötigt. Die notwendige elektrische Antriebsleistung für das höhere Temperaturniveau ist höher als für das niedrigere Temperaturniveau.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengefasst.

| | | Wärmepumpe Heizsystem 35°C/25°C | Wärmepumpe Heizsystem 50°C/40°C |
|---|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Wärmeleistungsbedarf | kW_{th} | 23 | 23 |
| Wärmeleistungsbedarf monovalente Wärmepumpe | kW_{th} | 27 | 27 |
| Wärmeleistungsbedarf monoenergetische Wärmepumpe | kW_{th} | 15 | 15 |
| Betriebsbereich | | B0/W35 | B0/W50 |
| Heizleistung Wärmepumpe | kW_{th} | 17,1 | 16,7 |
| Leistung Wärmequelle | kW_{th} | 13,4 | 11,5 |
| elektrische Leistungsaufnahme | kW_{el} | 3,7 | 5,2 |
| Wärmeleistung Elektroheizstab | kW_{th} | 10 | 11 |
| COP | | 4,6 | 3,2 |
| Erdsonden | | 3 x 90 m | 3 x 77 m |

Tabelle 3-6 Vergleich Wärmepumpe in den Heizsystemen 35°C/25°C und 50°C/40°C

Nach den bisherigen Betrachtungen ist für das Gebäude im derzeitigen Zustand eine Wärmepumpe mit hohen Investitionskosten aufgrund der großen Gebäudeheizlast und der erforderlichen Erdsondenlänge verbunden. Die Änderung des Heizsystems von 70°C/55°C auf 35°C/25°C erfordert erheblichen Veränderungen an den Heizkörpern bzw. ist teilweise nicht umsetzbar. Ein Heizsystem mit 50°C/40°C führt zu einem geringeren COP bzw. einer geringeren Jahresarbeitszahl.

Aufgrund dessen ist es für die Wärmeversorgung mit einer Wärmepumpe sinnvoll, zunächst die Gebäudeheizlast und den Jahresheizwärmebedarf durch Dämmmaßnahmen deutlich zu reduzieren. Dadurch werden niedrigere Investitionskosten und Verbrauchskosten aufzuwenden sein. Dies wird weiter untersucht.

4 Wärmeversorgung modernisierter Zustand

Die Untersuchungen zur Wärmeversorgung des Einfamilienhauses im derzeitigen Dämmstandard zeigten, dass eine Wärmepumpe unter diesen Voraussetzungen nicht sinnvoll einsetzbar ist. Deswegen wird zunächst ein verbesserter Wärmedämmstandard vorgeschlagen, um entsprechend dazu eine Wärmepumpenanlage auslegen zu können.

4.1 Verbesserung des Dämmstandards

Auf Grundlage des derzeitigen Wärmedämmstandards werden Dämmmaßnahmen für das in den 80er Jahren errichtete Einfamilienhaus untersucht.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2007), die am 27.06.2007 von der Bundesregierung verabschiedet wurde und am 1. Oktober 2007 in Kraft getreten ist, legt auch für bestehende Gebäude bei Änderung von Außenbauteilen einzuhaltende Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) fest, was auch in der bisherigen EnEV 2004 schon vorgeschrieben wurde. Dies trifft dann zu, wenn Änderungen an Außenwänden, außen liegenden Fenstern, Fenstertüren, Dachfenster mehr als 20 % der Bauteilfläche in gleicher Orientierung sowie an allen anderen Außenbauteilen weniger als 20 % der Bauteilflächen betreffen. Außerdem müssen nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume so gedämmt werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke 0,30 W/(m²K) nicht überschreiten. Dies ist allerdings erst im Falle eines Eigentümerwechsels, der nach dem 1. Februar 2002 statt gefunden hat, notwendig. Die Frist beträgt zwei Jahre ab dem Eigentümerwechsel.

