

WB2-ZE7 Probleme bei Wärmepumpen

Der Start einer Wärmepumpe erfordert zunächst viel Strom, um die Temperatur im Heizkreisvorlauf der Wärmepumpe je nach Bedarf zu erhöhen für die Heizung oder für die Erhöhung der Brauchwassertemperatur.

Im Oktober 2023 habe ich deshalb eine Untersuchung der eigenen Wärmepumpenanlage gemäß dem aktuellen Stand der Technik durchgeführt.

Datum	Zweck	Zeit	Dauer
Montag, 16.10.2023	Heizen	9.18 -- 9.46 Uhr	31 Min.
	Heizen	10.55 -- 11.19 Uhr	24 Min.
Dienstag, 17.10.2023	Heizen	15.16 -- 15.36 Uhr	20 Min.
	Wasser	15.44 -- 16.07 Uhr	25 Min.
Mittwoch, 18.10.2023	Wasser	11.29 -- 12.06 Uhr	37 Min.
Donnerstag, 19.10.2023	Wasser *	18.08 -- 18.50 Uhr	42 Min.
	Heizen *	18.51 -- 19.25 Uhr	34 Min.

* Bei diesem Vorgang erfolgte die Umschaltung von der Brauchwassertemperatur zur Steigerung der Heizungstemperatur ohne eine zeitliche Unterbrechung.

Die Aufzeichnung über die gesamte Dauer von einer Stunde und 16 Minuten war nur möglich durch eine Unterstützung von meiner Tochter.

Die exakten Aufzeichnungen der Temperaturwerte in Teil 1 enthalten als wichtigste Daten die Heizkreisvorlauftemperatur VL der Wärmepumpe, die Temperatur VL_{ext} im Speicher der Heizung, die Temperatur BW des Brauchwasserspeichers und dazu noch den im Wärmezähler angegebenen Stromverbrauch der Anlage.

In Teil 2 werden in der ersten Grafik die Temperaturen der Wärmepumpe im Tagesverlauf und in der zweiten Grafik die einer Brauchwassererwärmung dargestellt, erst deren vergrößerte Darstellung erklärt den genauen Ablauf.

Die Tabelle zeigt an den Start der Erwärmung von Brauchwasser um 18.08 Uhr, als dessen Temperatur von 45°C unterschritten wird (blaue Linie). Zu diesem Zeitpunkt zeigt auch der Wärmezähler den Stromverbrauch an, die Heizkreistemperatur der Wärmepumpe (rote Linie) fällt weiter ab.

Das führt dazu, dass auch die Temperatur im Brauchwasserbehälter noch weiter absinkt, das zeigt die Grafik sowie die Tabelle die exakte Temperatur von 44,1°C. Sehr langsam steigt die Heizkreistemperatur in 26 Minuten wieder auf 45°C an, also die Temperatur, mit der die Wärmepumpe startete.

Der Wärmezähler zeigt dafür einen Stromverbrauch von 6 kWh an (rot). Bis auch die Brauchwassertemperatur die beabsichtigten 50°C erreicht werden weitere 4 kWh benötigt (grün). Der Verbrauch von 6 kWh ist wie bei allen Wärmepumpen gemäß dem aktuellen Stand der Technik als reine Anergie zu betrachten.

In meiner "Untersuchung einer Wärmepumpe gemäß dem Stand der Technik" wird gezeigt, dass alle Wärmepumpen im noch immer aktuellen Stand der Technik bei jedem Start zunächst viel Energie verlieren. Durch ein neues bereits patentiertes Verfahren geht diese Anergie aber nicht verloren, wenn man die anfangs geringe Wärme im Heizkreis der Wärmepumpe in deren Wärmequelle überträgt. Das führt dazu, dass der Stromverbrauch sich sogar bis auf die Hälfte des normalen Jahresverbrauchs verringern kann, weil sich der Unterschied der Temperaturen von Wärmequelle und Heizung durch die Übertragung der Wärme deutlich verringert.

Beigefügt ist dafür auch "Funktion und Aufbau der Wärmepumpe - der Strombedarf".

Diese Zusammenfassung meiner Untersuchungen mag nicht so leicht zu verstehen sein, das Ergebnis ist jedoch sehr befriedigend.

