

## **Luft/Wasser-Wärmepumpen - die Möglichkeiten eines neuartigen Verfahrens für eine deutliche Steigerung der Effizienz von Wärmepumpen**

Bei meiner untersuchten Sole/Wasser-Wärmepumpe liegen die Temperaturen in der Erdsondenanlage im Sommer bei etwa 10 bis 12°C und im Winter bei meist einigen Grad über 0°C. Ganz anders sind die Temperaturen der Luft/Wasser-Wärmepumpen, die im Sommer bei 25°C und mehr, im Winter jedoch abhängig von der Außenluft auch bei Temperaturen von weit unter 0°C liegen, was dazu führt, dass die Leistungszahl COP dann sogar bei Werten unter 1,5 liegt, also der Strom nahezu vollständig nur noch vom Stromnetz bezogen werden kann.

Da es sich bei den Wärmepumpen zu 90 % um Luft/Wasser-Wärmepumpen handelt ist der Strombedarf im Winter so groß, dass die Bundesnetzagentur bei Überlast der Netze den Strom für Wärmepumpen auf nur noch 4,2 kW begrenzt (siehe die Beschreibung der Bundesnetzagentur). Die Folge ist, das Ziel der BNetzA wird man nicht erreichen können, weil die Maßnahmen sich bei Wärmepumpen nicht umsetzen lassen - stattdessen werden sich zeitweise extreme Probleme im Stromsektor ergeben, möglicherweise auch in Teilbereichen sogar komplette Ausfälle.

Die bei der Untersuchung der Wärmepumpe aufgenommene Grafik 5.5 zeigt, dass nach dem Start der Wärmepumpe immer die Heizkreisvorlauftemperatur der Anlage zunächst deutlich abfällt. Dies wird sich durch das geänderte Verfahren ändern, weil die Wärme aus dem Heizkreisvorlauf während der nur langsam ansteigenden Temperatur in den Quellenkreis der Wärmepumpe geleitet wird, solange deren Temperatur noch niedriger ist als die Temperatur im Brauchwasserspeicher.

Ein kaum beachteter Nachteil bei allen Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik ergibt sich daraus, dass wegen der bei fast jedem Start zunächst sehr niedrigen Heizkreistemperatur kühles Wasser in den Brauchwasserspeicher geleitet wird und dessen Temperatur sich dadurch noch weiter verringert, sodass auf diese Weise Energie verloren geht. Sie muss aber aufgewendet werden, weil zunächst im Heizkreisvorlauf immer die notwendige Temperatur erreicht werden muss, um überhaupt von Zeit zu Zeit die stets abnehmenden Temperaturen des Brauchwassers und auch der Heizungsanlage wieder steigern zu können.

Durch das weiterentwickelte und schon patentierte Verfahren lässt sich die Effizienz von Wärmepumpen jedoch deutlich steigern durch eine Regeneration der Wärmequellen, was ganzjährig möglich ist sowohl bei den Erdsonden der Sole/Wasser-Wärmepumpen als auch bei den Wärmespeichern der Luft/Wasser-Wärmepumpen.

Wenn auf diese Weise die nach dem Start einer Wärmepumpe meist noch recht niedrige Temperatur im Heizkreisvorlauf zunächst zur Steigerung der Quellentemperatur genutzt wird, bis die Heizkreistemperatur die gleiche Temperatur wie im Brauchwasserspeicher oder im Heizwasserspeicher erreicht hat, dann kann deren weitere Temperaturerhöhung

ohne einen Energieverlust beginnen, weil nur die Dreiwegeventile umzuschalten sind und sofort die erhöhte Temperatur verfügbar ist.

Die dadurch immer deutlich höheren Quellentemperaturen führen dazu, dass sich durch den ganzjährig geringeren Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Heizkreis der Stromverbrauch von Wärmepumpen ganz erheblich verringert.

Funktion und Aufbau der Wärmepumpe und die zugehörigen Tabellen zeigen für die von der jeweiligen Außentemperatur abhängigen Luft/Wasser-Wärmepumpen gemäß dem heutigen Stand der Technik die erforderliche elektrische Leistung, die jeweils sehr von der Temperatur im Wärmespeicher abhängt.