Es gelten folgende Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen für Gebäude mit normalen Innentemperaturen:

| | |
|---|---------------------------|
| Außenwand | 0,35 W/(m ² K) |
| Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster | 1,70 W/(m ² K) |
| Außentüren | 2,90 W/(m ² K) |
| Decken, Dächer, Dachschrägen | 0,30 W/(m ² K) |
| Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich außenseitige Dämmung | 0,40 W/(m ² K) |
| Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich innenseitige Dämmung | 0,50 W/(m ² K) |

Die gesetzlichen Mindestanforderungen können mit größeren Dämmstärken und niedrigeren U-Werten unterschritten werden, sodass ein besserer Wärmedämmstandard erreicht werden kann. Außerdem führen größere Dämmstärken lediglich zu höheren Investitionskosten für die Dämmung bei etwa gleich bleibenden Verarbeitungskosten.

Zur Verbesserung des Dämmstandards werden folgende Maßnahmen betrachtet, mit denen nach dem KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm ein zinsgünstiger Kredit mit Tilgungszuschuss beantragt werden kann.

| Bauteil | Maßnahme | U-Wert |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Außenwand | 16 cm Außenwanddämmung WLG 035 | 0,22 - 0,23 W/(m ² K) |
| Fenster | Fenstererneuerung | 1,30 W/(m ² K) |
| oberste Geschossdecke | 20 cm Dämmschicht WLG 040 | 0,13 – 0,15 W/(m ² K) |
| Kellerdecke | 10 cm Dämmschicht WLG 040 | 0,28 W/(m ² K) |

Tabelle 4-1 Dämmmaßnahmen

Die in der EnEV geforderten U-Werte werden deutlich unterschritten.

| | | Ist-Zustand | modernisierter Zustand |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------|------------------------|
| Jahresheizwärmebedarf | kWh _{th} /a | 46.330 | 17.806 |
| Gebäudeheizlast | kW _{th} | 22 | 11 |
| Energiebezugsfläche | m ² | 248 | 248 |
| Spez. Jahresheizwärmebedarf | kWh _{th} /(m ² a) | 187 | 72 |
| Spez. Wärmeleistung | W _{th} /m ² | 89 | 44 |
| Einsparung | kWh _{th} /a | | 28.524 |
| Jahresheizwärmebedarf | % | | 62 |
| Einsparung Wärmeleistung | kW _{th} | | 11 |
| | % | | 50 |

Tabelle 4-2 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und modernisierter Zustand

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf um etwa 62 %. Der spezifische Jahresheizwärmebedarf würde dann 72 kWh_{th}/(m²a) betragen.

Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt rund 28.500 kWh_{th}/a. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 11 kW_{th}, was 50 % entspricht.

4.2 Dimensionierung Wärmepumpe modernisierter Zustand

Für den reduzierten Wärmebedarf durch einen verbesserten Wärmedämmstandard mit einer Gebäudeheizlast von etwa 11 kW_{th} und 1 kW_{th} Aufschlag zur Trinkwassererwärmung ist eine monovalent betriebene Wärmepumpe mit mindestens 13 kW_{th} auszuwählen. Für die mono-energetische Betriebsweise würde sich die Wärmeleistung mit 6,9 kW_{th} für die Wärmepumpe und 6 kW_{th} für den Elektroheizstab aufteilen.

Durch den verbesserten Wärmedämmstandard ist das Einfamilienhaus grundsätzlich auch für ein Heizsystem mit niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen (35°C/25°C) geeignet. Der Vergleich der Raumheizlast mit der Wärmeleistung der Heizkörper zeigt, dass es durch Austausch der Heizkörper untereinander und Erneuerung die Räume beheizt werden können. Das Elternschlafzimmer als kritischster Raum benötigt 851 W_{th}, während der vorhandene Heizkörper für das neue Heizsystem nur 322 W_{th} zur Verfügung stellen kann, sodass ein neuer Heizkörper installiert werden muss.

Für das 35°C/25°C-Heizsystem weist die ausgewählte Wärmepumpe folgende Daten auf.

| | |
|-------------------------------|----------------------|
| Wärmepumpentyp | SI 7 TE |
| Betriebsbereich | B0/W35 |
| Heizleistung | 6,9 kW _{th} |
| Leistung Wärmequelle | 5,3 kW _{th} |
| elektrische Leistungsaufnahme | 1,6 kW _{el} |
| COP ¹ | 4,3 |

Tabelle 4-3 Wärmepumpe modernisierter Zustand

¹ COP - Coefficient of Performance, Wärmeleistung Verflüssiger bezogen auf Antriebsleistung Verdichter

4.3 Dimensionierung solarthermische Anlage zur Trinkwassererwärmung

Der Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung ändert sich nicht mit dem Wärmedämmstandard eines Gebäudes, sodass eine solarthermische Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung unabhängig davon betrachtet wird. Der zuvor ermittelte Nutz-Wärmebedarf zur Trinkwassererwärmung, der nach der DIN V 4701-10 „Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung und Lüftung“ mit $12,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2\text{a})$ angenommen wurde, beträgt weiterhin bezogen auf 248 m^2 Nutzfläche $3.100 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$.

