

## Die VDI 4650 Blatt 2:

### Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresheizzahl und des Jahresnutzungsgrads von Sorptionswärmepumpenanlagen. Gas-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung

Die nachfolgende Zusammenfassung, Analyse und Kommentierung der Richtlinien wurde für cci Wissensportal von Dr.- Ing. Manfred Stahl erstellt.

<b>Erscheinung:</b>	Entwurf November 2010
<b>Umfang/Kosten:</b>	20 Seiten, ca. 65 € (Bezug: Beuth Verlag, <a href="http://www.beuth.de">www.beuth.de</a> )
<b>Zielgruppen:</b>	Fachplaner Lüftung, Klima, Heizung und Sanitär; TGA-Anlagenbauer, Energieberater, Architekten, Wärmepumpenhersteller, Prüfinstitute
<b>Vorsitzender:</b>	Dipl.-Ing. Peter Göricke, Essen
<b>Inhalt, Resümee, Bedeutung:</b>	In Ergänzung zur VDI 4650 Blatt 1 "Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen. Elektro-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung" (März 2009) geht es im Blatt 2 um gasbetriebene Wärmepumpen. Die Richtlinie bietet Grundlagen zur Auslegung von Gas-Wärmepumpen, die mit Sole, Wasser, Außenluft und Kollektoren als Wärmequellen betrieben werden, und Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresheizzahlen und Jahresnutzungsgrade der Wärmepumpe.

## Anwendungsbereich

Die VDI 4605-2 betrachtet gasmotorisch angetrieben Sorptionswärmepumpenanlage (Gerät plus Peripherie zur Raumheizung und Warmwasserbereitung) bis zu einer maximalen Leistung (Wärmebelastung) von 70 kW. Als Wärmequellen, die die Wärmepumpe nutzen kann, werden Grundwasser, Erdreich (Erdwärmesonden), Luft und Solarstrahlung (Kollektoren) genannt. Die von der Wärmepumpe erzeugte Wärme wird an eine Warmwasser-Zentralheizung abgegeben (Wärmesenke).

## Verweise auf weitere technische Regeln

Das Kapitel verweist zum Beispiel auf folgende technische Regeln:

DIN V 4701 Teil 10:	Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen. Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
DIN EN 14511:	Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und Kühlung. Teil 2: Prüfbedingungen
VDI 4640 Blatt 2:	Thermische Nutzung des Untergrunds. Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen

## Begriffe

Hier werden die in der Richtlinie verwendeten Begriffe definiert wie zum Beispiel Jahresheizzahl (COP-Wert), Jahresnutzungsgrad, solarer Deckungsanteil, Jahresarbeitszahl und Jahresaufwandszahl, Leistungszahl.

## Grundlagen der Berechnung

Hier werden verschiedene Einflussfaktoren genannt, von denen die Jahresheizzahl und der Jahresnutzungsgrad abhängig sind. Dazu gehören unter anderem:

Der Normnutzungsgrad der Wärmepumpe, die Wärmequellentemperatur (definierter Auslegungszustand), der Verlauf der Wärmequellentemperatur während der Nutzungszeit (Winter – Sommer), die für das Gebäudeheizsystem benötigten Heizwassertemperaturen (Vor- und Rücklauf) im Auslegungspunkt und im Verlauf der Nutzungszeit, der Anteil der Warmwasserbereitung am Jahreswärmebedarf.

Bei einer Betrachtung der Wärmequellen kann bezüglich der Quellentemperatur von folgenden Annahmen ausgegangen werden:

- Grundwasser: recht konstante Temperatur über die Nutzungszeit
- Erdreich: die Temperatur verändert sich in der Nutzungszeit (Verweise auf Kapitel 6.1.1. und Anhang B).
- Außenluft: hier ergibt sich eine sehr starke Veränderung der Temperatur in der Nutzungszeit. Daher werden zur Auslegung einer mit Außenluft als Wärmequelle betriebenen Wärmepumpenanlage konkrete Klimadaten berücksichtigt.

## Berechnung der Jahresarbeitszahl

Grundsätzlich sind folgende Werte vom Hersteller der Wärmepumpe anzugeben:

- die Jahresheizzahl  $\zeta_h$  und der Jahresnutzungsgrad  $\eta_{N,h}$  für die Raumheizung,
- die Jahresheizzahl  $\zeta_w$  und der Jahresnutzungsgrad  $\eta_{N,w}$  für die Warmwasserbereitung,
- die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe (Durchschnittswert).

