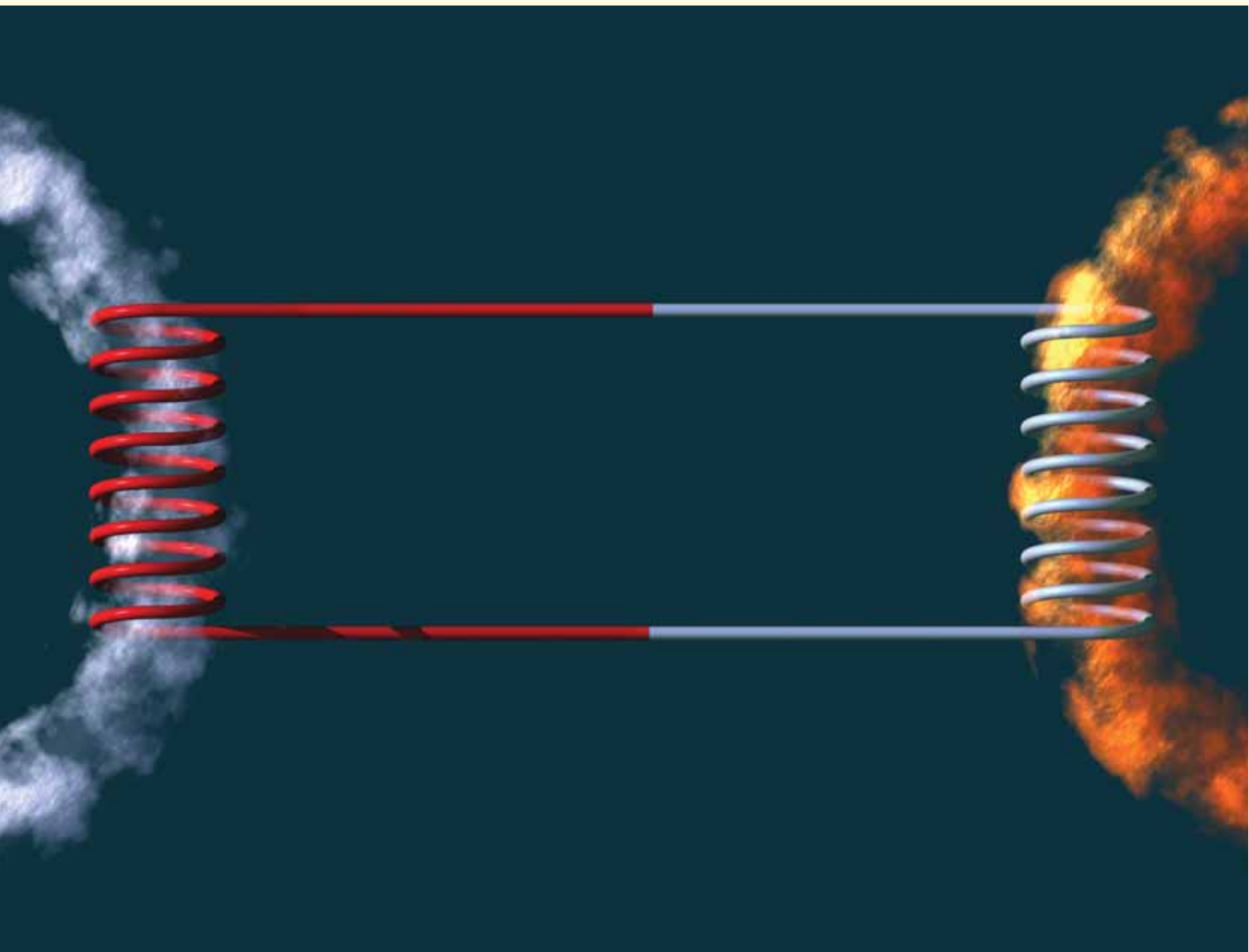


# Energie sparen durch Wärmepumpenanlagen



Baden-Württemberg

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM

# Impressum

**Herausgeber:**

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg  
Theodor-Heuss-Str. 4  
70174 Stuttgart  
Tel.: (0711) 123-0  
Fax: (0711) 123-2377  
Internet: [www.wm.baden-wuerttemberg.de](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de)  
E-Mail: [poststelle@wm.bwl.de](mailto:poststelle@wm.bwl.de)

**Kontakt, Idee, Konzeption und Redaktion:**

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg  
Referat 44 „Lebenswissenschaften, erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“

**Konzeption und inhaltliche Bearbeitung:**

Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Umwelt- und Reinraumtechnik, Offenburg  
Dipl.-Ing. (FH) Michael Kuhn, Dipl.-Ing. (FH) Eberhard Wieber,  
Ing.-Büro IDH, Stuttgart  
Prof. Dr.-Ing. Siegmar Hesslinger  
Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart  
Dipl.-Ing. Harald Höflich

**Gestaltung Umschlag:**

Axel Göhner, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

**Druck:**

W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG, Stuttgart

**7. aktualisierte Auflage Oktober 2005**

**Die Broschüre entstand in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit dem Landesarbeitskreis „Förderung der Nutzung der Wärmepumpe durch das Fachhandwerk und Partner in Baden-Württemberg“, Stuttgart.**



Fast 40 % der in Deutschland insgesamt eingesetzten Endenergie fließen in die Raumheizung und Warmwasserbereitung. Der Einsatz von Wärmepumpen bietet sich hier besonders an, da sie die gespeicherte Sonnenenergie in Form der Umgebungswärme aus dem Erdreich, aus dem Grund- und Oberflächenwasser sowie der Außenluft nutzen.

Die Technologie der Wärmepumpe ist mittlerweile ausgereift und optimal geeignet, konventionelle Heiztechniken in Wohngebäuden, öffentlichen Gebäuden, im Gewerbe und in der Landwirtschaft abzulösen.

Ein Einsatz lohnt sich vor allem in Neubauten und in gut wärmedämmten Altbauten. Besonders stromsparend sind Elektro-Wärmepumpenanlagen in Verbindung mit einem Niedertemperatur-Heizsystem.

Das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg möchte mit dieser Broschüre einen Beitrag zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg und damit zur Sicherung der Beschäftigung und Wettbewerbskraft von Handwerksunternehmen leisten.

Mein besonderer Dank gilt dem Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Umwelt- und Reinraumtechnik, Offenburg für die wissenschaftliche Bearbeitung sowie dem Landesarbeitskreis „Förderung der Nutzung der Wärmepumpe durch das Fachhandwerk und Partner in Baden-Württemberg“ für die fachlich kompetente Begleitung.

Stuttgart, im Oktober 2005

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ernst Pfister'.

Ernst Pfister, MdL  
Wirtschaftsminister und stellvertretender Ministerpräsident  
des Landes Baden-Württemberg

## Inhalt

<b>1. Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2. Wärmepumpen im Aufwind</b>	<b>4</b>
<b>3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik</b>	<b>5</b>
3.1 Wie arbeitet eine Wärmepumpe?	5
3.2 Betriebsweisen von Wärmepumpen	6
3.3 Wärmequellen	7
3.4 Bezeichnung von Wärmepumpen	7
3.5 Kenngrößen von Wärmepumpen	10
3.6 Energie- und Umweltbilanz von Wärmepumpen	11
3.7 Was spricht für den Wärmepumpeneinsatz?	13
3.8 Grundvoraussetzungen für den Wärmepumpeneinsatz	13
<b>4. Betriebsverhalten von Wärmepumpen</b>	<b>14</b>
4.1 Einfluss der Wärmequellen- und der Vorlauftemperatur auf die Heizleistung	14
4.2 Auswirkung auf die Auslegung von Wärmepumpenanlagen	15
<b>5. Anlagenkonfigurationen für monoenergetischen Betrieb</b>	<b>16</b>
5.1 Grundlegendes zur hydraulischen Einbindung von Wärmepumpen	16
5.2 Einbindung der Wärmepumpe mit integrierter Trinkwassererwärmung	17
<b>6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen</b>	<b>20</b>
6.1 Vorbemerkungen	20
6.2 Einfluss der Wärmequelle (Variante 1)	21
6.3 Einfluss des Heizsystems (Variante 2)	22
6.4 Einfluss der Trinkwassererwärmung	23
6.4.1 Einfluss der Trinkwasservorwärmung durch die Wärmepumpe (Variante 3)	23
6.4.2 Einfluss der Trinkwasservorwärmung durch eine Solaranlage (Variante 4)	24
6.5 Einfluss des COP-Wertes (Qualitätskriterium), (Variante 5)	25
6.6 Gegenüberstellung der Einflussgrößen	26
<b>7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten</b>	<b>27</b>
7.1 Dimensionierung von Wärmepumpenanlagen bei monoenergetischer Betriebsweise	27
7.1.1 Beispiel für Wärmequelle Außenluft	27
7.1.2 Beispiel für Wärmequelle Erdreich (Erdsonde)	30
7.2 Planungsablauf für Alt- und Neubau	32
7.3 Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenanlagen	34
7.4 Planung von Wärmepumpenanlagen	35
<b>8. Weitere Anwendungsgebiete von Wärmepumpen</b>	<b>37</b>
8.1 Warmwasser-Wärmepumpe	37
8.2 Kontrollierte Wohnungslüftung	38
<b>9. Softwareübersicht</b>	<b>39</b>
<b>10. Literaturverzeichnis</b>	<b>40</b>
<b>11. Glossar</b>	<b>41</b>
<b>Anhang</b>	<b>42</b>
A1 – Steckbriefe von ausgeführten Wärmepumpenanlagen	42
A2 – Arbeitshilfen Energiebilanz	46
A3 – Arbeitshilfen Wirtschaftlichkeitsanalyse	54
A4 – Internationales Gütesiegel für Wärmepumpen	56
A5 – Übersicht Kältemittel	57
A6 – Systemgrenzen für die Effizienzbewertung von Wärmepumpen	58
A7 – Staatliche und sonstige Förderungsmöglichkeiten	59
A8 – Informations- und Beratungsstellen	60
A9 – Regionale Energieagenturen in Baden-Württemberg	61

## 1. Einführung

Warum Wärmepumpen?

Moderne strombetriebene Wärmepumpenanlagen sind bezüglich der Umweltbilanz und der Jahresenergiekosten selbst gegenüber den effizientesten gas- und ölbefeuerten Heizanlagen deutlich im Vorteil.

Dies ist auch dadurch begründet, dass sich die Rahmenbedingungen für einen betriebssicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Wärmepumpenbetrieb in den letzten 10 Jahren sehr positiv entwickelten, was die rasante Marktentwicklung der Wärmepumpe in der Schweiz eindrucksvoll belegt. Im einzelnen sind dies:

Kennzeichen moderner Wärmepumpenheizanlagen

- Überwiegend Installation von monovalenten/monoenergetischen Wärmepumpenanlagen
- Stark reduzierte flächenbezogene Heizlasten, was den Einsatz von Niedertemperaturheizsystemen insbesondere Fußbodenheizung begünstigt
- Verstärkte Nutzung des Untergrundes (Erdsonden) als Wärmequelle in Verbindung mit stark vereinfachten Genehmigungsverfahren
- Effiziente Wärmepumpenaggregate mit Prüfzertifikat (siehe Gütesiegel, Anhang A4)
- Vorteilhafte Wärmepumpen-Stromtarife der Energieversorger
- Förderanreize durch Bund, Länder, Kommunen und Energieversorger
- Hohes technisches Know-how bei den Planern und Installationsbetrieben, begünstigt durch den Technologietransfer aus der Schweiz, durch bessere Schulungsmöglichkeiten und durch Normungs- und Richtlinienarbeit

Kältemittel heute, kein Problem

Es kommen heute nur noch FCKW-freie Kältemittel zum Einsatz. Überwiegend das Kältemittel Propan (R290) und das Kältemittelgemisch R407c. Beide haben ein Ozonzerstörungspotential (ODP) von 0 (siehe auch Übersichtsblatt im Anhang A5)

Wärmepumpen können überall dort zum Einsatz kommen, wo Niedertemperatur-Heizsysteme als Wärmeabnehmer zur Verfügung stehen.

Anwendungsbereich der Broschüre

Diese Infoschrift konzentriert sich im Wesentlichen auf die Anwendung von strombetriebenen Erdsonden- und Außenluft/Wasser-Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie in kleineren Büro- und Verwaltungsgebäuden mit Heizleistungen kleiner 20 kW in Verbindung mit Niedertemperatur-Heizsystemen (Vorlauftemperatur  $\leq 55^\circ\text{C}$ ).

Sie richtet sich an Architekten, Planer und Installationsbetriebe und soll dem Praktiker helfen, durch die korrekte Abstimmung der einzelnen Komponenten, wie Wärmepumpe, Wärmequelle, Heizsystem, Regelung und Hydraulik zu einem umweltverträglichen, kostengünstigen und betriebssicheren Wärmepumpenbetrieb zu gelangen.

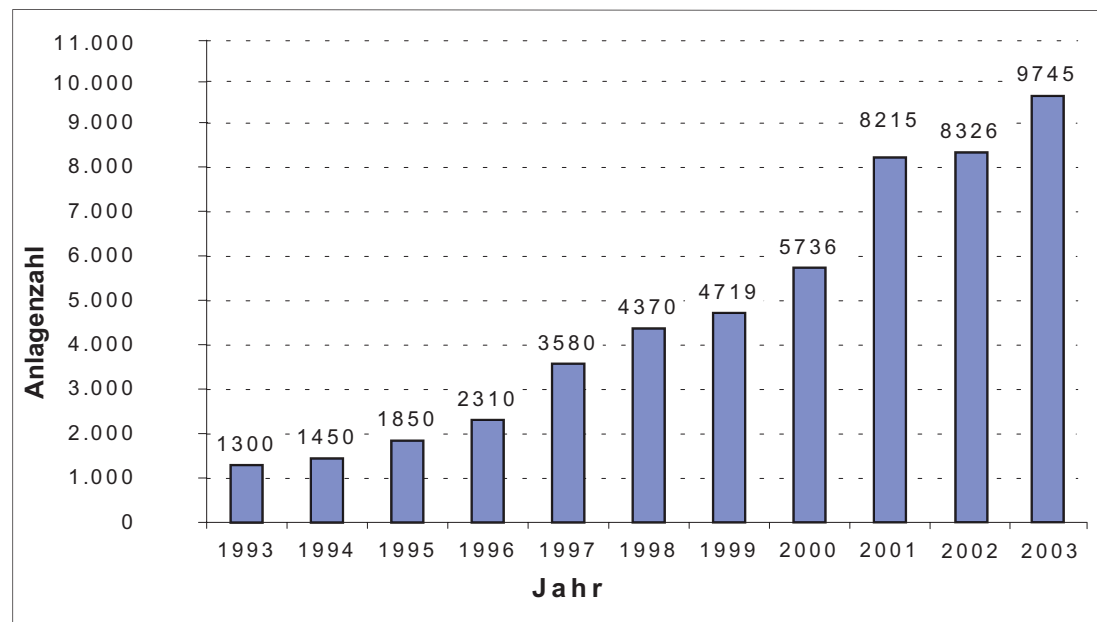
Für größere Wärmepumpenanlagen hat das Wirtschaftsministerium im Rahmen einer Initiative für den industriellen Bereich eine spezielle Broschüre herausgegeben.

## 2. Wärmepumpen im Aufwind

Seit 1994 ist ein starker Aufwärtstrend bei den neu installierten Anlagen zu verzeichnen. Im Jahr 2003 lag der Bestand bei rund 76.000 Elektro-Wärmepumpen-Heizanlagen.

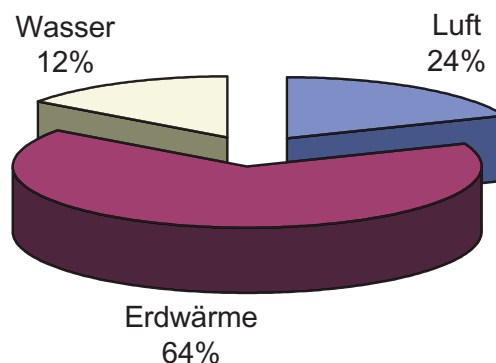
Vergleicht man den Heizungs-Wärmepumpenbestand im Jahr 2003 von Deutschland (20 Wärmepumpen pro 10.000 Haushaltskunden) mit der Schweiz (234 Wärmepumpen pro 10.000 Haushaltskunden), erkennt man das enorme Marktpotential der Wärmepumpentechnologie.

Doch auch bezüglich der Zuwachsraten, die sich gemäß **Abbildung 1** schon recht hoffnungsvoll darstellen, herrscht noch ein drastisches Defizit gegenüber der Entwicklung in der Schweiz. Dort wurden 2003 ca. 27 neue Wärmepumpen-Heizanlagen pro 10.000 Haushaltskunden installiert, während es in Deutschland nur 3 pro 10.000 Haushaltskunden war.



**Abbildung 1: Marktentwicklung neu installierter Elektro-Wärmepumpenheizanlagen in Deutschland 1993-2003 [1.1] ab 1996, [1.2] bis 1995**

Die durchschnittlich installierte elektrische Leistung der 1999<sup>1)</sup> neuerrichteten Anlagen beträgt 6,0 kWel. Von den 1998<sup>1)</sup> errichteten 4.370 Neuanlagen wurden 94% in Wohngebäuden eingebaut, auf Gewerbe und Industrie entfielen 4%, auf öffentliche Einrichtungen und Landwirtschaft jeweils 1%. Die bevorzugte Wärmequelle ist das Erdreich, was aus **Abbildung 2** deutlich hervorgeht.



**Abbildung 2: Wärmequellenanteile für neu angeschlossene Wärmepumpen zur Raumheizung in Deutschland 2003 [1.1]**

<sup>1)</sup> Die Statistik wurde nicht weitergeführt, somit liegen keine aktuelleren Daten vor.

Marktpotential

Marktentwicklung

Erdreich,  
die bevorzugte  
Wärmequelle

### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

#### 3.1 Wie arbeitet eine Wärmepumpe?

Vergleich mit  
Kühlschrank

Das Grundprinzip der Wärmepumpe kann man anhand der Arbeitsweise eines Kühlschranks erklären. Dort wird dem Kühlgut über den Verdampfer Wärme entzogen und über den Verflüssiger an der Rückseite des Gerätes in den Raum abgegeben. Bei der Wärmepumpe entzieht der Verdampfer die Wärme aus der Umwelt (Wasser, Erdreich, Außenluft) und führt sie über den Verflüssiger dem Heizsystem (Fußbodenheizung, Radiatoren) zu.

Der Kreisprozess, **siehe Abbildung 3**, erfolgt nach einfachen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Das Arbeitsmittel, eine schon bei niedriger Temperatur siedende Flüssigkeit (im allgemeinen Sprachgebrauch auch als Kältemittel bezeichnet), wird in einem Kreislauf geführt und dabei nacheinander verdampft, verdichtet, verflüssigt und entspannt.

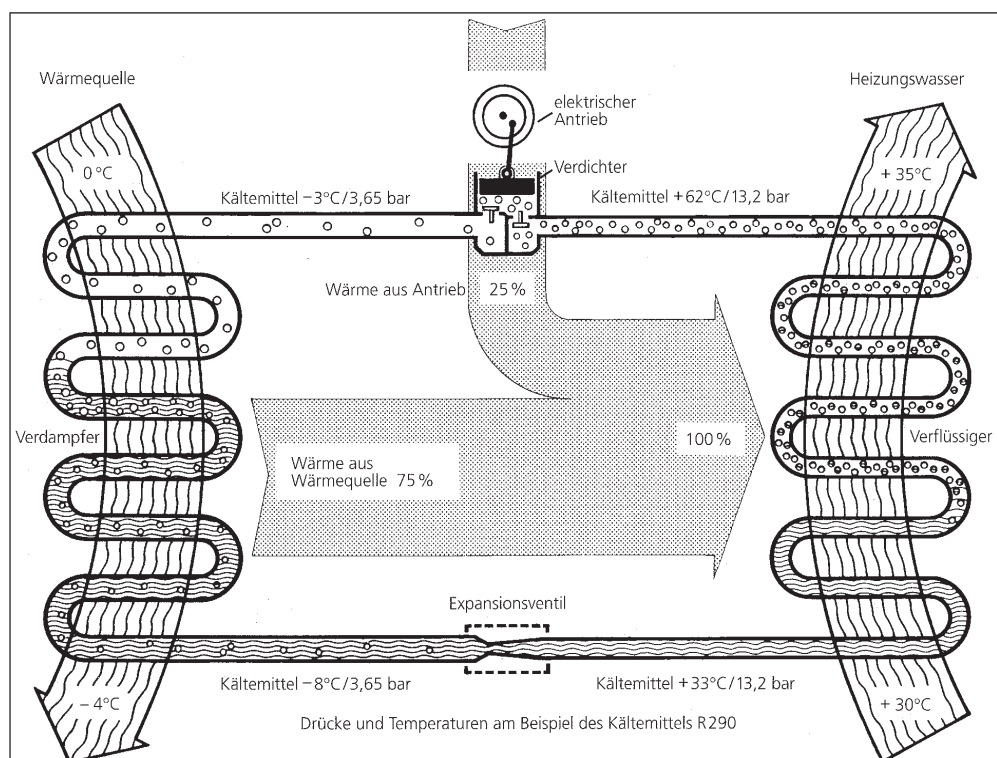


Abbildung 3: Prinzip der Wärmepumpe [3]

#### Der Kreisprozess im einzelnen:

Im Verdampfer befindet sich das flüssige Arbeitsmittel bei niedrigem Druck. Die Umgebungstemperatur des Verdampfers ist höher als die dem Druck entsprechende Siedetemperatur des Arbeitsmittels. Diese Temperaturdifferenz bewirkt eine Wärmeübertragung von der Umgebung auf das Arbeitsmittel, wobei das Arbeitsmittel siedet und verdampft. Die dazu erforderliche Wärme wird der Wärmequelle (Wasser, Erdreich, Außenluft) entzogen.

Das nun dampfförmige Arbeitsmittel wird ständig vom Verdichter aus dem Verdampfer abgesaugt und verdichtet. Bei der Verdichtung steigt der Druck des Dampfes **und dessen Temperatur**.

Vom Verdichter gelangt der Arbeitsmitteldampf in den Verflüssiger, der vom Heizwasser umspült wird. Die Temperatur dieses Wasserstromes ist niedriger als die Verflüssigungstemperatur des Arbeitsmittels, so dass der Dampf gekühlt und dabei wieder verflüssigt wird. Die im Verdampfer aufgenommene Energie (Wärme), zuzüglich der durch das Verdichten zugeführten Energie (Strom), wird im Verflüssiger freigesetzt und an den kälteren Heizwasserstrom abgegeben.

Wärmeaufnahme  
aus der Umwelt

Wärme-  
aufwertung im  
Kompressor

Wärmeabgabe  
an das  
Heizsystem



### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

Nach dem Verflüssigen wird das Arbeitsmittel über ein Expansionsorgan in den Verdampfer zurückgeführt. Das Arbeitsmittel wird von dem hohen Druck des Verflüssigers auf den niedrigen Druck des Verdampfers entspannt (expandiert). Beim Eintritt in den Verdampfer sind der Anfangsdruck und die Anfangstemperatur wieder erreicht. Der Kreislauf ist geschlossen und beginnt von neuem.

Der Kreislauf schließt sich

#### 3.2 Betriebsweisen von Wärmepumpen

Wärmepumpen zur Raumheizung können, je nach den Randbedingungen des Einsatzortes, in unterschiedlicher Art und Weise betrieben werden.

Grundlegend unterscheidet man folgende Betriebsweisen:

##### ➤ Monovalent

Die Wärmepumpe dient als alleiniger Wärmeerzeuger. Kommt hauptsächlich bei Grundwasser-Wärmepumpen zum Tragen.

Nur Wärmepumpe

##### ➤ Bivalent alternativ

Außer der Wärmepumpe steht noch ein zweiter Wärmeerzeuger mit Gas, Strom oder Öl als Energieträger zur Verfügung. Dieser geht in Betrieb, wenn die Wärmepumpe die Heizlast nicht mehr alleine decken kann. Diesen Betriebspunkt bezeichnet man auch als Bivalenzpunkt und die zugehörige Außentemperatur als Bivalenztemperatur. Die Wärmepumpe schaltet aus.

Wärmepumpe + zusätzlicher Wärmeerzeuger

##### ➤ Bivalent teilparallel

Der zweite Wärmeerzeuger geht in Betrieb, wenn die Wärmepumpe die Heizlast nicht mehr alleine decken kann. Diese bleibt parallel dazu in Betrieb, bis eine bestimmte Einsatzgrenze (z. B. Außentemperatur kleiner  $-5^{\circ}\text{C}$ ) unterschritten wird. Dann schaltet die Wärmepumpe aus.

##### ➤ Bivalent parallel/monoenergetisch

Der zweite Wärmeerzeuger geht in Betrieb, wenn die Wärmepumpe die Heizlast nicht mehr alleine decken kann. Diese bleibt parallel dazu in Betrieb, auch am kältesten Wintertag. Im Fall der monoenergetischen Betriebsweise handelt es sich beim zweiten Wärmeerzeuger um einen Elektroheizstab oder -durchlauferhitzer.

Wie bereits erwähnt, konzentriert sich diese Infoschrift auf kleinere strombetriebene Wärmepumpenheizanlagen mit Erdsonden oder Außenluft als Wärmequellen in Verbindung mit Niedertemperatur-Heizsystemen (Vorlauftemperatur  $\leq 55^{\circ}\text{C}$ ). Für diese Randbedingungen ist aus Kosten-, Effizienz- und Betriebssicherheitsgründen nur die monoenergetische Betriebsweise mit einer Elektronachheizung als Zusatzwärmeerzeuger zu empfehlen. Der Deckungsgrad der Wärmepumpe an der Jahresheizarbeit kann anhand **Tabelle 1** abgeschätzt werden.

Empfehlenswert: monoenergetisch

**Tabelle 1:** Wärmepumpenanteil an der Heizarbeit in Abhängigkeit von der Dimensionierung der Wärmepumpe bei bivalent-paralleler Betriebsweise für eine Auslegungstemperatur -  $12^{\circ}\text{C}$  (aus [3])

Dimensionierungsfaktor	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Wärmepumpenanteil an der Jahresheizarbeit	41 %	76 %	93 %	99 %	100 %

Für übliche Dimensionierungsfaktoren von 60...70% beträgt der Deckungsgrad der Wärmepumpe über 90%

Dimensionierungsfaktor = Wärmepumpenheizleistung  $Q_{\text{HWP}}$  (Auslegungspunkt) / Gebäudeheizlast  $Q_{\text{GEB}}$

Beispiel:  $Q_{\text{HWP}} = 5 \text{ kW}$ ;  $Q_{\text{GEB}} = 8 \text{ kW}$  => Dimensionierungsfaktor =  $Q_{\text{HWP}}/Q_{\text{GEB}} = 5/8 = 0,63$  => WP-Anteil  $\approx 94 \%$



### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

#### Vorteile der elektrischen Nachheizung

Bei korrekter Dimensionierung der Wärmepumpe gemäß **Tabelle 1** ist ein hoher Deckungsgrad der Wärmepumpe am Heizenergiebedarf in Verbindung mit nachfolgenden Vorteilen möglich:

#### Vorteile der monoenergetischen Betriebsweise mit elektr. Nachheizung:

- Bei Wärmepumpenanlagen mit Erdsonden wird die Wirtschaftlichkeit verbessert, weil die Sondenlänge reduziert werden kann (Vorsicht: Wärmeentzug von max. 100 kWh pro Meter Sondenlänge bzw. 1.800 Betriebsstunden nicht überschreiten).
- Die Wärmepumpenleistung kann reduziert werden => geringerer Investitionsbedarf.
- Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen ergibt sich ein besseres Betriebsverhalten im Teillastbereich.
- Die Betriebssicherheit ist bei 2 Wärmeerzeugern größer als bei Heizanlagen mit nur einem Wärmeerzeuger.