Anhand des Jahreswärmebedarfs zur Trinkwassererwärmung wird eine solarthermische Anlage so dimensioniert, dass in den Sommermonaten eine 100 % solare Deckung möglich ist. Die Auslegung und Berechnung einer solarthermischen Anlage erfolgte mit dem Computersimulationsprogramm T-Sol. Auf folgenden Daten beruht die Berechnung.

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| Azimut (Himmelsrichtung Dachfläche) | -25° (SSO) |
| Dachneigung | 40° |
| Modulfläche Flachkollektoren | 8 m ² |
| Trinkwarmwasserspeicher | 800 l |

Die Ergebnisse der Simulation sind in der Tabelle zusammengefasst.

| | |
|--|----------------------------|
| Jahreswärmebedarf Trinkwassererwärmung | 3.100 kWh _{th} /a |
| Jahresertrag solarthermische Anlage | 2.500 kWh _{th} /a |
| Jahresdeckungsgrad | 81 % |
| Systemnutzungsgrad | 21 % |
| Deckungsgrad Sommermonate | 100 % |

Tabelle 4-4 Simulationsergebnisse solarthermische Anlage

Der verbleibende Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung in Höhe von rund $600 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$ wird von einer Wärmepumpe gedeckt.

Durch die 100 % solare Deckung in den Sommermonaten wäre in diesem Zeitraum die Wärmepumpe theoretisch nicht in Betrieb. Das bedeutet, dass in diesem Zeitraum eine niedrige Arbeitszahl der Wärmepumpe vermieden wird, da zwischen der Erdreichtemperatur und der Trinkwarmwassertemperatur eine hohe Temperaturspreizung vorliegt.

Für die Umsetzung ist entscheidend, dass ein Trinkwasserspeicher mit zwei innenliegenden Wärmeübertragern ausgestattet ist. Der untere Wärmeübertrager wird an die solarthermische Anlage angeschlossen. Der obere Wärmeübertrager muss für die Nacherwärmung durch die Wärmepumpe so groß ausgelegt sein, dass die geforderte Trinkwassertemperatur auch erreicht werden kann. Außerdem ist eine entsprechende Regelung zur Ladung des Trinkwasserspeichers notwendig, der vorrangig von der solarthermischen Anlage geladen werden soll.