Die beigegeführten Tabellen 2 und 3 zeigen den Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Gerade diese Anlagen haben allerdings ganz besonders schlechte COP-Werte durch den hohen Wärmebedarf in den Wintermonaten bei den zugleich niedrigsten Außenlufttemperaturen. Der Wärmespeicher dieser Anlagen kann allerdings besonders Wärme mit sehr hoher Temperatur viel besser speichern als Erdsondenanlagen (deren Temperatur sollte nicht höher als die Erdoberflächentemperatur von maximal 12°C sein, weil sich sonst ein Teil der Wärme im Erdreich ausbreiten könnte).

Die Kosten für das erforderliche Effizienz-Modul, bestehend aus dem multifunktionalen Regelsystem mit einem Optimierungsprogramm und einem einfachen Wärmetauscher, sind gering gegenüber den dann eingesparten jährlichen Stromkosten.

In der Übergangszeit des Jahres kann das beispielsweise eine Temperatur von 10°C sein und eine Leistung von 1,485 kW erfordern. Sinkt die Temperatur auf 0°C ab würde sich der Bedarf auf 2,145 kW erhöhen, das wäre bereits eine Steigerung um 44,4 %, wie der Tabelle 3 zu entnehmen ist. Je weiter die Außentemperatur Werte unter 0°C im Winter annimmt, um so mehr Strom muss für die Erzeugung von Wärme aufgewendet werden - dieses Problem ist bekannt, es ist ein großer Nachteil der Luft/Wasser-Wärmepumpe.

Diese Situation wird sich wesentlich ändern durch das neue Verfahren, weil der für die Luft/Wasser-Wärmepumpen erforderliche Wärmespeicher mittels des multifunktionalen Regelsystems die nach dem Start der Wärmepumpe zunächst entstehende Anergie nutzen kann für die Aufnahme der Wärme, solange deren Temperatur noch zu niedrig ist für die Heizung und für die Erwärmung von Warmwasser. Zusätzlich kann auch vor allem in den Wintermonaten zeitweise überschüssiger Strom von Windkraftanlagen in Wärme umgewandelt und gespeichert werden.

Dieser gegenüber dem Stand der Technik neuartige technologische Ansatz ermöglicht bei der Speicherung der Wärme durchaus sehr hohe Temperaturen. Wie man Tabelle 3 entnehmen kann wäre bei einer hohen Speichertemperatur nur noch extrem wenig Strom erforderlich. Gegenüber dem bisherigen Bedarf von 2,145 kW in den Wintermonaten bei einer Temperatur von 0°C wären das bei einer möglichen Speichertemperatur von 20°C dann beispielsweise nur noch 0,825 kW, das entspricht einer Ersparnis von 61 %.

Bei Sole /Wasser-Wärmepumpen sollte man dagegen nicht über 12°C in den Erdsonden hinausgehen, damit nicht ein Teil der Wärme sich im Erdreich ausbreitet und so verloren geht. Der Vorteil wäre nicht ganz so groß, würde aber immer noch bei 37 % liegen.

Zwischen den Sole/Wasser-Wärmepumpen und den Luft/Wasser-Wärmepumpen ergibt sich ein Extrem großer Unterschied der Kosten durch die Erdsondenanlage. Da schon bald auch die Kosten für Strom bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen geringer sein werden ist eine völlige Umstellung zu erwarten.

Eine umgehende Nutzung dieses neuartigen weiterentwickelten Verfahrens sollte den gesamten Stromverbrauch von Wärmepumpen deutlich verringern und so entscheidend dazu beitragen, dass die Stromnetze nicht wie bisher erwartet überlastet werden und das von der Bundesnetzagentur für Wärmepumpen vorgesehene "dimmen" auf nur 4,2 kW umgehend wieder zu verhindern ist.

