

Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik - und die bereits entwickelten Möglichkeiten für eine Steigerung der Effizienz mittels Erneuerbarer Energien

Die für die Effizienz maßgebende Leistungszahl ϵ_C ist nach der Carnot-Formel $\epsilon_C = T_0 / \Delta T$ abhängig von der Heizkreistemperatur T_0 und dem Temperaturunterschied ΔT zwischen der Wärmequelle und dem Heizkreis, anzugeben in Grad Kelvin. Bei einer konstanten Heizlast ist die jeweils erforderliche elektrische Leistung einer Wärmepumpenanlage vor allem abhängig von der jeweiligen Quellentemperatur, die sich im Jahresverlauf stark ändert. Dies zeigt die als Bild 1 beigefügte Grafik für eine Sole/Wasser-Wärmepumpe.

Die angegebenen Werte sind der Beispielrechnung in Bild 2 zu entnehmen für eine Radiatorenheizung mit Heizkreistemperaturen von 45/35°C und einer Spreizung im Quellenkreis von 5 K gemäß VDI zwischen Vorlauf und Rücklauf. Entsprechend dem daraus sich ergebendem Temperaturhub ΔT zwischen der Quellentemperatur und der Heizkreistemperatur ändert sich auch die elektrische Leistung P_{el} linear.

Die erforderliche Leistung bei Wärmepumpenanlagen gemäß dem Stand der Technik ändert sich im Beispiel von 2,077 kW bei einer sommerlichen Quellentemperatur von 10°C auf 2,716 kW bei einer winterlichen Temperatur von nur 0°C in der Heizperiode. Dies entspricht im Fall einer konstanten Heizlast bereits einem um 30,8% höheren Stromverbrauch gerade in der Zeit mit dem größten Wärmebedarf des Jahres.

Die real sich ergebenden Unterschiede zwischen Sommer und Winter sind aber noch deutlich größer, da im Hochsommer allenfalls der Verbrauch von Strom für Warmwasser eine Rolle spielt. Bild 3 zeigt deutlich, wie unterschiedlich der Strombedarf daher im Verlauf des Jahres ist.

Bei einer vergleichenden Betrachtung des Strombedarfs muss noch berücksichtigt werden, dass die stark zunehmende Zahl von Solaranlagen nur einen begrenzten Nutzen hat. Im Herbst und im Frühjahr kann durch die Zuführung der Solarenergie der Rückgang der Quellentemperatur verringert werden. Der in den kalten Wintermonaten sehr hohe Wärmebedarf führt aber zu einem starken Rückgang der Quellentemperatur bei Sole/Wasser-Wärmepumpen, weil sich der Wärmefluss durch die nur langsame Ausbreitung von Wärme im Erdreich verringert, bei Luft/Wasser-Wärmepumpen dagegen die Außenlufttemperaturen stark absinken. Dieser Rückgang kann durch Solarenergie aufgrund der im Winter nur noch geringen Sonneneinstrahlung nicht mehr verhindert werden.

Diesen bei Wärmepumpenanlagen gemäß dem Stand der Technik daher zeitweise erheblichen Problemen kann man entgegenwirken durch ein innovatives Verfahren, das mit einem multifunktionalen Regelsystem und dem Einsatz von Erneuerbaren Energien die Effizienz der Anlagen deutlich verbessert.

Dies lässt sich erreichen

- entweder durch eine kurzzeitige Übertragung von nur etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe über einen Wärmetauscher in deren Quellenkreis
- oder durch Umwandlung von Strom in Wärme zur Regeneration der Quelle (auch diese Wärme wird über einen Wärmetauscher übertragen).

Wie sich die Übertragung der Wärme auswirkt ist Bild 4 zu entnehmen. Es zeigt eine Wärmepumpe gemäß dem Stand der Technik mit einer Nennleistung von 10 kW mit einer Quellenvorlauftemperatur von -2°C und eine gleichartige Wärmepumpe mit einem Wärmetauschersystem mit einem geringeren Rückgang der Quelltemperatur auf nur $+2^{\circ}\text{C}$. Für die Übertragung der Wärme von 0,4 kW (entsprechend nur 4 % der Nennleistung) reicht bereits eine Temperatur von $0,4^{\circ}\text{C}$.

Wie die Energiefluss-Diagramme zeigen genügt schon die Differenz der beiden Vorlauftemperaturen von 4 K für eine Verringerung der elektrischen Leistung bereits während der Übertragung von Wärme, nach deren Ende ergibt sich ein um 11,3 % niedriger Strombedarf gegenüber der Anlage ohne Wärmetauscher.