### 3.3 Wärmequellen

#### optimale Wärmequelle

Für den wirtschaftlich sinnvollen Einsatz der Wärmepumpe spielt die Wärmequelle eine wesentliche Rolle. Die optimale Wärmequelle würde ihre Wärme ganzjährig bei konstantem Temperaturniveau bei  $\geq 10^\circ\text{C}$  zur Verfügung stellen und wäre ortsunabhängig und kostengünstig zu erschließen. Die tatsächlich verfügbaren Wärmequellen:

- Außenluft (direkt)
- Erdreich (als Erdsonden oder als Flächenkollektor)
- Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser)

können der optimalen Wärmequelle immer nur zum Teil gerecht werden. Die wichtigsten technischen Eigenschaften der Wärmequellen sind in **Tabelle 2** (Seite 8 + 9) zusammengestellt. Weiterhin steht als Wärmequelle auch die Nutzung von Abwärme zur Verfügung. Im einfachsten Falle wird die Abwärme der Abluft einer Anlage zur kontrollierten Wohnungslüftung entzogen und mittels Wärmepumpe auf die Zuluft übertragen. Dieses System wird vorzugsweise in sogenannten Passivhäusern eingesetzt (siehe auch Kapitel 8.2). Weitere Beispiele für die Nutzung von Abwärme sind sowohl im kommunalen und gewerblichen bzw. industriellen Bereich zu finden als auch bei raumluftechnischen Anlagen für Schwimmhallen.

#### Nutzung von Abwärme

### 3.4 Bezeichnung von Wärmepumpen

Abhängig von den Wärmeträgermedien auf der Wärmequellenseite (Verdampfer) und auf der Verflüssigerseite werden die Wärmepumpen gemäß **Tabelle 3** bezeichnet.

**Tabelle 3: Bezeichnung von Wärmepumpen nach den verwendeten Wärmeträgermedien**

Bezeichnung	Verdampfer	Verflüssiger	Beispiel für Kurzbezeichnung
Luft/Wasser-Wärmepumpe	Außenluft	Heizwasser	A 2* / W 35**
Wasser/Wasser-Wärmepumpe	Grundwasser	Heizwasser	W 10 / W 35
Sole/Wasser-Wärmepumpe	Sole	Heizwasser	B 0 / W 35
Luft/Luft-Wärmepumpe	Außenluft	Zuluft	A 20 / A 35

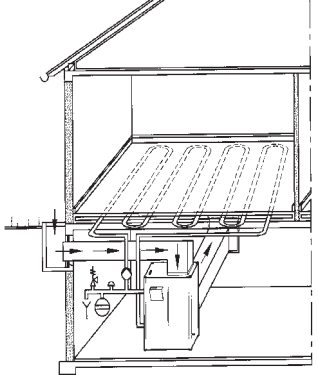

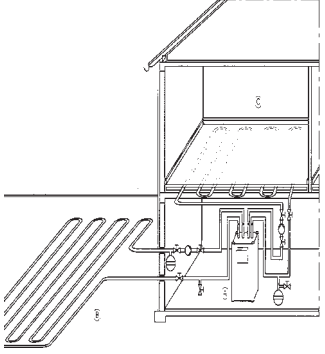
A=AIR (Luft); B=BRINE (Sole); W=WATER (Wasser)

\* Eintrittstemperatur in den Verdampfer ( $2^\circ\text{C}$ )

\*\* Austrittstemperatur am Verflüssiger ( $35^\circ\text{C}$ )

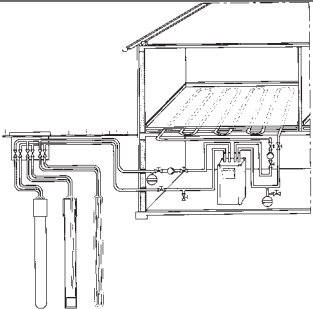
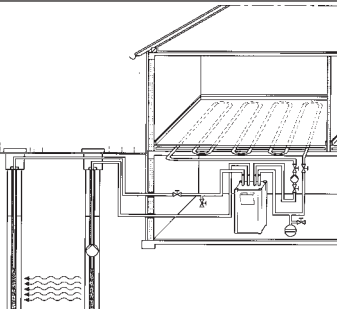
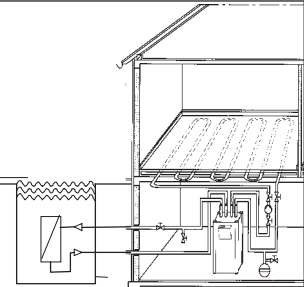
### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

Tabelle 2: Wichtige technische Eigenschaften der Wärmequellen

Wärmequelle	 Außenluft, direkt	 Abluft aus der Wohnung	 Erdreich mit Flächenkollektor
Art der Erschließung, Wärmeträgermedium	Außenluft wird mit Hilfe eines Ventilators über den Verdampfer gesaugt. Dabei wird ihr die erforderliche Wärme entzogen und auf das Kältemittel übertragen. Die abgekühlte Luft wird danach wieder ins Freie gefördert. Ausführungen: <u>Innenaufstellung</u> : komplette Wärmepumpe im Haus <u>Außenaufstellung</u> : komplette Wärmepumpe im Freien <u>Splitaufstellung</u> : Verdampfer im Freien.	Die frische Außenluft strömt durch Außenwandventile in die Wohn- und Schlafräume. Die Abluft wird in der Küche, den Feuchträumen und Keller abgesaugt. Die Abluft wird über den Verdampfer der Wärmepumpe geleitet, wo ihr die im Haus aufgenommenen Wärme entzogen wird.	Soledurchflossene, horizontale Rohrschlangen aus Kunststoff (PE) in ca. 1,2 bis 1,5 m Tiefe im Erdreich verlegt. Bei der aufgenommenen Wärme handelt es sich im wesentlichen um gespeicherte Sonnenenergie und zudem um aus Luft und Regen zugeführte Energie. Der Wärmestrom, der aus der Erde von unten zuströmt ist kleiner als $1 \text{ W/m}^2$ . <u>Variante</u> : Das Kältemittel der Wärmepumpe zirkuliert direkt im Erdkollektor = Direktverdampfer.
Temperaturniveau, Temperaturverlauf	Entsprechend dem Verlauf der Außentemperatur. Mittelwert während der Heizperiode ca. $+6^\circ\text{C}$ . Jahresmittelwert ca. $+12^\circ\text{C}$ .  Einsatzgrenze der WP beachten: üblich: Außentemperaturen von $-15^\circ\text{C}$ bis $+35^\circ\text{C}$ (herstellerabhängig)	Entsprechend dem Verlauf der Raumtemperatur, relativ gleichförmig. Die Abluft wird auf ca. $4^\circ\text{C}$ abgekühlt.	Die Erdreichtemperatur ist im wesentlichen abhängig von der Wärmeentzugsleistung. Die kältesten Temperaturen stellen sich zeitverzögert im Februar ein, je nach Auslegung, ca. $-5^\circ\text{C}$ (Sole). Ab März beginnt die Regeneration. Die mittlere Soletemperatur während der Heizperiode liegt bei ca. $+2^\circ\text{C}$ .
Typische Wärmeentzugsleistungen (bei Auslegungstemperatur)	Pro $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ Außenluft ca. 3 bis 4 kW	pro $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ca. 0,6 kW	Pro $\text{m}^2$ Erdkollektor: Min. $10 \text{ W/m}^2$ trockener Boden. Max. $40 \text{ W/m}^2$ feuchter Boden.
Typische Anlagenaufwandszahlen mit Fußbodenheizsystem und Warmwasservorwärmung	1,3 ... 1,4	1,2 ... 1,6 (abhängig vom elektrischen Nachheizbedarf)	1,1 ... 1,3 (niedrige Werte für Direktverdampfer)
Besondere Hinweise für Planung und Betrieb	Luftkanäle bei Innenaufstellung über Eck (Vermeidung von Kurzschlüssen). Kanäle wärmedämmen (Schwitzwasser). Zweiter Wärmeerzeuger (Heizstab oder Kessel) immer erforderlich. Für Kondensatablauf sorgen (durch Abtaeinrichtung) Betriebsgeräusche im Freien. Nicht empfehlenswert für sehr kalte Regionen mit Auslegungstemperatur $< -12^\circ\text{C}$	Einsatz von geeigneten Außenwandventilen. Vermeiden von Kurzschlüssen, Außenwandventil und Abluft der WP in ausreichender Entfernung. Absaugung der Luft in WC, Bad und Küche. Besonders für den Einsatz im Passivhaus geeignet.	Geeignetes Frostschutzmittel bis $-20^\circ\text{C}$ einsetzen. Verlegtiefe ca. 20 cm unter der Frostgrenze. Verlegabstand zwischen den Rohrleitungen min. 50 cm. Rohrlänge pro Kreis max. 100 m bei DN 32. Keine unzugänglichen Rohrverbindungen im Erdreich. Gute Entlüftung beachten. Alle Kreise gleiche Länge. Soleverteiler/- Sammler am besten in Verteilerschacht außerhalb des Hauses. Soleleitung im Haus gegen Schwitzwasser dämmen. Genehmigungsanfrage beim Landratsamt. <u>Direktverdampfer</u> : die vom Hersteller vorgeschriebene Länge der Verdampferkreise einhalten.
Weiterführende Literatur	[3], [4], [5], [6]	[9], [10]	[3], [4], [5], [6], [7.1], [9]

### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

Tabelle 2: Wichtige technische Eigenschaften der Wärmequellen

Wärmequelle	 Erdreich mit verschiedenen Erdsonden	 Grundwasser	 Oberflächenwasser
Art der Erschließung, Wärmeträgermedium	<p>Soledurchflossene vertikale Erdsonden als Rohr-im-Rohrsystem oder Doppel-U-Rohr.</p> <p>Sonden mit 30 bis 100 m Tiefe, teilweise darüber.</p> <p>Die Bohrlöcher (mit Einbringung der Sonde und Dichtigkeitsprüfung) werden von speziell ausgerüsteten Bohrfirmen hergestellt.</p> <p>Monoenergetische Betriebsweise empfohlen.</p>	<p>Über eine Tauchpumpe wird aus dem Förderbrunnen (Bohrtiefe bis ca. 15m) Grundwasser entnommen über den Verdampfer der Wärmepumpe geleitet und abgekühlt. Über den Schluckbrunnen wird es wieder zurückgeführt.</p> <p>Monovalente Betriebsweise ist möglich.</p>	<p>Das Oberflächenwasser wird i.d.R. fließenden Gewässern entnommen und über einen Wärmetauscher geleitet. Dort wird die Wärme an den Solekreislauf übertragen.</p> <p>Monovalente Betriebsweise nicht empfohlen.</p>
Temperaturniveau, Temperaturverlauf	<p>Die Soletemperatur ist im Wesentlichen abhängig von der Entzugsleistung.</p> <p>Die kältesten Temperaturen stellen sich zeitverzögert im Februar ein, je nach Auslegung 0°C bis -5°C. Ab März beginnt die Regeneration. Die mittlere Soletemperatur während der Heizperiode liegt bei ca. +5°C.</p>	<p>Ganzjährig ca. 7 bis 12 °C</p>	<p>Wesentlich größere Temperaturschwankungen als bei Grundwasser möglich 2°C bis 15 °C.</p>
Typische Wärmeentzugsleistungen (bei Auslegungstemperatur)	<p>Min. 20 W/m Max. 80 W/m (bei starkem Grundwasserfluss). Richtwert 50 W/m.</p>	<p>Pro 1 m³/h Grundwasser ca. 5-6 kW. Volumenstrom = 50% vom Maximalwert.</p>	<p>Pro 1 m³/h Oberflächenwasser ca. 3-4 kW</p>
Typische Anlagenaufwandszahlen mit Fußbodenheizsystem und Warmwasservorwärmung	<p>1,05 ... 1,25</p>	<p>0,95 ... 1,05</p>	<p>1,1 ... 1,2</p>
Besondere Hinweise für Planung und Betrieb	<p>Die erforderliche Bohrtiefe und die Anzahl der Sonden wird von der Bohrfirma vor Ort anhand einer Probebohrung ermittelt.</p> <p>Angebotspreis auf die erforderliche Wärmeentzugsleistung in kW abstimmen.</p> <p>Sondenabstand mindestens 5m.</p> <p>Sonstige Hinweise zu Solesystem siehe Erdkollektor.</p> <p>Sonden- und Wärmepumpenanlage auf max. 1800 Betriebsstunden bzw. 100 kWh/m jährlich auslegen.</p> <p>Genehmigung durch Landratsamt erforderlich.</p>	<p>Der Abstand zwischen Förder- und Schluckbrunnen sollte mindestens 10m betragen (Vermeidung von Kurzschlüssen). Temperaturabsenkung max. 6 K.</p> <p>Zu- und Ableitung des Grundwassers frostsicher mit Gefälle zum Brunnen.</p> <p>Die Ergiebigkeit und Wasserqualität des Brunnens sind im Vorfeld durch Pumpversuche zu ermitteln.</p> <p>Genehmigung durch Landratsamt erforderlich.</p>	<p>Die Temperatur am Verdampferaustritt darf nicht unter 2 °C sinken (Frostgefahr)</p> <p>Mengenschwankungen und Wasserqualität müssen bekannt sein.</p> <p>Gefahr der Verschmutzung bei Hochwasser muss besonders beachtet werden.</p> <p>Genehmigung durch Landratsamt erforderlich.</p>
Weiterführende Literatur	<p>[3], [4], [5], [6], [7.1], [8]</p>	<p>[6], [7.1]</p>	<p>[4], [6]</p>

### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

#### 3.5 Kenngrößen von Wärmepumpen

Vergleichbar mit den Wirkungs- und Nutzungsgraden von Heizkesseln gibt es auch bei Wärmepumpen Kenngrößen, die Auskunft über die Effizienz der Wärmepumpe geben.

Die Leistungszahl  $\varepsilon$  ist das Verhältnis von der ans Heiznetz abgegebenen *Wärmeleistung* zu der aufgenommenen elektrischen *Leistung* des Verdichter-Antriebsmotors bei einem bestimmten Betriebspunkt.

$$\varepsilon = \frac{\text{Wärmeleistung (Verflüssiger) in kW}}{\text{elektrische Leistung (Verdichter) in kW}}$$

Leistungszahl  $\varepsilon$   
zur Bewertung  
des  
Kreisprozesses

Bei der Berechnung der Leistungszahl wird die elektrische Leistungsaufnahme der Heizungsumwälzpumpe und der quellenseitigen Förderpumpe (bei Wasser/Wasser bzw. Sole/Wasser-Wärmepumpen) nicht berücksichtigt. Sie bewertet somit nur die Qualität des Wärmepumpen-Kreisprozesses. Ausnahme: Die Leistungszahlen von Luft/Wasser-Wärmepumpen beinhalten meistens die Antriebsleistung des Ventilators jedoch keinen Leistungsanteil für das Abtauen des Verdampfers bei bestimmten Außentemperaturverhältnissen.

Aussagekräftiger ist die Kenngröße COP (Coefficient of Performance), die auch die elektrische Leistung der Hilfsaggregate mit einbezieht.

$$\text{COP} = \frac{\text{Wärmeleistung (Verflüssiger) in kW}}{\text{elektrische Leistung (Verdichter + Hilfsenergie) in kW}}$$

COP-Werte  
nach DIN EN 255

Die COP-Werte werden von unabhängigen und akkreditierten Wärmepumpenprüfstellen wie z.B. das Wärmepumpentest- und -ausbildungszentrum Töss/CH messtechnisch nach DIN EN 255 [9] ermittelt. Doch selbst hier sind die elektrische Leistungsaufnahme der Heizungsumwälzpumpen und der quellenseitigen Förderpumpen (bei Wasser/Wasser bzw. Sole/Wasser-Wärmepumpen) nicht berücksichtigt, da diese sehr stark von den örtlichen Randbedingungen abhängig sind.

Der COP-Wert ist ein Gütekriterium der Wärmepumpe. Je höher desto besser. Allgemein gilt:

**Je geringer der Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Heizsystem desto höher ist der COP-Wert und die Leistungszahl.**

Beispielhaft ist in **Abbildung 4** die Abhängigkeit des COP-Wertes von der Vorlauftemperatur des Heizsystems und von der Eintrittstemperatur der Wärmequelle für eine bereits geprüfte Sole/Wasser-Wärmepumpe dargestellt.

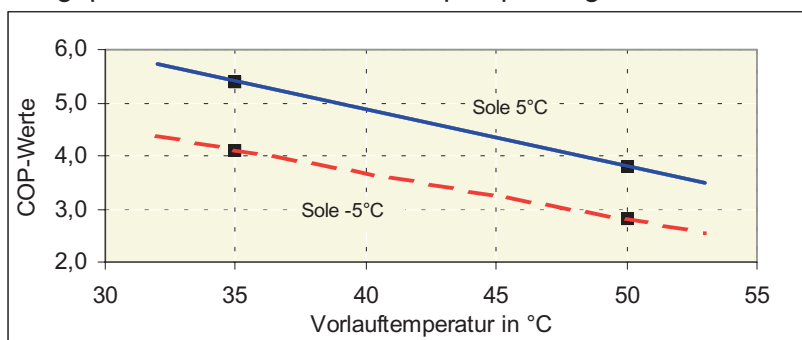


Abbildung 4: COP-Werte in Abhängigkeit der Vorlauf- und der Wärmequellentemperatur

niedere Vorlauf-  
temperatur  
+  
hohe  
Wärmequellen-  
temperatur  
=  
hohe  
Energie-Effizienz

### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

Jahresarbeitszahl  $\beta$  und Anlagenaufwandszahl  $e_p$  der Wärmepumpenheizung

Wie bereits beschrieben geben die Leistungszahl  $\varepsilon$  bzw. der COP-Wert nur Auskunft über die Effizienz der Wärmepumpe in einem bestimmten Betriebspunkt (z.B. A2/W35). Dies ist vergleichbar mit dem Wirkungsgrad eines Kessels.

Entscheidend für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe ist jedoch eine Kenngröße, die aus dem Verhältnis der über das gesamte Jahr an das Heiznetz und an das Warmwasser abgegebenen *Energie* (in Form von Wärme) zur gesamten aufgenommenen elektrischen *Energie* (einschließlich Hilfs- bzw. Zusatzenergie) gebildet wird. Diese Kenngröße wird als **Jahresarbeitszahl  $\beta$  der Wärmepumpenheizung** bezeichnet und ist vergleichbar mit dem Jahresnutzungsgrad einer Heizanlage. Die Systemgrenzen zur Ermittlung der Arbeitszahl sind in **Anhang A7** beschrieben. Als neue Kenngröße ist mit der Einführung der Energieeinsparverordnung seit Februar 2002 die Anlagenaufwandszahl  $e_p$  hinzugekommen. Der Zusammenhang zur Jahresarbeitszahl ist wie folgt:  $e_p = f_p / \beta_B$ , mit  $f_p$  = Primärenergiefaktor = 3,0 für Strom und  $\beta_B$  nach Anhang A7. Eine gute Wärmepumpenanlage muss damit eine hohe Arbeitszahl und eine niedrige Anlagenaufwandszahl aufweisen.

Viele Einflussgrößen wirken sich direkt auf die Jahresarbeitszahl, beziehungsweise auf die Anlagenaufwandszahl aus. Diese sind nachfolgend qualitativ dargestellt. Im Kapitel 6 „Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen“ sind die quantitativen Auswirkungen anhand von Beispielen verdeutlicht.

Qualitative Auswirkungen auf die Jahresarbeitszahl/ Aufwandszahl der Wärmepumpenheizungen

<b>Einflussgrößen auf die Jahresarbeitszahl / Anlagenaufwandszahl</b>	<b>Wirkung</b>
➤ Niedrige Auslegungs-Vorlauftemperatur des Heizsystemes	++
➤ Niedrige Wärmequellentemperatur (z.B. durch falsche Dimensionierung)	--
➤ Hoher Druckverlust im Fördersystem der Wärmequelle (z.B. zu klein dimensionierte Leitungen im Solekreislauf)	-
➤ Wärmepumpe mit hohen COP-Werten (Gütesiegel)	++
➤ Trinkwassererwärmung ausschließlich über Elektroheizstab	--

(++ starke Verbesserung; + Verbesserung der Arbeitszahl / Aufwandszahl)  
 (-- starke Verschlechterung; - Verschlechterung der Arbeitszahl / Aufwandszahl)

#### 3.6 Energie- und Umweltbilanz von Wärmepumpen

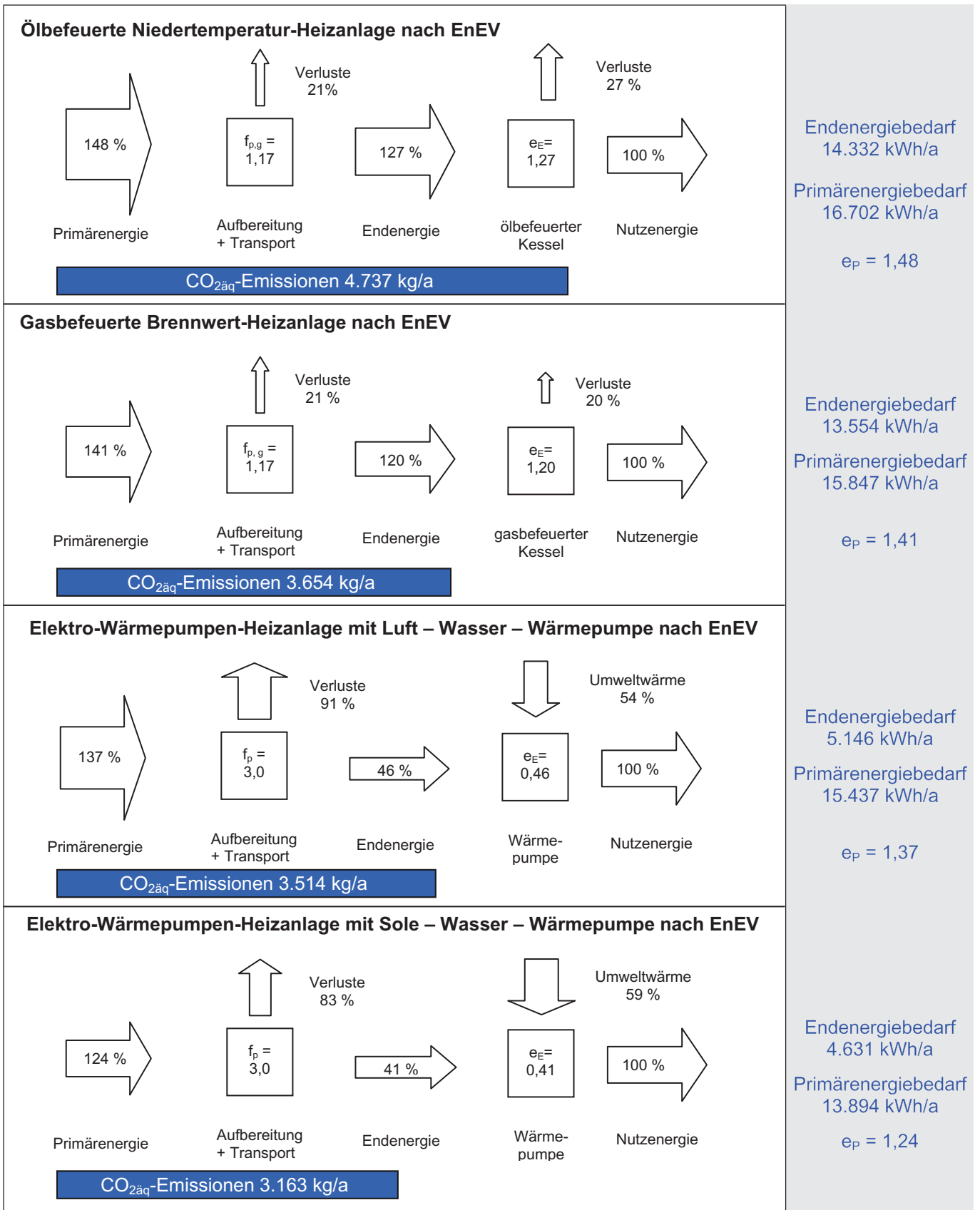
Ob elektrisch betriebene Wärmepumpenheizungen unter Umweltgesichtspunkten besser abschneiden als moderne gas- oder ölbefeuerte Heizkesselanlagen, ist im wesentlichen abhängig von der Jahresarbeitszahl „ $\beta$ “ bzw. Anlagenaufwandszahl  $e_p$ . Die für die Umweltbewertung interessanten Kenngrößen sind der Primärenergiebedarf und die globalen CO<sub>2äq</sub>-Emissionen (Erklärung siehe Glossar). Für den Nutzer interessant ist vor allem der Endenergiebedarf, weil sich an diesem seine Energiekosten bemessen.

In **Abbildung 5** sind die genannten Kenngrößen von verschiedenen Heizanlagen einander gegenübergestellt, ausgehend von einem Jahres-Nutzenergiebedarf inkl. Warmwasser von 11.250 kWh/a für ein Niedrigenergiehaus mit Fußbodenheizung. Die berechneten CO<sub>2äq</sub>-Emissionen basieren auf den spezifischen Emissionswerten<sup>1)</sup> (in kg/kWh Endenergie), die anhand GEMIS 4.14 [10] ermittelt wurden und für einen bundesdurchschnittlichen Strombezug aus dem Niederspannungsnetz gelten. Würde man den Strommix aus Baden-Württemberg heranziehen, ergäbe sich aufgrund des hohen Kernenergieanteils in der Stromerzeugung eine um den Faktor 2,5 bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz bei den strombetriebenen Wärmepumpenheizungen.

1) CO<sub>2äq</sub>-Emissionsfaktoren: Heizöl = 0,318 kg/kWh ; Erdgas = 0,254 kg/kWh ; Strom = 0,683 kg/kWh



### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik



**Abbildung 5: Gegenüberstellung der Energie- und Umweltbilanz von verschiedenen Heizanlagen am Beispiel eines Niedrigenergiehauses mit Fußbodenheizung (Wärmepumpenanlagen), bzw. Radiatorenheizung (ÖL-NT- und Gas BW-Heizung) für einen Nutzenergiebedarf inkl. Warmwasser, von 11.250 kWh/a. (Die Angaben sind auf den Heizwert bezogen).**

Der gesamt Primärenergiefaktor f<sub>p,g</sub> für die Öl-, bzw. die Gasheizanlage berücksichtigt die Endenergie für die Wärme- und die Hilfsenergie.