Die Ermittlung dieser Daten wird im Folgenden in der Richtlinie ausführlich beschrieben.

Wird bei der Wärmepumpenanlage die Raumheizung und die Warmwasserbereitung solar unterstützt, müssen die zuvor genannten Jahresheizzahlen und Jahresnutzungsgrade auf Basis von in der VDI 4650 Blatt 2 angegebenen Gleichungen umgerechnet werden. So ergeben sich neue Bezeichnungen bei solar unterstützter (jeweils ein Zusatz „S“ zum Index)

- Raumheizung:  $\zeta_{h,S}$  (Jahresheizzahl) bzw.  $\eta_{N,h,S}$  (Jahresnutzungsgrad)
- Warmwasserbereitung:  $\zeta_{w,S}$  (Jahresheizzahl) bzw.  $\eta_{N,w,S}$  (Jahresnutzungsgrad)

Auf Basis dieser und weiterer Daten können dann die Berechnungen zur Gesamt-Jahresheizzahl  $\zeta_{WP}$  und zum Gesamt-Jahresnutzungsgrad  $\eta_{N,WP}$  der Wärmepumpe erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die Jahresheizzahl und der Jahresnutzungsgrad der Wärmepumpe stets mit den zugehörigen Heiznetz-Temperaturpaarungen gemäß Tabelle 1 anzugeben sind.

## Berechnung der Jahresheizzahl und des Jahresnutzungsgrads für die Raumheizung

Basis zur Berechnung von  $\zeta_{WP}$  und  $\eta_{N,WP}$  ist der Norm-Nutzungsgrad von modulierenden Brennwertgeräten gemäß DIN 4702 Teil 8. Hiernach gilt, dass der Norm-Nutzungsgrad der Wärmepumpe vom Hersteller bei fünf Teillastbedingungen mit Wärmeleistungen von 13 %, 30 %, 39 %, 48 % und 63 % der Nennleistung ermittelt wird. Dabei sind zusätzlich auch noch die Temperaturen des Heiznetzes zu berücksichtigen. Diese sind in Tabelle 1 angegeben für drei Heiznetz-Beispiele mit Vorlauftemperaturen von 35 °C, 55 °C und 70 °C. Zur Prüfung enthält die Tabelle 1 für die drei Heiznetze und die fünf Teillastzustände jeweils anzusetzende Vorlauf- und Rücklauftemperaturen. Diese Daten sehen zum Beispiel beim Heiznetz 35 / 28 °C wie folgt aus:

Relative Leistung	Heiznetz 35 / 28 °C	
	Vorlauf	Rücklauf
63 %	29,7	25,3 °C
48 %	27,5	24,2 °C
39 %	26,2	23,5 °C
30 %	24,9	22,8 °C
13 %	22,2	21,3 °C

Aus den jeweiligen Teillastwerten  $\zeta_{h,i}$ , die bei den relativen Leistungen und dem anzusetzenden Heiznetz ermittelt wurden, ergibt sich dann die Jahresheizzahl Raumheizung  $\zeta_h$  und der Jahresnutzungsgrad Raumheizung  $\eta_h$ . Hierbei werden auch noch die im jeweiligen Teillastpunkt aufgenommene Brennstoffleistung, die aufgenommene elektrische Leistung und die erzeugte Wärmeleistung berücksichtigt. Diese Daten müssen vom Hersteller der Wärmepumpe angegeben werden, wobei auch die Art der Wärmequelle eine wichtige Rolle spielt, die nachfolgend betrachtet wird.

### Erdreich als Wärmequelle

Hier werden für Sole-Wärmepumpen in Tabelle 2 Verdampfer-Eintrittstemperaturen in Abhängigkeit von den fünf Teillaststufen definiert, die zwischen 5 °C (bei 63 % Leistung) und 9 °C (bei 13 % Leistung) liegen.