Für die Umwandlung von Strom in Wärme zur Regeneration der Wärmequelle ist die Nutzung von Strom aus Windkraftanlagen besonders günstig während der Nachtstunden, wenn im Stromnetz der Verbrauch deutlich geringer ist als am Tage und daher häufig einige Windkraftanlagen abgeschaltet werden müssen.

Sowohl für die Übertragung von Wärme wie auch für die Umwandlung von Strom in Wärme wird die multifunktionale Baugruppe genutzt, ein Regelsystem mit einem Optimierungsprogramm und zwei Wärmetauschern.

Eine detaillierte Beschreibung des höchst effizienten Systems mit Grafiken und der Bezugszeichenliste sind der folgenden Gebrauchsmusterschrift zu entnehmen.

Generell gilt, wie die Grafik in Bild 1 bereits zeigt: Je früher man dem Absinken der Sole- bzw. Speichertemperatur entgegengewirkt hat, um so geringer ist die dafür erforderliche elektrische Leistung und um so größer damit auch die gegenüber dem normalen Winterbetrieb insgesamt mögliche Energieeinsparung.

Dies ist auch der Tabelle der berechneten Werte in Bild 5 zu entnehmen. Von den optimalen Betriebsbedingungen im Sommer mit einer Quelltemperatur von 10°C ausgehend ergibt sich bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik (zugleich auch bei Anlagen mit einem Wärmetauscher, sofern dieser noch abgeschaltet ist) durch den allmählich aufgrund des höheren Wärmebedarfs entstehenden Rückgang der Quelltemperatur ein deutlicher Anstieg der erforderlichen elektrischen Leistung gegenüber dem Bezugswert von nur 2,077 kW bei 10°C .

Die bei Anlagen mit Wärmetauscher mögliche Übertragung von Wärme zwecks Regeneration der Wärmequelle (siehe unteren Teil der Tabelle) führt zu einem nur kurzzeitig etwas höheren Wärmebedarf der Wärmepumpe, aber mit der Folge, dass

sich zugleich auch die Quelltemperatur wieder für eine längere Zeit erhöht und dadurch die erforderliche elektrische Leistung sich bereits wieder verringert.

Zum besseren Verständnis der teilweise durchaus komplexen Zusammenhänge sind meiner Website <http://www.oeffizienz-modul.de> ausführliche Beschreibungen zum Verfahren und zur Regeneration der Wärmequelle zu entnehmen.

Nach einer Einführung zum Prinzip des Verfahrens und dessen Auswirkungen wird in Teil 3 die für das Verfahren und die Regeneration der Wärmequelle entwickelte multifunktionale Baugruppe beschrieben. Von besonderem Interesse dürfte Teil 4 sein mit dem zugehörigen Anhang 1 über die Auswirkungen der Verfahrensänderung auf die Erdoberflächentemperaturen im Nahbereich der Erdsonde und den Wärmefluss. Teil 5 behandelt die Quellen für die erforderliche Energie einschließlich möglicher Nutzung von bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik entstehender Anergie.

