

Das Prinzip vom Verfahren und der Regeneration der Wärmequellen - wie lässt sich die Effizienz so deutlich steigern ?

Die Energiebilanzen von Wärmepumpen gemäß dem aktuellen Stand der Technik können nicht mehr angewendet werden, weil die vom Heizkreis der Wärmepumpe in deren Primärkreis übertragene Wärme nicht verloren geht, sondern im Gegenteil die Temperatur der Wärmequelle deutlich erhöhen kann - also den Temperaturhub zwischen Quelle und Heizkreis verringert - und somit die Effizienz ganz erheblich gesteigert wird.

Dafür erforderlich ist nur ein neu entwickeltes multifunktionales Regelsystem, das sowohl für Sole/Wasser-Wärmepumpen wie auch für Luft/Wasser-Wärmepumpen eingesetzt werden kann, bestehende Anlagen können nachgerüstet werden.

Die als Anlage beigefügte Grafik "Funktion und Aufbau der Wärmepumpe" wurde dem "Planungshandbuch Wärmepumpen" von NIBE entnommen.

Die Berechnung der von der jeweiligen Quellentemperatur abhängigen elektrischen Leistung ist Anlage 2 zu entnehmen, berechnet für eine Heizlast von 10 kW und eine Heizkreistemperatur von 45/35 °C. Maßgebend für den Stromverbrauch der Wärmepumpenanlage ist der Temperaturhub, die Differenz zwischen der Wärmequelle und dem Heizkreis.

Deutliche Verbesserungen lassen sich bei Sole/Wasser-Wärmepumpen erreichen durch Übertragung von nur etwas Wärme aus dem Heizkreis in den Quellenkreis (Erdsonde). In Anlage 3 wird dies schematisch dargestellt mit einem Wärmetauscher und einer Erhöhung der Temperatur um 0,4 °C. Die Energiefluss-Diagramme zeigen, wie schon diese geringe Erhöhung sich auswirkt auf die Regeneration der Quellentemperatur.

Insofern ist die durch das innovative Verfahren ganzjährig mögliche Regeneration der Wärmequellen extrem wichtig. Dazu trägt auch die durch das multifunktionale Regelsystem überhaupt erst mögliche Nutzung der Anergie bei, die bei jedem Start einer Wärmepumpe gemäß dem aktuellen Stand der Technik durch die zunächst noch zu niedrige Heizkreistemperatur entsteht, zur Erhöhung der Quellentemperatur (entweder Erdsondenanlage oder Wärmespeicher) jedoch gut beitragen kann.

Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einer Flächenheizung sind zwar preisgünstiger als erdgekoppelte Sole/Wasser-Wärmepumpen, große Probleme ergeben sich jedoch in der Heizperiode mit dem besonders hohen Wärmebedarf, weil auch die Photovoltaikanlagen dann keinen Strom mehr liefern können.

Die Folge ist ein sehr hoher Stromverbrauch im Winterhalbjahr. Nach Angaben der für

Wärmepumpen zuständigen ISE-Gruppe des Inatech-Instituts der Universität Freiburg haben derzeit Außenluft-Wärmepumpen mit ihrem hohen Marktanteil von aktuell etwa 90% bei sehr hohen Heizlasten einen COP-Wert nahe eins und heizen fast nur mit Strom.

Es gibt aber eine andere sehr kostengünstige Lösung für diese Probleme. Das zunächst für die Sole/Wasser-Wärmepumpen entwickelte Verfahren kann auch sehr gut für die Luft/Wasser-Wärmepumpen genutzt werden. Da diese nur relativ geringe Leistungen bis etwa 15 kW haben lässt sich ein deutlich vereinfachtes multifunktionales Regelsystem einsetzen, was zu einem guten Preis-Leistung-Verhältnis führt.

