

Wie kann die nach dem Start einer Wärmepumpe zunächst erzeugte Anergie am besten genutzt werden?

Die Untersuchung der Wärmepumpe hat gezeigt, dass nach deren Start zur Erhöhung der Solekreislauftemperatur zunächst viel Strom erforderlich ist, um den Rückgang der Temperatur im Brauchwasserspeicher oder der Heizungsanlage wieder auszugleichen. Das ist als reine Anergie zu bezeichnen, die man jedoch zusätzlich sehr gut als Energie nutzen kann.

Das als Anlage 1 beigelegte Kreislaufschaema einer Wärmepumpe ist gegenüber Anlagen gemäß dem Stand der Technik ergänzt worden um die zusätzliche Verbindung zur Wärmequelle der Anlage. Die nach dem Start der Wärmepumpe zunächst nur niedrige Temperatur im Solevorlaufkreis kann sich anders als bisher jetzt nicht mehr weiter verringern, weil nun die nur sehr langsam ansteigende Wärme im Solevorlauf zur Quelle der Anlage umgeleitet wird - dies kann eine Erdsondenanlage oder auch ein 300 Liter-Behälter sein.

Das in Anlage 2 dargestellte Schema der Wärmepumpenanlage und die Bezugszeichenliste zeigen die Wärmepumpe **70** und deren Heizkreis **60** sowie die Heizungsanlage **61**, die Quelle der Anlage wird dargestellt durch die Erdsondenanlage oder den Wärmespeicher **51** - das entspricht den Anlagen gemäß dem aktuellen Stand der Technik. Anstelle der Heizung **61** kann zeitweise auch auf Brauchwasser umgeschaltet werden.

Die Übertragung der nach dem Start der Wärmepumpe entstandenen Anergie von 6 kWh wirkt sich bei einer Luft/Wasser-Wärmepumpe beispielsweise durch eine Übertragung in den Wärmespeicher der Wärmepumpe aus. Erforderlich ist dies nur in der Zeit, bis die Heizkreisvorlauftemperatur die Temperatur im Wärmespeicher etwas übersteigt, dann kann die Übertragung beendet werden, die Anergie kann nicht mehr verloren gehen, sie wird als Energie zur Erhöhung der Wärmespeichertemperatur genutzt.

Bei den von der jeweiligen Außentemperatur abhängigen Luft/Wasser-Wärmepumpen ist der Energiebedarf gänzlich abhängig von der Temperatur im Wärmespeicher wie die Funktion und der Aufbau der Wärmepumpe sowie die als Anlage 3 beigelegte Tabelle über den Strombedarf zeigen.

In der Übergangszeit des Jahres kann das beispielsweise eine Temperatur von 10°C sein und eine Leistung von 1,485 kW erfordern. Sinkt die Außenluft auf 0°C ab so würde sich der Bedarf auf 2,145 kW erhöhen, das wäre bereits eine Steigerung um 44,4%. 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 patentierte neue Verfahren, weil

der für die Luft/Wasser-Wärmepumpen erforderliche Wärmespeicher gemäß dem 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.

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

Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen erfolgt die Übertragung der Anergie stattdessen in die Erdsondenanlage. Man sollte dabei aber nicht wesentlich über 12°C in den Erdsonden hinausgehen, damit sich nicht ein Teil der Wärme im Erdreich weiter ausbreitet und so verloren geht. Der Vorteil wäre nicht ganz so groß, würde aber immer noch bei 37 % liegen.

So lässt sich die von der Wärmepumpe nach deren Start zunächst immer erzeugte Anergie jeweils optimal als Wärme speichern.