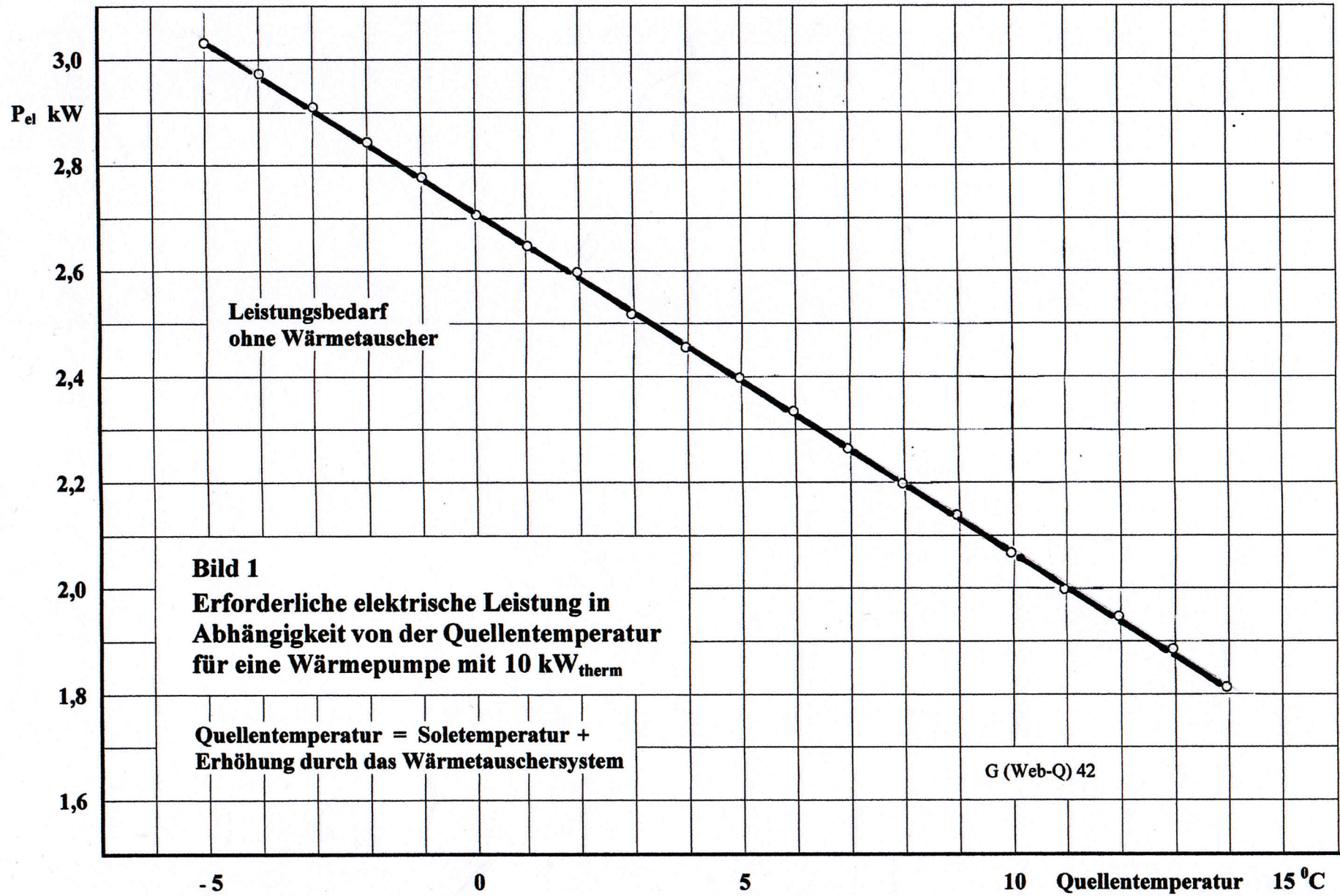
Anlagen:

1. Abhängigkeit der elektrischen Leistung P_{el} von der Quelltemperatur
2. Berechnung von Temperaturhub ΔT und elektrischer Leistung P_{el}
3. Wärmebedarf im Mittel der Jahre 2012 bis 2016
4. Prinzip einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit einem Wärmetauschersystem
5. Berechnungen über den Einfluss der Quelltemperatur auf die erforderliche elektrische Leistung

20.12.2022



WO (46) N



Für den idealen **Carnot-Prozess** ergibt sich die theoretische Leistungszahl ϵ_C aus

$$\epsilon_C = T_o / (T_o - T_u) = T_o / \Delta T \quad (\text{alle Temperaturen in K})$$

mit T_o = Temperatur der Wärmesenke (Heizkreis)

T_u = Temperatur der Wärmequelle (beispielsweise Sole)

ΔT = Temperaturhub zwischen Wärmequelle und Wärmesenke

Für die Leistungszahl ϵ_{WP} einer realen Wärmepumpe können überschlägig 50% der theoretischen Leistungszahl ϵ_C angesetzt werden,

für **Wärmepumpen** gilt daher $\epsilon_{WP} = 0,5 \cdot \epsilon_C$.

Die Leistungszahl ϵ_{WP} ist das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung P_{th} zu aufgenommener elektrischer Leistung P_{el} .