## Anlagen

1. Funktion und Aufbau der Wärmepumpe
2. Berechnung der erforderlichen elektrischen Leistung für eine Luft/Wasser-Wärmepumpenanlage
3. Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer Luft / Wasser-Wärmepumpe

14.10.2025

Hans-Georg Jundt

WB3-26  
Luft/Wasser-  
Wärmepumpen

### 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, Erdbreich, 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; B0 / W45):

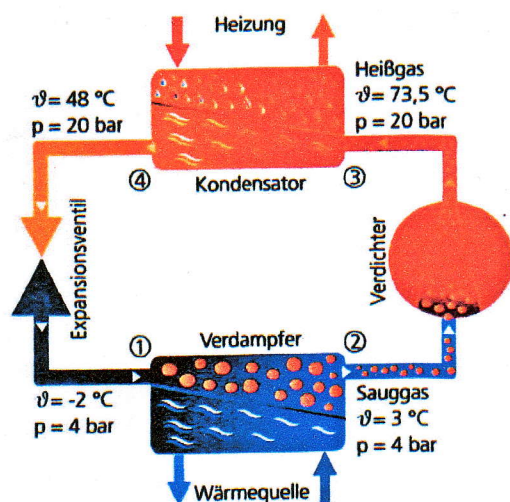


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

#### 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:

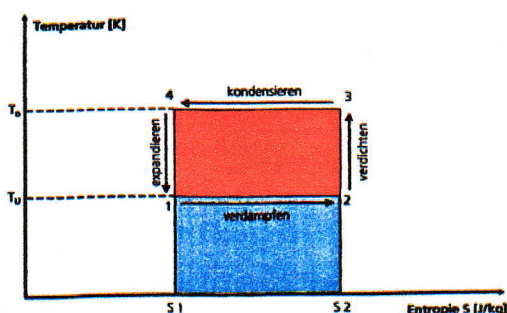


Bild 1.3: Carnot-Prozess

#### ■ 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 (isentropischer 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  $\epsilon_c$ :

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

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:

$$T_u = 0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$$

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

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



Für den idealen **Carnot-Prozess** ergibt sich die theoretische Leistungszahl  $\epsilon_C$  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)

$\Delta T$  = Temperaturhub zwischen Wärmequelle und Wärmesenke

Für die Leistungszahl  $\epsilon_{WP}$  einer realen Wärmepumpe können überschlägig 50% der theoretischen Leistungszahl  $\epsilon_C$  angesetzt werden,

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

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

**Beispiel einer Berechnung** für eine Fußbodenheizung

mit einer Heizlast (Wärmeleistung) von  $10 \text{ kW}_{therm}$

Heizkreistemperaturen =  $35/25^\circ\text{C}$ , Mittelwert =  $30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$  ( $T_o$ )

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

bei Quellentemperatur  $0^\circ\text{C}$ : Temperaturhub  $\Delta T = 303 \text{ K} - 270,5 \text{ K} = 32,5 \text{ K}$

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

$$\rightarrow P_{el} = P_{th} \cdot \Delta T / 0,5 \cdot T_o = \Delta T \cdot 10 / 151,5 \rightarrow P_{el} = 0,066 \cdot \Delta T$$

Quelle $^\circ\text{C}$	Hub $\Delta T$ in K	$P_{el}$ kW
26	6,5	0,429
24	8,5	0,561
22	10,5	0,693
20	12,5	0,825
18	14,5	0,957
16	16,5	1,089
14	18,5	1,221
12	20,5	1,353

Quelle $^\circ\text{C}$	Hub $\Delta T$ in K	$P_{el}$ kW
10	22,5	1,485
8	24,5	1,617
6	26,5	1,749
4	28,5	1,881
2	30,5	2,013
0	32,5	2,145
-2	34,5	2,277
-4	36,5	2,409

**Anlage 2 Berechnung der erforderlichen elektrischen Leistung für eine Luft/Wasser-Wärmepumpenanlage in Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur im Wärmespeicher**