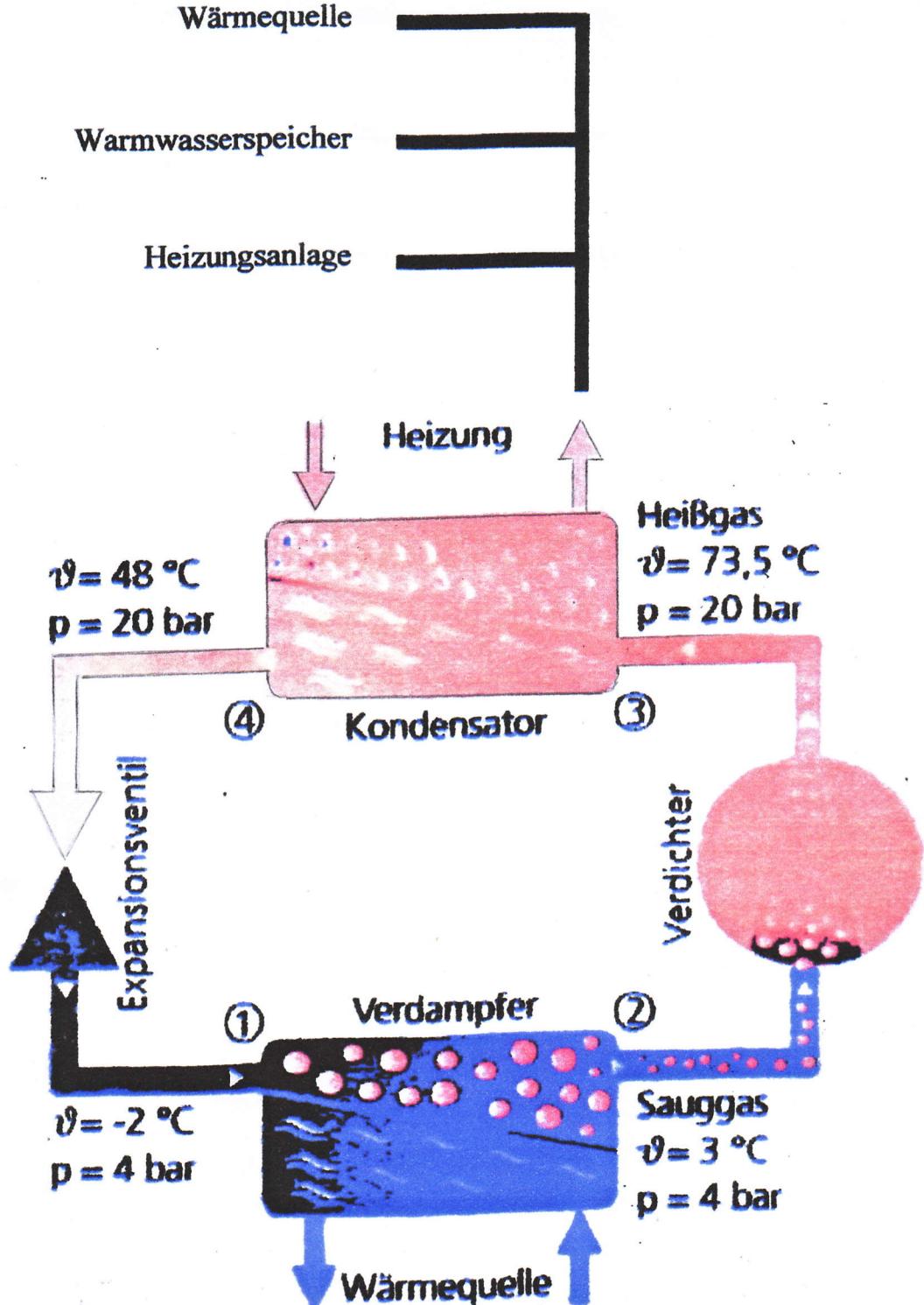
Anlagen

1. Erweitertes Kreislaufschema einer Wärmepumpe
2. Schema der Wärmepumpenanlage (Fig. 4) mit Bezugszeichenliste zur Übertragung der Anergie nach dem Start der Wärmepumpe
- 3 . Funktion und Aufbau der Wärmepumpe
mit Berechnung der erforderlichen elektrischen Leistung
und Tabelle zum Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer Luft/Wasser-Wärmepumpe (mit Berechnung der Tabellenwerte)

30.5.2025



Nutzung der Anergie



Kreislaufschema einer Wärmepumpe

Bei deren Start zur Erwärmung von Brauchwasser oder zum Heizen ist die Heizkreisvorlauftemperatur meist noch recht niedrig und sollte deshalb zunächst zur Erhöhung der Quellentemperatur genutzt werden, bis die Temperatur der Heizung bzw. im Warmwasserspeicher erreicht wird und das Dreieventil die Leitung zur weiteren Erhöhung umschalten kann - dann steht sofort die dafür notwendige Temperatur zur Verfügung.