Durch das Optimierungsprogramm des multifunktionalen Regelsystems kann beispielsweise bei Luft/Wasser-Wärmepumpen zeitweilig überschüssiger Strom aus Windkraftanlagen auch dann noch weiter genutzt werden, wenn die Temperatur im Wärmespeicher bereits sehr hohe Werte erreicht hat.

Die Tabelle in Anlage 4 zeigt die Auswirkungen. Wenn bei einer Luft/Wasser-Wärmepumpe gemäß dem aktuellen Stand der Technik die Temperatur im Wärmespeicher von 10°C im Herbst auf nur noch 4°C zum Beginn der winterlichen Heizperiode absinkt, dann erhöht sich bei einer Heizlast von 10 kW die erforderliche elektrische Leistung P_{el} bereits um 18,4%, bei nur noch 0°C sind es aber bereits 30,8% mehr als im Herbst bei 10°C (2,716 kW statt zuvor 2,077 kW).

Durch das multifunktionale Regelsystem kann jedoch auch im Winter bei Schwachlastzeiten im Stromnetz zeitweise viel überschüssiger Strom zugeführt werden. Insgesamt könnte dies bei gleicher Heizlast zu einem Anstieg der Speichertemperatur auf beispielsweise 20°C führen und so eine erhebliche Einsparung von Strom bewirken. Wenn man dies im Vergleich zur aktuellen Situation betrachtet mit der elektrischen Leistung von 2,716 kW bei 0°C und nun zeitweise noch lediglich 1,438 kW aufgrund der deutlich erhöhten Temperatur im Speicher, so entspricht das einer Verringerung um 47% !

Anlagen

1. Funktion und Aufbau der Wärmepumpe
2. Berechnung der elektrischen Leistung nach dem Temperaturhub
3. Schematische Darstellung von Sole/Wasser-Wärmepumpen
4. Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf von Luft/Wasser-Wärmepumpen

20.9.2023



WB2-32 / WO (67)

1.3 Funktion und Aufbau der Wärmepumpe

Die prinzipielle Funktion einer Wärmepumpe besteht darin, Wärmeenergie bei einem niedrigen Temperaturniveau aufzunehmen und diese unter Zuführung von mechanischer Energie auf einem höheren, nutzbaren Temperaturniveau wieder abzugeben. Dadurch wird es möglich, die in der Umwelt (Luft, Erdreich, Wasser) enthaltene Wärmeenergie nutzbar zu machen.

Im Wärmepumpenprozess wird ein Arbeitsmittel, auch als Kältemittel bezeichnet, periodisch verdichtet (komprimiert) und entspannt (expandiert). Im expandierten Zustand wird bei niedriger Temperatur die Wärme aus der Wärmequelle aufgenommen, wobei das Arbeitsmittel verdampft, und im komprimierten, heißen Zustand unter Verflüssigung des Arbeitsmittels wieder abgegeben. Da nach Ablauf eines Arbeitszyklus die Zustandsgrößen des Arbeitsmittels wieder dieselben sind, spricht man bei diesem Vorgang von einem Kreisprozess.

Die wichtigsten Bauteile einer Wärmepumpe sind:

- Verdichter
- Kondensator (Wärmetauscher)
- Expansionsventil
- Verdampfer (Wärmetauscher)

Das Schema einer Wärmepumpe mit den entsprechenden Druck- und Temperaturverhältnissen zeigt Bild 1.2 (Kältemittel R 407C; 80 / W45):