### 3. Allgemeine Grundlagen der Wärmepumpentechnik

#### 3.7 Was spricht für den Wärmepumpeneinsatz?

Neben den Umweltvorteilen von Wärmepumpenheizanlagen, insbesondere gegenüber ölbefeuerten Systemen, gibt es besondere Randbedingungen, bei denen sich wirtschaftliche Vorteile beim Einsatz von Wärmepumpen ergeben. In diesen Fällen sollte immer ein Wirtschaftlichkeitsvergleich mit einer konventionellen Heizanlage gemäß Kapitel 7.3 durchgeführt werden. Die obengenannten besonderen Randbedingungen sind gegeben, wenn:

Wärmepumpe  
anstelle  
Elektrospeicher-  
heizung

- eine vorhandene Elektrospeicherheizung (Nachtspeicheröfen) auf eine Warmwasser-Heizanlage umgerüstet werden soll oder eine Elektro-Zentralspeicherheizung zu erneuern ist  
Vorteile einer Wärmepumpenanlage:
  - Es muss kein weiterer Energieträger erschlossen werden.
  - Es ist kein Schornstein erforderlich.

Wärmepumpe  
anstelle  
Öl-Heizung  
im Altbau

- bei einer bestehenden ölbefeuerten Heizanlage Kessel, Schornstein und Öltank erneuert werden müssten.  
Vorteile einer Wärmepumpenanlage:
  - Der Öllagerraum wird nicht mehr benötigt und steht für sonstige Nutzung zur Verfügung.
  - Die Sanierung des Schornsteins und der Tankanlage sind nicht erforderlich.

Wärmepumpe  
anstelle  
Öl-Heizung  
im Neubau

- für die Heizanlage im Neubau keine Gasanschluss-Möglichkeit besteht. Vorteile einer Wärmepumpenanlage gegenüber einer Öl-Heizung:
  - Ein Raum für Öltanks ist nicht erforderlich.
  - Die Investitionen für die Tankanlage entfallen.
  - Es ist kein Schornstein erforderlich.
- für die Installation von Wärmepumpenanlagen Fördermittel in Form von Zuschüssen, Zulagen oder zinsvergünstigter Kredite zur Verfügung stehen.
- ein spezieller und kostengünstiger Wärmepumpentarif vom Stromversorger angeboten wird

Selbstverständlich sollte bei der Erneuerung einer bereits bestehenden Wärmepumpen-Heizanlage wieder eine Wärmepumpe zum Einsatz kommen.

#### 3.8 Grundvoraussetzungen für den Wärmepumpeneinsatz

Wenn die oben genannten Randbedingungen zutreffen, müssen zudem verschiedene Grundvoraussetzungen erfüllt sein, damit ein Wärmepumpenbetrieb überhaupt möglich wird. Diese sind:

Niedertemperatur  
-Heizsystem

- Es muss ein Niedertemperaturheizsystem zur Verfügung stehen, dessen Rücklauftemperatur bei Auslegungsbedingungen weniger als 50°C beträgt. Optimal ist ein Fußbodenheizsystem oder eine Wandheizung mit maximalen Vorlauftemperaturen von 35°C. Die früher schlechtere Regelbarkeit von Fußbodenheizungen gegenüber Radiatoren ist bei den heutigen geringen Heizlasten von  $< 50 \text{ W/m}^2$  aufgrund des bei geringeren Oberflächentemperaturen verbesserten Selbstregelleffektes [3] nicht mehr von Bedeutung. Dagegen ist die geringere Vorlauftemperatur maßgebend für eine hohe Jahresarbeitszahl (siehe Kapitel 3.5).

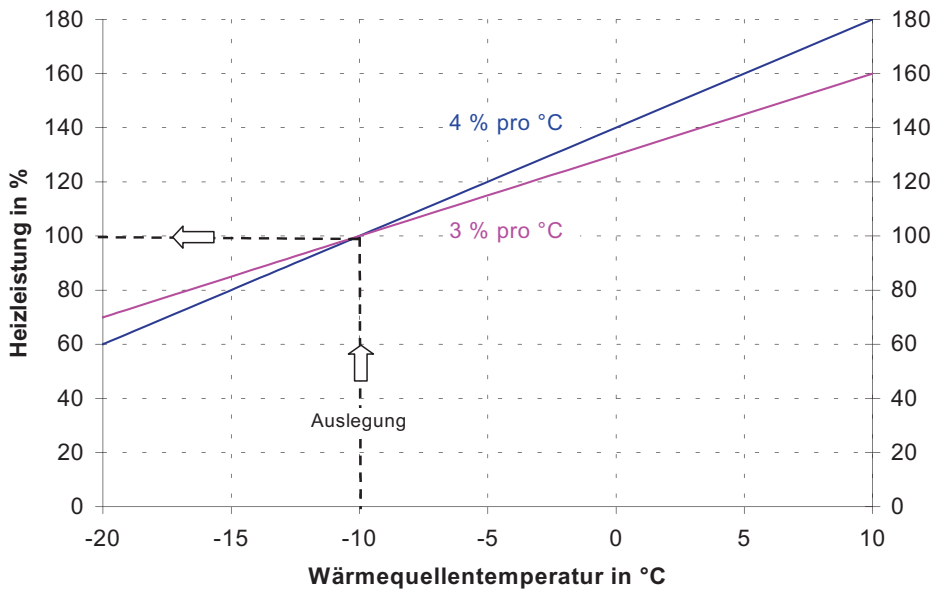
Wärmequelle

- Die Wärmequelle muss erschließbar sein, d. h. es muss genügend Platz zur Verfügung stehen, die geologischen Bedingungen müssen geeignet und die Erschließung und Nutzung der Wärmequelle genehmigungsfähig sein.

## 4. Betriebsverhalten von Wärmepumpen

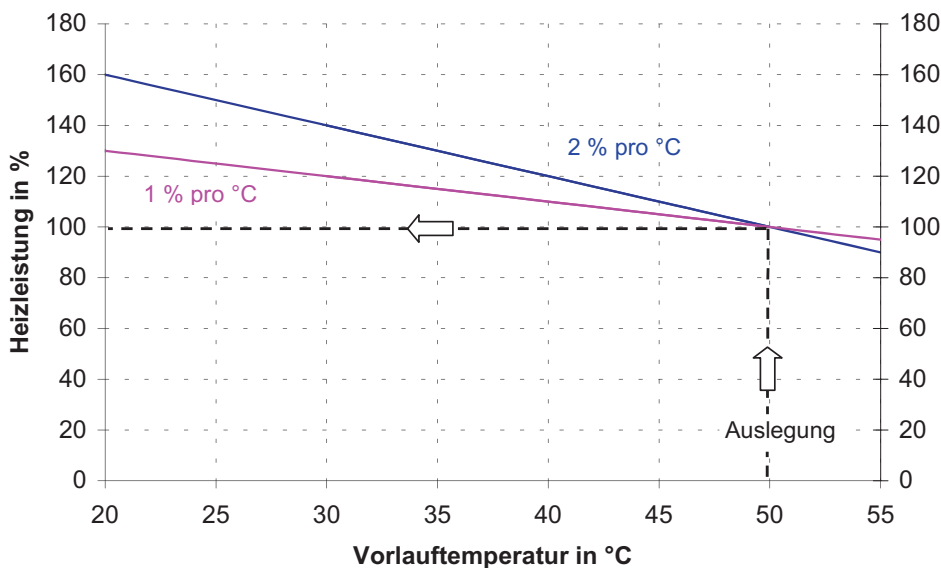
### 4.1 Einfluss der Wärmequellen- und der Vorlauftemperatur auf die Heizleistung

Im Vergleich zu einem Heizkessel, der bei einer bestimmten Brennerstufe eine nahezu konstante Heizleistung abgibt, ändert sich diese bei Wärmepumpen in erheblichem Maße mit der Wärmequellentemperatur und zwar um 3...4 % pro °C Temperaturänderung, siehe **Abbildung 6**. Besonders stark hiervon betroffen sind Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Außenluft als Wärmequelle.



**Abbildung 6:** Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Wärmequellentemperatur

Bei der Vorlauftemperatur ist der Einfluss mit 1..2% pro °C Temperaturänderung, siehe **Abbildung 7**, nur ca. halb so groß.



**Abbildung 7:** Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Vorlauftemperatur des Heizsystems

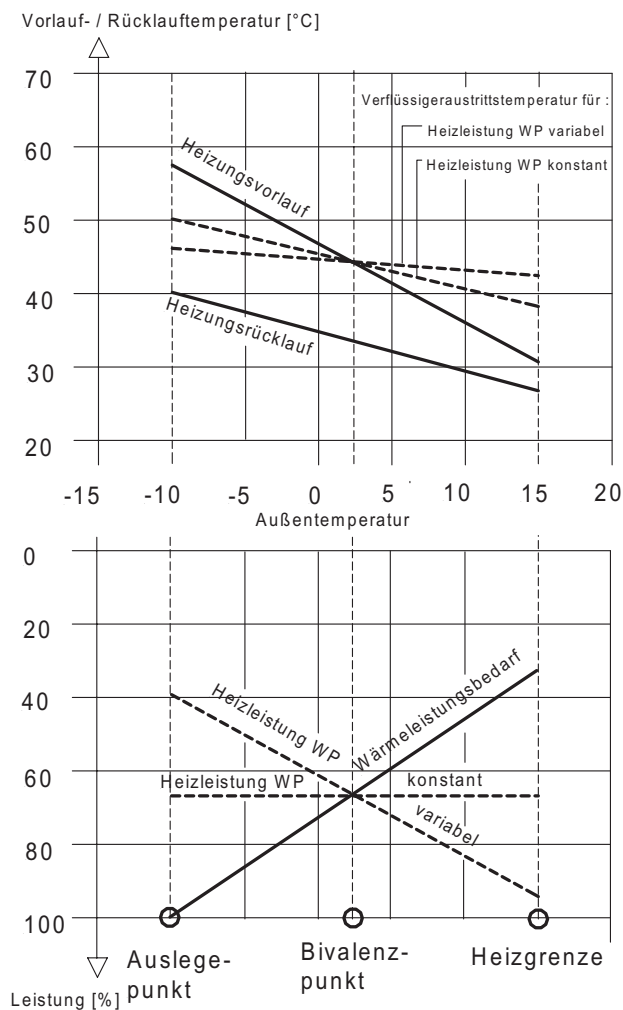
## 4. Betriebsverhalten von Wärmepumpen

Ebenso wie die Heizleistung der Wärmepumpe ändert sich die am Verdampfer der Wärmequelle entzogene Wärmeleistung. Hingegen ist die aufgenommene elektrische Leistung des Verdichterantriebes nur geringfügigen Änderungen unterworfen.

### 4.2 Auswirkung auf die Auslegung von Wärmepumpenanlagen

Das unter 4.1 beschriebene dynamische Verhalten von Wärmepumpen, muss bei der Auslegung berücksichtigt werden. Im Auslegungspunkt der Heizanlage (z. B.  $-12^{\circ}\text{C}$ ) sind die Wärmeleistungen am geringsten. Die mit steigender Außentemperatur in der Regel zunehmende Wärmequellentemperatur und die abnehmende Vorlauf-temperatur können bei Luft/Wasser-Wärmepumpen insgesamt zu einem 2,5-fachen Anstieg der Heizleistung führen. Bei Grundwasser-Wärmepumpen variiert die Heizleistung aufgrund der relativ konstanten Wärmequellentemperatur nur geringfügig. Da der Heizwasserdurchfluss über den Verflüssiger normalerweise konstant gehalten wird (siehe Kapitel 5.1), verändert sich der "Temperaturhub" zwischen Vor- und Rücklauf der Wärmepumpe in gleichem Maße wie die Heizleistung. Dadurch liegt die von der Wärmepumpe bereitgestellte Vorlauf-temperatur immer mehr oder weniger stark über der Sollvorlauf-temperatur des Heiznetzes, da dessen Leistungsbedarf mit steigender Außentemperatur sinkt und somit ein der Wärmepumpe entgegengesetztes Verhalten aufweist, siehe **Abbildung 8**.

Zunahme der Heizleistung ist abhängig von der Art der Wärmequelle



**Abbildung 8:** Temperatur-Leistungsdiagramm für bivalenten Betrieb mit annähernd konstanter (z.B. für Grundwasser) und stark variabler Wärmepumpenheizleistung (z.B. Außenluft)

## 5. Anlagenkonfigurationen für monoenergetischen Betrieb

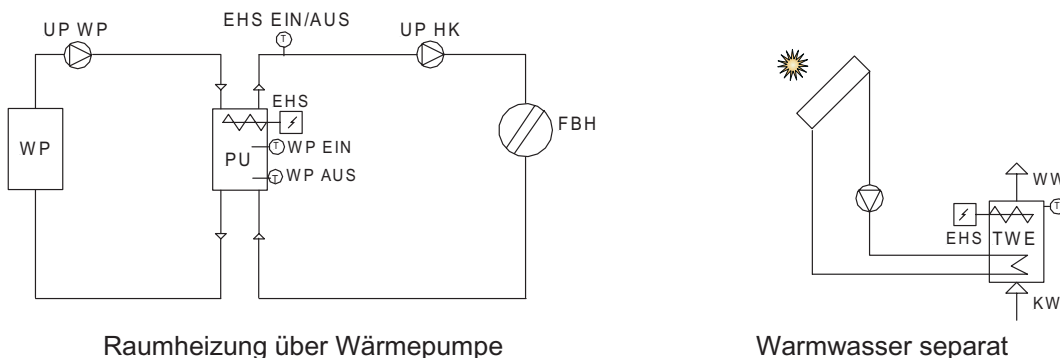
Die beschriebenen und in **Abbildung 8** dargestellten Effekte können bei falschem Regelkonzept und zu geringem Speichervermögen der Heizanlage zum häufigen Ein- und Ausschalten (Takten) der Wärmepumpe und zur Verringerung deren Lebensdauer führen. Der starke Leistungszuwachs insbesondere bei Außenluftwärmepumpen und damit das verstärkte Takten, lassen sich durch mehrstufige bzw. drehzahlregelte Verdichter reduzieren.

### 5.1 Grundlegendes zur hydraulischen Einbindung von Wärmepumpen

Wärmepumpen haben einen geringen Heizwasserinhalt (im Verflüssiger) und sind vergleichbar mit Durchlauferhitzern. Sie benötigen daher einen annähernd konstanten Heizwasserdurchfluss. Da auf der Wärmeabnahmeseite je nach Lastfall variable Durchflüsse auftreten, z. B. weil Regelventile schließen, muss der Erzeugerkreislauf (Wärmepumpe) und der Verbraucherkreislauf (Heizkreis) voneinander entkoppelt werden. Dies geschieht durch einen Bypass zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreislauf, in den ein Pufferspeicher, als Schichtspeicher, eingebunden wird, siehe **Abbildung 9a und 9b**. Der Pufferspeicher muss mindestens so groß dimensioniert sein, dass die Wärmepumpe bei Null-Last 20 Minuten läuft, bevor sie ausschaltet. Soll zudem die Energiemenge für Sperrzeiten (nicht relevant bei Fußbodenheizsystemen) bevorratet werden, ist das Volumen des Pufferspeichers, entsprechend der Dauer und Häufigkeiten der Sperrzeiten zu vergrößern.

Entkopplung der Durchflüsse durch parallelgeschalteten Pufferspeicher

keine Berücksichtigung von Sperrzeiten bei Fußbodenheizsystemen



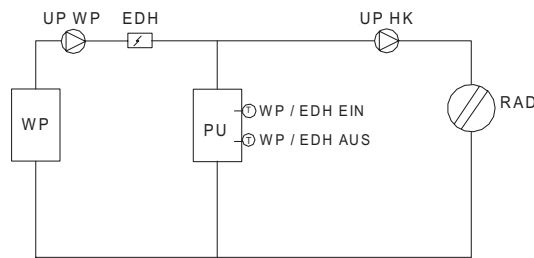
#### Legende:

WP = Wärmepumpe; UP = Umwälzpumpe; EHS = Elektroheizstab; FBH = Fußbodenheizung;  
PU = Pufferspeicher; HK = Heizkreis; TWE = Trinkwassererwärmung; WW = Warmwasser; KW = Kaltwasser

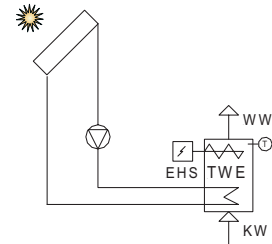
**Abbildung 9a: Hydraulik-Schemata für die Einbindung von Wärmepumpen mit einem Pufferspeicher als "Technischer Speicher" bei separater Trinkwassererwärmung mit solarer Vorwärmung.**

Die Umwälzpumpen UP-WP läuft, wenn die Wärmepumpe in Betrieb ist. Der Speicher wird gefüllt, wenn UP-HK weniger Heizwasser fördert als UP-WP. Wird am Speicherfühler WP-AUS die aktuelle Sollvorlauftemperatur (außentemperaturabhängig) überschritten (ca. 2 K) schaltet die Wärmepumpe und die UP-WP aus. Der Speicher wird entleert, bis am WP-EIN Fühler die Sollvorlauftemperatur unterschritten wird. Dann schaltet die Wärmepumpe ein. Der elektrische Heizstab wird bei Bedarf von Hand hinzugeschaltet oder automatisch über den Temperaturfühler EHS EIN/AUS in Betrieb genommen, wenn die Sollvorlauftemperatur über längere Zeit nicht erreicht wird, obwohl die Wärmepumpe in Betrieb ist. (Freigabe außentemperaturabhängig). Steht nur ein Speicher mit zwei Anschlüssen zur Verfügung ist eine Schaltung gemäß **Abbildung 9b** erforderlich (mit EDH).

## 5. Anlagenkonfigurationen



Raumheizung über Wärmepumpe



Warmwasser separat

### Legende:

WP = Wärmepumpe; UP = Umwälzpumpe; EDH = Elektrodurchlauferhitzer; EHS = Elektroheizstab  
 RAD = Radiatoren; PU = Pufferspeicher; HK = Heizkreis; TWE = Trinkwassererwärmung;  
 WW = Warmwasser; KW = Kaltwasser

**Abbildung 9b: Hydraulik-Schemata für die Einbindung von Wärmepumpen mit einem Pufferspeicher als "Sperrzeiten Speicher" bei separater Trinkwassererwärmung mit solarer Vorwärmung.**

Das Grundprinzip der Regelung ist gleich wie bei **Abbildung 9a** beschrieben. Der Speicher hat, wegen der tariflichen Sperrzeiten in Verbindung mit den Radiatoren einen größeren Wasserinhalt. Durch die Regelung/Steuerung muss sichergestellt sein, dass der Speicher vor Beginn der Sperrzeit voll aufgeladen ist. Damit dies auch bei sehr kalten Außentemperaturen sichergestellt ist, muss ein Elektrodurchlauferhitzer im Vorlauf des Wärmepumpenheizkreises installiert werden.

Vielfach wird von den Wärmepumpenherstellern anstelle des parallel-geschalteten Pufferspeichers ein in Reihe geschalteter Pufferspeicher empfohlen, der im Rücklauf der Wärmepumpe eingebaut ist. Die Entkopplung der Durchflüsse im Erzeuger- und Verbraucherkreislauf wird dann durch ein parallel zum Heizkreis platziertes Überströmventil realisiert. Diese Lösung funktioniert dann, wenn das Überströmventil ordnungsgemäß dimensioniert und eingestellt ist. Da das Überströmventil ein Verschleißteil ist und zudem in modernen Heizanlagen drehzahlregelte Umwälzpumpen eingesetzt werden, die Überströmventile unnötig machen, ist diese Lösung nicht mehr zeitgemäß. Zudem ist sie nicht einsetzbar für die Überbrückung von Sperrzeiten.

Früher wurden Speicher häufig in Reihe zur Wärmepumpe geschaltet

### 5.2 Einbindung der Wärmepumpe mit integrierter Trinkwassererwärmung

Da bei alten Wärmepumpen-Heizanlagen häufig Störungen in Zusammenhang mit der Trinkwassererwärmung auftraten, wurden in der Folgezeit überwiegend Wärmepumpenanlagen errichtet mit separaten Trinkwasserspeichern, die entweder direkt über einen Elektroheizstab (z. T. in Verbindung mit einer Solaranlage) oder durch spezielle Warmwasser-Wärmepumpen (siehe Kapitel 8.1) beheizbar sind.

Alternativ hierzu besteht die Möglichkeit mit der Wärmepumpe eine Vorwärmung des Trinkwassers auf ca. 35°C (bei Fußbodenheizsystemen) vorzunehmen und den Restbedarf elektrisch auf ca. 45°C nachzuheizen. Dies ergibt eine bessere Anlagenaufwandszahl als bei ausschließlicher elektrischer Beheizung (siehe Kapitel 6.4). Damit keine Störungen bei dieser Betriebsweise auftreten müssen 3 Bedingungen erfüllt sein:

- Die maximale Temperatur im Rücklauf der Wärmepumpe sollte 35°C nicht überschreiten. Darüber wird die Wärmepumpe abgeschaltet.
- Die zur Wärmepumpe gehörende Umwälzpumpe muss mindestens soviel Wasser fördern wie die Speicherladepumpe, um Vorlaufemperaturabsenkungen durch Überströmungen aus dem Rücklauf zu vermeiden.
- Während der Trinkwassererwärmung wird die Wärmezufuhr zu den Heizkreisen unterbunden (Vorrangschaltung).

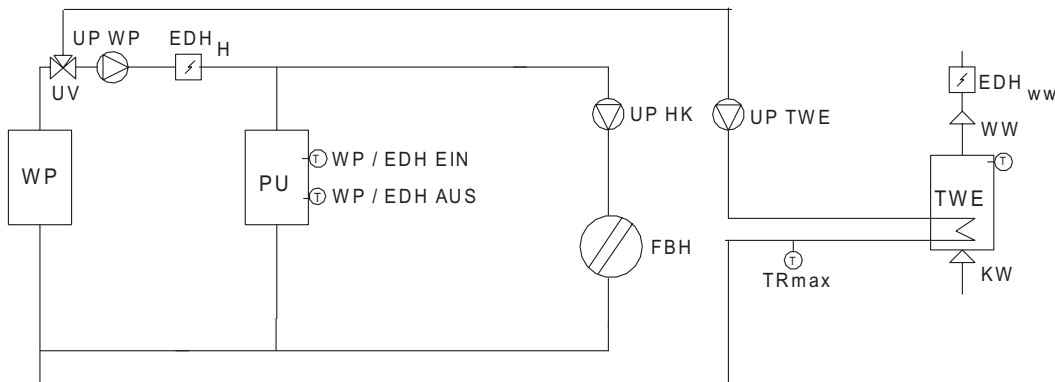
Trinkwasser-  
vorwärmung

Bedingungen für  
störungsfreien  
Betrieb

## 5. Anlagenkonfigurationen

In **Abbildung 10** sind drei Anlagenschemata dargestellt, mit denen die Trinkwasservorwärmung über die Wärmepumpe realisiert werden kann.

Die unter umwelt- und anlagentechnischen Gesichtspunkten optimale Lösung, ist die zuvor beschriebene separate Trinkwassererwärmung mit 50-60 % Deckungsanteil durch eine Solaranlage und elektrischer Nachheizung (siehe auch Kapitel 6.4). Allerdings sorgen hier die Mehrinvestitionen der Solaranlage für eine schlechtere Wirtschaftlichkeit.



Raumheizung und Trinkwasservorwärmung über Wärmepumpe

### Legende:

WP = Wärmepumpe; UP = Umwälzpumpe; EDH = Elektrodurchlauferhitzer; FBH = Fußbodenheizung  
 PU = Pufferspeicher; HK = Heizkreis; UV = Umschaltventil  
 TWE = Trinkwassererwärmung; WW = Warmwasser; KW = Kaltwasser; H = Heizung

**Abbildung 10a: Hydraulik-Schemata für die Trinkwasservorwärmung mit der Wärmepumpe.**  
**Trinkwasservorwärmung mit einem Speicher mit integriertem Wärmetauscher**

Wird am Temperaturfühler des Trinkwasserspeichers die eingestellte Vorwärmtemperatur (z.B. 35°C) abzüglich Schaltdifferenz unterschritten schaltet die Umwälzpumpe UP-TWE ein und die UP-HK aus. Die Fördermenge der UP-TWE sollte gleich der Fördermenge der UP-WP sein. Es wird empfohlen, die zeitliche Freigabe der Trinkwassererwärmung durch ein ausreichend bemessenes Speichervolumen auf Tageszeiten mit geringem Heizwärmebedarf zu begrenzen. Der Elektrodurchlauferhitzer (EDH<sub>H</sub>) ist während der Trinkwassererwärmung nicht in Betrieb. Die UP-TWE schaltet wieder aus, wenn am Speicherfühler der Sollwert überschritten wird, oder am Fühler TR<sub>max</sub> die Sollvorlauftemperatur erreicht wird. Die Anlage schaltet dann wieder auf Heizbetrieb. Eine Vorregelung der Fußbodenheizung über einen 3-Wege-Mischer ist nicht erforderlich bei Trinkwasservorrangschaltung. Die Nacherwärmung des Trinkwassers auf die gewünschte Nutzungstemperatur, z.B. 45°C, erfolgt mit dem elektrischen Durchlauferhitzer. Auf eine zu starke Nachwärmung der Gesamtwassermenge, beispielsweise wegen hohem Temperaturbedarf in der Küche, sollte aus energetischen Gründen verzichtet werden und stattdessen lokal ein Elektrokleinspeicher zum Einsatz kommen.

Für den Heizbetrieb gelten ansonsten die gleichen Bedingungen, wie bei **Abbildung 9a** beschrieben.