Beispiel einer Berechnung für eine Heizlast (Wärmeleistung) von 10 kW_{therm}

Heizkreistemperaturen = $45/35 \text{ }^\circ\text{C}$, Mittelwert = $40 \text{ }^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$ (T_o)

Soletemperaturen (Quelle) = $0/-5 \text{ }^\circ\text{C}$, Mittelwert = $-2,5 \text{ }^\circ\text{C} = 270,5 \text{ K}$ (T_u)

bei Quellentemperatur $0 \text{ }^\circ\text{C}$: Temperaturhub $\Delta T = 313 \text{ K} - 270,5 \text{ K} = 42,5 \text{ K}$

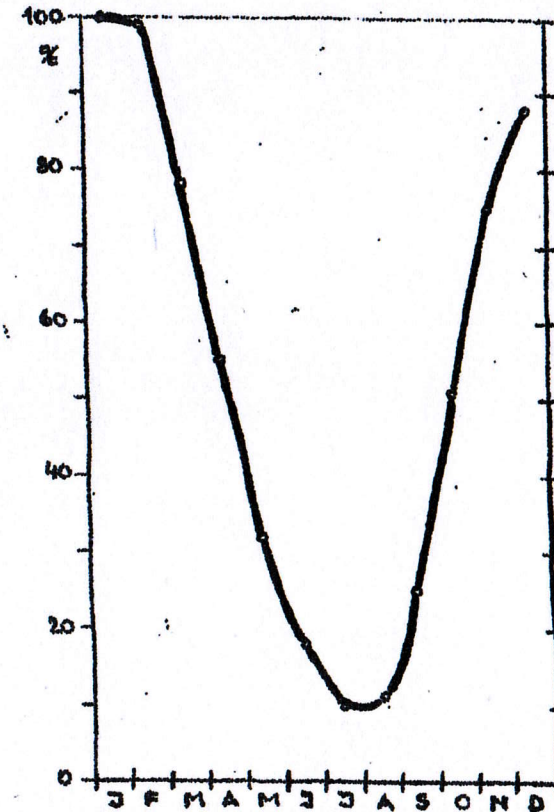
$$\epsilon_{WP} = 0,5 \cdot \epsilon_C = 0,5 \cdot T_o / \Delta T = P_{th} / P_{el}$$

$$\rightarrow P_{el} = P_{th} \cdot \Delta T / 0,5 \cdot T_o = \Delta T \cdot 10 / 156,5 \rightarrow P_{el} = 0,0639 \cdot \Delta T$$

Quelle $^\circ\text{C}$	Hub ΔT in K	P_{el} kW	Quelle $^\circ\text{C}$	Hub ΔT in K	P_{el} kW
14	28,5	1,821	4	38,5	2,460
13	29,5	1,885	3	39,5	2,524
12	30,5	1,949	2	40,5	2,588
11	31,5	2,013	1	41,5	2,652
10	32,5	2,077	0	42,5	2,716
9	33,5	2,141	-1	43,5	2,780
8	34,5	2,204	-2	44,5	2,843
7	35,5	2,268	-3	45,5	2,907
6	36,5	2,332	-4	46,5	2,971
5	37,5	2,396	-5	47,5	3,035

Bild 2 Berechnung der erforderlichen elektrischen Leistung für eine Wärmepumpenanlage in Abhängigkeit von der Quellentemperatur

Monat	kWh	Tag *	%
Januar	4.431	143	100
Februar	3.970	142	99
Dezember	3.894	126	88
März	3.482	112	78
November	3.209	107	75
<u>Höchster Wärmebedarf</u>	18.986 = 68,2 %	<u>Heizperiode</u>	
April	2.374	79	55
Oktober	2.263	73	51
Mai	1.423	46	32
September	1.081	36	25
<u>Mittlerer Wärmebedarf</u>	7.141 = 25,6 %	<u>Frühjahr / Herbst</u>	
Juni	777	26	18
August	513	16	11
Juli	441	14	10
<u>Geringer Wärmebedarf</u>	1.731 = 6,2 %	<u>Sommer</u>	
<u>Gesamt</u>	27.858		