### Grundwasser als Wärmequelle

Bei dieser Wärmequelle gilt eine Verdampfer-Eintrittstemperatur von 10 °C, die bei Verwendung eines Zwischenwärmeübertragers um 3 K auf 7 °C verringert wird. Zur Ermittlung der Nutzungsgrade für die fünf Teillaststufen der Wärmepumpe von wie zuvor 13 bis 63 % werden für die beiden Betriebszustände des Verdampfers von 7 °C und 10 °C Umrechnungsfaktoren angegeben, die bei 7 °C zwischen 0,98 (13 % Teillast) und 1,05 (63 % Teillast) und bei 10 °C zwischen 1,01 (13 % Teillast) und 1,07 (63 % Teillast) liegen. Zu berücksichtigen ist noch die elektrische Leistung der Brunnenpumpe (Jahresmittelwert), für deren Berechnung eine Gleichung angegeben wird.

### Luft als Wärmequelle

Wie für die Wärmequellen Erdreich und Grundwasser müssen auch bei der Wärmequelle Außenluft verschiedene Betriebszustände berücksichtigt werden. Hierzu findet man erstens einen Verweis auf den Anhang A. Zweitens sind in Tabelle 4 in der VDI 4650-2 die anzusetzenden Außenlufttemperaturen in Abhängigkeit von den fünf Teillastzuständen und von vier Nenn-Außenlufttemperaturen von -10 °C, -12 °C, -14 °C und -16 °C angegeben. Danach gelten zum Beispiel für eine Nenn-Außenlufttemperatur folgende Prüftemperaturen:

Teillast 63 % =>	1,2 °C
Teillast 48 % =>	5,7 °C
Teillast 39 % =>	8,4 °C
Teillast 30 % =>	10,9 °C
Teillast 13 % =>	16,2 °C

Durch diese Annahmen der Prüftemperaturen wird berücksichtigt, dass die von der Wärmepumpe zu erbringende thermische Leistung mit sinkender Außentemperatur steigt.

### Solarstrahlung als Wärmequelle

Wird Umgebungs- und Solarwärme aus Solarkollektoren als Wärmequelle genutzt, gelten zur Berechnung der Leistungszahlen zunächst die gleichen Außentemperaturen wie bei der Wärmequelle Luft. Diese Temperaturen werden aber in Abhängigkeit von der Größe der Kollektorfläche um 2,1 K (Kollektor 2 m<sup>2</sup>) bis 5,6 K (Kollektor 8 m<sup>2</sup>) angehoben.

### Berechnung der Jahresheizzahl und des Jahresnutzungsgrads für solarunterstützte Raumheizung

Hierfür werden zwei Gleichungen angegeben. Die Jahresarbeitszahl für Wärmepumpenanlagen mit direkter solarer Heizungsunterstützung  $\zeta_{h,s}$  ergibt sich zu

$$\zeta_{h,s} = \zeta_h : ((1 - (1 - z) \cdot X)) \quad \text{mit}$$

- $\zeta_h$  = Jahresheizzahl der Wärmepumpe (Herstellerangabe)
- $X$  = Anteil der Heizwärme, die von der direkten solaren Heizungsunterstützung kommt (dieser Anteil ist vom Anlagenplaner zu ermitteln bzw. festzulegen)
- $z$  = Verhältnis aus der Leistung der Solarpumpe zur von der Solarwärme erzeugten Nutzwärme. Dieser Wert kann mit 2 % (=0,02) angesetzt werden.

Der Jahresnutzungsgrad  $\eta_{N,h,s}$  einer solchen Wärmepumpenanlagen ergibt sich dann zu

$$\eta_{N,h,s} = \eta_{N,h} : (1 - X) \quad \text{mit}$$

- $\eta_{N,h}$  = Jahresnutzungsgrad der Wärmepumpe (Herstellerangabe)
- $X$  = Anteil der Heizwärme, die von der direkten solaren Heizungsunterstützung kommt (dieser Anteil ist vom Anlagenplaner zu ermitteln bzw. festzulegen)

### Berechnung der Jahresheizzahl und des Jahresnutzungsgrads für die Warmwasserbereitung (ohne / mit solarer Unterstützung)

Für Anlagen ohne solare Unterstützung ergibt sich die Jahresarbeitszahl Warmwasserbereitung zu

$$\zeta_w = P_w : (Q_w + P_{el,w})$$

und der Jahresnutzungsgrad zu

$$\eta_{N,w} = P_w : Q_w \quad \text{mit}$$

- $P_w$  = Warmwasser-Nutzwärmeleistung
- $Q_w$  = Warmwasser-Brennstoffleistung
- $P_{el,w}$  = elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe

Ähnliche Berechnungsgleichungen werden für Anlagen mit solarunterstützter Warmwasserbereitung angegeben.