Speicher 0 °C		2 °C	4 °C	6 °C	8 °C	10 °C	Speicher 10 °C
$T_o = 30\text{ °C} = 303\text{ K}$		303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	<u><math>P_{el} = 1,485\text{ kW}</math></u>
$T_u = -2,5\text{ °C} = 270,5\text{ K}$		-0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	<u>Bezugswert *</u>
$\Delta T = 32,5\text{ K}$		30,5 K	28,5 K	26,5 K	24,5 K	22,5 K	für Veränderungen des Strombedarfs je nach der Temperatur im Wärmespeicher
$\varepsilon = 4,661$		4,967	5,316	5,717	6,184	6,733	
$P_{el} = 2,145\text{ kW}$		2,013 kW	1,881 kW	1,749 kW	1,617 kW	1,485 kW	
+ 44,4 % gg. Bezugswert		+ 35,5 %	+ 26,7 %	+ 17,8 %	+ 8,9 %	Bezugswert	
12 °C	14 °C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C	* Berechnungen für eine Anlage mit einer Fußbodenheizung mit <b>Heizkreistemperaturen</b> von 35/25 °C und einer Heizlast von 10 kW
303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	
9,5 °C	11,5 °C	13,5 °C	15,5 °C	17,5 °C	19,5 °C	21,5 °C	
20,5 K	18,5 K	16,5 K	14,5 K	12,5 K	10,5 K	8,5 K	
7,390	8,189	9,182	10,448	12,120	14,428	17,823	
1,353 kW	1,221 kW	1,089 kW	0,957 kW	0,825 kW	0,693 kW	0,561 kW	
- 8,9 %	- 17,8 %	- 26,7 %	- 35,5 %	- 44,4 %	- 53,3 %	- 62,2 %	

### Anlage 3 Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer Luft/Wasser-Wärmepumpe

G-W-Q-3.10



### Berechnung der Tabellenwerte für das Beispiel der Anlage 3

Festlegung eines Bezugswerts zur Ermittlung des jeweiligen Strombedarfs bei unterschiedlichen Temperaturwerten,  
beispielsweise für die Speichertemperatur  $0^{\circ}\text{C}$  (Quellentemperatur) gegenüber dem Bezugswert bei  $10^{\circ}\text{C}$ .

Angaben erforderlich beispielsweise zur Heizlast (10 kW) und zu dem Mittelwert der Heizkreistemperaturen (Vorlauf =  $35^{\circ}\text{C}$ , Rücklauf =  $25^{\circ}\text{C}$ ), die sich für die Berechnung nicht ändern.

Ermittlung des Temperaturhubs  $\Delta T$  zwischen Temperatur  $T_u$  der Quelle und Temperatur  $T_o$  des Heizkreises (dafür ist immer die Temperatur von Grad Celsius umzurechnen in Grad Kelvin  $\rightarrow \Delta T = T_o$  minus  $T_u$ ), für die Berechnung ist jeweils der Mittelwert einzusetzen.

Beispiel für eine Speichertemperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  :  $\rightarrow \Delta T$  für  $T_o = 30^{\circ}\text{C} = 303 \text{ K}$  und  $T_u = -2,5^{\circ}\text{C} = 270,5 \text{ K}$   
bei einer Spreizung im Primärkreis von  $5^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow \Delta T = 32,5 \text{ K}$

Carnot-Formel  $\rightarrow \epsilon_c = T_o / \Delta T = 303 / 32,5 = 9,323$

für Wärmepumpen gilt  $\epsilon_{WP} = \text{etwa } 50\% \text{ von } \epsilon_c = 9,323 \cdot 0,5 \rightarrow \epsilon_{WP} = 4,661$

Leistungszahl COP = thermische Leistung  $P_{th}$  zur elektrischen Leistung  $P_{el}$   $\rightarrow P_{th} / P_{el} = \epsilon_{WP}$

Elektrische Leistung  $\rightarrow P_{el} = P_{th} / \epsilon_{WP} = 10 \text{ kW} / 4,661 = 2,145 \text{ kW}$

Veränderung gegenüber dem Bezugswert 1,485 kW bei  $10^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow 2,145 / 1,485 = +44,4 \%$