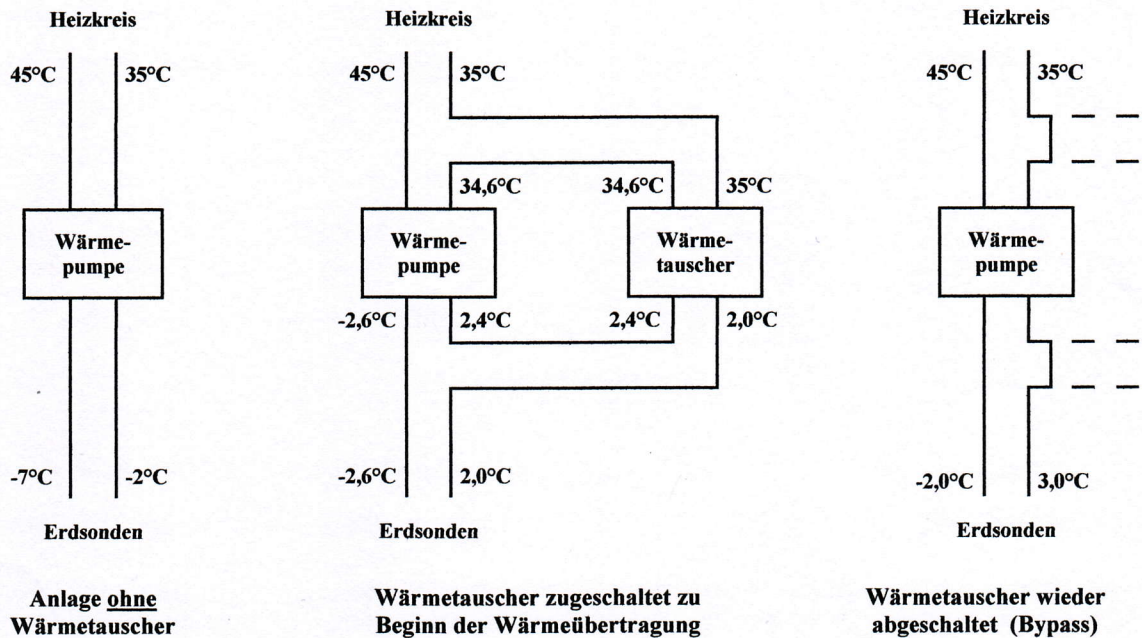
* auf den Tag umgerechneter mittlerer Wärmebedarf im jeweiligen Monat, höchster Bedarf = 143 kWh = 100 %

Bild 3 Wärmebedarf im Mittel der Jahre 2012 bis 2016 für Heizen und Brauchwasser

Diese kurze Übersicht soll das Prinzip der Wärmeübertragung aus dem Heizkreis der Wärmepumpe auf deren Solekreis veranschaulichen.

Die Abbildung auf der linken Seite stellt eine herkömmliche Anlage gemäß dem Stand der Technik dar, die Solevorlauftemperatur ist im Verlauf der Heizperiode bis auf -2°C gefallen.

Die beiden anderen Abbildungen zeigen die Anordnung nach Einfügung eines Wärmetauschers und die möglichen Betriebstemperaturen unter der Annahme, dass sich die Solevorlauftemperatur durch zeitweilige Wärmeübertragungen nur auf etwa $+2^{\circ}\text{C}$ verringert hat.



Die Energiefluss-Diagramme geben die Ergebnisse der entsprechenden Berechnungen wieder.