### Berechnung der Gesamt-Jahresheizzahl und des Gesamt-Jahresnutzungsgrads

Hierzu gelten folgende Gleichungen:

$$\text{Gesamt-Jahresheizzahl: } \zeta_{WP} = \frac{1}{((1-y) \cdot \zeta_h) + (y \cdot \zeta_w)}$$

$$\text{Gesamt-Jahresnutzungsgrad: } \eta_{N,WP} = \frac{1}{((1-y) \cdot \eta_{N,h}) + (y \cdot \eta_{N,w})}$$

Dabei sind die Werte für  $\zeta$  und  $\eta_N$  gemäß den vorherigen Angaben einzusetzen. Der Faktor  $y$  berücksichtigt den Anteil des Warmwasserbedarfs am gesamten Wärmebedarf.

### Messunsicherheiten

Diese werden für diverse Temperaturen, Volumenströme und Leistungen in VDI 4650-2 in einer Tabelle 6 angegeben.

### Zur Verdeutlichung: Zwei Beispielrechnungen

In zwei Beispielrechnungen im Kapitel 8 der Richtlinie werden die Angaben und Forderungen der VDI 4650-2 zur Berechnung der Gesamt-Jahresheizzahl und des Gesamt-Jahresnutzungsgrads verdeutlicht:

#### Beispiel 1:

Wärmepumpenanlage mit der Wärmequelle Erdwärmesonde (35 m) ohne solare Unterstützung für Heizung und Warmwasser (Heiznetz 55 / 45 °C):

$$\Rightarrow \text{Gesamt-Jahresheizzahl: } \zeta_{WP} = 1,23$$

$$\Rightarrow \text{Gesamt-Jahresnutzungsgrad: } \eta_{N,WP} = 1,25$$

#### Beispiel 2:

Wärmepumpenanlage mit Wärmequelle Solarstrahlung (Kollektor 4,6 m<sup>2</sup>) mit solarer Unterstützung für Heizung und Warmwasser (Heiznetz 35 / 28 °C):

$$\Rightarrow \text{Gesamt-Jahresheizzahl: } \zeta_{WP} = 1,34$$

$$\Rightarrow \text{Gesamt-Jahresnutzungsgrad: } \eta_{N,WP} = 1,36$$

## Anhänge

### Anhang A:

Der Anhang A besteht aus zwei Teilen:

- Anhang A1: „Ableitung der Heizungsvorlauf- und -rücklauftemperaturen in Abhängigkeit von dem Belastungsgrad der Wärmepumpenanlage, der Raumsolltemperatur, den Normvor- und -rücklauftemperaturen des Heiznetzes und des Heizflächenexponents“
- Anhang A2: „Berechnung der Außentemperaturen in Abhängigkeit von dem Belastungsgrad der Wärmepumpenanlage, der Raumsolltemperatur und der Normaußentemperatur“

### Anhang B:

In diesem Anhang befinden sich Simulationsrechnungen für Sole-Wärmepumpen im Hinblick auf die Länge und die Verläufe der Sole-Rücklauftemperaturen aus den Erdwärmesonden (inklusive mehrerer Tabellen für Heizlastcharakteristika bei Altbauten und Neubauten, Entzugsleistungen von Erdwärmesonden und benötigte Sondenlängen).

### Anhang C:

„Ermittlung der Verdampfeintrittstemperatur bei Wärmepumpen mit Solarstrahlung (Kollektoren) als Wärmequelle“

### Anhang D:

Im Anhang D wird in drei Teilen beschrieben, welche Angaben, Prüfungen und Berechnungen bei einem Wärmepumpenprojekt von welchen Stellen erfolgen müssen:

- Tabelle D1: Hersteller (Lieferung von Angaben an das Prüflabor und an den Planer)
- Tabelle D2: Prüflabor
- Tabelle D3: Anlagenplaner (Angaben vom Hersteller, zu ermitteln sind Rand- und Betriebsbedingungen und verschiedene Berechnungen durchzuführen).

Diese Zusammenfassung wurde im November 2011 von Dr.-Ing. Manfred Stahl für cci Wissensportal überprüft.