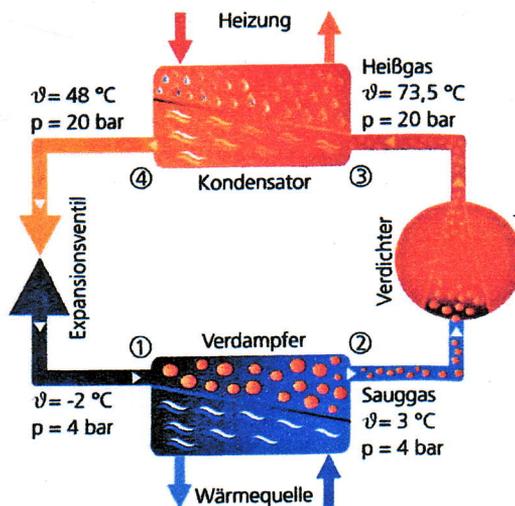


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

Der Carnot-Prozess

Allgemein beschreibt der (idealisierte) Carnot-Prozess die Funktion von Wärmekraftmaschinen, die durch periodische Kompression und Expansion Wärme in mechanische Arbeit umwandeln. Wird dieser Kreislaufprozess umgekehrt (links-drehend) durchlaufen, bildet er eine Kraftwärmemaschine ab, die bei tiefen Temperaturen Wärme aus der Umgebung entnimmt und mit von außen zugeführter mechanischer Arbeit bei hoher Temperatur wieder abgibt.

Als Arbeitsmittel wird hierbei ein ideales Gas mit sehr niedrigem Siedepunkt angenommen. Das folgende Bild 1.3 zeigt die vier Phasen des Kreisprozesses im sogenannten T-S-Diagramm:

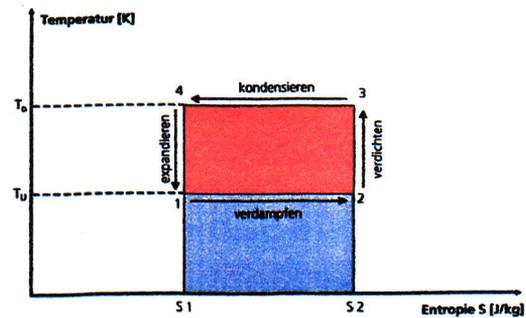


Bild 1.3: Carnot-Prozess

■ Verdampfen (1-2):

Das flüssige Arbeitsmittel wird bei niedrigem Druck und geringer Temperatur verdampft. Die dafür erforderliche Verdampfungswärme wird der Umgebung bzw. Wärmequelle entzogen, hierbei ändert sich die Temperatur nicht (isothermer Vorgang). Durch die Wärmezufuhr bei konstanter Temperatur steigt die Entropie an.

■ Verdichten (2-3):

Mittels mechanischer Arbeit wird das Arbeitsmittel verdichtet und hierbei auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Die Entropie bleibt aufgrund der von außen zugeführten Arbeit konstant (isentroper Vorgang).

■ Kondensieren (3-4):

Im Kondensator wird dem heißen und unter hohem Druck stehenden Arbeitsmittel Wärmeenergie entzogen, so dass es kondensiert. Die Temperatur bleibt hierbei wiederum konstant, da nur die bei 1-2 aufgenommene Verdampfungswärme abgegeben wird (isotherm). Durch die Abgabe der Wärmeenergie bei konstanter Temperatur sinkt die Entropie.

■ Expandieren (4-1):

Das Arbeitsmittel wird entspannt, Druck und Temperatur verringern sich, die Entropie bleibt konstant (isentrop).

Anschaulich stellt die rote Fläche die von dem Verdichter zugeführte Energie dar, während die graue Fläche die aus der Umgebung entnommene Energie abbildet. Das Verhältnis der gesamten abgegebenen Energie (rot+grau) zur von außen zugeführten Energie (rot) entspricht der Leistungszahl des Prozesses, der Carnot-Leistungszahl ϵ_C :

$$\epsilon_C = \frac{T_o}{T_o - T_u} = \frac{T_o}{\Delta T}$$

Es wird deutlich, dass die Leistungszahl vom Temperaturhub abhängt, d.h. von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und -senke: je geringer die Differenz, umso höher die Leistungszahl.