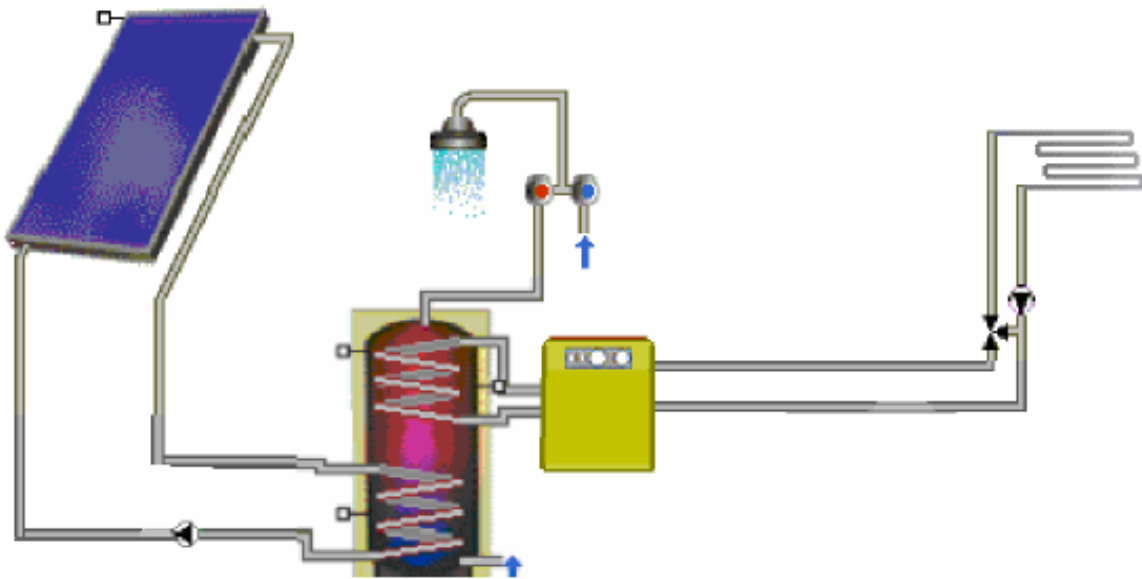


Abbildung 4-1 Schema zu Wärmepumpe mit solarunterstützter Trinkwassererwärmung
(Quelle: TSB in Anlehnung an TSol)

4.4 Energiebilanz

Zur Wärmeversorgung des Einfamilienhauses im verbesserten Wärmedämmstandard mit einer Erdreichwärmepumpe und einer solarthermischen Anlage wird eine Energiebilanz mit den umgesetzten Energiemengen aufgestellt. Zum Vergleich wird die Wärmeversorgung mit einem Erdgas-Brennwertkessel gegenübergestellt.

| | | Wärmepumpe Elektroheizstab solarthermische Anlage modernisierter Zustand | Erdgas-BW- Kessel solarthermische Anlage modernisierter Zustand |
|------------------------|--|---|--|
| Jahreswärmebedarf | kWh _{th} /a | 20.906 | 20.906 |
| Wärmeleistung | kW _{th} | 12 | 12 |
| Nennwärmeleistung | | | |
| Wärmepumpe | kW _{th} | 6,9 | |
| Elektroheizstab | kW _{th} | 6 | |
| Erdgas-BW-Kessel | kW _{th} | | 15 |
| Summe | kW _{th} | 12,9 | 15 |
| Wärmeerzeugung | | | |
| Wärmepumpe | kWh _{th} /a | 17.160 | |
| Elektroheizstab | kWh _{th} /a | 1.246 | |
| solarthermische Anlage | kWh _{th} /a | 2.500 | 2.500 |
| Erdgas-BW-Kessel | kWh _{th} /a | | 18.406 |
| Summe | kWh _{th} /a | 20.906 | 20.906 |
| Strombedarf | | | |
| Wärmepumpe | kWh _{el} /a | 5.720 | |
| Elektroheizstab | kWh _{el} /a | 1.259 | |
| Erdgasbedarf BW-Kessel | kWh _{Hu} /a kWh _{Ho} /a | | 18.975 20.873 |

Tabelle 4-5 Energiebilanz

4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Nach den Änderungen vom 25. Juli 2007 zum Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007“ kann für solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung ein Zuschuss von 60 € je angefangener Quadratmeter Bruttokollektorfläche beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden.

Im Rahmen des KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramms können zinsgünstige Kredite beantragt werden, wenn die vorgegebenen Bedingungen im Hinblick auf einzuhaltende Mindestanforderung zu Dämmmaßnahmen und zu neuen Wärmeversorgungsanlagen eingehalten werden. Die maximale Höhe des Kredits beträgt 50.000 € je Wohneinheit. Mit den gewählten Dämmmaßnahmen und einer Wärmepumpe bzw. einem Erdgas-Brennwertkessel sind die Bedingungen erfüllt.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

| | |
|--|----------|
| Zinssatz | 4,00 % |
| Zinssatz KfW-CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm ¹ | 2,52 % |
| Abschreibungsdauer Dämmmaßnahmen | 30 Jahre |
| Abschreibungsdauer Demontage | 15 Jahre |
| Abschreibungsdauer Maschinenteknik | 20 Jahre |
| Abschreibungsdauer Plattenheizkörper | 30 Jahre |
| Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes | 15 Jahre |

¹ KfW-Förderbank: Kredit zum KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm Stand 27.07.2006: max. 30 Jahre Laufzeit, max. 5 tilgungsfreie Anlaufjahre, max. 10 Jahre Zinsbindungsfrist