Die in **Abbildung 10a** dargestellte Art der Trinkwassererwärmung wird für Wärmepumpenanlagen mit Außenluft als Wärmequelle nicht empfohlen, da die erforderliche Heizfläche für die hohe Wärmeleistung der Wärmepumpe im Sommer zu bemessen ist und diese bei üblichen Warmwasserspeichern mit integrierten Wärmetauschern nicht zur Verfügung steht. Stattdessen bietet sich eine Erwärmung mit einem kompakten und leistungsfähigen externen Plattenwärmetauscher an, siehe **Abbildung 10b**.

umwelttechnisch  
optimale Lösung

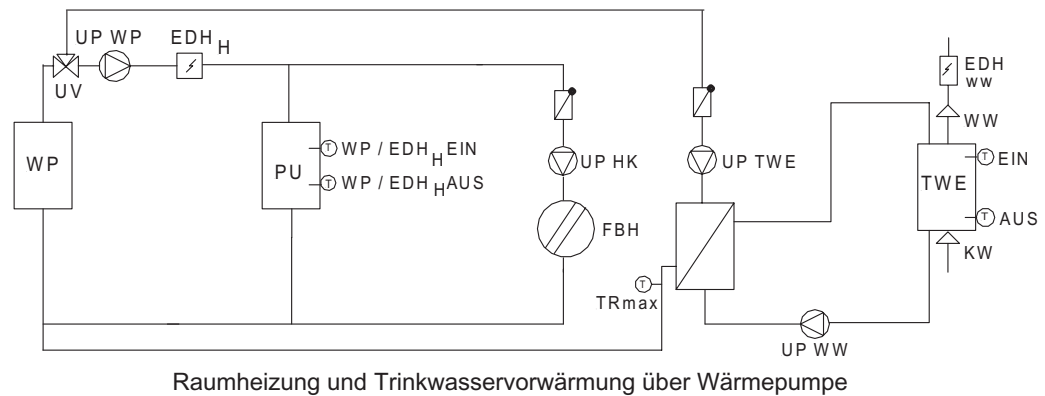
Speicher mit  
internem  
Wärmetauscher

System mit  
integriertem  
Wärmetauscher  
ist bei Außenluft  
problematisch



## 5. Anlagenkonfigurationen

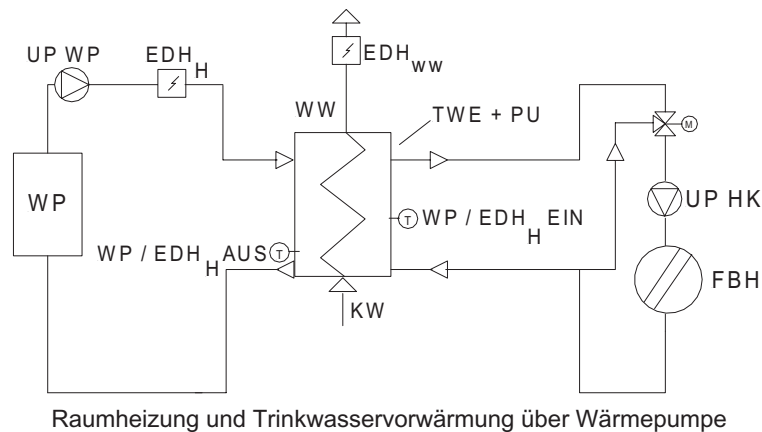
Speicher mit  
externem  
Wärmetauscher

**Legende:**

WP = Wärmepumpe; UP = Umwälzpumpe; EDH = Elektrodurchlauferhitzer; FBH = Fußbodenheizung  
 PU = Pufferspeicher; HK = Heizkreis; UV = Umschaltventil  
 TWE = Trinkwassererwärmung; WW = Warmwasser; KW = Kaltwasser; H = Heizung

**Abbildung 10b: Hydraulik-Schemata für die Trinkwasservorwärmung mit der Wärmepumpe. Trinkwasservorwärmung mit einem Schicht-Speicher mit externem Wärmetauscher**

Das Grundprinzip der Warmwasservorwärmung entspricht der Beschreibung zu **Abbildung 10a**. Die Vorrangschaltung wird aktiv, wenn am oberen Fühler des Trinkwasserspeichers die Temperatur unter den Sollwert (abzüglich Schaltdifferenz) sinkt. Die Fördermenge der Umwälzpumpe UP WW muss so eingestellt sein, dass sich nach dem Wärmetauscher die gewünschte Vorwärmtemperatur einstellt (z.B. 35°C). Die Nachwärmung auf den Nutzungssollwert erfolgt durch den Elektrodurchlauferhitzer (EDH<sub>ww</sub>). Bei stark variabler Heizleistung der Wärmepumpe, wie dies z. B. bei Außenluft-Wärmepumpen auftritt, muss die Drehzahl der Umwälzpumpe UP WW mit sinkender Heizleistung reduziert werden, um die gewünschte Vorwärmtemperatur zu erhalten. Eine Austrittstemperaturregelung dieser Art bieten die meisten Hersteller von drehzahlregelbaren Pumpen an. Der Wärmetauscher muss auf die maximale Heizlast der Wärmepumpe ausgelegt werden.



**Abbildung 10c: Hydraulik-Schemata für die Trinkwasservorwärmung mit der Wärmepumpe. Trinkwasservorwärmung mit einem Kombi-Speicher mit Durchflussprinzip**

Die **Abbildungen 10a und 10b** haben die üblichen Warmwassererwärmungssysteme in Verbindung mit Wärmepumpen dargestellt. Damit verbunden ist ein relativ großer Installations- und Regelaufwand. Eine wesentlich kostengünstigere Lösung ist durch den Einsatz von Kombispeichern möglich. Durch den Speicher verläuft z.B. eine Heizschlange aus Edelstahlspiralrohr in der das Warmwasser geführt wird. Im Speicher befindet sich Heizungswasser (vorteilhaft bezüglich Legionellengefahr). Dieses System sollte nur zum Einsatz kommen, wenn der Fachbetrieb bereits Referenzen über den störungsfreien und energiesparenden Betrieb in Zusammenhang mit Wärmepumpenanlagen nachweisen kann.

Alternative  
Kombispeicher

Vorteile:  
Reduzierter  
Installations- und  
Regelaufwand,  
keine  
Legionellen-  
problematik

Nachteil:  
Ganzjährig  
erhöhte  
Heizwasser-  
temperatur  
(35...40°C)

## 6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen

### 6.1 Vorbemerkungen

In Kapitel 3.5 "Kenngrößen von Wärmepumpen" wurde die Auswirkung unterschiedlicher Einflussgrößen auf die Aufwandszahl qualitativ bewertet. Nachfolgend wird in Kapitel 6.2 bis 6.6 anhand eines Beispiels die Veränderung der Einflussgrößen und deren zahlenmäßige Auswirkung auf die Jahresarbeitszahl bzw. Anlagenaufwandzahl, den Endenergiebedarf und die Jahresenergiekosten erfasst. Die Daten der Referenzanlage sind in **Tabelle 4** dargestellt, die der zugehörigen Berechnungsvarianten in **Tabelle 5**.

**Tabelle 4: Daten der Referenz-Wärmepumpenheizung (Erdsondenanlage mit Trinkwasservorwärmung, siehe auch Anhang A2/1)**

Berechnungsbeispiel	Werte	Einheit
Haustyp:	Wohnhaus, Neubau; 180 m <sup>2</sup> ; 4 Pers.	-
Standort:	Oberrhein (TRY-Zone 7)	
Gebäudeheizlast nach DIN 4701:	5,0	kW
Jahres-Heizwärmebedarf nach DIN 4180-6:	9000	kWh
Heizungsanlage:	Sole/Wasser-WP; 300 l Pufferspeicher; Fußbodenheizung (35/28°C)	-
Heizleistung der WP (Auslegungspunkt):	4,8 (bei B0 / W35)	kW
Heizleistung des Elektroheizstabes:	6,0	kW
COP-Wert der Wärmepumpe:	4,6 (bei B0 / W35)	-
El. Leistung der Soleförderpumpe:	150	W
El. Leistung der WP-Umwälzpumpe:	40	W
Jahres-Strombedarf für Hilfsenergie: <sup>2)</sup>	742	kWh
Wärmeverluste Heizung <sup>2)</sup> :	720	kWh
Trinkwassererwärmung (TWE):	Vorwärmung auf 35°C	-
Nutzenergiebedarf der TWE:	2.250	kWh
Wärmeverluste der TWE <sup>2)</sup> :	1.026	kWh
Jahresarbeitszahl (WP ohne Hilfsenergie) <sup>1)</sup> :	4,4	-
Anlagenaufwandzahl ep	1,24	-
Jahres-Endenergiebedarf (Strom) <sup>3)</sup> :	4.631	kWh
Wärmepumpentarif:(inkl. MWST.)	9,5 (Mittelwert; 3x1,5 h Sperrzeiten)	cent/kWh
Jahresenergiekosten inkl. Grundpreis (30 €):	470	€

1) nur Raumheizung (siehe Anhang A7)

2) Verluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe und Hilfsenergie nach EnEV

3) einschl. Hilfsenergie und Trinkwassererwärmung (siehe Anhang A7)

4) Während der Bauaustrocknungsphase ist ein höherer Strombedarf zu erwarten

**Tabelle 5: Berechnungsvarianten für unterschiedliche Einflussgrößen**

Variante	Einflussgröße	Änderung	Ergebnisse
1	Wärmequelle	statt Erdsonde Außenluft	Kapitel 6.2
2	Heizsystem	statt Fußbodenheizung Radiatoren (55/45°C)	Kapitel 6.3
3	Trinkwassererwärmung	statt Vorwärmung mit Wärmep. separat elektrisch	Kapitel 6.4.1
4	Trinkwassererwärmung	statt Vorwärmung mit Wärmep. separat elektrisch + solar	Kapitel 6.4.2
5	COP-Wert	statt COP (B0/W35) = 4,6 COP (B0/W35) = 4,0	Kapitel 6.5

Die Auswirkung von weiteren Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpen, wie der heizwasserseitige Druckabfall im Verdampfer/Verflüssiger und die Art der Speicherbeladung (Stufenladung oder Schichtladung) sind in [6] ausführlich betrachtet worden und werden deshalb an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt.

quantitative  
Bewertung der  
wichtigsten  
Einflussgrößen

sonstige  
Einflussgrößen

## 6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen

### 6.2 Einfluss der Wärmequelle (Variante 1)

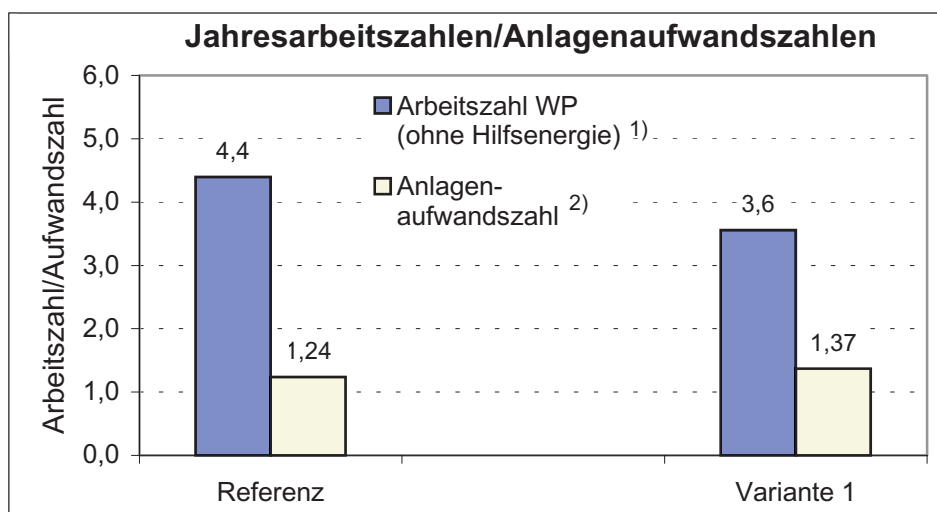
Außenluft  
anstelle  
Erdreich

Geänderte Parameter gegenüber dem Beispiel in **Tabelle 4**:

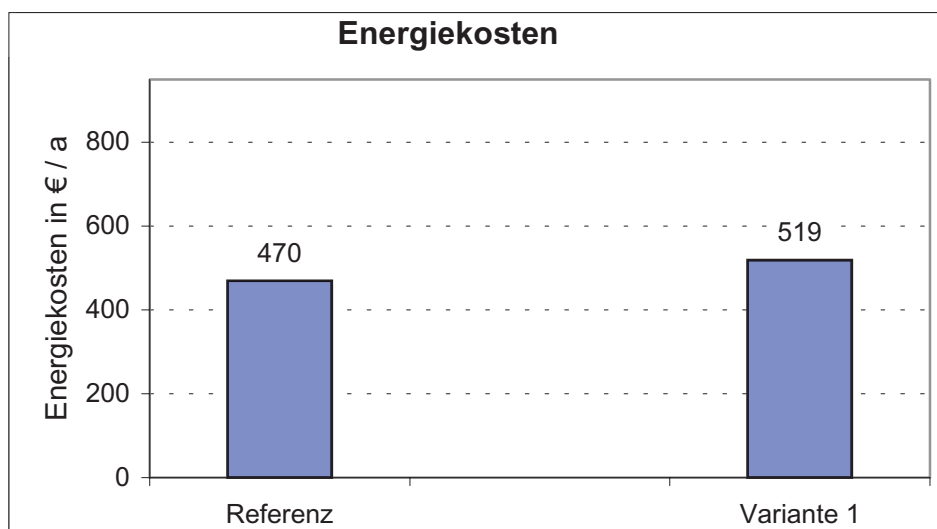
Anstelle der Sole/Wasser-Wärmepumpe wird eine Luft/Wasser-Wärmepumpe eingesetzt mit COP-Wert bei  $A2/W35 = 3,2$ . Der Stromverbrauch des Ventilators für die Förderung der Außenluft (statt Soleförderpumpe) ist bereits in den COP-Werten berücksichtigt. Alle weiteren Parameter stimmen mit der Referenzanlage überein.

Die Ergebnisse der Variante 1, siehe **Abbildung 11**:

- Die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenheizanlage mit Außenluft als Wärmequelle verschlechtert sich von 1,24 auf 1,37 (siehe Anhang A2/2)
- Der Endenergiebedarf (Strom) steigt um 11,1 % bzw. 514 kWh/a
- Die Energiekosten erhöhen sich von 470,- €/a auf 519,- €/a



1) nur Raumheizung  
2) Nach EnEV 2002



**Abbildung 11:** Änderung der Jahresarbeitszahl / Anlagenaufwandszahl und der Energiekosten beim Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe anstelle der Sole/Wasser-Wärmepumpe

## 6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen

### 6.3 Einfluss des Heizsystems (Variante 2)

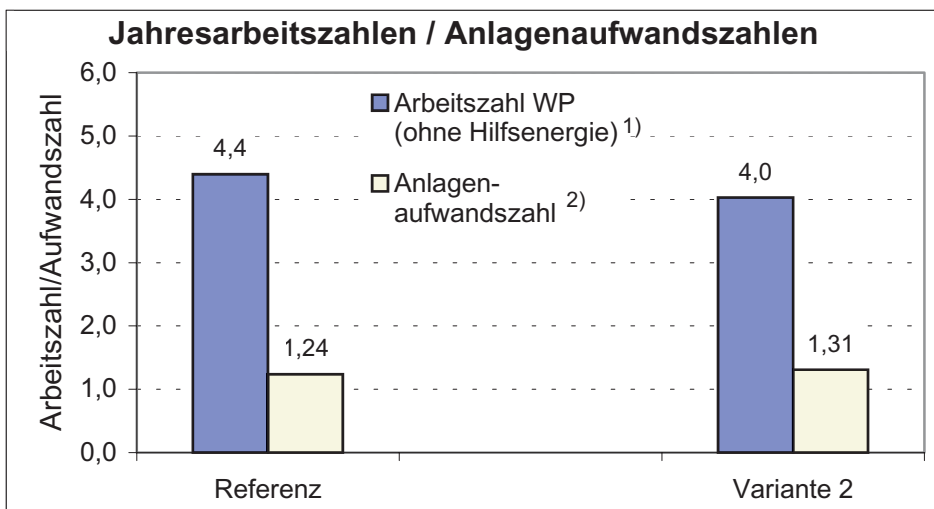
Geänderte Parameter gegenüber der Referenz in **Tabelle 4**:

Anstelle der Warmwasserfußbodenheizung (Auslegungstemperaturen 35/30°C) kommt eine Radiatorenheizung (Auslegungstemperaturen 55/45°C) zum Einsatz. Alle weiteren Parameter stimmen mit der Referenzanlage überein.

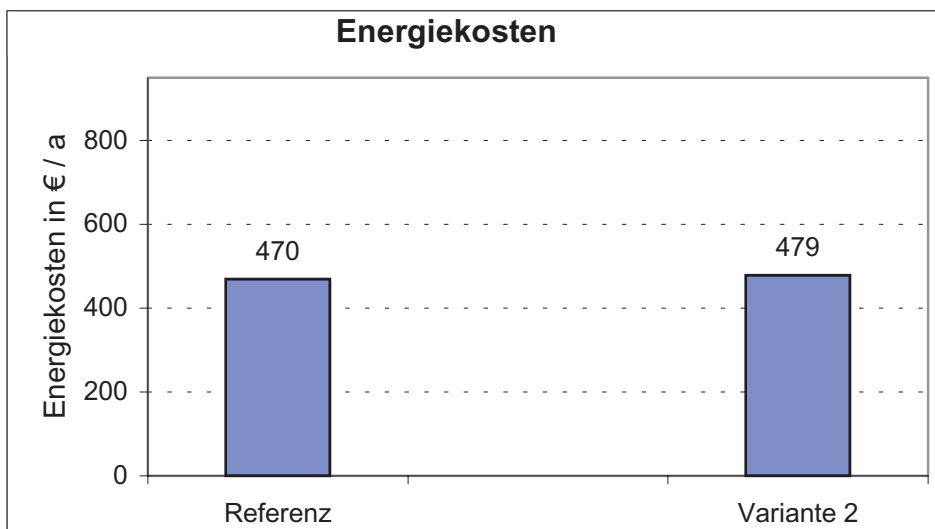
Radiatoren  
anstelle  
Fußboden-  
heizung

Die Ergebnisse der Variante 2, siehe **Abbildung 12**:

- Die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenheizung verschlechtert sich mit einer Radiatorenheizung von 1,24 auf 1,31 (siehe Anhang A2/3)
- Der Endenergiebedarf (Strom) steigt um 6,3 % bzw. 290 kWh/a
- Die Energiekosten erhöhen sich von 470,- €/a auf 479,- €/a



- 1) nur Raumheizung  
2) Nach EnEV 2002



**Abbildung 12:** Änderung der Jahresarbeitszahl / Anlagenaufwandszahl und der Energiekosten beim Einsatz einer Radiatorenheizung anstelle der Fußbodenheizung

## 6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen

### 6.4 Einfluss der Trinkwassererwärmung

#### 6.4.1 Einfluss der separaten elektrischen Erwärmung (Variante 3)

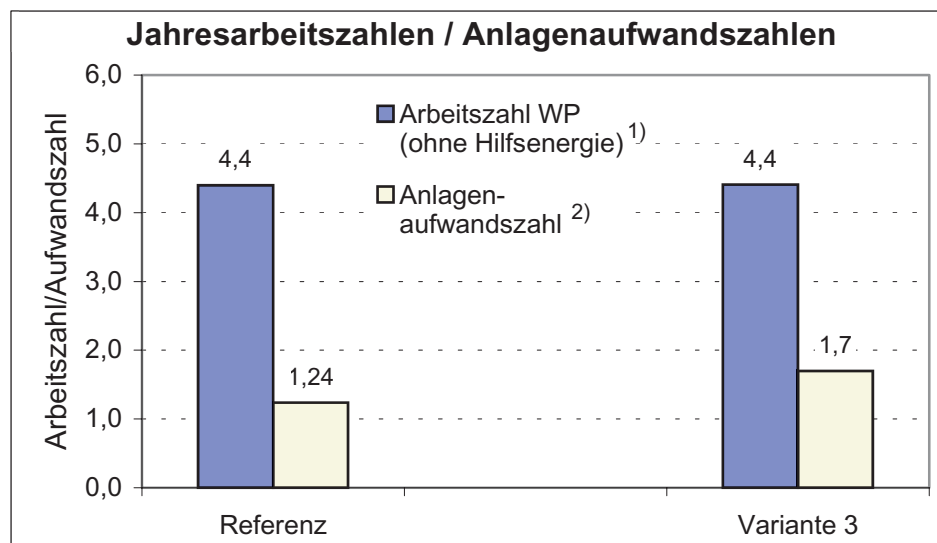
100% elektrische  
Erwärmung über  
Heizstab

Geänderte Parameter gegenüber der Referenz in **Tabelle 4**:

Anstelle das Trinkwasser mit der Wärmepumpe auf 35°C vorzuwärmen, erfolgt die Erwärmung in einem separatem Speicher über einen Elektroheizstab. Alle weiteren Parameter stimmen mit der Referenzanlage überein.

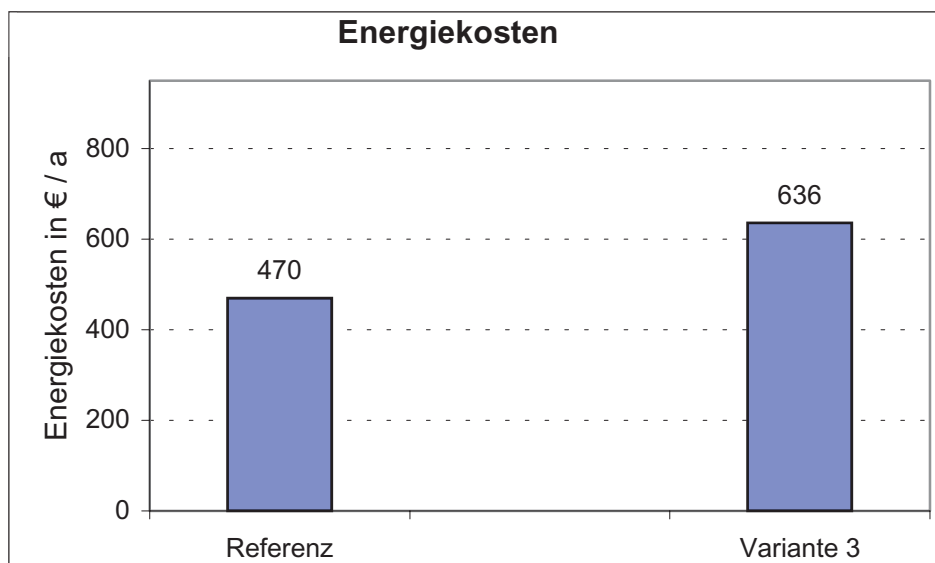
Die Ergebnisse der Variante 3, siehe **Abbildung 13**:

- Die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenheizanlage verschlechtert sich durch die elektrische Trinkwassererwärmung von 1,24 auf 1,7 (siehe Anhang A2/4)
- Der Endenergiebedarf (Strom) steigt um 37,8 % bzw. 1.750 kWh/a
- Die Energiekosten erhöhen sich von 470,- €/a auf 636,- €/a



1) nur Raumheizung

2) Nach EnEV 2002



**Abbildung 13:** Änderung der Jahresarbeitszahl / Anlagenaufwandszahl und der Energiekosten bei 100% elektrischer Erwärmung anstelle der Vorwärmung des Trinkwassers

## 6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen

### 6.4.2 Einfluss der Trinkwasservorwärmung durch eine Solaranlage (Variante 4)

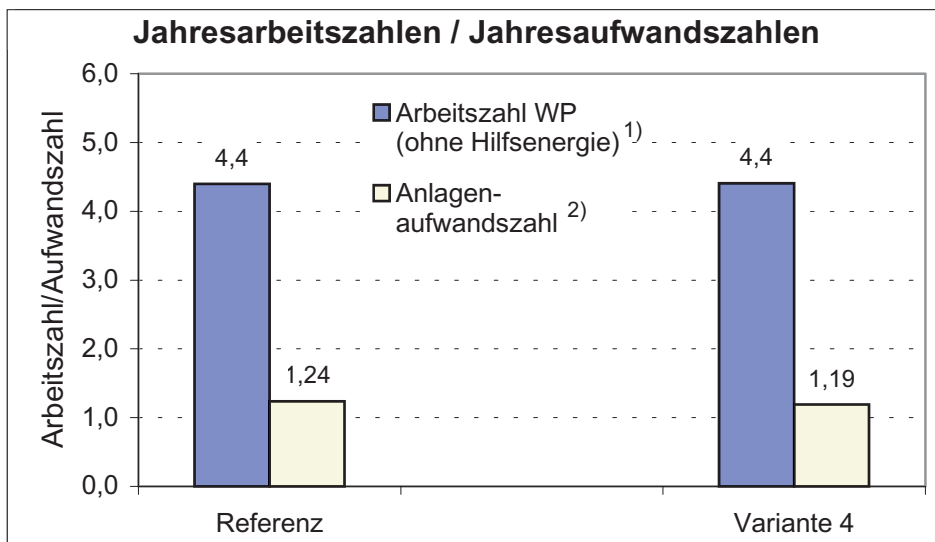
Geänderte Parameter gegenüber der Referenz in **Tabelle 4**:

Anstelle das Trinkwasser über die Wärmepumpe vorzuwärmen, erfolgt die Vorwärmung über eine Solaranlage (**siehe Abbildung 9**), die einen Deckungsgrad von 60% bezogen auf den Jahresenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung hat. Die Nachheizung auf ca. 45 °C erfolgt durch einen Elektroheizstab. Alle weiteren Parameter stimmen mit der Referenzanlage überein.