Beispiel:

$$T_u = 0 \text{ °C} = 273 \text{ K}$$

$$T_o = 40 \text{ °C} = 273 + 40 = 313 \text{ K}$$

$$\epsilon_C = \frac{T_o}{T_o - T_u} = \frac{313}{313 - 273} = 7,83$$

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
14	28,5	1,821
13	29,5	1,885
12	30,5	1,949
11	31,5	2,013
10	32,5	2,077
9	33,5	2,141
8	34,5	2,204
7	35,5	2,268
6	36,5	2,332
5	37,5	2,396

Quelle $^\circ\text{C}$	Hub ΔT in K	P_{el} kW
4	38,5	2,460
3	39,5	2,524
2	40,5	2,588
1	41,5	2,652
0	42,5	2,716
-1	43,5	2,780
-2	44,5	2,843
-3	45,5	2,907
-4	46,5	2,971
-5	47,5	3,035

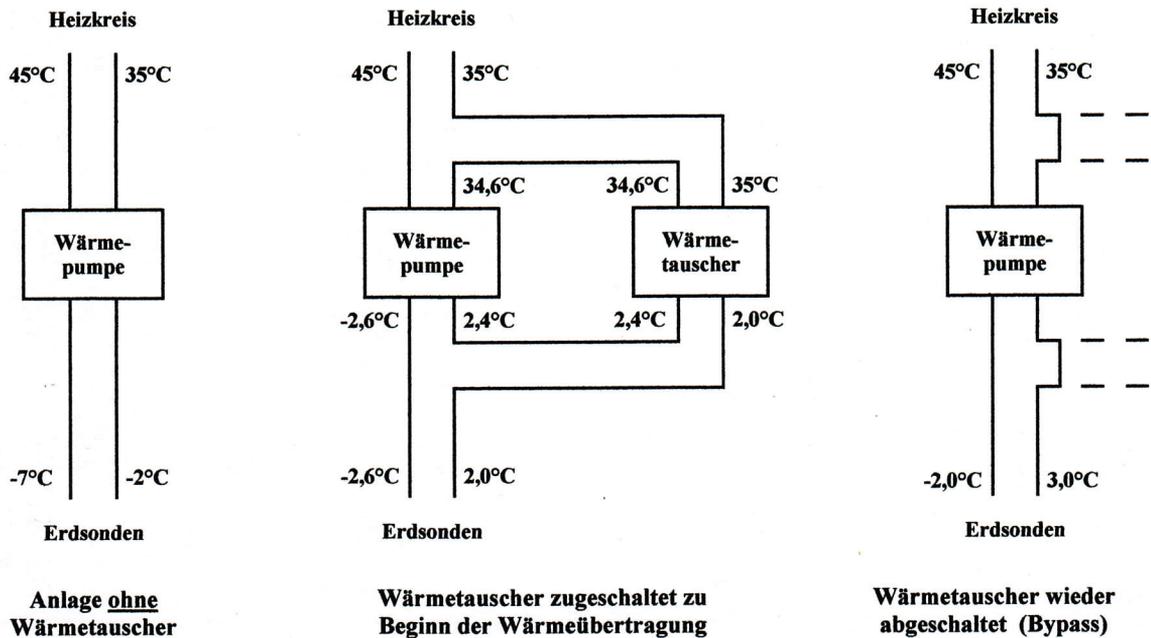
WO (7) 90

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

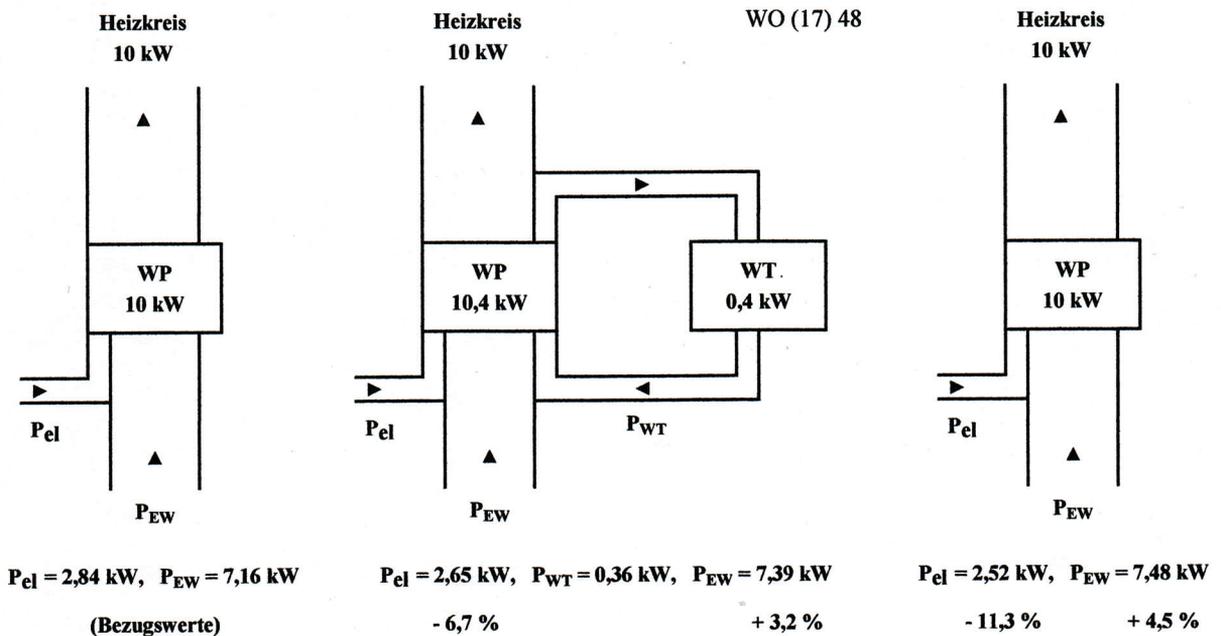
Diese kurze Übersicht soll das Prinzip der Wärmeübertragung aus dem Heizkreis der Wärmepumpe auf deren Solekreis veranschaulichen.

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.



Anlage 3 Schematische Darstellung von Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen ohne und mit Wärmetauscher bei winterlichen Betriebsbedingungen

Speicher 0 °C		2 °C	4 °C	6 °C	8 °C	10 °C	Speicher 10 °C