23.8.2025

Handwritten signature: Hans-Georg Jäger

WB2-ZE7 Probleme

P.S.: Die zusammengefassten Ergebnisse der Untersuchung einer Wärmepumpe sind auch online abrufbar unter <https://www.wärmepumpen-effizienz.de/wb2-ze7.pdf> und können so an etwaige weitere Interessenten weitergeleitet werden.

Datum 19.10.2023

Außentemperatur 8,9°C (6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

Brauchwasser-ErwärmungEIN bei 45°C, AUS bei 50°C

Zeit	GM	VL	RL	VL ext	Wärme-Z.	BW
17.55	25	40,9	42,0	37,5	325.332	45,1
18.05	5	40,1	41,9	36,8		<u>45,0</u>

BW Start

18.08	-8	39,8	30,3	36,3		44,9
.09	-12	36,3	27,5	36,2	<u>325.333</u>	44,9
.10	-16	34,0	27,5	36,1		44,8
.11	-20	33,5	27,6	36,1		44,8
.12	-24	33,3	28,6	36,0		44,7
.13	-28	34,8	33,4	35,9	<u>325.334</u>	44,7
.14	-32	37,4	33,8	35,8		44,7
.15	-36	38,6	34,1	35,8		44,6
.16	-41	39,2	34,5	35,7		44,5
.17	-45	39,5	35,6	35,6	<u>325.335</u>	44,4
.18	-50	40,7	37,8	35,5		44,4
.19	-54	42,9	38,9	35,3		44,3
.20	-59	43,3	39,1	35,2		44,3
.21	-64	43,7	39,6	35,1		44,2
.22	-69	44,1	40,2	35,0	<u>325.336</u>	44,2
.23	-74	44,8	41,7	34,9		44,1
.24	-79	45,7	42,3	34,8		44,1
.25	-84	46,1	42,6	34,8		44,1
.26	-90	46,9	43,2	34,7		44,2
.27	-95	47,4	43,6	34,6	<u>325.337</u>	44,2
.28	-101	47,9	44,3	34,5		44,2
.29	-106	48,3	44,9	34,4		44,3
.30	-112	49,5	45,5	34,3		44,3
18.31	-118	49,6	46,0	34,2		44,4

→ Fortsetzung der Aufzeichnung

Anlage 5 vom 19.10.2023

Teil 1: Exakte Aufzeichnungen der Temperaturwerte

Datum 19.10.2023

Außentemperatur 8,9°C (6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

Brauchwasser-Erwärmung (Fortsetzung der Aufzeichnung)

Zeit	GM	VL	RL	<u>VL ext</u>	<u>Wärme-Z.</u>	<u>BW</u>
18.32	-124	50,0	46,4	34,1		44,5
.33	-130	50,6	47,0	34,0	<u>325.338</u>	44,7
.34	-136	50,9	47,5	33,9		<u>45,0</u>
.35	-143	51,6	48,2	33,7		45,2
.36	-149	52,2	48,8	33,6		45,4
.37	-155	52,6	49,3	33,5		45,7
.38	-162	53,1	49,5	33,4	<u>325.339</u>	46,3
.39	-169	53,4	50,0	33,3		46,6
.40	-169	53,8	50,4	33,3		46,8
.41	-169	54,5	51,0	33,2		47,2
.42	-169	54,8	51,5	33,2		47,5
.43	-169	55,0	51,8	33,1	<u>325.340</u>	47,8
.44	-169	55,6	52,2	33,0		48,2
.45	-169	56,0	52,6	32,9		48,5
.46	-169	56,3	53,0	32,8		48,8
.47	-169	56,7	53,4	32,8	<u>325.341</u>	49,1
.48	-169	57,3	53,9	32,7		49,4
.49	-169	57,6	54,3	32,7		49,8
18.50	-169	57,9	54,5	<u>32,6</u>	<u>325.342</u>	<u>50,1</u>

Umschaltung von Brauchwasser auf Heizen

18.51	-169	43,5	32,3	<u>38,2</u>		50,5
.52	-169	40,4	32,5	<u>38,6</u>	<u>325.343</u>	50,9
.53	-169	38,7	32,8	<u>38,4</u>		51,3
.54	-169	38,5	32,9	<u>38,1</u>		51,5
.55	-169	38,5	33,9	<u>38,0</u>		51,6
.56	-169	38,5	33,1	<u>38,1</u>	<u>325.344</u>	51,8
.57	-169	38,5	33,1	<u>38,1</u>		52,0
.58	-169	38,6	33,2	<u>38,2</u>		52,2
18.59	-169	38,6	33,4	<u>38,4</u>		52,3