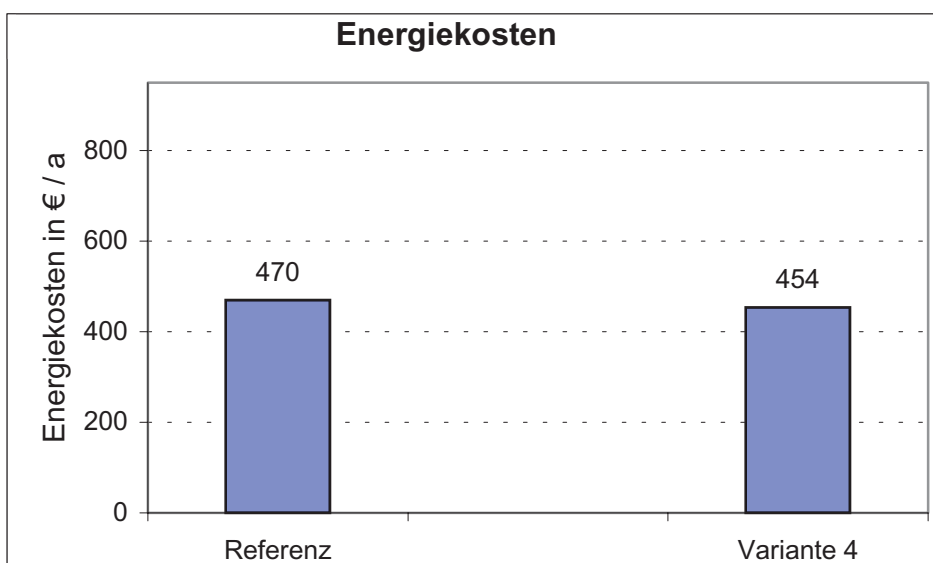
Vorwärmung mit Solaranlage statt mit Wärmepumpe

Die Ergebnisse der Variante 4, siehe **Abbildung 14**:

- Die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenheizanlage verbessert sich durch die Trinkwasservorwärmung von 1,24 auf 1,19 (siehe Anhang A2/5)
- Der Endenergiebedarf (Strom) sinkt um 3,5 % bzw. 163 kWh/a
- Die Energiekosten reduzieren sich von 470,- €/a auf 454 €/a



- 1) nur Raumheizung  
2) Nach EnEV 2002



**Abbildung 14:** Änderung der Jahresarbeitszahl / Anlagenaufwandszahl und der Energiekosten bei Vorwärmung des Warmwassers über eine Solaranlage anstelle der Vorwärmung durch die Wärmepumpe



## 6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen

### 6.5 Einfluss des COP-Wertes (Qualitätskriterium), Variante 5

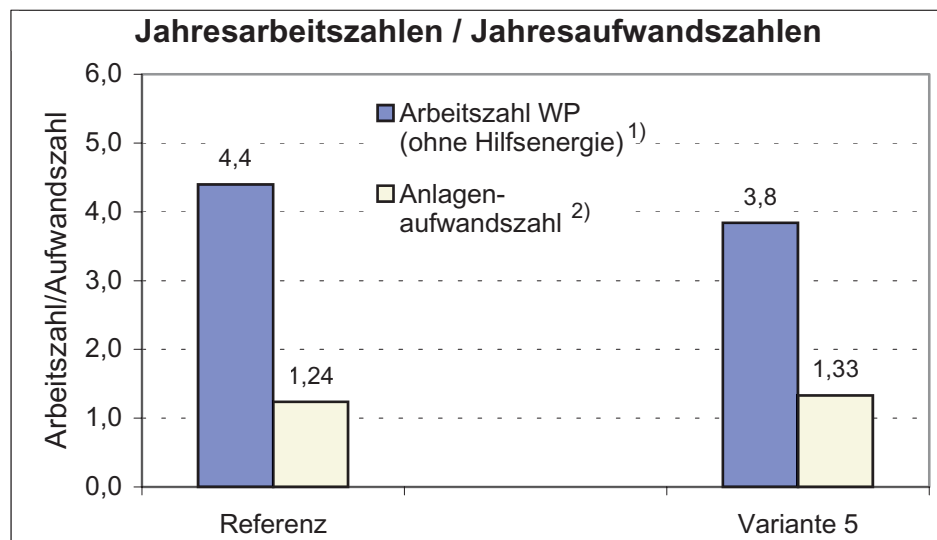
Sole/Wasser-  
Wärmepumpe  
mit niedrigem  
COP-Wert

Geänderte Parameter gegenüber der Referenz in **Tabelle 4**:

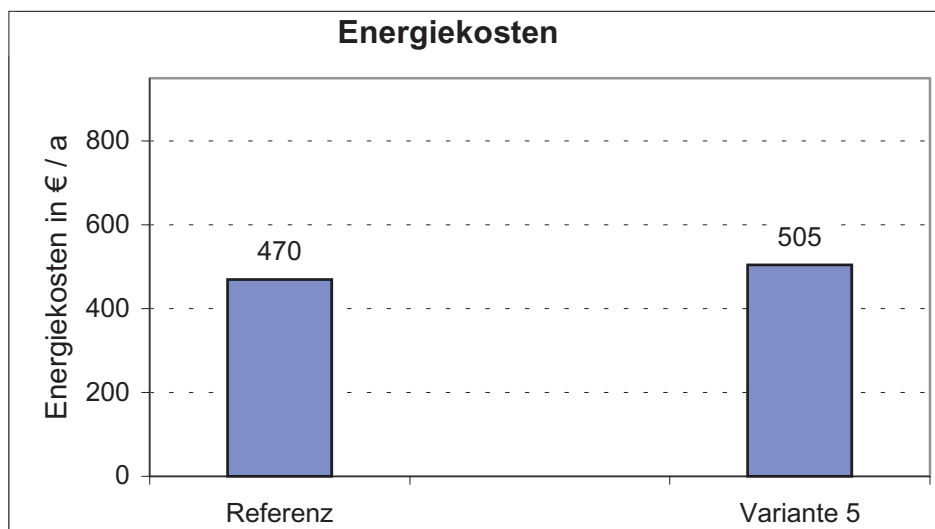
Ein Gütekriterium einer Wärmepumpe stellt der COP-Wert dar. Beim Vergleich zweier Sole/Wasser-Wärmepumpen wird der Betriebspunkt B0/W35 herangezogen. Nachfolgend wird dargestellt, wie sich die Effizienz der Wärmepumpenheizung ändert, wenn der COP bei diesem Betriebspunkt von 4,6 (Referenz) auf 4,0 gesenkt wird. Dieser Wert entspricht den **Mindestanforderungen** nach dem Internationalen Gütesiegel für Wärmepumpen (siehe Anhang A4). Die weiteren Parameter der Referenzanlage werden unverändert übernommen.

Die Ergebnisse der Variante 5, siehe **Abbildung 15**:

- Die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenheizung verschlechtert sich durch den geringeren COP-Wert von 1,24 auf 1,33 (siehe Anhang A2/6)
- Der Endenergiebedarf (Strom) steigt um 7,9 % bzw. 366 kWh/a
- Die Energiekosten erhöhen sich von 470,- €/a auf 505,- €/a



1) nur Raumheizung  
2) Nach EnEV 2002



**Abbildung 15:** Änderung der Jahresarbeitszahl / Anlagenaufwandszahl und der Energiekosten bei niedrigem COP-Wert

## 6. Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpenanlagen

### 6.6 Gegenüberstellung der Einflussgrößen

Der Einfluss auf die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenheizung (siehe Definition in Kapitel 3.5) für die in Kapitel 6.2 bis 6.5 untersuchten Varianten ist in **Abbildung 16** der Anlagenaufwandszahl der Referenzanlage gegenübergestellt.

Die größte Veränderung der Anlagenaufwandszahl ergibt sich durch die Art und Weise der Trinkwassererwärmung (Variante 3 und 4). Der Einfluss reduziert sich mit abnehmendem Nutzenergiebedarf für das Warmwasser. Daher wird eine Warmwasservorwärmung mit der Wärmepumpe auf ca. 35°C für einen Haushalt mit mehr als 2 Personen dringend empfohlen. Bei Anlagen mit Außenluft als Wärmequelle eignet sich am Besten die solare Vorwärmung (siehe Kapitel 5.1), bei Erdsondenanlagen bietet sich die Vorwärmung entsprechend der in Kapitel 5.2 dargestellten Möglichkeiten an.

Der Einfluss des Heizsystems, der Wärmequelle und der COP-Werte auf die Anlagenaufwandszahl der Wärmepumpenheizung ist für das gewählte Beispiel (siehe Tabelle 4) bei allen Varianten ungefähr gleich groß.

Zur Bewertung der klimarelevanten  $\text{CO}_{2\text{äq}}$ -Emissionen im Vergleich zu einer gas- oder ölbefeuerten Heizanlage kann man eine Grenzaufwandszahl heranziehen, ab der die Wärmepumpe geringere Emissionen vorweisen kann. Führt man diese Emissionsbewertung mit den in Kapitel 3.6 aufgeführten Kennwerten durch, ergibt sich die Grenzaufwandszahl beim Vergleich mit einem Gasbrennwertkessel zu  $e_p = 1,43$  beim Vergleich mit einer ölbefeuerten Niedertemperaturheizanlage zu  $e_p = 1,85$ .

Der in Kapitel 3.6 beschriebene klimarelevante Umweltvorteil der Wärmepumpentechnik ist uneingeschränkt bei der Referenzanlage und den Varianten 1, 2, 4 und 5 gegeben. Die Variante 3 (WW-Erwärmung elektrisch) weist gegenüber der ölbefeuerten Niedertemperaturheizanlage eine geringere  $\text{CO}_{2\text{äq}}$ -Emissionen vor.

Warmwasservorwärmung ab 3-Personen-Haushalt

Umweltvorteil der Wärmepumpe ist nicht in jedem Fall gegeben

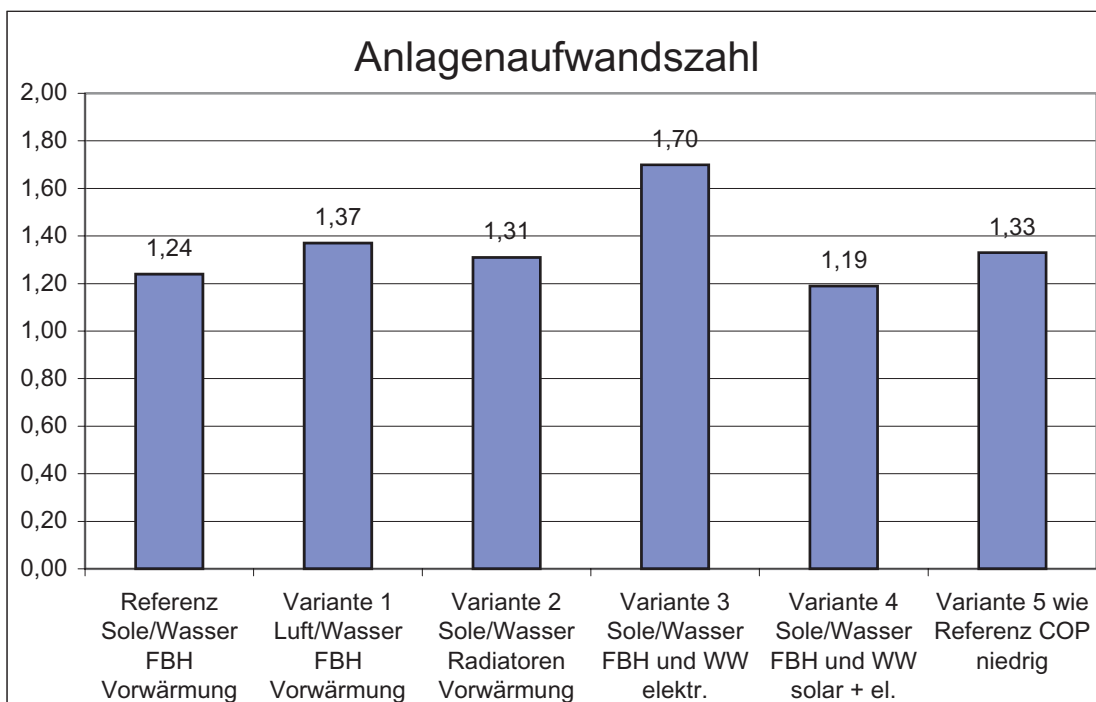


Abbildung 16: Gegenüberstellung der Anlagenaufwandszahlen  $e_p$  der Wärmepumpenheizung der Varianten aus Kapitel 6.2 bis 6.5

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

### 7.1 Dimensionierung von Wärmepumpenanlagen bei monoenergetischer Betriebsweise

In den Kapiteln 7.1.1 und 7.1.2 wird für die nachfolgend aufgeführten Randbedingungen anhand von Beispielen die Dimensionierung von Wärmepumpenaggregaten aufgezeigt. Die Vorgehensweise bei der Planung einer vollständigen Wärmepumpenheizanlage wird in Kapitel 7.2 erläutert. Die Auswahl und Dimensionierung der Einzelkomponenten, unter Berücksichtigung der speziellen örtlichen Gegebenheiten, hat anhand von Herstellerunterlagen zu erfolgen und ist nicht Bestandteil dieser Infoschrift. Weiterführende Literatur hierzu ist im Kapitel 10 aufgelistet.

#### Randbedingungen für die Dimensionierungsbeispiele:

- Einfamilienhaus-Neubau mit 4 Personen.
- Radiatorenheizung; Auslegungstemperaturpaarung = 55/45°C.
- Auslegungstemperatur nach DIN 4701 = -10°C.
- Gebäudeheizlast nach DIN 4701 = 8 kW  
(auch Abschätzung nach VDI 3808 oder über Daten aus den EnEV-Nachweis möglich).
- Sperrzeiten 3 x 1,5 h.

Anmerkung: Es wurde hier im Beispiel eine Radiatorenheizung gewählt, weil die Planung hierfür komplizierter ist als bei einer Fußbodenheizung.

#### 7.1.1 Beispiel für Wärmequelle Außenluft

Luft-Wasser  
Wärmepumpe

##### Auslegung der Wärmepumpe:

Gemäß Kapitel 3.2, Tabelle 1 soll die Heizleistung der Wärmepumpe  $Q_{\text{HWP}}$  bei der Auslegungstemperatur ca. 60...70 % der Gesamtheizlast betragen.

Zuerst ist daher die Gesamtheizlast  $Q_{\text{HGes}}$  in diesem Falle für die Auslegungstemperatur von -10°C zu bestimmen. Sie ergibt sich aus der Gebäudeheizlast  $Q_{\text{Geb}}$  und den Zuschlägen für Sperrzeiten  $\Delta Q_{\text{SP}}$  und Warmwasserbereitung  $\Delta Q_{\text{WW}}$ .

Gewählt:

$$Q_{\text{HWP}} = Q_{\text{HGes}} \cdot 0,6$$

mit

$$Q_{\text{HGes}} = Q_{\text{Geb}} + Q_{\Delta\text{SP}} + Q_{\Delta\text{WW}}$$

$$Q_{\text{HGes}} = 8 \text{ kW} + 1,85 \text{ kW} + 4 \text{ P} \cdot 0,0 \text{ kW/P} = 9,9 \text{ kW}$$

Der Zuschlag für die Sperrzeiten  $Q_{\Delta\text{SP}}$  ergibt sich aus der Anzahl  $n_{\text{SP}}$  und der Dauer der Sperrzeiten  $t_{\text{SP}}$ :

$$\Delta Q_{\text{SP}} = Q_{\text{Geb}} \cdot \left( \frac{24}{24 - n_{\text{SP}} \cdot t_{\text{SP}}} - 1 \right)$$

$$\Delta Q_{\text{SP}} = 8 \text{ kW} \cdot \left( \frac{24}{24 - 3 \cdot 1,5} - 1 \right) = 1,85 \text{ kW}$$

Sind die tatsächlichen Sperrzeiten wesentlich geringer als die vertraglich geregelten, so ist der Zuschlag entsprechend zu reduzieren (Nachfrage beim zuständigen EVU).

Der Zuschlag für die Warmwasserbereitung  $\Delta Q_{\text{WW}}$  kann entfallen, wenn der Speicher den gesamten Tagesbedarf bevorratet und die Vorwärmung durch die Wärmepumpe somit nur während der Nacht erfolgt.

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

Im vorliegenden Beispiel wird ein Warmwasserspeicher mit 300 Liter Wasserinhalt gewählt. Damit ist der Tagesbedarf des 4-Personen Haushaltes gedeckt. Eine Vorwärmung am Tag ist nicht erforderlich, so dass der Zuschlag für Warmwasserbereitung entfällt;  $\Delta Q_{\text{WW}} = 0 \text{ kW}$ .

Soll dagegen die Vorwärmung auch während des normalen Heizbetriebes wirksam sein, wird ein Zuschlag nach **Tabelle 6** empfohlen.

**Tabelle 6: Richtwerte für Warmwasserverbrauch und empfohlener Zuschlag auf die Gebäude-Heizlast bei einer Warmwasservorwärmung auf 35°C (mit der Wärmepumpe) während des normalen Heizbetriebes**

Nutzungsart	Warmwasserbedarf in Liter/Tag und Person mit 45 °C	Nutzwärme in kWh/Jahr und Person	Empfohlener Zuschlag in kW/P
MFH, geringer Bedarf	15	220	0,05
MFH, mittlerer Bedarf	30	440	0,10
MFH, großer Bedarf	45	660	0,15
EFH, geringer Bedarf	30	440	0,10
EFH, mittlerer Bedarf	50	730	0,18
EFH, großer Bedarf	70	1040	0,25
Nach EnEV pauschal	-	12,5 kWh / a m <sup>2</sup>	-

MFH = Mehrfamilienwohnhaus; EFH = Einfamilienwohnhaus

Die erforderliche Heizleistung der Wärmepumpe bei -10°C beträgt somit:

$$Q_{\text{HWP}} = 9,9 \text{ kW} \cdot 0,6 = 5,9 \text{ kW}$$

Mit dieser Angabe ist anhand von Herstellerkennlinien, im Beispiel für den Betriebspunkt A-10/W55, eine Wärmepumpe auszuwählen, die mindestens diese Leistung erbringt bzw. der nächstgrößere Typ (Abstufung ca. 2-3 kW). In diesem Fall wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit 6,8 kW bei A-10/W55 ausgewählt.

Der COP-Wert in diesem Betriebspunkt beträgt 1,7. Damit ergibt sich die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie "P<sub>EL</sub>" und die Wärmeentzugsleistung (am Verdampfer) "Q<sub>VWP</sub>" zu

$$P_{\text{EL}} = \frac{\dot{Q}_{\text{HWP}}}{\text{COP}} = \frac{6,8 \text{ kW}}{1,7} = 4,0 \text{ kW} \quad \text{bzw. Daten aus den Herstellerunterlagen}$$

und

$$Q_{\text{VWP}} = Q_{\text{HWP}} - P_{\text{EL}} = 6,8 \text{ kW} - 4,0 \text{ kW} = 2,8 \text{ kW}$$

Mit einer Zusatzheizung in Form eines Elektrodurchlauferhitzers, der im Wärmepumpenvorlauf eingebaut wird (siehe Abbildung 10b) und eine elektrische Leistung von 6 kW hat, kann die Gesamtheizlast von 9,9 kW bei -10°C problemlos gedeckt werden.

Elektrische  
Zusatzheizung

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

Heizungs-  
Umwälzpumpe

### Auslegung des Fördervolumenstromes der Heizungsumwälzpumpen:

Der Fördervolumenstrom der Heizungsumwälzpumpe im Erzeugerkreislauf (siehe Abbildung 9b; UP-WP) bestimmt sich nach der Heizungsumwälzpumpe im Heizkreis (UP-HK). Der von der Wärmepumpe geförderte Volumenstrom muss mindestens so groß sein, wie der Volumenstrom des bzw. der Heizkreise.

$$V_{UP-WP} = 1,0 \dots 1,1 \times V_{UP-HK} = 1,1 \times 0,69 \text{ m}^3/\text{h} = 0,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{mit } V_{UP-HK} = \frac{\dot{Q}_{GEB}}{1,163 \cdot (t_{VL} - t_{RL})} = \frac{8}{1,163 \cdot (55 - 45)} = 0,69 \text{ m}^3/\text{h}$$

(Der Faktor 1,163 ergibt sich aus der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität von Wasser).

### Auslegung des Wärmetauschers für die Trinkwasservorwärmung:

Der Wärmetauscher für die Vorwärmung durch die Wärmepumpe muss so ausgelegt sein, dass die maximale Heizleistung der Wärmepumpe  $Q_{HWPmax}$  (bei +35°C Außentemperatur und ca. 45°C Vorlauftemperatur) übertragen werden kann.

Aus Herstellerkennlinien erhält man z.B.  $Q_{HWPmax} = 16 \text{ kW}$ . Die heizungsseitige Umwälzpumpe für die Trinkwassererwärmung wird auf die gleiche Fördermenge ausgelegt wie die Heizungsumwälzpumpe für den Heizkreis (siehe oben). Auch für die Warmwasserbereitung wird ein Elektrodurchlauferhitzer zur Nacherwärmung von 35°C auf 45°C benötigt. Aufgrund der hohen erforderlichen Heizleistung des Wärmetauschers wird ein externer Plattenwärmetauscher empfohlen (siehe Abbildung 10b). Die trinkwasserseitige Umwälzpumpe muss so ausgelegt werden, dass bei der Wärmeleistung von 16 kW das Kaltwasser von 10°C auf +35°C aufgewärmt wird. Diese Umwälzpumpe muss bei sinkender Wärmeleistung der Wärmepumpe ihre Drehzahl so reduzieren, dass die Austrittstemperatur von 35°C konstant bleibt.

Wärmetauscher  
für Trinkwasser-  
vorwärmung  
nach höchster  
Heizleistung  
bemessen

### Auslegung des Pufferspeichers unter Berücksichtigung von Sperrzeiten

Aufgrund des Einsatzes von Radiatoren (gegenüber Fußbodenheizung geringfügige Speichermasse) wird die Erhöhung des Pufferspeichervolumens empfohlen. Da nach einer Sperrzeit mindestens eine gleich lange Betriebsfreigabe erfolgt, ist es ausreichend, statt der Gesamtsperrzeit ( $3 \cdot 1,5 \text{ h}$ ) nur eine Sperrzeit (1,5 h) bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. Früher wurde häufig die volle Sperrzeit angesetzt. In der Praxis hat sich dann gezeigt, dass die sich daraus ergebenden Speichervolumina zu groß waren. Damit ergibt sich folgendes Speichervolumen  $V_{PU}$ :

$$V_{PU} = \frac{\dot{Q}_{GEB} \cdot t_{SP}}{1,163 \cdot (t_{VL} - t_{RL})} = \frac{8 \cdot 1,5}{1,163 \cdot (55 - 45)} = 1,0 \text{ m}^3$$

( $V_{PU}$  = effektives Speichervolumen zwischen Ein- und Ausschaltfühler)

Sind die tatsächlichen Sperrzeiten wesentlich geringer als die vertraglich geregelt, so ist das Speichervolumen entsprechend zu reduzieren (Nachfrage beim zuständigen EVU).

Heizwasser-  
Pufferspeicher  
zur  
Überbrückung  
von Sperrzeiten

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

### 7.1.2 Beispiel für Wärmequelle Erdreich (Erdsonde)

#### Auslegung der Wärmepumpe:

Wie bereits in Kapitel 7.1.1 beschrieben, soll die Heizleistung der Wärmepumpe  $Q_{\text{HWP}}$  bei der Auslegungstemperatur ca. 60...70 % der Gesamtheizlast betragen.

Die Gesamtheizlast  $Q_{\text{HGes}}$  wurde im Beispiel mit 9,9 kW für die Auslegungstemperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  ermittelt. Damit ergibt sich für einen Dimensionierungsfaktor von 0,6 die Heizleistung der Wärmepumpe  $Q_{\text{HWP}}$  zu 5,9 kW.

Hiermit ist nun anhand von Herstellerkennlinien (Leistungsdiagrammen) eine Sole-Wasser-Wärmepumpe auszuwählen, die bei der Auslegungstemperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  eine Heizleistung von mindestens 5,9 kW hat.

Sole-Wasser  
Wärmepumpe

Schwierig ist hierbei die Festlegung der Soletemperatur. Es wird empfohlen, die Wärmepumpe für eine Soletemperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  auszuwählen. Der Auslegungsbetriebspunkt für das Beispiel ist somit B0 / W55 ( $55^{\circ}\text{C}$  wegen der Radiatoren).

Die ausgewählte Wärmepumpe hat bei diesen Bedingungen eine Heizleistung von 7,5 kW. Der COP-Wert beträgt 2,7.

Damit ergibt sich die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe einschließlich Hilfsenergie " $P_{\text{EL}}$ " und die Wärmeentzugsleistung (am Verdampfer) " $Q_{\text{VWP}}$ " zu:

$$P_{\text{EL}} = \frac{\dot{Q}_{\text{HWP}}}{\text{COP}} = \frac{7,5\text{kW}}{2,7} = 2,8\text{ kW} \quad \text{und} \quad Q_{\text{VWP}} = Q_{\text{HWP}} - P_{\text{EL}} = 7,5\text{ kW} - 2,8\text{ kW} = 4,7\text{ kW}$$

Für die elektrische Zusatzheizung gilt die gleiche Aussage wie unter Kapitel 7.1.1 beschrieben.

Mit der Wärmeentzugsleistung (am Verdampfer) " $Q_{\text{VWP}}$ " lässt sich die erforderliche Sondentiefe abschätzen. Setzt man für das Beispiel eine spezifische Entzugsleistung  $q_{\text{SONDE}}$  von 50 W pro m Sondenlänge an, ergibt sich die Sondenlänge zu:

$$L_{\text{SONDE}} = Q_{\text{VWP}} / q_{\text{SONDE}} = 4700 / 50 = 94\text{ m}$$

Abschätzung der  
Sondenlänge

Die endgültige Sondenlänge und gegebenenfalls die Aufteilung auf zwei Sonden wird bei der Planung oder spätestens bei der Anfertigung der Bohrung auf der Baustelle von der Bohrfirma bestimmt. Dabei ist auch zu kontrollieren, ob die Kriterien für den max. zulässigen Wärmeentzug nach VDI 4640 Blatt 2 (Betriebszeit und spezifische Entzugsarbeit) erfüllt werden.

#### Auslegung des Fördervolumenstromes der Solepumpe:

Die Solepumpe ist meist bereits Bestandteil der Wärmepumpe. Anhand der Pumpenkennlinie und der gering zu haltenden Druckverluste des Solekreislaufes kann der Betriebspunkt der Pumpe und somit deren Fördermenge bestimmt werden.

Sole-  
Umwälzpumpe

Bei der ermittelten Fördermenge darf die Abkühlung der Sole nicht mehr als 5 Kelvin betragen. Die Prüfung dieser Bedingung ist für den Betriebspunkt B10 / W35 durchzuführen, da hier die Heizleistung und damit die Wärmeentzugsleistung des Verdampfers am größten ist.



## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

Im Beispiel beträgt die Verdampferleistung  $\dot{Q}_{VWP}$  für diesen Fall 9 kW. Damit muss die Solepumpe mindestens folgende Fördermenge  $V_{SOLE}$  erbringen:

$$V_{SOLE} \geq \frac{\dot{Q}_{VWP}}{1,06 \cdot 5} = \frac{9}{1,06 \cdot 5} = 1,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

(Der Faktor 1,06 ergibt sich aus der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität von Antifrogen N für eine Einfriergrenze von  $-20^\circ\text{C}$ , entspricht einer Konzentration von 35%, und für eine Soletemperatur von  $0^\circ\text{C}$ ).

Diese Mindestfördermenge sollte jedoch nicht zu stark überschritten werden, um zu hohe Druckverluste und eine zu hohe elektrische Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe zu vermeiden. Sinnvoll ist die Anpassung über einstellbare Drehzahlstufen.

Die Auslegung der Heizungsumwälzpumpen und des Pufferspeichers ist identisch wie für das Beispiel Außenluft (Kapitel 7.1.1).

Bei der Dimensionierung des Wärmetauschers für die Trinkwasservorwärmung ist die Vorgehensweise analog zum Beispiel Außenluft durchzuführen. Die maximale Wärmepumpenheizleistung ist für den Betriebspunkt B10 / W 45 zu ermitteln.

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

### 7.2 Planungsablauf für Alt und Neubau

Die Planungsphase beginnt sinnvollerweise mit einer Vorplanung. Diese dient dem Bauherren zur Entscheidungsfindung für oder gegen den Einbau einer Wärmepumpe. Dem Bauherren sollte in dieser Phase klar aufgezeigt werden, welche Vorteile sich durch eine Wärmepumpenanlage in seinem Anwendungsfall ergeben und was er hierfür im Vergleich zu einer konventionellen Heiztechnik an Mehrinvestitionen zu tragen hat. Die wichtigsten Arbeitsschritte der Vorplanungsphase sind in **Tabelle 7** zusammengestellt. Wenn die Entscheidung zugunsten der Wärmepumpe ausfällt, ist eine Feinplanung anzuschließen. Die wichtigsten Inhalte dieser Planungsphase gehen aus **Tabelle 8** hervor.