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

| | |
|---|--|
| Grundpreis Strom Wärmepumpe ¹ | 78,54 €/a inkl. MwSt. |
| Arbeitspreis Strom Wärmepumpe ¹ | 12,39 Ct/kWh _{el} inkl. MwSt. |
| Arbeitspreis Strom allgemein ² | 18,69 Ct/kWh _{el} inkl. MwSt. |
| Grundpreis Erdgas erste 10 kW ³ | 178,50 €/a inkl. MwSt. |
| Grundpreis Erdgas jedes weitere kW ³ | 7,14 €/(kW _a) inkl. MwSt. |
| Arbeitspreis Erdgas ³ | 5,51 Ct/kWh _{Ho} inkl. MwSt. |

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

| | |
|---|---|
| Wartung / Instandhaltung Wärmepumpe | 4 % der Investition (Wärmepumpe) |
| Wartung / Instandhaltung solarthermische Anlage | 1 % der Investition (solarthermische Anlage) |
| Wartung / Instandhaltung Erdgaskessel | 2 % der Investition (Heizkessel) |
| Emissionsüberwachung Erdgaskessel | 50 €/a inkl. MwSt. |

¹ RWE AG: Wärmepumpen Sondertarif, Stand Oktober 2007

² RWE AG: allgemeiner Stromtarif – RWE private classic, Stand Oktober 2007

³ RWE AG: RWE Erdgas Optimo maxi, Stand 06/2006

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

| | | Wärmepumpe Elektroheizstab solarthermische Anlage modernisierter Zustand | Erdgas-BW- Kessel solarthermische Anlage Modernisierter Zustand |
|---|----------|---|--|
| Dämmmaßnahmen | | | |
| Gerüst für Außenwanddämmung und Fenstererneuerung | € | 2.600 | 2.600 |
| Außenwanddämmung 16 cm WLG 040 | € | 22.200 | 22.200 |
| Fenstererneuerung 1,4 W/(m²K) | € | 14.700 | 14.700 |
| Dämmung oberste Geschossdecke 20 cm WLG 040 | € | 1.500 | 1.500 |
| Dämmung Kellerdecke 8 cm WLG 040 | € | 1.100 | 1.100 |
| Demontage | | | |
| Demontage Gas-Schnellheizkessel und Gas-Vorratswasserheizer | € | 400 | 400 |
| Maschinenteknik | | | |
| Erdreichwärmepumpe mit Erdsonden, Kombispeicher, Elektroheizstab und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme | € | 22.100 | |
| Erdgas-Brennwertkessel mit Trinkwasserspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme | € | | 11.500 |
| Solarthermische Anlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme | € | 5.100 | 5.100 |
| Plattenheizkörper | | | |
| Plattenheizkörper mit Zubehör inkl. Montage | € | 700 | |
| Planung, Unvorhergesehenes | | | |
| Planung, Unvorhergesehenes | € | 10.500 | 8.800 |
| Gesamtinvestition | € | 80.900 | 67.900 |

Tabelle 4-6 Investitionskosten

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt.

| | | Wärmepumpe Elektroheizstab solarthermische Anlage modernisierter Zustand | Erdgas-BW- Kessel solarthermische Anlage Modernisierter Zustand |
|--|------------------------------------|---|--|
| Wärmeleistung | kW_{th} | 12 | 12 |
| Investitionskosten | € | 80.900 | 67.900 |
| inkl. Tilgungszuschuss KfW-Kredit | € | 75.420 | 62.420 |
| Kapitalkosten | €/a | 5.457 | 4.484 |
| inkl. Tilgungszuschuss KfW-Kredit | €/a | 4.721 | 3.748 |
| Verbrauchskosten | €/a | 1.064 | 1.566 |
| Betriebskosten | €/a | 778 | 301 |
| Jahreskosten | €/a | 7.299 | 6.351 |
| inkl. Tilgungszuschuss KfW-Kredit | €/a | 6.563 | 5.615 |
| Jahresgesamtwärmebedarf | $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$ | 20.906 | 20.906 |
| Wärmepreis | $\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$ | 34,9 | 30,4 |
| inkl. Tilgungszuschuss KfW-Kredit | $\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$ | 31,4 | 26,9 |