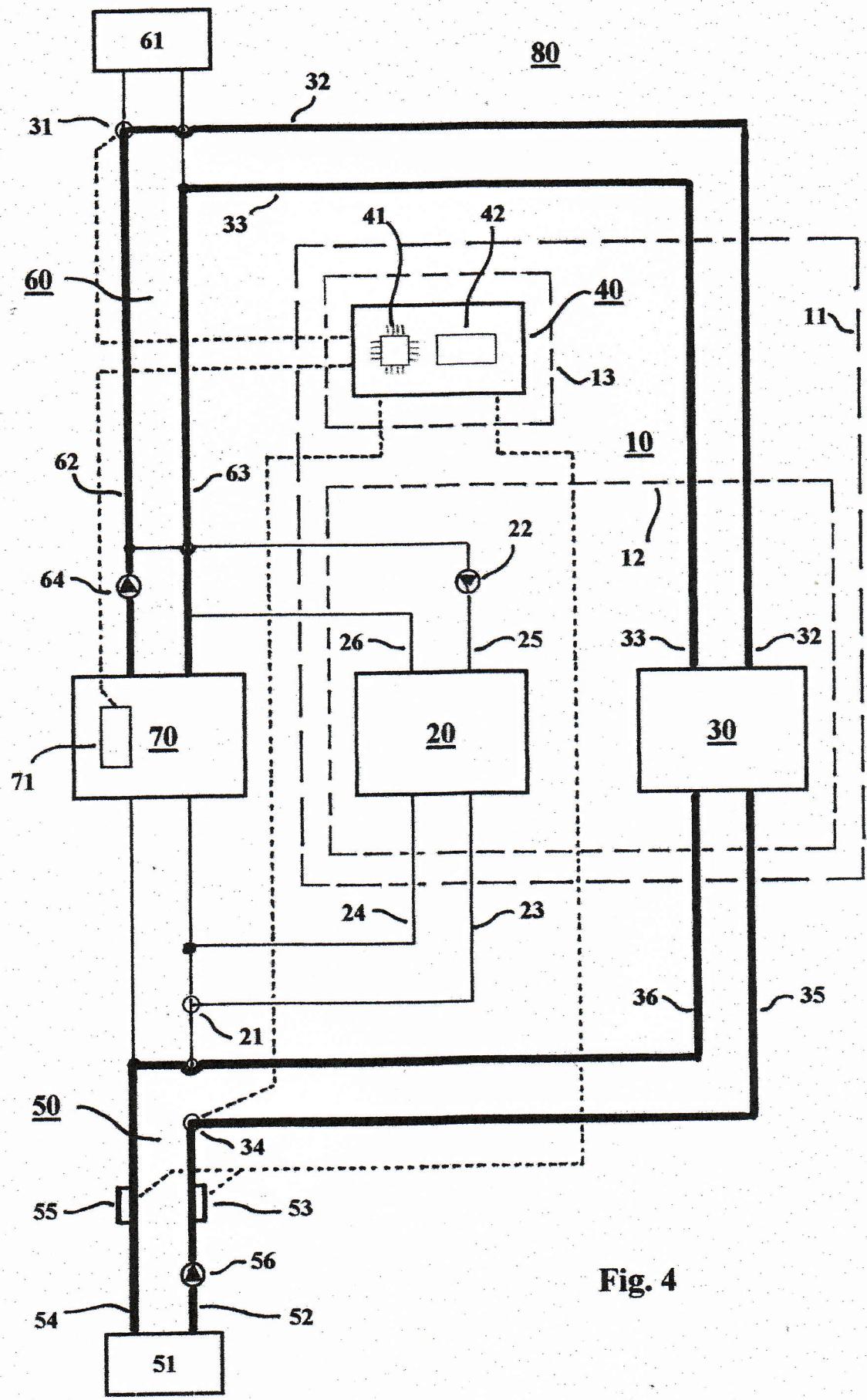


Fig. 4

Bezugszeichenliste

- 10 Einrichtung zur Erhöhung der Quellentemperatur
- 11 Gehäuse der Einrichtung
- 12 Modul 1 / Wärmetauschersystem
- 13 Modul 2 / Regelsystem
- 20 Wärmetauscher 1
- 21 Dreiwegeventil 1 / Quellenvorlauf
- 22 Umwälzpumpe für Wärmetauscher 1
- 23 Zuleitung vom Quellenvorlauf zum Wärmetauscher 1
- 24 Zuleitung von Wärmetauscher 1 zur Wärmepumpe
- 25 Zuleitung vom Heizkreisvorlauf zum Wärmetauscher 1
- 26 Rückleitung vom Wärmetauscher 1 zum Heizungsrücklauf
- 30 Wärmetauscher 2
- 31 Dreiwegeventil 2 / Heizkreisvorlauf
- 32 Zuleitung vom Heizkreisvorlauf zum Wärmetauscher 2
- 33 Rückleitung vom Wärmetauscher 2 zum Heizkreisrücklauf
- 34 Dreiwegeventil 3 / Quellenvorlauf
- 35 Zuleitung vom Quellenvorlauf zum Wärmetauscher 2
- 36 Rückleitung vom Wärmetauscher 2 zum Quellenrücklauf
- 40 Regelsystem mit Optimierungsprogramm
- 41 Prozessor
- 42 Speicher
- 50 Quellenkreis (Primärkreis der Wärmepumpe)
- 51 Quelle (Erdsonden oder Speicher)
- 52 Quellenvorlauf
- 53 Temperatursensor im Quellenvorlauf
- 54 Quellenrücklauf
- 55 Temperatursensor im Quellenrücklauf
- 56 Quellenpumpe
- 60 Heizkreis
- 61 Heizungsanlage
- 62 Heizkreisvorlauf
- 63 Heizkreisrücklauf
- 64 Heizkreispumpe
- 70 Wärmepumpe
- 71 Elektrische Zusatzheizung
- 80 Wärmepumpenanlage (Gesamtdarstellung)