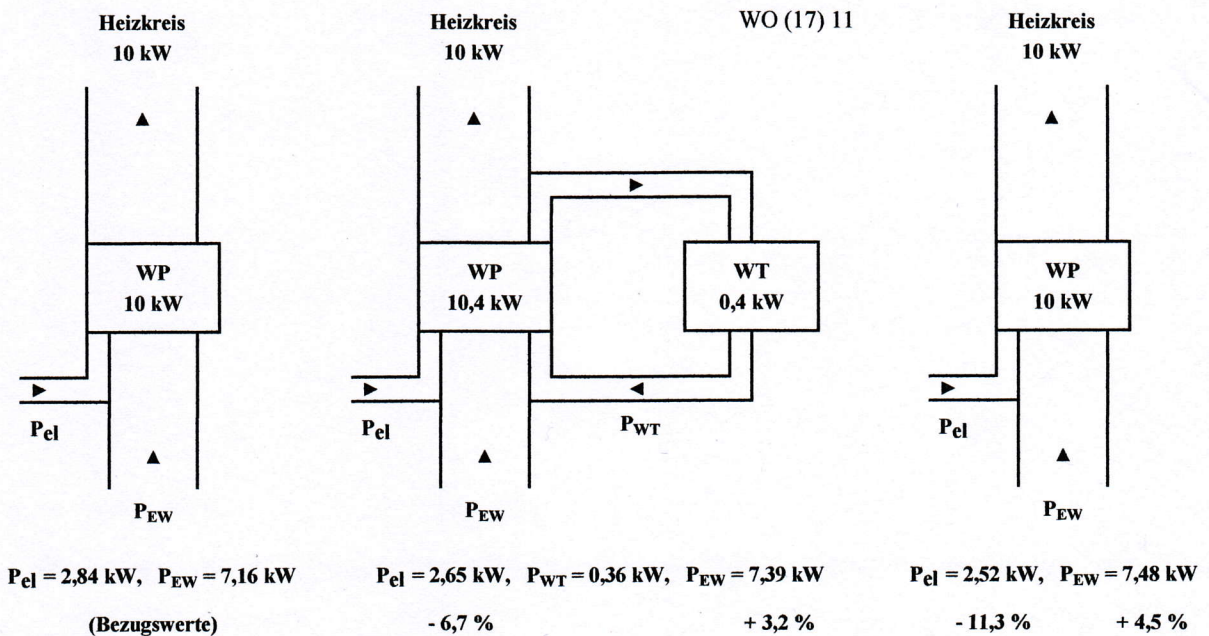


Bild 4 Schematische Darstellung von Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen ohne und mit Wärmetauscher bei winterlichen Betriebsbedingungen

Anlage gemäß dem Stand der Technik bzw. Anlage mit abgeschaltetem Wärmetauscher (Normalbetrieb) *

- 2 / -7 °C	Quelle 0 / -5 °C	2 / -3 °C	4 / -1 °C	6 / 1 °C	8 / 3 °C	10 / 5 °C	Quelle 10 / 5 °C
313 K	$T_0 = 40 \text{ °C} = 313 \text{ K}$	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	<u>$P_{el} = 2,077 \text{ kW}$</u>
- 4,5 °C	$T_u = - 2,5 \text{ °C} = 270,5 \text{ K}$	- 0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	<u>$P_{EW} = 7,923 \text{ kW}$</u>
44,5 K	$\Delta T = 42,5 \text{ K}$	40,5 K	38,5 K	36,5 K	34,5 K	32,5 K	Bezugswerte
3,517	$\varepsilon = 3,682$	3,864	4,065	4,288	4,536	4,815	
2,843 kW	$P_{el} = 2,716 \text{ kW}$	2,588 kW	2,460 kW	2,332 kW	2,204 kW	2,077 kW	für die Veränderungen zur elektrischen Leistung und zum Anteil der Erdwärme
+ 36,9 %	+ 30,8 % gg. Bezugswert	+ 24,6 %	+ 18,4 %	+ 11,2 %	+ 6,1 %		
7,157 kW	$P_{EW} = 7,284 \text{ kW}$	7,412 kW	7,540 kW	7,668 kW	7,796 kW	7,923 kW	
- 9,7 %	- 8,0 % gg. Bezugswert	- 6,4 %	- 4,8 %	- 3,2 %	- 1,6 %		

Anlage mit zugeschaltetem Wärmetauscher (Übertragung) bei einer Erhöhung um 0,4 °C *

- 1,6 / - 6,6 °C	Quelle 0,4 / -4,6 °C	2,4 / -2,6 °C	4,4 / -0,6 °C	6,4 / 1,4 °C	8,4 / 3,4 °C	10,4 / 5,4 °C	Quelle 10,4 / 5,4 °C
312,8 K	$T_0 = 39,8 \text{ °C} = 312,8 \text{ K}$	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	<u>$P_{el} = 2,054 \text{ kW}$</u>
- 4,1 °C	$T_u = - 2,1 \text{ °C} = 270,9 \text{ K}$	- 0,1 °C	1,9 °C	3,9 °C	5,9 °C	7,9 °C	<u>$P_{EW} = 7,986 \text{ kW}$</u>
43,9 K	$\Delta T = 41,9 \text{ K}$	39,9 K	37,9 K	35,9 K	33,9 K	31,9 K	* Alle Berechnungen für eine <u>Radiatorenheizung</u> einer Anlage mit einer Heizlast von 10 kW und Heizkreistemperaturen von 45/35 °C
3,563	$\varepsilon = 3,733$	3,920	4,127	4,356	4,613	4,903	
2,827 kW	$P_{el} = 2,689 \text{ kW}$	2,561 kW	2,440 kW	2,312 kW	2,183 kW	2,054 kW	
+ 37,6 %	+ 30,9 % gg. Bezugswert	+ 25,1 %	+ 18,8 %	+ 12,6 %	+ 6,3 %		
7,213 kW	$P_{EW} = 7,351 \text{ kW}$	7,471 kW	7,600 kW	7,728 kW	7,857 kW	7,986 kW	
- 9,6 %	- 7,9 % gg. Bezugswert	- 6,4 %	- 4,8 %	- 3,2 %	- 1,6 %		

Bild 5 Einfluss der Quelltemperatur bei einer Radiatorenheizungsanlage ohne bzw. mit zugeschaltetem Wärmetauscher auf die Anteile der elektrischen Leistung und der Erdwärme