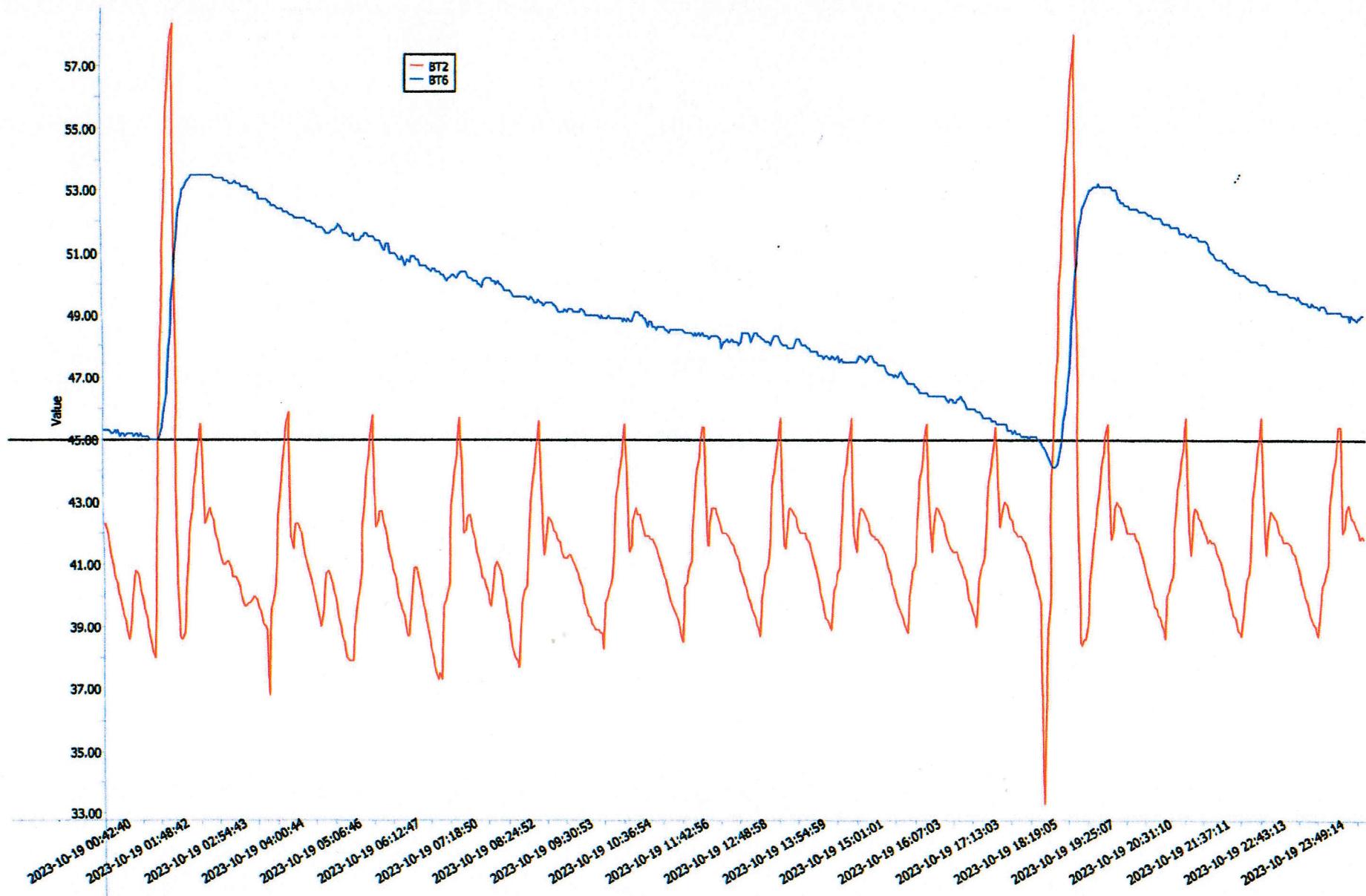
→ Fortsetzung der Aufzeichnung

Datum 19.10.2023

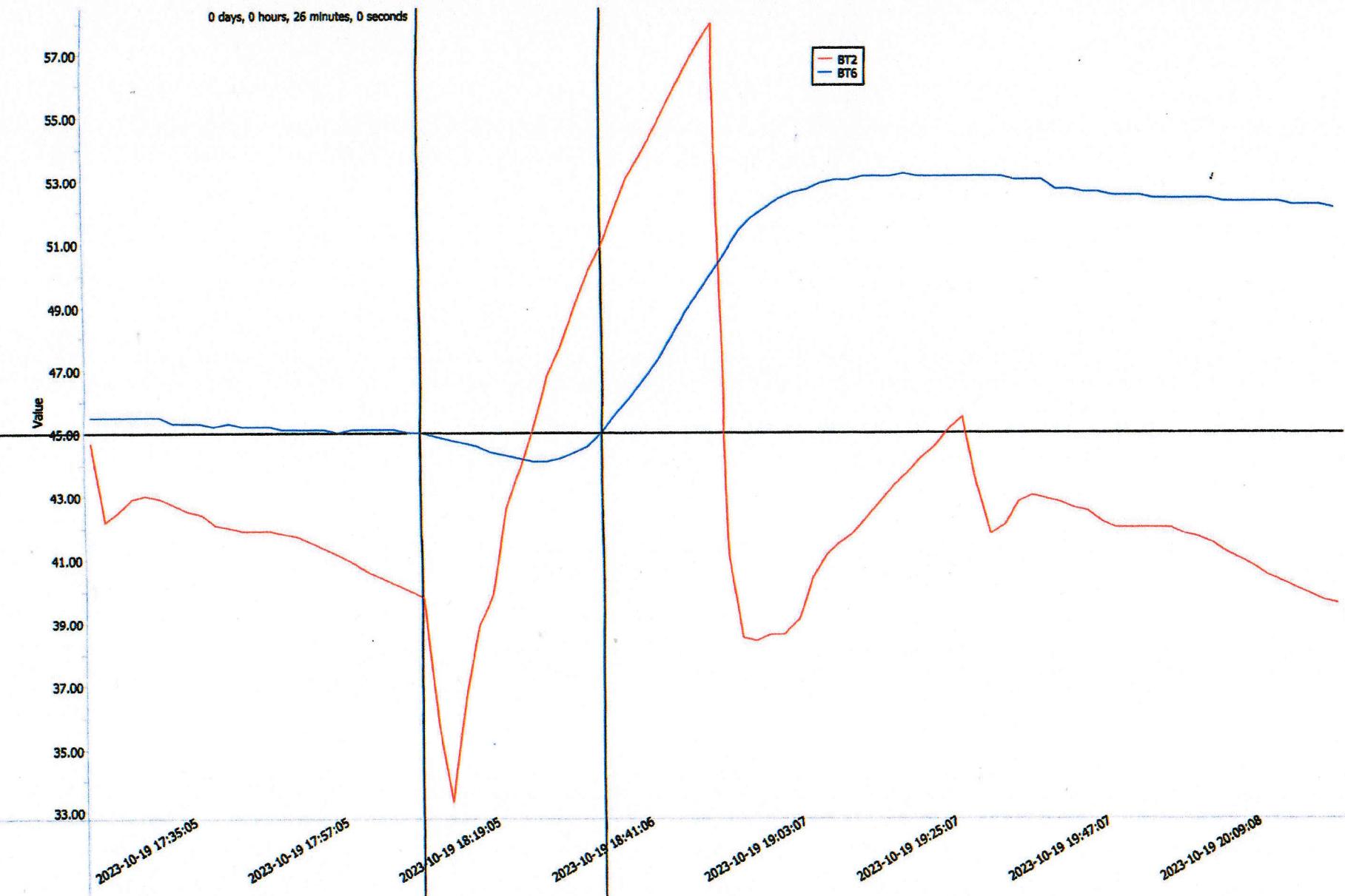
Außentemperatur 8,9°C (6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

Heizen (Fortsetzung der Aufzeichnung)