Tabelle 4-7 Wirtschaftlichkeit

Die Jahreskosten der Wärmepumpenvariante liegen um etwa 15 % bzw. 17 % höher als die Jahreskosten einer Wärmeversorgung mit einem Erdgas-Brennwertkessel, sodass eine wirtschaftliche Wärmeversorgung des Einfamilienhauses mit verbessertem Wärmedämmstandard mit einem Erdgas-Brennwertkessel umsetzbar ist. Eine Erdreichwärmepumpe ist aufgrund der hohen Investitionskosten für den wärmedämmtechnisch modernisierten Gebäudebestand nicht geeignet.

5 Zusammenfassung

In der Modellstudie wurde am Beispiel eines Einfamilienhauses der 80er Jahre der Einsatz einer Wärmepumpe geprüft. Für Neubauten stellen Wärmepumpen eine effiziente und mit niedrigen Betriebs- und Verbrauchskosten verbundene Variante zur Wärmeversorgung dar. Durch die frühzeitige Einbeziehung in die Hausplanung können die technischen Belange zum optimalen Einsatz von Wärmepumpen berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu sind beim Ersatz von brennstoffgefeuerten Heizanlagen durch Wärmepumpen die Wärmeverteilung und die Wärmeübertragung in den Räumen vorgegeben. Damit die Wärmepumpe auch hier effizient, d. h. mit einer hohen Jahresarbeitszahl, betrieben werden kann, ist eine detaillierte Planung vor der Umsetzung erforderlich.

Am Beispiel des ausgewählten Einfamilienhauses wurde der Ersatz des vorhandenen Erdgaskessels durch eine Erdreichwärmepumpe, wie vom Hauseigentümer gewünscht, untersucht. Um mit möglichst niedriger Vorlauftemperatur das Wohnhaus beheizen zu können, sind ein paar Heizflächen neu zu dimensionieren. Der kritischste Raum ist das Elternschlafzimmer, da nur dort keine Fußbodenheizung verlegt ist. In den übrigen Räumen befindet sich eine Fußbodenheizung in Kombination mit Heizkörpern, die aus Komfortgründen wegen des trägen Heizsystems Fußbodenheizung installiert wurden.

Für das Einfamilienhaus im derzeitigen Zustand ist eine Wärmepumpe mit hohen Investitionskosten verbunden, die hauptsächlich auf die große Gebäudeheizlast mit $22 \text{ kW}_{\text{th}}$ und der erforderlichen Erdsondenlänge beruht. Die Änderung des Heizsystems von $70^\circ\text{C}/55^\circ\text{C}$ auf $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ ist mit erheblichen Veränderungen an den Heizkörpern verbunden bzw. teilweise nicht umsetzbar. Ein Heizsystem mit $50^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}$ führt aus Sicht der Wärmepumpe zu einem geringeren COP bzw. einer geringeren Jahresarbeitszahl. Außerdem beeinflusst das Heizsystem auch die Erschließung der Wärmequelle, denn die erforderliche Wärmeentzugsleistung unterscheidet sich für das Heizsystem $35^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ und $50^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}$ wegen der Leistungszahl. Deswegen ist es für die Wärmeversorgung mit einer Wärmepumpe sinnvoll, zunächst die Gebäudeheizlast und den Jahresheizwärmebedarf durch Dämmmaßnahmen deutlich zu reduzieren.

Zur Verbesserung des Wärmedämmstandards wurde Dämmmaßnahmen so ausgewählt, dass mit größeren Dämmstärken die gesetzlichen Mindestanforderungen nach der EnEV unterschritten werden und ein besserer Dämmstandard erreicht wird. Die ausgewählten Maßnahmen orientierten sich an den Mindestvorgaben nach dem KfW-CO₂-Modernisierungsprogramm. Es wurden folgende Maßnahmen angesetzt.

| | |
|-----------------------|---|
| Außenwand | 16 cm Außenwanddämmung WLG 035 |
| Fenster | Fenstererneuerung U-Wert $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ |
| oberste Geschossdecke | 20 cm Dämmschicht WLG 040 |
| Kellerdecke | 10 cm Dämmschicht WLG 040 |