$T_o = 40 \text{ °C} = 313 \text{ K}$		313 K	$P_{el} = 2,077 \text{ kW}$ <u>Bezugswert</u> * für Veränderungen des Strombedarfs je nach Temperatur im Wärmespeicher				
$T_u = -2,5 \text{ °C} = 270,5 \text{ K}$		-0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	
$\Delta T = 42,5 \text{ K}$		40,5 K	38,5 K	36,5 K	34,5 K	32,5 K	
$\epsilon = 3,682$		3,864	4,065	4,274	4,536	4,815	
$P_{el} = 2,716 \text{ kW}$		2,588 kW	2,460 kW	2,340 kW	2,204 kW	2,077 kW	
+ 30,8 % gg. Bezugswert		+ 24,6 %	+ 18,4 %	+ 12,6 %	+ 6,1 %	Bezugswert	
12 °C	14 °C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C	* Alle Berechnungen für eine Heizungsanlage mit Radiatoren mit Heizkreistemperaturen von 45/35 °C und einer Heizlast von 10 kW
313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	
9,5 °C	11,5 °C	13,5 °C	15,5 °C	17,5 °C	19,5 °C	21,5 °C	
30,5 K	28,5 K	26,5 K	24,5 K	22,5 K	20,5 K	18,5 K	
5,131	5,491	5,906	6,388	6,955	7.634	8,459	
1,949 kW	1,821 kW	1,693 kW	1,565 kW	1,438 kW	1,310 kW	1,182 kW	
- 6,1 %	- 12,3 %	- 18,5 %	- 24,6 %	- 30,8 %	- 36,9 %	- 43,1 %	

Anlage 4 Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer Luft/Wasser-Wärmepumpe

G-W-Q-3.9