Zeit	GM	VL	RL	VL ext	Wärme-Z.	BW
19.00	-169	38,7	33,6	38,5	325.445	52,4
.01	-169	39,3	35,0	38,6		52,6
.02	-169	39,8	35,5	38,9		52,7
.03	-169	40,5	35,8	39,2		52,8
.04	-169	40,8	36,0	39,6		52,9
.05	-169	41,1	36,2	39,9	325.346	52,9
.06	-168	41,4	36,5	40,3		53,0
.07	-168	41,6	36,7	40,6		53,0
.08	-167	41,7	36,8	40,8		53,0
.09	-166	41,9	37,2	41,1	325.347	53,1
.10	-165	42,1	37,9	41,4		53,1
.11	-164	42,3	37,8	41,7		53,1
.12	-162	42,6	38,1	41,9		53,1
.13	-160	42,8	38,3	42,1	325.348	53,1
.14	-158	43,1	38,5	42,3		53,1
.15	-155	43,3	38,7	42,5		53,1
.16	-153	43,6	38,9	42,8		53,1
.17	-150	43,8	39,2	43,0	325.349	53,1
.18	-147	44,0	39,5	43,3		53,1
.19	-143	44,3	39,7	43,5		53,1
.20	-140	44,5	44,0	43,7		53,1
.21	-136	44,7	40,2	44,0	325.350	53,1
.22	-132	44,9	40,4	44,2		53,1
.23	-128	45,1	40,6	44,4		53,1
.24	-123	45,3	40,9	44,7		53,1
19.25	-118	45,5	41,4	44,9	325.351	53,1
Heizen Ende						
19.26	+ 6	45,7	41,2	45,1		53,1



Anlage 5 Teil 2: Temperaturen der Wärmepumpe im Tagesverlauf am 19.10.2023



Anlage 5 Teil 2: Temperaturen eines Vorgangs der Brauchwasser-Erwärmung am 19.10.2023

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):

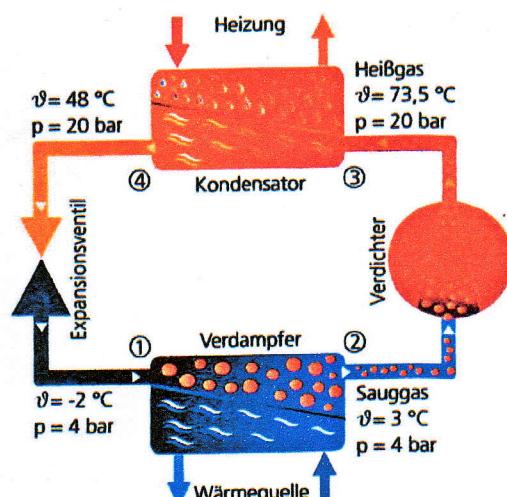


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

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 (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:

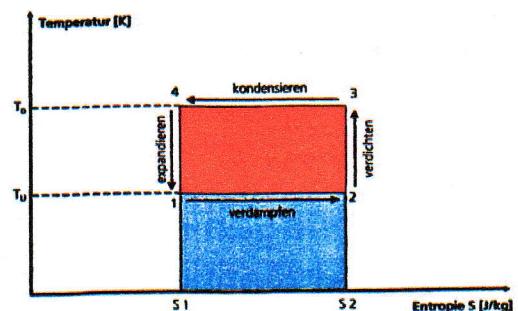


Bild 1.3: Carnot-Prozess

■ 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 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:

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

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

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

Für den idealen Carnot-Prozess ergibt sich die theoretische Leistungszahl 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	
$\varepsilon = 4,661$	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	für Veränderungen des Strombedarfs je nach der Temperatur im Wärmespeicher

12 °C	14 °C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C	
303 K							
9,5 °C	11,5 °C	13,5 °C	15,5 °C	17,5 °C	19,5 °C	21,5 °C	* Berechnungen für eine Anlage mit einer Fußbodenheizung mit
20,5 K	18,5 K	16,5 K	14,5 K	12,5 K	10,5 K	8,5 K	Heizkreistemperaturen von 35/25 °C und einer Heizlast von 10 kW
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°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 $\rightarrow \Delta T = T_o$ minus 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 $\rightarrow \Delta T = 32,5\text{ K}$

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

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

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

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

Veränderung gegenüber dem Bezugswert 1,485 kW bei 10°C $\rightarrow 2,145 / 1,485 = +44,4\%$