Mit diesen Maßnahmen würde das Einfamilienhaus einen spezifischen Jahresheizwärmebedarf von $72 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2\text{a})$ erreichen. Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebe-

darfs beträgt rund 28.500 kWh_{th}/a und entspricht damit einer Verringerung um 62 % auf 17.806 kWh_{th}/a. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 11 kW_{th}, was 50 % entspricht. Für den verbesserten Wärmedämmstandard des Einfamilienhauses erfolgte die Dimensionierung der Wärmepumpe und der Wärmequelle. Zur Trinkwassererwärmung wurde eine thermische Solaranlage ausgelegt, die gemeinsam mit der Wärmepumpe den Jahreswärmebedarf zur Trinkwassererwärmung decken kann. Insgesamt ist eine Gebäudeheizlast von etwa 11 kW_{th} und 1 kW_{th} Aufschlag zur Trinkwassererwärmung zu decken. Für die mono-energetische Betriebsweise teilt sich die Wärmeleistung mit 6,9 kW_{th} für die Wärmepumpe und 6 kW_{th} für den Elektroheizstab auf.

Für die verschiedenen Varianten sind die Kenndaten in der Tabelle zusammengefasst.

| | | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 |
|-------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Wärmedämmstandard | | Ist-Zustand | Ist-Zustand | NEH-Standard |
| Wärmeerzeuger | | Wärmepumpe + Elektroheizstab | Wärmepumpe + Elektroheizstab | Wärmepumpe + Elektroheizstab |
| Heizsystem | °C | 50/40 | 35/25 | 35/25 |
| Jahresheizwärmebedarf | kWh _{th} /a | 46.330 | 46.330 | 17.806 |
| Jahreswärmebedarf WWB | kWh _{th} /a | 3.100 | 3.100 | 3.100 |
| Jahresgesamtwärmebedarf | kWh _{th} /a | 49.430 | 49.430 | 20.906 |
| Wärmeleistungsbedarf | kW _{th} | 22 | 22 | 11 |
| Wärmeleistung | | | | |
| Wärmepumpe | kW _{th} | 16,5 | 17,1 | 6,9 |
| Elektroheizstab | kW _{th} | 10,0 | 10,0 | 6,0 |
| gesamt | kW _{th} | 26,5 | 27,1 | 12,9 |
| COP | | 3,2 | 4,6 | 4,3 |
| Erdsondenlänge | m | 3 x 77 m | 3 x 90 m | 2 x 53 |

Tabelle 5-1 Zusammenfassung zu den Wärmepumpenvarianten

Die Auslegung der solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung erfolgte mit dem Ziel, das Warmwasser in den Sommermonaten vollständig solar zu bereiten. Dazu sind rund 8 m² Flachkollektorfläche und ein 800 l-Speicher notwendig. Mit dem Computersimulationsprogramm T-Sol ergab sich eine 80 % Deckung des Jahreswärmebedarfs zur Trinkwassererwärmung durch eine solarthermische Anlage.

Auf Grundlage dieser Daten wurde eine Energiebilanz aufgestellt, auf der eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beruhte. Zur Bewertung wurde die Wärmepumpenvariante einem Erdgas-Brennwertkessel gegenübergestellt.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung liegen die Jahreskosten der Wärmepumpenvariante um etwa 15 % bzw. 17 % höher als die Jahreskosten einer Wärmeversorgung mit einem

Erdgas-Brennwertkessel, sodass eine wirtschaftliche Wärmeversorgung des Einfamilienhauses mit verbessertem Wärmedämmstandard mit einem Erdgas-Brennwertkessel umsetzbar ist. Eine Erdreichwärmepumpe ist aufgrund der hohen Investitionskosten für den wärmedämmtechnisch modernisierten Gebäudebestand nicht geeignet.

Fazit:

Der Einsatz einer Wärmepumpe im Gebäudebestand ist grundsätzlich technisch möglich. Allerdings verbessert ein besserer Wärmedämmstandard nach Stand der Technik die Wirtschaftlichkeit wesentlich. Jedoch stellt sich eine Erdreichwärmepumpe im Vergleich zu einem Erdgaskessel durch 15 % höhere Jahreskosten ungünstig dar.