Vorplanung zur Entscheidungsfindung

**Tabelle 7: Wichtigste Arbeitsschritte der Vorplanungsphase**

Nr.	Bearbeitungsschritt	relevant für		Durchführung		Hinweise
		Altbau	Neubau	erforderlich	alternativ	
1	Prüfung, ob Randbedingungen für WP-Einsatz positiv	X	X	X		siehe Kapitel 3.7
2	Prüfung, ob Grundvoraussetzungen für den Wärmepumpeneinsatz erfüllt werden	X	X	X		siehe Kapitel 3.8 und 9 [8]
3	Überschlägige Berechnung der Gebäudeheizlast anhand EnEV-Nachweis (Neubau) oder VDI 3808 (Altbau)	X	X	X		Daten und Pläne vom Bauherren anfordern
4	Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs anhand EnEV-Nachweis (für Neubau) bzw. VDI 2067 [7.3] (für Altbau)	X	X		X	Kurzverfahren (Blatt 2)
5	Ermittlung des Energiebedarfs für die Trinkwassererwärmung	X	X		X	EnEV oder Richtwerte; abhängig von Personenzahl siehe Kapitel 7.1
6	Grobdimensionierung der wichtigsten Komponenten (WP, TWE, Puffer, Wärmequelle, Nachheizung) und Erstellung eines vereinfachten Hydraulikschemas	X	X	X		Verwendung von Herstellerunterlagen und siehe Kapitel 7.1 und Literatur [4], [5], [6], [7.1]
7	Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs und der CO <sub>2äq</sub> -Emissionen für die Wärmepumpe im Vergleich zur neuen (konventionellen) Anlage	X	X		X	Verwendung eines Berechnungsprogrammes, siehe Anhang A2 und Kapitel 9
8	Berechnung der Kosten (Energie- Kapital- und Instandhaltungskosten) für die Wärmepumpe im Vergleich zur neuen (konventionellen) Anlage anhand von Kostenschätzungen	X	X		X	siehe Anhang A2; Stromtarife erfragen auch für elektrische Nachheizung. Förderung?
9	Erstellung Kostenangebot einschließlich Kosten für Inbetriebnahme, Instandhaltung	X	X	X		
10	Entscheidung des Bauherren für oder gegen die Wärmepumpe	X	X	X		Beratungsgespräch

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

**Tabelle 8: Wichtigste Arbeitsschritte der Feinplanungsphase**

Nr.	Bearbeitungsschritt	relevant für		Durchführung		Hinweise
		Altbau	Neubau	erforderlich	alternativ	
1	Genehmigungsanfragen beim zuständigem Landratsamt bei erdgekoppelten Anlagen	X	X	X		siehe Kapitel 9 [8]
2	Anzeige, bzw. Anfrage beim zuständigen EVU	X	X	X		
3	Gegebenenfalls Förderanträge stellen, z.B. beim Bund, Land, zuständigen EVU	X	X	X		Hersteller wissen i. Allg. gut über Förderprogramme Bescheid
4	Festlegung der Anlagenkonfiguration	X	X	X		siehe Kapitel 5
5	Heizlastberechnung (pro Raum) nach DIN 4701	X	X	X		
6	Prüfung der Heizflächenauslegung (Bezug zur Heizlast)	X		X		Aufnahme der vorhandenen Heizflächen
7	Auslegungstemperaturen Fußbodenheizung 35/30°C	X	X	X		
8	Auslegungstemperaturen Heizkörper 55/45°C	X		X		im Neubau keine Heizkörper
9	Hydraulischer Abgleich (rechnerisch) (ggf. Austausch von Ventilen im Altbau)	X	X	X		
10	Dimensionierung und Auswahl der Wärmepumpenanlage	X	X	X		siehe Kapitel 7.1
10.1	Wärmepumpe - Fabrikat, Typ - Heizleistung, elektrische Leistungsaufnahme - Verdampferleistung - Solemischung - Durchfluss Verdampfer/Verflüssiger - Druckabfall Verdampfer/Verflüssiger - COP-Werte (Gütesiegel)	X	X	X		für Leistungsdaten siehe Kennlinien von Herstellern (Messwerte nach DIN EN 255 [9])
10.2	Wärmequelle - Geometrie (Anzahl Sonden, Bauart, Länge, Durchmesser, Abstand) - Soleinhalt, Befüllung, Entlüftung - Durchfluss - Druckabfall - Einholung Festpreisangebot	X	X	X		Dimensionierung durch Sondenhersteller (Bohrunternehmen)
10.3	Solepumpe, Heizungsumwälzpumpe - Fabrikat, Typ - Förderhöhe, Fördermenge - Einregulierung	X	X	X		siehe Kapitel 7.1
10.4	Pufferspeicher, Trinkwasserspeicher - Fabrikat, Typ, Speicherinhalt - hydraulische Einbindung (Abstimmung mit Regelkonzept des Wärmepumpenherstellers) - elektrische Nachheizung	X	X	X		siehe Kapitel 7.1; für Trinkwasserspeicher siehe auch DIN 4708. Wichtig ist Aufheizdauer und Zapfleistung in Liter bei 45°C
10.5	Wärmezähler, Stromzähler, Temperaturfühler	X	X		X	zur Bewertung/Überwachung der Anlage

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

### 7.3 Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenanlagen

Wärmepumpenheizanlagen sind in der Regel gegenüber konventionellen gas- oder ölbefeuerten Heizanlagen betriebswirtschaftlich im Nachteil. Dies sollte jedoch nicht dazu verleiten, keinen Wirtschaftlichkeitsvergleich durchzuführen. Für den Bauherren ist es wichtig zu wissen, um wie viel seine jährlichen Gesamtkosten über denen einer konventionellen Anlage liegen. Zeigt man zudem die Vorteile der Wärmepumpe bei den Energiekosten, den  $\text{CO}_{2\text{äq}}$ -Emissionen, beim Primärenergiebedarf und gegebenenfalls Fördermöglichkeiten auf, sind viele Bauherren dazu bereit, in einem gewissen Rahmen zusätzlich zu investieren.

Um hinsichtlich der Investitionen mit konventionellen Heizanlagen gleichzuziehen, werden beim Bau einer Wärmepumpenanlage häufig Wärmepumpen ohne Gütesiegel und mit niedrigen COP-Werten (siehe Kapitel 6.5) eingesetzt. Oder es wird auf wichtige Anlagenkomponenten, wie z.B. der Pufferspeicher, verzichtet. Auch im Bereich der Trinkwassererwärmung wird häufig auf die Vorwärmung verzichtet, was zu schlechten Anlagenaufwandszahlen der Wärmepumpenheizanlage führt (siehe Kapitel 6.4 und 6.5) und damit den Umweltvorteil unter Umständen zunichte macht.

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpenanlage ist es wichtig, dass die Auslegung und Planung sorgfältig erfolgen.

Im Anhang A3 ist ein Formular zur Durchführung der Wirtschaftlichkeitsberechnung in Anlehnung an die VDI 2067, Blatt 1, [7.3] abgedruckt.

Weiterhin wird in diesem Zusammenhang auf den Musterkostenvergleich [4], der beim Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., München erhältlich ist, verwiesen.

Höhere  
Investitionen für  
mehr  
Umweltschutz  
und geringere  
Energiekosten

Auf das  
Gütesiegel  
achten

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

### 7.4 Planung von Wärmepumpenanlagen

#### Welche Komponenten und Leistungen sollte ein Angebot enthalten?

Am Beispiel einer Wärmepumpenheizung mit Erdsonde

#### Allgemeine Hinweise:

Der Anbieter soll ein ganzheitliches Angebot erstellen, das alle Leistungen umfasst, die für die Erstellung einer neuen, funktionstüchtigen Wärmepumpenheizung erforderlich sind. Er tritt somit dem Bauherren gegenüber quasi als Generalunternehmer auf, mit dem Vorteil, dass der Bauherr nur einen Vertragspartner und Ansprechpartner hat. Der Bauherr sollte ein Festpreisangebot einfordern. Vertragsgrundlage ist die VOB.

#### Wesentliche Inhalte des Angebotes:

- Allgemeine Beschreibung des Projektes (von was geht das Angebot aus)
  - Standort
  - Gebäudetyp, Wohnfläche
  - Art der Beheizung (Fußbodenheizung oder Heizkörper)
  - Auslegungstemperaturen der Heizflächen
  - Gebäudewärmebedarf
  - Nutzung (wie viele Personen, Wohneinheiten)
  - EVU-Sperrzeiten
  - Hinweise zur Verfügbarkeit der Wärmequelle
  - Betriebsweise der Wärmepumpe (monoenergetisch oder monovalent)
  
- Wärmeerzeuger (Wärmepumpe)
  - Wärmepumpengütesiegel
  - Wärmepumpentyp (Sole/Wasser)
  - Kältemittel (R290 oder R407c)
  - Leistungsziffer (COP) für Sole bei B0/W35
  - Heizleistung bei Auslegungstemperatur (prozentualer Anteil am Gebäudewärmebedarf)
  - Wärmepumpenregelung auch für Trinkwassererwärmung falls nicht separat
  
- Wärmequelle (für Erdsonde)
  - Entzugsleistung bei Auslegungstemperatur
  - voraussichtliche Bohrtiefe und Anzahl Bohrlöcher
  - Sondentyp, Material, Durchmesser
  - Bohrfirma
  - Bohren, Abdichten, Verfüllen
  - Dichtigkeitsprüfung
  - Rüstkosten, Baustellenreinigung, An- und Abfahrt, Baustellenzugänglichkeit mit Bohrfahrzeug, Bohrmaterialentsorgung
  - Wasser- und Strombedarf für Bohrung

## 7. Planungshinweise für Alt- und Neubauten

### 7.4 Planung von Wärmepumpenanlagen

- Soleverteilung
  - Grabarbeiten
  - Verbindungsleitungen von Sonde zu Verteiler
  - Außenliegender Verteiler
  - Mauerwerksdurchführung/Abdichtung
  - Verbindungsleitungen von Verteiler zur Wärmepumpe
  - Wärmedämmung, dampfdiffusionsdicht
  - Füllen mit Frostschutzmittel, Druckprobe
  - Absperrorgane
  - Ausdehnungsgefäß
  - Solepumpe
  - Flexible Anschlussleitungen an Wärmepumpe (Körperschall)
  - Temperaturfühler Vorlauf/Rücklauf
  
- Pufferspeicher (Inhalt, Material, Dämmung, Anschluss)  
Mischer bei mehreren Heizkreisen
- Verrohrung, Verteiler, Wärmedämmung (Heizung und Warmwasser)
- Umwälzpumpen und evtl. Zirkulationspumpe
- Armaturen (Absperrrichtungen, Sicherheitseinrichtungen, Entleerung, Entlüftung)
- Ausdehnungsgefäß heizungsseitig
- Elektroinstallation und Elektroanschluss
- Warmwasserbereitung (Speichergröße, Material, Dämmung)
- Demontage und Entsorgung der Altanlage
  
- Inbetriebnahme, Einregulierung, Einweisung
  
- Dienstleistungen
  - Genehmigung durchführen (EVU, Landratsamt)
  - Fördergelder beantragen
  
- Planungsleistungen
  - Wärmebedarfsberechnung raumweise nach DIN 4701
  - Dimensionierung der Komponenten, Rohrnetzberechnung, Abgleich
  - Dokumentation
  
- Wartung
  
- Ergänzende Hinweise
  - Betriebsweise
  - Heizstab
  - Bautrocknung
  - Fußbodenheizung (Oberflächentemperatur)



## 8. Weitere Anwendungsgebiete von Wärmepumpen

### 8.1 Warmwasser-Wärmepumpe

Warmwasser-Wärmepumpen als Alternative zur reinen elektrischen Erwärmung

Als Warmwasser-Wärmepumpen werden Luft/Wasser-Wärmepumpen bezeichnet, die ihre Wärme ausschließlich an einen Warmwasserspeicher abgeben. Sie entziehen der Umgebungsluft des Aufstellungsraumes die Wärme und geben diese auf einem höheren Niveau an den Warmwasserspeicher ab. Dabei gibt es verschiedene Arten der Anordnung der Wärmepumpe und der Aufbauten der Wärmeübertrager. Die am häufigsten eingesetzten Systeme sind in **Abbildung 17** dargestellt.

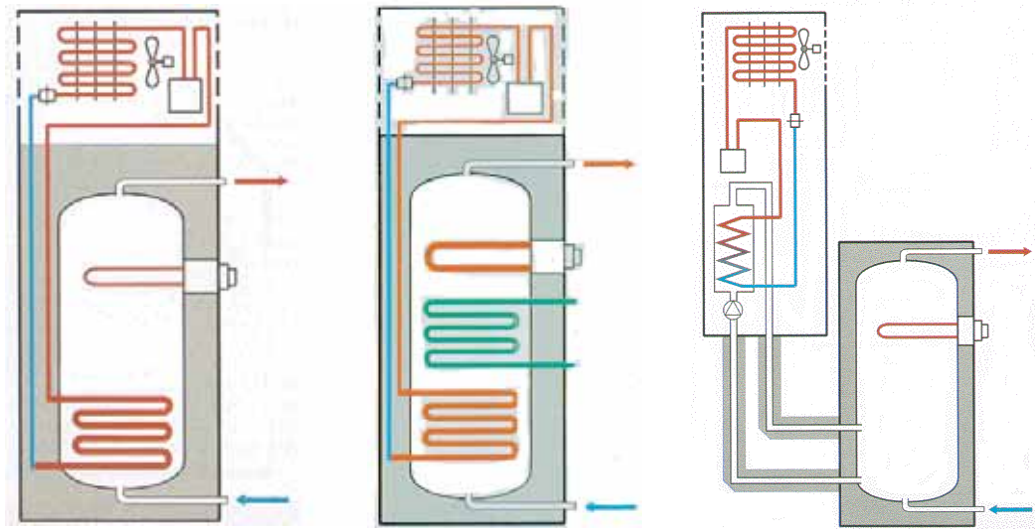


Abbildung 17a-c: Die häufigsten Systeme von Warmwasser-Wärmepumpen [11]

17a:  
Kompaktanlage mit  
Elektronachheizung

17b:  
Kompaktanlage mit  
Nachheizung durch  
Kessel oder Heizstab

17c:  
Wärmepumpe und  
Speicher getrennt mit  
Elektronachheizung

Die **Abbildung 17a und 17b** zeigt die Wärmepumpe in einer Baueinheit mit dem Speicher, als sogenannte Kompaktausführung. Das System in **Abbildung 17b** verfügt über einen zusätzlichen Wärmeaustauscher für den Anschluss an einen Heizkessel. **Abbildung 17c** zeigt die Wärmepumpe und den Warmwasserspeicher in getrennter Ausführung.

Warmwasser-Wärmepumpen sind in der Regel für einen Arbeitsbereich zwischen 5°C und 35°C Lufttemperatur ausgelegt. Im Allgemeinen gilt, dass höhere Wassertemperaturen zu erreichen sind, wenn auch die Lufttemperaturen höher sind. Da die gewünschten Warmwassertemperaturen zwischen 45°C und 60°C liegen, muss bei einem Warmwasser-Spitzenbedarf nachgeheizt werden. Dies erfolgt, wie in **Abbildung 17a-c** dargestellt über einen Elektroheizstab oder, wie in **Abbildung 17b**, mit einem zusätzlichen Wärmeaustauscher.

Die Aufstellung der Wärmepumpe sollte in unbeheizten Räumen erfolgen, z.B. Keller- oder Heizräume. Die Effizienz der Anlage verbessert sich bei steigender Raumtemperatur bzw. bei niedrig eingestellter Warmwassertemperatur. Der elektrische Anschluss der Wärmepumpe erfolgt über eine gewöhnliche 230 V Steckdose.

Für den Betrieb von Warmwasser-Wärmepumpen muss beachtet werden, dass die Wärmepumpe die Umgebungsluft des Aufstellungsraumes abkühlt, was zu einer Kondenswasserbildung an der Wärmepumpe führen kann. Das Kondensat sollte fachgerecht abgeführt werden.

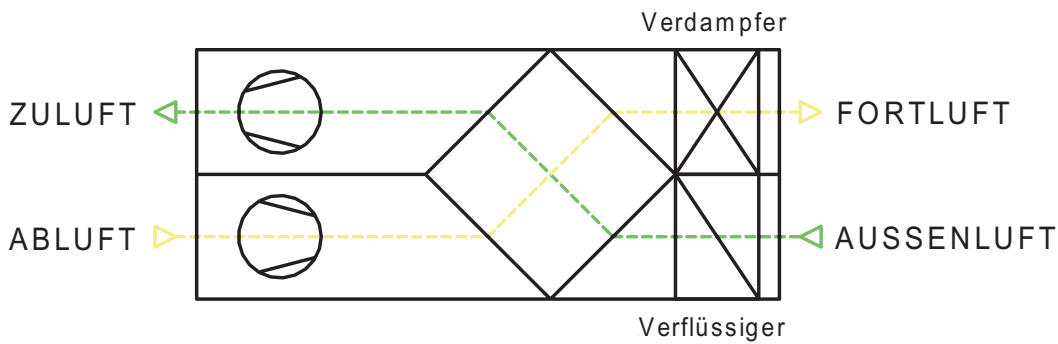
Kondensat-  
ableitung  
erforderlich

## 8. Weitere Anwendungsgebiete von Wärmepumpen

### 8.2 Kontrollierte Wohnungslüftung

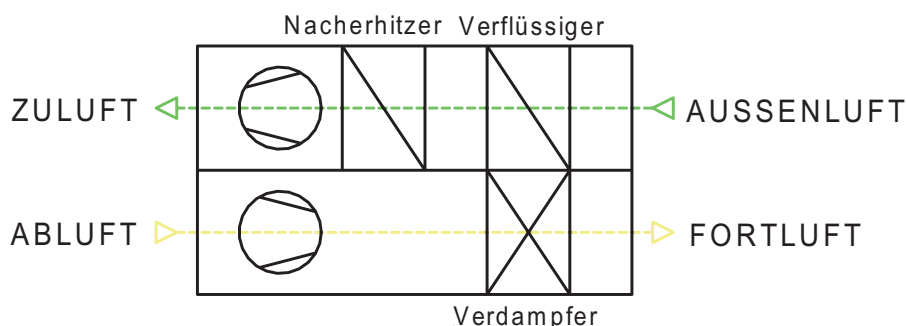
Die Wärmepumpe findet heute ihre Anwendung auch in der kontrollierten Wohnungslüftung. In der Regel wird sie im Niedrigenergiehaus dazu eingesetzt, als Luft/Luft-Wärmepumpe die Wärme aus der Abluft zu entziehen und auf höherem Niveau der Zuluft zuzuführen. Dies ist in **Abbildung 18** dargestellt. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen die aus der Abluft entzogene Wärme einer Luft/Wasser-Wärmepumpe an einen Warmwasserspeicher abgegeben wird (hier nicht dargestellt). Diese gewinnen insbesondere im Passivhaus zunehmend an Bedeutung.

Die Luft/Luft-Wärmepumpe, wie sie in **Abbildung 18a** dargestellt ist, dient nur zum Nachheizen, da in diesem Zentralgerät ein zusätzlicher Wärmerückgewinner eingesetzt wird, der einen Teil der Wärme in der Abluft schon an die Zuluft überträgt. Aus diesem Grund werden hier nur Wärmepumpen mit sehr geringen Leistungen verwendet, die in der Regel in den Kompaktgeräten integriert sind.



**Abbildung 18a:** Zentralgerät einer kontrollierten Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinner und Wärmepumpe

In **Abbildung 18b** ist die Wärmepumpe lediglich zur Vorheizung eingesetzt. Die Nacherhitzung auf die gewünschte Zulufttemperatur erfolgt über einen separaten Nacherhitzer. Dieser kann über eine Warmwasserheizung oder mit Strom betrieben werden.



**Abbildung 18b:** Zentralgerät einer kontrollierten Wohnungslüftung mit Wärmepumpe und Nacherhitzer

Ob ein separater Nacherhitzer erforderlich ist, hängt von den Betriebsbedingungen der Anlage ab.

Für den Betrieb der Anlage ist zu beachten, dass die Wärmetauscher einen erheblichen luftseitigen Druckverlust aufweisen und damit zu einer Erhöhung des Leistungsbedarfs der Ventilatoren führen.

Bei der Auswahl der Geräte ist folgendes Effizienzkriterium zu beachten: Pro kWh aufgenommener elektrischer Energie (Ventilatoren + Wärmepumpe) müssen mindestens vier kWh Nutzwärme abgegeben werden.

Einsatzgebiet hauptsächlich im Niedrigenergie- und Passivhaus

Effizienzkriterium beachten!

## 9. Softwareübersicht

### Planung, Optimierung und Simulation von Wärmepumpenheizanlagen:

#### **Simulationssoftware WP-OPT**

WPsoft GbR  
Dr. Weinmeister & Partner  
Pirnaer Str. 16  
01454 Radeberg  
Tel. 03528 / 452922  
Fax 03528 / 411926  
Email: [info@WPsoft-GbR.de](mailto:info@WPsoft-GbR.de)  
Internet: [www.wp-opt.de](http://www.wp-opt.de)

#### **Simulationssoftware Wdim**

Dipl. Ing.(FH) Harald König  
Siedlung 34  
04934 Hohenleipisch  
Tel.: 0172 / 7937911  
EMail: [wdim@wdim.de](mailto:wdim@wdim.de)  
Internet: [www.wdim.de](http://www.wdim.de)

### Umfassende Energiebilanzierung und Wirtschaftlichkeitsberechnung für Wärmepumpenheizanlagen, allerdings nur mit Wetterdaten aus der Schweiz:

#### **WP-Calc**

INFOENERGIE  
Beratungszentrale Nordwestschweiz  
c/o Nova Energie GmbH  
Schachenallee 29  
CH-5000 Aarau  
Tel: 0041 62 / 834 03 03  
Fax 00a1 62 / 834 03 23  
Email: [beratung@infoenergie.ch](mailto:beratung@infoenergie.ch)  
Internet: [www.infoenergie.ch](http://www.infoenergie.ch)

**Dimensionierungsprogramme sind von verschiedenen Wärmepumpenherstellern erhältlich.**

## 10. Literaturverzeichnis

- [1] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW):  
Wärmepumpenerhebung 1998  
Elektrizitätswirtschaft VWEW – Verlag, Frankfurt  
Heft 20, 1999
- [1.1] BWP e.V. aus IZW – Wärmepumpe aktuell 01/2004
- [1.2] Stiebel-Eltron Statistik aus CCI 11/2001
- [2] Böhmer:  
Marktsituation in Deutschland  
Elektrizitätswirtschaft VWEW – Verlag, Frankfurt  
Heft 20, 1999
- [3] Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik:  
Wärmepumpeninstallation;  
Informationen für den Fachmann  
Bottrop, 1997 (6. Auflage)
- [4] Initiativkreis Wärmepumpe e.V.:  
Arbeitsordner Wärmepumpe  
München, 1996 (2. Auflage)  
Marketing+Wirtschaft Verlagsgesellschaft mbH, ISBN 3-922-804-24-1
- [5] Viessmann Werke GmbH & Co:  
Planungsanleitung zu Wärmepumpen-Systemen  
Allendorf, 1999
- [6] Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern (Schweiz):  
Impulsprogramm Ravel:  
Ravel-Handbuch „Wärmepumpen“  
Windisch (Schweiz), 1994
- Verein Deutscher Ingenieure VDI:
- [7.1] ➤ VDI-Richtlinie 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes  
Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Dezember 2000  
Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. September 2001
- [7.2] ➤ VDI-Richtlinie 4650:  
Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresaufwandszahlen von Wärmepumpen.  
Januar 2003
- [7.3] ➤ VDI-Richtlinie 2067:  
Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und  
Kostenberechnung September 2000
- [8] Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg:  
Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden  
Stuttgart, 2005 (4. Auflage)
- [9] DIN EN 255: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit  
elektrisch angetriebenen Verdichtern.  
  
Blatt 2: Heizen - Teil 2: Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung  
von Geräten für die Raumheizung; Deutsche Fassung, Ausgabe 7/97
- [10] Öko-Institut e.V.:  
Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme Version 4.1 (GEMIS)  
Darmstadt, Mai 2002.
- [11] Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung – HEA – e.V.:  
Bilderdienst, Warmwasser-Wärmepumpen  
Frankfurt, 1997
- [12] DIN V 4701 – 10 (Vornorm): Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer  
Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- [13] DIN V 4108 – 6 (Vornorm): Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden –  
Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfs

Endenergiebedarf/ Endenergieverbrauch	Durch die Umwandlung von Primärenergie entsteht Endenergie (z. B. Strom, Erdgas, Heizöl). Sie ist die Energie, die an die Endverbrauchsstelle angeliefert wird. Der Endenergiebedarf ist der berechnete jährliche Verbrauch in Kilowattstunden pro Jahr (kWh/a). Der Endenergieverbrauch ist der gemessene bzw. abgerechnete Verbrauch in kWh/a. Beispiele sind Strom, Erdgas und Heizöl.
CO <sub>2äq</sub> -Emissionen	In der Betrachtungsweise nach [10] werden zusätzlich zu den lokalen Emissionen auch die der vorgelagerten Transport- und Prozessketten berücksichtigt. Die CO <sub>2äq</sub> -Emissionen enthalten neben den CO <sub>2</sub> -Emissionen noch weitere direkte Treibhausgase (z.B. Methan).
COP-Wert	Die Kenngröße COP (Coefficient of Performance) ist aussagekräftiger als die Leistungszahl, da diese auch die elektrische <i>Leistung</i> der Hilfsaggregate der Wärmepumpe mit einbezieht. Der COP-Wert ist ein Gütekriterium der Wärmepumpe.
Heizlast	Die Heizlast entspricht z. B. dem Norm-Gebäudewärmebedarf nach DIN 4701, Ausgabe 1983 und wird in kW angegeben. Die Heizlast kann auch anhand von überschlägigen Berechnungen ermittelt werden, z. B. nach VDI 3808.
Jahresarbeitszahl $\beta$	Diese wird aus dem Verhältnis der über das gesamte Jahr an das Heiznetz und an das Warmwasser abgegebenen <i>Energie</i> (in Form von Wärme) zur gesamten aufgenommenen elektrischen <i>Energie</i> (einschließlich Hilfs- bzw. Zusatzenergie) gebildet. Diese Kenngröße ist vergleichbar mit dem Jahresnutzungsgrad einer Heizanlage.
Leistungszahl $\varepsilon$	Die Leistungszahl $\varepsilon$ ist das Verhältnis von der an das Heiznetz abgegebenen <i>Wärmeleistung</i> zu der aufgenommenen elektrischen <i>Leistung</i> des Verdichter-Antriebsmotors bei einem bestimmten Betriebspunkt. Sie bewertet somit nur die Qualität des Wärmepumpen-Kreisprozesses.
Nutzenergie	Die Nutzenergie entspricht der <i>Energie</i> , die genutzt wird. Beispiele sind Raumwärme und warmes Wasser.
Primärenergiebedarf	Der Primärenergiebedarf entspricht der Summe aus dem Endenergiebedarf und den Umwandlungs- und Transportverlusten zur Bereitstellung der Endenergie. Beispiele sind Erdöl und Kohle.
Primärenergiefaktor $f_P$	Der Primärenergiefaktor dient zur Berechnung des Primärenergiebedarfs durch Multiplikation mit dem Endenergieverbrauch. Die Primärenergiefaktoren sind Bestandteil den EnEV – Verfahrens.
Anlagen- aufwandszahl $e_P$	Die Anlagenaufwandszahl eines Energiesystems (z. B.: Wärmepumpenheizanlage mit Trinkwassererwärmung) beschreibt das Verhältnis von der notwendigen Primärenergie zur Nutzenergie (Wärme für Raumheizung und Warmwasser).
EnEV	Energieeinsparverordnung, seit Februar 2002 gültige Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Die EnEV soll den Primärenergieeinsatz für die Raumheizung und die Trinkwassererwärmung begrenzen. Hierfür werden sowohl baulicher Wärmeschutz als auch die eingesetzte Anlagentechnik bewertet [12], [13].