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 Arbeitmittels 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):

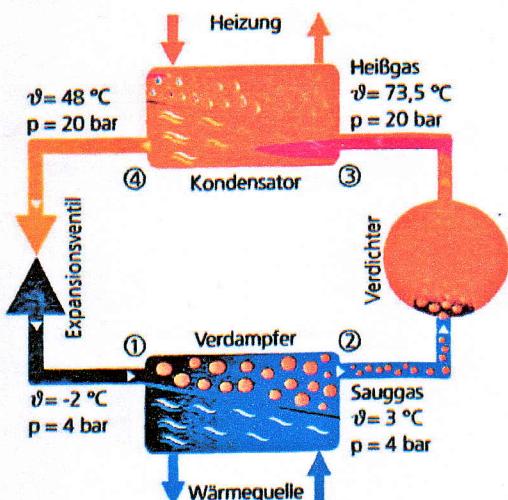


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

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 (linksdrehend) 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:

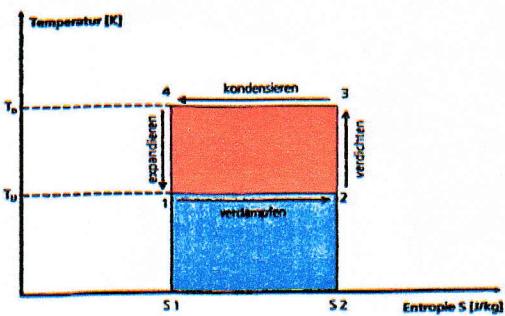


Bild 1.3: Carnot-Prozess

■ 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 ϵ_C :

$$\epsilon_C = \frac{T_0}{T_0 - T_U} = \frac{T_0}{\Delta T}$$

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:

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

$$T_0 = 40^\circ\text{C} = 273 + 40 = 313\text{ K}$$

$$\epsilon_C = \frac{T_0}{T_0 - T_U} = \frac{313}{313 - 273} = 7,83$$

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 Fußbodenheizung

mit einer Heizlast (Wärmeleistung) von 10 kW_{therm}

Heizkreistemperaturen = 35/25 °C, Mittelwert = 30 °C = 303 K (T_o)

Soletemperaturen (Quelle) = 0/-5 °C, Mittelwert = -2,5 °C = 270,5 K (T_u)

bei Quellentemperatur 0 °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 °C	Hub ΔT 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 °C	Hub ΔT 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
$T_o = 30 °C = 303 K$	303 K	$P_{el} = 1,485 kW$				
$T_u = -2,5 °C = 270,5 K$	- 0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	<u>Bezugswert *</u>
$\Delta T = 32,5 K$	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
$\epsilon = 4,661$	4,967	5,316	5,717	6,184	6,733	
$P_{el} = 2,145 kW$	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
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 %

* Berechnungen für
eine Anlage mit einer
Fußbodenheizung mit
Heizkreistemperaturen von 35/25 °C und einer
Heizlast von 10 kW

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°C (Quellentemperatur) gegenüber dem Bezugswert bei 10°C.

Angaben erforderlich beispielsweise zur Heizlast (10 kW) und zu dem Mittelwert der Heizkreistemperaturen (Vorlauf = 35°C, Rücklauf = 25°C), die sich für die Berechnung nicht ändern.

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

Beispiel für eine Speichertemperatur von 0°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°C $\rightarrow \Delta T = 32,5\text{ K}$

$$\text{Carnot-Formel} \rightarrow \varepsilon_c = T_o / \Delta T = 303 / 32,5 = 9,323$$

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

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

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

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