## Anhang A1 – Steckbriefe von ausgeführten Wärmepumpenanlagen

### Steckbrief 1: Erdsondenanlage in Karlsruhe-Friedrichstal



#### **Gebäude:**

Einfamilienhaus, 2 Personen

Baujahr 1997

100 m<sup>2</sup> beheizte Fläche

Heizlast (DIN 4701): 8,4 kW

#### **Wärmequelle:**

3 Doppel-U-Sonden, je 29 m tief.



#### **Wärmepumpe:**

Typ: Sole/Wasser

Fabrikat: Siemens SI 8 P

Betriebsart: monovalent

Heizleistung: 8,5 kW (B0/W50)

El. Leistungsaufnahme:

Verdichter: 2 kW

Solepumpe: 0,45 kW

#### **Heizungssystem:**

Fußbodenheizung mit  
max. 35°C Vorlauftemperatur

#### **Verbrauchsdaten/Kennwerte:**

Jahresstromverbräuche:

- Raumheizung: ca. 1.650 kWh/a

- Trinkwassererwärmung: unbekannt

- Hilfsenergie (Sole- und

- Primärpumpe): ca. 332 kWh/a

mittlere Jahresstromkosten: (2000) ca. 233 €  
(ohne Haushaltsstrom)

Jahresarbeitszahl (siehe Anhang A7):

- WP (ohne Hilfsenergie)  $\beta_A = 4,6$  (Raumheizung)

Anlagenaufwandszahl unbekannt, da kein EnEV-Nachweis vorliegt

Technischer Speicher  
im Vorlauf mit 300 l Inhalt

Wärmezähler Installiert

#### **Warmwasserbereitung:**

Separater Speicher (300 l), el. beheizt





## Anhang A1 – Steckbriefe von ausgeführten Wärmepumpenanlagen

### Steckbrief 3: Außenluftanlage in Brenden/Schwarzwald



#### **Gebäude:**

Mehrfamilienhaus

Baujahr 1981

340 m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche

Heizlast (DIN 4701): 27 kW

#### **Wärmequelle:**

Außenluft und  
Elektrozusatzheizung



#### **Wärmepumpe:**

Typ: Luft/Wasser

Fabrikat: Stiebel-Eltron WPL 23

Betriebsart: monoenergetisch

Heizleistung: 2 x 12,2 kW (A2/W35)

El. Leistungsaufnahme der  
Elektrozusatzheizung: 2 x 6,6 kW

#### **Heizungssystem:**

Fußbodenheizung

#### **Verbrauchsdaten/Kennwerte:**

Jahresstromverbräuche:

- Raumheizung und  
- Trinkwassererwärmung: ca. 24.190 kWh/a

mittlere Jahresstromkosten 2002: ca. 2.298 €  
(ohne Haushaltsstrom)

Laut Angabe des Herstellers der WP:

Früher Ölheizung mit einem Jahresverbrauch von 7.500 l/a,  
bzw. ca. 2.850 €

Anlagenaufwandszahl unbekannt, da kein EnEV-Nachweis  
vorliegt

#### **Warmwasserbereitung:**

Heizstab im Warmwasserspeicher

## Steckbrief 4: Erdsondenanlage in Reutlingen

**Gebäude:**

Kindergarten

Baujahr 1999

372 m<sup>2</sup> beheizte Fläche

Heizlast (DIN 4701): 15 kW

**Wärmequelle:**

3 Doppel-U-Sonden, je 70 m tief

**Wärmepumpe:**

Typ: Sonde/Wasser

Fabrikat: Stiebel-Eltron WPWE 14

Betriebsart: monovalent

Heizleistung: 14 kW (B0/W35)

El. Leistungsaufnahme der  
Elektrozusatzheizung: 6 kW**Heizungssystem:**

Fußbodenheizung (36/31)

Pufferspeicher mit 700 l

Wärmezähler installiert

**Warmwasserbereitung:**

Elektrowarmwasserspeicher

**Verbrauchsdaten/Kennwerte:**

Jahresstromverbräuche:

- Raumheizung: ca. 7024 kWh/a
- Trinkwassererwärmung: ca. 805 kWh/a
- gesamt inkl. Hilfsenergie: ca. 7.829 kWh/a

Jahresstromkosten 2001: ca. 792 €  
(ohne Haushaltsstrom)

Jahresarbeitszahl gemessen (siehe Anhang A7) :

- WP (ohne Hilfsenergie)  $\beta_A = 4,2$  (Raumheizung)

Anlagenaufwandzahl:

nicht bekannt, da kein EnEV-Nachweis vorliegt.

**Anhang A2/1 – Arbeitshilfen Energiebilanz nach EnEV**

**Anlagenbewertung nach DIN V 4701 Teil 10**

für ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen

Bezeichnung des Gebäudes oder des Gebäudeteils: Wohnhaus-Neubau

Ort: Freiburg Straße u. Hausnummer:

Beschreibung: **Referenzanlage mit Wärmequelle Erdreich, Fußbodenheizung und WW-Vorwärmung auf 35°C mit der Wärmepumpe**

**I. Eingaben**

$A_N = 180,0 \text{ m}^2$

$t_{HP} = 185 \text{ Tage}$

**TRINKWASSER-ERWÄRMUNG**

**HEIZUNG**

**LÜFTUNG**

absoluter Bedarf  $Q_{TW} = 2.250 \text{ kWh/a}$

$Q_h = 9.000 \text{ kWh/a}$

bezogener Bedarf  $q_{TW} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_h = 50,00 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

**II. Systembeschreibung**

Übergabe			
Verteilung	innerhalb der thermischen Hülle, ohne Zirkulation		
Speicherung	Trinkwasserspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		
Erzeugung	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
Deckungsanteil	0,70	0,30	
Erzeuger	Vorwärmung mit SW-WP	Elektro-nachheizung	

Fußbodenheizung 35/28°C		
horizontale Verteilung innerhalb der thermischen Hülle, Strangleitungen innerhalb		
Pufferspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		
Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
0,95	0,05	
SW-Wärmepumpe	Elektro-nachheizung	

Erzeuger WÜT	Erzeuger L/L-WP	Erzeuger Heizregister

**III. Ergebnisse**

Deckung von  $Q_h$   $q_{h,TW} = 2,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,H} = 47,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,L} = 0,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$\Sigma \text{ WÄRME } Q_{TW,E} = 1.488 \text{ kWh/a}$   
 $\Sigma \text{ HILFS-ENERGIE } = 38 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,E} = 2.401 \text{ kWh/a}$   
 $704 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,E} = 0 \text{ kWh/a}$   
 $0 \text{ kWh/a}$

$\Sigma \text{ PRIMÄR-ENERGIE } Q_{TW,P} = 4.579 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,P} = 9.316 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,P} = 0 \text{ kWh/a}$

**ENDENERGIE**  $Q_E = 3889,16 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ WÄRME}$   
 $742,30 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ HILFSENERGIE}$

**PRIMÄRENERGIE**  $Q_P = 13894,36 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ PRIMÄRENERGIE}$

**ANLAGEN-AUFWANDSZAHL**  $e_P = 1,24 \text{ [-]}$

	Arbeitszahl
$\beta_A$	4,41
$\beta_B$	2,43

Anhang A2/1a – Arbeitshilfen Energiebilanz nach EnEV

**TRINKWASSERERWÄRMUNG**

<b>Bereich:</b>	<b>1</b>
<b>TW-Strang:</b>	<b>1</b>

WÄRME (WE)		Rechenvorschrift / Quelle	Dimension			
$q_{tw}$		aus EnEV	[kWh/m <sup>2</sup> a]		12,50	
$q_{TW,ce}$		Tabelle C.1.1	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,00	
$q_{TW,d}$		Tabellen C.1.2a bzw. C.1.2c	[kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>+</b>	3,80	
$q_{TW,s}$		Tabelle C.1.3a	[kWh/m <sup>2</sup> a]		1,90	
$\Sigma$		$(q_w + q_{TW,ce} + q_{TW,d} + q_{TW,s})$	[kWh/m <sup>2</sup> a]		18,20	
				Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
				1	2	3
$\alpha_{TW,g}$		Tabelle C.1.4a	[--]	0,70	0,30	0,00
$e_{TW,g}$		Tabelle C.1.4b,c,d,e oder f	[--]	0,22	1,00	
				↓	↓	↓
$q_{TW,E}$		$\Sigma q_{TW} \times (e_{TW,g,j} \times \alpha_{TW,g,j})$	[kWh/m <sup>2</sup> a]	2,8	5,5	0,0
$f_{P,i}$		Tabelle C.4.1	[--]	3,0	3,0	
$q_{TW,P}$		$\Sigma q_{TW,E,j} \times f_{P,j}$	[kWh/m <sup>2</sup> a]	8,4	16,4	0,0

HILFSENERGIE (HE)		Rechenvorschrift / Quelle	Dimension			
$q_{TW,ce,HE}$		Tabelle C.1.1	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,00	
$q_{TW,d,HE}$		Tabelle C.1.2b	[kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>+</b>	0,00	
$q_{TW,s,HE}$		Tabelle C.1.3b	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,00	
				Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
				1	2	3
$\alpha_{TW,g}$		Tabelle C.1.4a	[--]	0,70	0,30	0,00
$q_{TW,g,HE}$		Tabelle C.1.4b,c,d,e oder f	[--]	0,30	0,00	
			[kWh/m <sup>2</sup> a]	0,21	0,00	0,00
				↓	↓	↓
$\Sigma q_{TW,HE,E}$		$(q_{TW,ce,HE} + q_{TW,d,HE} + q_{TW,s,HE} + \Sigma q_{g,HE})$	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,21	
$f_P$		Tabelle C.4.1	[--]		3,0	
$q_{TW,HE,P}$		$\Sigma q_{TW,HE,E} \times f_P$	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,6	

$Q_{TW,E}$	$\Sigma q_{TW,E} \times A_N$	WÄRME	1.488 kWh/a	<b>ENDENERGIE</b>
	$\Sigma q_{TW,HE,E} \times A_N$	HILFSENERGIE	38 kWh/a	
$Q_{TW,P}$	$(\Sigma q_{TW,P} + \Sigma q_{TW,HE,P}) \times A_N$		4.579 kWh/a	<b>PRIMÄRENERGIE</b>

$Q_{tw} =$	2.250 [kWh/a]	$q_w \times A_w$
$A_N =$	180,0 [m <sup>2</sup> ]	aus DIN V 4108-6
$q_{tw} =$	12,5 [kWh/m <sup>2</sup> a]	aus EnEV

**Heizwärmegutschriften**

$q_{h,TW,d}$	1,70 [kWh/m <sup>2</sup> a]	Tabelle C.1.2a
$q_{h,TW,s}$	0,90 [kWh/m <sup>2</sup> a]	Tabelle C.1.3a
$q_{h,TW}$	2,60 [kWh/m <sup>2</sup> a]	$\Sigma q_{h,TW,d} + q_{h,TW,s}$

<b>8,3 kWh/m<sup>2</sup>a</b>	Endenergie
-------------------------------	------------

<b>24,8 kWh/m<sup>2</sup>a</b>	Primärenergie
--------------------------------	---------------

<b>0,2 kWh/m<sup>2</sup>a</b>	Endenergie
-------------------------------	------------

<b>0,6 kWh/m<sup>2</sup>a</b>	Primärenergie
-------------------------------	---------------



Anhang A2/1b – Arbeitshilfen Energiebilanz nach EnEV

**HEIZUNG**

<b>Bereich:</b>	<b>1</b>
<b>Heiz-Strang:</b>	<b>1</b>

$Q_h =$	9.000 [kWh/a]	nach Abschnitt 4.1
$A_N =$	180,0 [m <sup>2</sup> ]	aus DIN V 4108-6
$q_h =$	50,0 [kWh/m <sup>2</sup> a]	

**WÄRME (WE)**

	Rechenvorschrift / Quelle	Dimension			
$q_h$	nach Abschnitt 4.1	[kWh/m <sup>2</sup> a]		50,00	
$q_{h,TW}$	aus Berechnungsblatt Trinkwassererwärmung	[kWh/m <sup>2</sup> a]		2,60	
$q_{h,L}$	aus Berechnungsblatt Lüftung	[kWh/m <sup>2</sup> a]	-	0,00	
$q_{H,ce}$	Tabelle C.3.1	[kWh/m <sup>2</sup> a]		3,30	
$q_{H,d}$	Tabellen C.3.2a, b oder d	[kWh/m <sup>2</sup> a]	+	0,60	
$q_{H,s}$	Tabelle C.3.3	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,10	
$\Sigma$	$(q_h - q_{h,TW} - q_{h,L} + q_{ce} + q_d + q_s)$	[kWh/m <sup>2</sup> a]		51,40	
			Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
			1	2	3
$\alpha_{H,g}$	Tabelle C.3.4a	[--]	0,95	0,05	0,00
$e_{H,g}$	Tabelle C.3.4b,c,d oder e	[--]	0,22	1,00	
			↓	↓	↓
$q_{H,E}$	$\Sigma q \times (e_{g,j} \times \alpha_{g,j})$	[kWh/m <sup>2</sup> a]	10,8	2,6	0,0
$f_{p,j}$	Tabelle C.4.1	[--]	3,0	3,0	
$q_{H,P}$	$\Sigma q_{E,j} \times f_{p,j}$	[kWh/m <sup>2</sup> a]	32,3	7,7	0,0

Die Aufwandszahl der Sole/Wasser-Wärmepumpe wurde nach VDI 4650-1 berechnet für COP bei B0W35 = 4,6 bei  $\Delta t_b=7K$  und  $\Delta t_m=9,5 K$

<b>13,3 kWh/m<sup>2</sup>a Endenergie</b>
---

<b>40,0 kWh/m<sup>2</sup>a Primärenergie</b>
--

**HILFSENERGIE (HE)**

	Rechenvorschrift / Quelle	Dimension			
$q_{H,ce,HE}$	Tabelle C.3.1	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,00	
$q_{H,d,HE}$	Tabelle C.3.2c	[kWh/m <sup>2</sup> a]	+	2,09	
$q_{H,s,HE}$	Tabelle C.3.3	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0,75	
			Erzeuger	Erzeuger	Erzeuger
			1	2	3
$\alpha_{H,g}$	Tabelle C.3.4a	[--]	0,95	0,05	0,00
$q_{H,g,HE}$	Tabelle C.3.4b-e	[--]	1,13	0,00	
$\alpha \times q_{g,HE}$		[kWh/m <sup>2</sup> a]	1,07	0,00	0,00
			↓	↓	↓
$\Sigma q_{H,HE,E}$	$(q_{ce,HE} + q_{d,HE} + q_{s,HE} + \Sigma \alpha q_{g,HE})$	[kWh/m <sup>2</sup> a]		3,91	
$f_p$	Tabelle C.4.1	[--]		3,0	
$q_{H,HE,P}$	$\Sigma q_{E,E} \times f_p$	[kWh/m <sup>2</sup> a]		11,7	

<b>3,9 kWh/m<sup>2</sup>a Endenergie</b>
--

<b>11,7 kWh/m<sup>2</sup>a Primärenergie</b>
--

$Q_{H,E} = \Sigma q_E \times A_N$   
 $\Sigma q_{E,E} \times A_N$

WÄRME	<b>2.401 kWh/a</b>
HILFS-ENERGIE	<b>704 kWh/a</b>

**ENDENERGIE**

$Q_{H,P} = (\Sigma Q_p + \Sigma q_{E,P}) \times A_N$

<b>9.316 kWh/a</b>
--------------------

**PRIMÄRENERGIE**



Anlagenbewertung nach DIN V 4701 Teil 10

für ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen

Bezeichnung des Gebäudes oder des Gebäudeteils: Wohnhaus-Neubau

Ort: Freiburg Straße u. Hausnummer:

Beschreibung: Variante 1 mit Wärmequelle Luft, Fußbodenheizung und WW-Vorwärmung auf 35°C mit der Wärmepumpe

I. Eingaben

$A_N = 180,0 \text{ m}^2$

$t_{HP} = 185 \text{ Tage}$

TRINKWASSER-ERWÄRMUNG

HEIZUNG

LÜFTUNG

absoluter Bedarf  $Q_{TW} = 2.250 \text{ kWh/a}$

$Q_h = 9.000 \text{ kWh/a}$

bezogener Bedarf  $q_{TW} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_h = 50,00 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

II. Systembeschreibung

Übergabe			
Verteilung	innerhalb der thermischen Hülle, ohne Zirkulation		
Speicherung	Trinkwasserspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		
Erzeugung	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
Deckungsanteil	0,70	0,30	
Erzeuger	Vorwärmung mit LW-WP	Elektro-nachheizung	

Fußbodenheizung 35/28°C		
horizontale Verteilung innerhalb der thermischen Hülle, Strangleitungen innerhalb		
Pufferspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		
Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
0,95	0,05	
LW-Wärmepumpe	Elektro-nachheizung	

Erzeuger WÜT	Erzeuger L/L-WP	Erzeuger Heizregister

III. Ergebnisse

Deckung von  $Q_h$   $q_{h,TW} = 2,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,H} = 47,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,L} = 0,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$\Sigma \text{ WÄRME } Q_{TW,E} = 1.643 \text{ kWh/a}$   
 $\Sigma \text{ HILFS-ENERGIE } = 0 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,E} = 2.992 \text{ kWh/a}$   
 $511 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,E} = 0 \text{ kWh/a}$   
 $0 \text{ kWh/a}$

$\Sigma \text{ PRIMÄR-ENERGIE } Q_{TW,P} = 4.928 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,P} = 10.509 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,P} = 0 \text{ kWh/a}$

ENDENERGIE  $Q_E = 4.634,36 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ WÄRME}$   
 $511,20 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ HILFSENERGIE}$

PRIMÄRENERGIE  $Q_P = 15.436,69 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ PRIMÄRENERGIE}$

ANLAGEN-AUFWANDSZAHL  $e_P = 1,37 \text{ [-]}$

	Arbeitszahl
$\beta_A$	3,38
$\beta_B$	2,19

# Anhang A2/3 – Arbeitshilfen Energiebilanz nach EnEV

## Anlagenbewertung nach DIN V 4701 Teil 10

für ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen

Bezeichnung des Gebäudes oder des Gebäudeteils: Wohnhaus-Neubau

Ort: Freiburg Straße u. Hausnummer:

Beschreibung: Variante 2 mit Wärmequelle Erdreich, Radiatorenheizung (55/45°C) und WW-Vorwärmung auf 35°C mit der Wärmepumpe

### I. Eingaben

$$A_N = 180,0 \text{ m}^2$$

$$t_{HP} = 185 \text{ Tage}$$

#### TRINKWASSER- ERWÄRMUNG

$$\text{absoluter Bedarf } Q_{TW} = 2.250 \text{ kWh/a}$$

$$\text{bezogener Bedarf } q_{TW} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

#### HEIZUNG

$$Q_h = 9.000 \text{ kWh/a}$$

$$q_h = 50,00 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

#### LÜFTUNG

### II. Systembeschreibung

Übergabe	
Verteilung	innerhalb der thermischen Hülle, ohne Zirkulation
Speicherung	Trinkwasserspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle

Fußbodenheizung 35/28°C		
horizontale Verteilung innerhalb der thermischen Hülle, Strangleitungen innerhalb		
Pufferspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		


Erzeugung	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
Deckungsanteil	0,70	0,30	
Erzeuger	Vorwärmung mit SW-WP	Elektro-nachheizung	

Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
0,95	0,05	
SW-Wärmepumpe	Elektro-nachheizung	

Erzeuger WÜT	Erzeuger L/L-WP	Erzeuger Heizregister

### III. Ergebnisse

$$\text{Deckung von } Q_h \quad q_{h,TW} = 2,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$q_{h,H} = 47,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$q_{h,L} = 0,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$\Sigma$ WÄRME	$Q_{TW,E} = 1.488 \text{ kWh/a}$
$\Sigma$ HILFS-ENERGIE	$37 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,E} = 2.856 \text{ kWh/a}$
$540 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,E} = 0 \text{ kWh/a}$
$0 \text{ kWh/a}$

$$\Sigma \text{ PRIMÄR-ENERGIE } \quad Q_{TW,P} = 4.578 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{H,P} = 10.187 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{L,P} = 0 \text{ kWh/a}$$

#### ENDENERGIE

$$Q_E = 4.344 \text{ kWh/a}$$

$$577,46 \text{ kWh/a}$$

$\Sigma$  WÄRME

$\Sigma$  HILFSENERGIE

#### PRIMÄRENERGIE

$$Q_P = 14.764,71 \text{ kWh/a}$$

$\Sigma$  PRIMÄRENERGIE

#### ANLAGEN-AUFWANDSZAHL

$$e_P = 1,31 \text{ [-]}$$

	Arbeitszahl
$\beta_A$	3,60
$\beta_B$	2,29

Anlagenbewertung nach DIN V 4701 Teil 10

für ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen

Bezeichnung des Gebäudes oder des Gebäudeteils: Wohnhaus-Neubau

Ort: Freiburg Straße u. Hausnummer:

Beschreibung: Variante 3 mit Wärmequelle Erdreich, Fußbodenheizung und separater elektrischer Trinkwassererwärmung

I. Eingaben

$A_N = 180,0 \text{ m}^2$

$t_{HP} = 185 \text{ Tage}$

TRINKWASSER-ERWÄRMUNG

HEIZUNG

LÜFTUNG

absoluter Bedarf  $Q_{tw} = 2.250 \text{ kWh/a}$

$Q_h = 9.000 \text{ kWh/a}$

bezogener Bedarf  $q_{tw} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_h = 50,00 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

II. Systembeschreibung

Übergabe	
Verteilung	innerhalb der thermischen Hülle, ohne Zirkulation
Speicherung	Trinkwasserspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle

Fußbodenheizung 35/28°C		
horizontale Verteilung innerhalb der thermischen Hülle, Strangleitungen innerhalb		
Pufferspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		


Erzeugung	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
Deckungsanteil	1,00		
Erzeuger	Erwärmung in sep. Speicher		

Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
0,95	0,05	
SW-Wärmepumpe	Elektro-nachheizung	

Erzeuger WÜT	Erzeuger L/L-WP	Erzeuger Heizregister

III. Ergebnisse

Deckung von  $Q_h$   $q_{h,TW} = 2,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,H} = 47,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,L} = 0,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$\Sigma \text{ WÄRME } Q_{TW,E} = 3.276 \text{ kWh/a}$   
 $\Sigma \text{ HILFS-ENERGIE } = 0 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,E} = 2.401 \text{ kWh/a}$   
 $704 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,E} = 0 \text{ kWh/a}$   
 $0 \text{ kWh/a}$

$\Sigma \text{ PRIMÄR-ENERGIE } Q_{TW,P} = 9.828 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,P} = 9.316 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,P} = 0 \text{ kWh/a}$

ENDENERGIE

$Q_E = 5.676,70 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ WÄRME}$   
 $704,50 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ HILFSENERGIE}$

PRIMÄRENERGIE

$Q_P = 19.143,58 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ PRIMÄRENERGIE}$

ANLAGEN-AUFWANDSZAHL

$e_P = 1,70 \text{ [-]}$

	Arbeitszahl
$\beta_A$	4,41
$\beta_B$	1,76

# Anhang A2/5 – Arbeitshilfen Energiebilanz nach EnEV

## Anlagenbewertung nach DIN V 4701 Teil 10

für ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen

Bezeichnung des Gebäudes oder des Gebäudeteils: Wohnhaus-Neubau

Ort: Freiburg Straße u. Hausnummer:

Beschreibung: Variante 4 mit Wärmequelle Erdreich, Fußbodenheizung und WW-Vorwärmung mit Solaranlage, Nachheizung über Elektroheizstab

### I. Eingaben

$$A_N = 180,0 \text{ m}^2$$

$$t_{HP} = 185 \text{ Tage}$$

#### TRINKWASSER-ERWÄRMUNG

$$\text{absoluter Bedarf } Q_{tw} = 2.250 \text{ kWh/a}$$

$$\text{bezogener Bedarf } q_{tw} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

#### HEIZUNG

$$Q_h = 9.000 \text{ kWh/a}$$

$$q_h = 50,00 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

#### LÜFTUNG

### II. Systembeschreibung

Übergabe		Fußbodenheizung 35/28°C				
Verteilung	innerhalb der thermischen Hülle, ohne Zirkulation	horizontale Verteilung innerhalb der thermischen Hülle, Strangleitungen innerhalb				
Speicherung	Trinkwasserspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle	Pufferspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle				
Erzeugung	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3	Erzeuger WÜT	Erzeuger L/L-WP	Erzeuger Heizregister
Deckungsanteil	0,62	0,38		0,95	0,05	
Erzeuger	Vorwärmung mit Solaranlage	Elektro-nachheizung		SW-Wärmepumpe	Elektro-nachheizung	

### III. Ergebnisse

$$\text{Deckung von } Q_h \quad q_{h,TW} = 2,6 \text{ kWh/m}^2\text{a} \quad q_{h,H} = 47,4 \text{ kWh/m}^2\text{a} \quad q_{h,L} = 0,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$\begin{array}{l} \Sigma \text{ WÄRME} \\ \Sigma \text{ HILFS-ENERGIE} \end{array} \quad Q_{TW,E} = \begin{array}{l} 1.252 \text{ kWh/a} \\ 112 \text{ kWh/a} \end{array} \quad Q_{H,E} = \begin{array}{l} 2.401 \text{ kWh/a} \\ 704 \text{ kWh/a} \end{array} \quad Q_{L,E} = \begin{array}{l} 0 \text{ kWh/a} \\ 0 \text{ kWh/a} \end{array}$$

$$\Sigma \text{ PRIMÄR-ENERGIE} \quad Q_{TW,P} = 4.090 \text{ kWh/a} \quad Q_{H,P} = 9.316 \text{ kWh/a} \quad Q_{L,P} = 0 \text{ kWh/a}$$

$$\text{ENDENERGIE} \quad Q_E = \begin{array}{l} 3.652,42 \text{ kWh/a} \\ 816,10 \text{ kWh/a} \end{array} \quad \begin{array}{l} \Sigma \text{ WÄRME} \\ \Sigma \text{ HILFSENERGIE} \end{array}$$

$$\text{PRIMÄRENERGIE} \quad Q_P = 13.405,54 \text{ kWh/a} \quad \Sigma \text{ PRIMÄRENERGIE}$$

$$\text{ANLAGEN-AUFWANDSZAHL} \quad e_P = 1,19 \text{ [-]}$$

	Arbeitszahl
$\beta_A$	4,41
$\beta_B$	2,52

Anlagenbewertung nach DIN V 4701 Teil 10

für ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen

Bezeichnung des Gebäudes oder des Gebäudeteils: Wohnhaus-Neubau

Ort: Freiburg Straße u. Hausnummer:

Beschreibung: Variante 5 mit Wärmequelle Erdreich, Fußbodenheizung und WW-Vorwärmung auf 35°C mit der Wärmepumpe aber mit COP 4,0

I. Eingaben

$A_N = 180,0 \text{ m}^2$

$t_{HP} = 185 \text{ Tage}$

TRINKWASSER-ERWÄRMUNG

HEIZUNG

LÜFTUNG

absoluter Bedarf  $Q_{TW} = 2.250 \text{ kWh/a}$

$Q_h = 9.000 \text{ kWh/a}$

bezogener Bedarf  $q_{TW} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_h = 50,00 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

II. Systembeschreibung

Übergabe			
Verteilung	innerhalb der thermischen Hülle, ohne Zirkulation		
Speicherung	Trinkwasserspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		
Erzeugung	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
Deckungsanteil	0,70	0,30	
Erzeuger	Vorwärmung mit SW-WP	Elektro-nachheizung	

Fußbodenheizung 35/28°C		
horizontale Verteilung innerhalb der thermischen Hülle, Strangleitungen innerhalb		
Pufferspeicher mit 300 Liter innerhalb der thermischen Hülle		
Erzeuger 1	Erzeuger 2	Erzeuger 3
0,95	0,05	
SW-Wärmepumpe	Elektro-nachheizung	

Erzeuger WÜT	Erzeuger L/L-WP	Erzeuger Heizregister

III. Ergebnisse

Deckung von  $Q_h$   $q_{h,TW} = 2,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,H} = 47,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$q_{h,L} = 0,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

$\Sigma \text{ WÄRME } Q_{TW,E} = 1.564 \text{ kWh/a}$   
 $\Sigma \text{ HILFS-ENERGIE } 38 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,E} = 2.691 \text{ kWh/a}$   
 $704 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,E} = 0 \text{ kWh/a}$   
 $0 \text{ kWh/a}$

$\Sigma \text{ PRIMÄR-ENERGIE } Q_{TW,P} = 4.806 \text{ kWh/a}$

$Q_{H,P} = 10.188 \text{ kWh/a}$

$Q_{L,P} = 0 \text{ kWh/a}$

ENDENERGIE  $Q_E = 4.255,72 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ WÄRME}$   
 $742,30 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ HILFSENERGIE}$

PRIMÄRENERGIE  $Q_P = 14.994,05 \text{ kWh/a}$   $\Sigma \text{ PRIMÄRENERGIE}$

ANLAGEN-AUFWANDSZAHL  $e_P = 1,33 \text{ [-]}$

	Arbeitszahl
$\beta_A$	3,84
$\beta_C$	2,25

## Anhang A3 – Arbeitshilfen Wirtschaftlichkeitsanalyse

### Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen

Blatt 1/2

anhand des Beispiels aus Kapitel 6 (Tabelle 4 und 5)

Eingangsdaten (alle Kosten und Preise inkl. Mehrwertsteuer, Preis- und Kostenstand 10/2002)			
Gebäudetyp	EFH	Energiebezugsfläche in m <sup>2</sup> :	180
Standort:	Freiburg	Gebäudeheizlast in kW:	5
Wetterdatenstandort:	TRY 7	Personenbelegung:	4
Betrachtungszeitraum:	20	Energiepreise:	-
Kalkulationszinssatz in %:	5	Gaspreis bezogen auf den Heizwert in €/kWh:	0,046
Teuerungsrate Energie in %:	0	Gasgrundpreis in €/a:	142
Teuerungsrate Sonstiges in %:	0		-
Annuitätsfaktor:	0,080	Heizölpreis bezogen auf den Heizwert in €/kWh:	0,036
Mittelwertfaktor Energie:	1,000		-
Mittelwertfaktor Sonstiges:	1,000	Strompreis für Wärmepumpe in €/kWh: <sup>1)</sup>	0,095
Mehrwertsteuersatz in %:	16	Stromgrundpreis für Wärmepumpe in €/a:	30
	-	Mischpreis für Haushaltsstrom in €/kWh:	0,14
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren: <sup>2)</sup>	-	Primärenergiefaktoren: <sup>3)</sup>	-
Heizöl EL in kg/kWh (Endenergie)	0,318	Heizöl EL in kWh/kWh (Endenergie)	1,10
Erdgas in kg/kWh (Endenergie)	0,254	Erdgas in kWh/kWh (Endenergie)	1,10
Strom in kg/kWh (Endenergie)	0,683	Strom in kWh/kWh (Endenergie)	3,00

A Energieanalyse - Ergebnisse aus DIN V 4701-10						
lfd.Nr.	Bezeichnung	Einheit	Referenz Erdsonden- Wärmepumpe Fußbodenheiz. WW-Vorwärm.	VarianteA Außenluft- Wärmepumpe Fußbodenheiz. WW-Vorwärm.	VarianteB Gasbrennwert- kessel Radiatorenheiz. einschl. WW	VarianteC NT-Ölkessel Radiatorenheiz. einschl. WW
A 1	Daten Raumheizung (RH)					
A 1.1	Heizwärmebedarf	kWh/a	9.000	9.000	9.000	9.000
A 1.2	Wärmeverluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe	kWh/a	252	252	234	234
A 1.3	Deckungsgrad der Wärmepumpe bzw. des Wärmeerzeugers Nr.1	-	0,95	0,95	1,00	1,00
A 1.4	Jahresaufwandszahl des Wärmeerzeugers Nr.1 nach VDI 4650-1 (WP) bzw. EnEV (Heizkessel)	-	0,22	0,29	1,01	1,08
A 1.5	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	704	511	443	443
A 2	Daten Warmwasserbereitung (WW)					
A 2.1	Wärmebedarf	kWh/a	2.250	2.250	2.250	2.250
A 2.2	Wärmeverluste für Speicherung, Verteilung, Übergabe	kWh/a	1.026	1.026	1.026	1.026
A 2.3	Deckungsgrad der Wärmepumpe bzw. des Wärmeerzeugers Nr.1	-	0,70	0,70	1,00	1,00
A 2.4	Aufwandszahl des Wärmeerzeugers Nr.1 nach DIN V 4701-10	-	0,22	0,29	1,14	1,18
A 2.5	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	38	0	50	50
A 3	Daten Heizungsanlage (RH + WW)					
A 3.1	Nutzwärmebedarf	kWh/a	11.250	11.250	11.250	11.250
A 3.2	Hilfsenergiebedarf	kWh/a	742	511	493	493
A 3.3	Endenergiebedarf (Strom bzw. Gas bzw. Öl) ohne Hilfsenergie	kWh/a	3.889	4.634	13.061	13.838
A 3.4	Haushaltsstrombedarf (Hilfsenergie + Elektrozusatzheizung)	kWh/a	0	0	493	493
A 3.5	Primärenergiebedarf	kWh/a	13.894	15.437	15.847	16.702
A 3.6	Endenergiebedarf (Strom bzw. Gas bzw. Öl) gesamt	kWh/a	4.631	5.146	13.554	14.332
A 3.7	Anlagenaufwandszahl ep	-	1,24	1,37	1,41	1,48
A 3.8	CO <sub>2</sub> -Emissionen	kg/a	3.163	3.514	3.654	4.737

<sup>1)</sup> inkl. Stromsteuer    <sup>2)</sup> aus GEMIS 4.13    <sup>3)</sup> nach DIN V 4701-10



## Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen

Blatt 2/2

anhand des Beispiels aus Kapitel 6 (ohne Förderung)

<b>B Wirtschaftlichkeitsanalyse nach [VDI 2067]</b>							
lfd.Nr.	Bezeichnung	Einheit		Referenz Erdsonden- Wärmepumpe Fußbodenheiz. WW-Vorwärm.	VarianteA Außenluft- Wärmepumpe Fußbodenheiz. WW-Vorwärm.	VarianteB Gasbrennwert- kessel Radiatorenheiz. einschl. WW	VarianteC NT-Ölkessel Radiatorenheiz. einschl. WW
B1	Investitionen		Instandhaltungssatz				
B1.1	Wärmeerzeugung <sup>1)</sup>	€	2,0%	8.300	8.700	4.800	3.500
B1.2	WW-Bereitung	€	2,0%	1.800	1.800	1.500	1.500
B1.3	Wärmeverteilung	€	1,0%	5.500	5.500	4.500	4.500
B1.4	Elektr. + hydr. Anschl.	€	1,0%	2.600	3.000	1.300	1.300
B1.5	Wärmequellenanlage	€	1,0%	7.500	1.800	0	0
B1.6	Heizraum + evtl. Öllager	€	0,0%	0	0	0	1.300
B1.7	Schornstein	€	0,0%	0	0	1.500	1.500
B1.8	Tankanlage	€	1,0%	0	0	0	1.200
B1.9	Planung <sup>2)</sup>	€	0,0%	0	0	0	0
B1.10	Fördermittel	€	0,0%	0	0	0	0
B1.11	Gesamtsumme (B1)	€	-	25.700	20.800	13.600	14.800
B2	Kapitalgebundene Kosten pro Jahr einschließlich Instandhaltung						
			Nutzungsdauer in a				
B2.1	Wärmeerzeugung <sup>1)</sup>	€/a	20	832	872	481	351
B2.2	WW-Bereitung	€/a	20	180	180	150	150
B2.3	Wärmeverteilung	€/a	20	496	496	406	406
B2.4	Elektr. + hydr. Anschl.	€/a	20	235	271	117	117
B2.5	Wärmequellenanlage	€/a	20	677	162	0	0
B2.6	Heizraum + evtl. Öllager	€/a	50	0	0	0	45
B2.7	Schornstein	€/a	50	0	0	52	52
B2.8	Tankanlage	€/a	20	0	0	0	108
B2.9	Planung <sup>2)</sup>	€/a	20	0	0	0	0
B2.10	Fördermittel	€/a	20	0	0	0	0
B2.11	Gesamtsumme (B2)	€/a	-	2.420	1.982	1.207	1.229
B3	Verbrauchsgebundene Kosten (Energiebezug)						
B3.1	Arbeit	€/a	-	440	489	539	700
B3.2	Grundkosten	€/a	-	30	30	142	0
B3.3	Gesamtsumme (B3)	€/a	-	470	519	681	700
B4	Betriebsgebundene Kosten						
B4.1	Wartung	€/a	-	65	65	130	130
B4.2	Schornsteinfegermeister	€/a	-	0	0	20	50
B4.3	Gesamtsumme (B4)	€/a	-	65	65	150	180
B5	Zusammenfassung						
B5.1	<b>Gesamtkosten in 20 Jahren</b>	€	-	<b>59.102</b>	<b>51.315</b>	<b>40.747</b>	<b>42.180</b>
B5.2	<b>Mittlere Gesamtkosten pro Jahr</b>	€/a	-	<b>2.955</b>	<b>2.566</b>	<b>2.037</b>	<b>2.109</b>
B5.3	<b>mittl. flächenbez. Gesamtkosten pro J.</b>	€/m <sup>2</sup> a	-	<b>16,4</b>	<b>14,3</b>	<b>11,3</b>	<b>11,7</b>
B5.4	<b>wie B. 5.3 jedoch o. kapitalgeb. Kosten</b>	€/m <sup>2</sup> a	-	<b>3,0</b>	<b>3,2</b>	<b>4,6</b>	<b>4,9</b>
B5.5	<b>Mittlerer Vollkosten- Wärmepreis <sup>3)</sup></b>	cent/kWh	-	<b>26,3</b>	<b>22,8</b>	<b>18,1</b>	<b>18,7</b>

<sup>1)</sup> Einschließlich allem Zubehör (z.B. Regelung, Speicher, Brenner, Gas-, Öl-Stromanschlüsse)

<sup>2)</sup> Planungskosten werden nicht berücksichtigt, da sehr unterschiedlich. Honorar kann prinzipiell nach HOAI berechnet werden. Kommt bei kleineren Anlagen selten zur Anwendung.

<sup>3)</sup> Mittlerer Vollkosten-Wärmepreis ist auf den Nutzwärmebedarf von 11.250 kWh/a (für Raumheizung und Trinkwassererwärmung) bezogen.

## Anforderungskriterien für das internationale Wärmepumpen Gütesiegel Geprüfte Qualität

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Seriengerät gemäß Anforderungen des Prüfcentrums</li> <li>➤ Gemessene Leistungen nach EN 255</li> <li>➤ Minimaler, gemessener COP (Leistungszahl) für :             <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Luft-Wasser : 3,0 bei A2 / W35</li> <li>▶ Sole-Wasser : 4,0 bei B0 / W35</li> <li>▶ Wasser-Wasser : 4,5 bei W10 / W35</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elektrische Sicherheitsprüfung gemäß EG-Konformitätserklärung (CE-Zeichen)</li> <li>➤ Gemessene Schallemissionen</li> <li>➤ Einhaltung der EVU-Anschlussbedingungen</li> <li>➤ Mindestanforderungen bei Planungsunterlagen</li> <li>➤ Vollständige Einbau- und Bedienungsanleitung</li> <li>➤ Flächendeckendes Kundendienstnetz</li> <li>➤ 2 jährige Vollgarantie / 10-jährige Ersatzteilverhaltung</li> </ul> |
|--|---|

## Internationales Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen

**Mit dem Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen soll ein hohes Qualitätsniveau bei der Erstellung und Nutzung von Erdwärmesondenanlagen erreicht und auch für die Zukunft gewährleistet werden.**

Bohrfirmen, welche Träger des Gütesiegels sind, garantieren:

- einen hohen Kundennutzen und optimale Beratung der Bauherrschaft
- eine umweltschonende Erstellung der Anlage
- dass die Bohrungen nach dem neuesten Stand der Technik abgeteuft werden
- den Einsatz von technisch hochwertigem Sondenmaterial
- eine größtmögliche Sicherheit auf der Baustelle

## Anhang A5 – Übersicht Kältemittel

Früher standen die technischen Eigenschaften bei der Wahl eines Kältemittels im Vordergrund, dies hat sich jedoch mit der Zeit geändert als das ozonabbauende Potential dieser Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und ihr Einfluss auf die Erwärmung der Atmosphäre (Treibhauseffekt) erkannt wurde. Dadurch hat sich der Einsatz von verschiedenen Kältemitteln gewandelt.

### Bewertung von Kältemitteln:

➤ ODP-Wert (Ozone Depletion Potential)

Bewertung der ozonschädigenden Wirkung eines Kältemittels (Referenz : R11 mit ODP-Wert von 1).

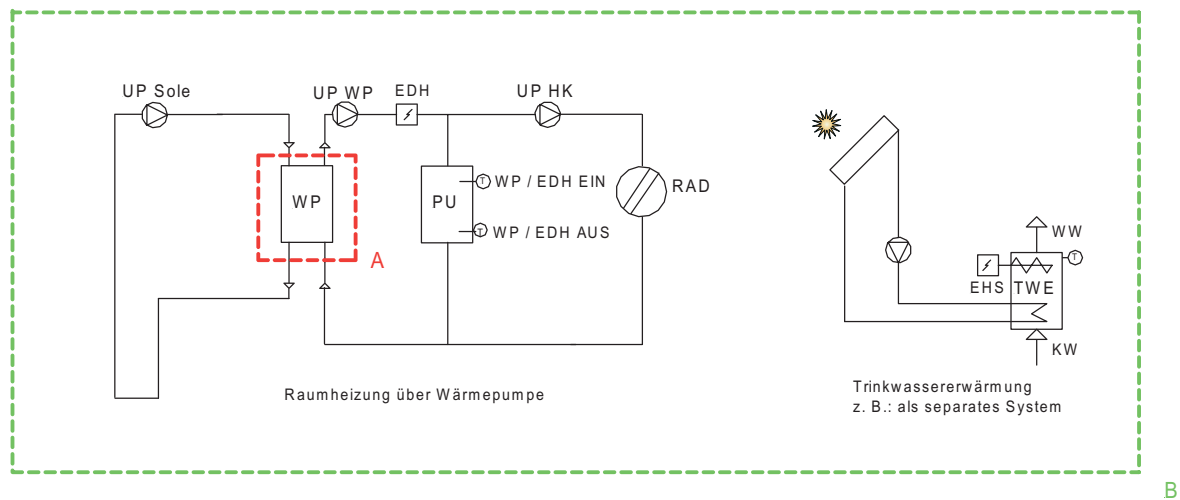
➤ GWP-Wert (Global Warming Potential)

Treibhauspotential bezogen auf CO<sub>2</sub> in einem Zeitraum von 100 Jahren.

Frühere Kältemittel				Heutige Kältemittel			
Bezeichnung	ODP	GWP	Bemerkung	Bezeichnung	ODP	GWP	Bemerkung
R11	1	4000	Verbot in Neuanlagen	R134a	0	1300	Ersatz für R22 und R12
R12	1	8500	Verbot in Neuanlagen	R407C	0	1526	Ersatz für R22 und R502
R502	0,33	5591	Verbot in Neuanlagen	R290 (Propan)	0	3	Ersatz für R22 und R502
R22	0,055	1700	Verbot in Neuanlagen	R717 (Ammoniak)	0	0	Umweltneutral, toxisch, korrosiv
				R744 (Kohlendioxid)	0	1	Umweltverträglich, hoher Druck erforderlich

Überwiegend werden heute die Kältemittel R290 und R407c eingesetzt, mit steigender Tendenz beim R407c. Wird Propan als Kältemittel verwendet, muss der Aufstellraum der Wärmepumpe ab einer Kältemittelmenge von 1 kg belüftet werden (üblicherweise mit Zusatzlüfter).

## Anhang A6 – Systemgrenzen für die Effizienzbewertung von Wärmepumpen



### Systemgrenze A Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Raumheizung ohne Hilfsenergie

$$\beta_A = \frac{\text{Wärmeabgabe am Verflüssiger [kWh/a]}}{\text{Elektrische Energie der WP [kWh/a]}}$$

Zum Vergleich: Jahresaufwandszahl  $e_{wp}$  nach VDI 4650-1, bzw.  $e_{Hg}$  nach DIN V 4701-10:

$$e_{wp} = e_{Hg} = 1/\beta_A$$

### Systemgrenze B Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenheizanlage für Raumheizung, Trinkwassererwärmung und Hilfsenergie

$$\beta_B = \frac{\text{Wärmeabgabe Verflüssiger + EDH + EHS + Solaranlage - Verluste [kWh/a]}}{\text{Elektrische Energieaufnahme WP + EDH + EHS + UPWP + UPSole [kWh/a]}}$$

Zum Vergleich: Anlagenaufwandszahl  $e_p$  nach VDI 4650-1, bzw. nach DIN V 4701-10:

$$e_p = f_p/\beta_B \quad \text{mit } f_p = \text{Primärenergiefaktor}$$

<sup>1)</sup> Verluste für Speicherung, Verteilung und Übergabe nach EnEV

#### Legende :

WP = Wärmepumpe; UP = Umwälzpumpe; EDH = Elektrodurchlauferhitzer; EHS = Elektroheizstab; HK = Heizkreis  
RAD = Radiatoren; PU = Pufferspeicher; TWE = Trinkwassererwärmung; WW = Warmwasser; KW = Kaltwasser

Die Bundesregierung Deutschland und das Land Baden-Württemberg fördern durch verbilligte Darlehen und Zuschüsse die rationelle Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energiequellen. Gefördert werden bestimmte energiesparende Investitionen durch zinsgünstige Kredite, Zulagen oder Zuschüsse. Was gefördert werden kann, ist im einzelnen den Förderrichtlinien zu entnehmen.

Ebenfalls vom Land Baden-Württemberg bzw. der Bundesregierung werden Energieberatungen und Energie-Kurzberatungen gefördert. Sowohl das RKW Baden-Württemberg (Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft e.V.), wie auch das Wirtschaftsministerium, geben hierüber Auskünfte. Das Informationszentrum Energie des Wirtschaftsministeriums hat entsprechendes Informationsmaterial über mögliche Finanzhilfen zur Energieeinsparung aufbereitet und hilft darüber hinaus in allen Fragen der rationellen Energienutzung und des Einsatzes erneuerbarer Energien. Außerdem informiert das Wirtschaftsministerium über mögliche Finanzhilfen im Rahmen der Gewerbeförderung und im Bereich des Umweltschutzes.

Weiter stehen die Berater bei den Fördereinrichtungen, Kammern, Verbänden, Energieagenturen und Energielieferanten zur Verfügung.

Nähere Informationen erhalten Sie im Internet unter  
[www.wm.baden-wuerttemberg.de](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de)  
[www.impuls-programm-altbau.de](http://www.impuls-programm-altbau.de)

## Anhang A8 – Informations- und Beratungsstellen in Baden-Württemberg (Auswahl)

Benennung	Ansprechpartner		
	Name	Telefon / Fax	E-Mail / Internet
<b>Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg</b> Informationszentrum Energie Theodor-Heuss-Str. 4, 70174 Stuttgart	Herr Höflich	0711/123 -2667 0711/123 -2377	harald.hoeflich@wm.bwl.de www.wm.baden-wuerttemberg.de
<b>Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Baden-Württemberg</b> Viehhofstr. 11, 70188 Stuttgart	Herr Knapp Herr Zahn	0711/483091  0711/46106060	info@fvshkbw.de  www.fvshkbw.de
<b>Fachverband Elektro- und Informationstechnik Baden-Württemberg</b> Voltastr. 12, 70376 Stuttgart	Herr Mayerl Herr Häusler	0711/95590666  0711/551875	info@fv-eit-bw.de  www.fv-eit--bw.de
<b>Verband der Elektrizitätswirtschaft Baden-Württemberg e.V.</b> Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Herr Dr. Schneider	0711/267089  0711/267087	info@vdew-bw.de  www.vdew-bw.de
<b>Verband der Gas- und Wasserwerke Baden-Württemberg e.V.</b> Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Frau Müller Herr Pfau	0711/2622980  0711/2624175	vgw-dvgw-bw@t-online.de  www.bgw.de
<b>Verband für Energiehandel Südwest-Mitte e.V.</b> Tullastraße 18, 68161 Mannheim	Herr Funke	0621/411095  0621/415222	info@veh-ev.de  www.veh-ev.de
<b>Großabnehmerverband Energie Baden-Württemberg e.V.</b> Breitlingstr. 35, 70184 Stuttgart	Herr Rudolf	0711/237250  711/2372599	rudolf@gav-energie.de  www.gav-energie.de
<b>Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH</b> Griesbachstr. 10, 76185 Karlsruhe	Herr Dr. Jank	0721/984710  0711/9847120	info@kea-bw.de  www.kea-bw.de
<b>RKW Baden-Württemberg GmbH</b> Königstr. 49, 70173 Stuttgart	Herr Sieger	0711/22998-0 /33 0711/22998-10	info@rkw-bw.de www.rkw-bw.de
<b>Badischer Genossenschaftsverband</b> Lauterbergstr. 1 76137 Karlsruhe	Herr Sandmann	0721 / 352-1423 0721 / 352-1443	hartmut.sandmann@bgvnet.de www.bgv.net.de
<b>Württembergischer Genossenschaftsverband</b> Heilbronner Str. 41, 70191 Stuttgart	Herr Herr	0711/ 940-2751  0711 / 940-7385	herr.m@geno-stuttgart.de  www.geno-stuttgart.de
<b>Ingenieurkammer Baden-Württemberg Geschäftsbereich Energie und Umwelt</b> Zeller Str. 26, 70180 Stuttgart	Herr Volz	0711/64971-0  0711/64971-55	ingkbw@ingenieure.de  www.ingenieure.de
<b>Energie-Gemeinschaft EnBW e.V.</b> Kriegbergstr. 32, 70174 Stuttgart	Herr Ensle	0711/128-3195 0711/128-2317	h.ensle@enbw.com www.enbw.com
<b>Landesarbeitskreis Innovative Energienutzung in Gebäuden und Betrieben</b> Zietenstr. 67, 76185 Karlsruhe	Herr Harter	0721/553617  0721/5165 767	harter.ka@t-online.de
<b>Architektenkammer Baden-Württemberg Geschäftsbereich Architektur und Medien</b> Danneckerstr. 54, 70182 Stuttgart	Herr Stoiber	0711 /2196-148 0711 /2196-108	architektur@akbw.de  www.akbw.de
<b>Verband Beratender Ingenieure VBI e.V. Landesverband Baden-Württemberg</b> Kanalstr. 1-4, 78532 Tuttlingen	Herr Dr. Ebner	0781 /9138-0  0781 /9138-38	bueero.dr.ebner@t-online.de www.vbi.de
<b>Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Umwelt- und Reinraumtechnik</b> Badstr. 24a, 77652 Offenburg	Herr Kuhn Herr Wieber	0781/78-352  0781/78-353	info@stz-euro.de  www.stz-euro.de
<b>Fachinformationszentrum Karlsruhe</b> Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	Herr Dr. Lehmann	07247 / 808-351  07247 / 808-134	axel.lehman@fiz-karlsruhe.de www.fiz-karlsruhe.de
<b>Weitere Informationsstellen:</b> Förder- und Geschäftsbanken, Bausparkassen, Energielieferanten, Kammern, Verbände, Energieagenturen u.a.			



## Anhang A9 – Regionale Energieagenturen in Baden-Württemberg

Benennung	Ansprechpartner	
	Telefon	Internet
<b>Impuls-Programm Altbau Baden-Württemberg</b> <b>Landesstelle für Bautechnik</b> Kienestr. 41, 70174 Stuttgart	0800012 3333 (gebührenfrei) 0711/123-2727	www.impuls-programm-altbau.de
<b>Klimaschutz- und Energieagentur (KEA)</b> <b>Baden-Württemberg GmbH</b> Griesbachstr. 10, 76185 Karlsruhe	0721/98471-0	www.kea-bw.de
<b>Energieberatungszentrum Stuttgart e.V.</b> Gutenbergstr. 76, 70176 Stuttgart	0711/6156555-0	www.ebz-stuttgart.de
<b>Energieagentur Regio Freiburg GmbH</b> Solar Info Center, 79072 Freiburg	0761/791 77-10	www.energieagentur-freiburg.de
<b>Klimaschutz- und Energie-</b> <b>beratungsagentur (KLIBA )</b> <b>Heidelberg-Nachbargemeinden gGmbH</b> Umweltpark, Wieblinger Weg 21, 69123 Heidelberg	06221/6038-08	www.kliba-heidelberg.de
<b>Energieagentur Ravensburg gGmbH</b> Zeppelinstr. 16, 88212 Ravensburg	0751/354 15 70	www.energieagentur-ravensburg.de
<b>EnergieEffizienzAgentur</b> <b>Rhein-Neckar-Dreieck gGmbH</b> Vierter Gartenweg 7 – Geb. Z 34, 67056 Ludwigshafen	0621/60-47247	www.e2a.de
<b>Ortenauer Energieagentur GmbH</b> Wasserstr. 17, 77652 Offenburg	0781/924619-11	www.ortenauer-energieagentur.de
<b>Energieagentur Biberach</b> Ehinger-Tor-Platz 8, 88400 Biberach	07351/37 23 74	www.energieagentur-biberach.de
<b>Energieagentur Landkreis Schwäbisch Hall</b> im Energie-Zentrum Wolpertshausen Haller Straße 29/1, 74549 Wolpertshausen	07904/94136-4	www.energie-zentrum.com
<b>Energie- u. Bauberatungszentrum</b> <b>Pforzheim/Enzkreis gGmbH</b> Sandweg 22, 75179 Pforzheim	0 700/32 90 32 90	www.ebz-pforzheim.de
<b>Energiekompetenz PLUS e.V. (Ostalbkreis)</b> Dr. Schneider-Str. 56, 73560 Böbingen	07173/18 55 16	www.energiekompetenz-plus.de
<b>Energieagentur Dreiländereck-Hochrhein</b> Wirtschaftsregion Dreiländereck-Hochrhein GmbH Marie-Curie-Str. 8, 79539 Lörrach	07621/5500-153	www.eadh.de
<b>Stadt Ludwigsburg, Agendabüro</b> mit Bauberatung Energie Wilhelmstr. 9, 71638 Ludwigsburg	07141/910-2654	www.agenda21.ludwigsburg.de



Baden-Württemberg

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM