Dr.-Ing. Hans-Georg Benken - 38104 Braunschweig - An der Wabe 5 - Tel. (0531) 372 374

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

Das im Planungshandbuch Wärmepumpen enthaltene Kreislaufschema habe ich deutlich erweitert und der Grafik neben Heizungsanlage und Warmwasserspeicher auch noch eine Verbindung zur Wärmequelle hinzugefügt - so lässt sich auch der Einfluss der Quellentemperatur darstellen. Die als Anlage 1 dargestellte Grafik wird bisher nur genutzt, um die nach dem Start einer Wärmepumpe langsam ansteigende Temperatur der Wärme im Heizkreisvorlauf in den Brauchwasserspeicher oder in den Heizungspuffer zu leiten.

Das Ergebnis der Untersuchung einer Wärmepumpe gemäß dem Stand der Technik ist der beigefügten Tabelle der exakten Aufzeichnungen von Temperaturen und Stromverbrauch zu entnehmen - siehe dazu die Tabellenwerte der Anlage 2 und die zugehörige Grafik **5.5** der Anlage 3.

Die Grafiken enthalten jeweils den Verlauf der Heizkreisvorlauftemperatur VL (BT2 rot) sowie die Brauchwassertemperatur BW (BT6 blau) im oberen Bereich des Speichers. Die Dauer der einzelnen Vorgänge wird angegeben am oberen Rand, gekennzeichnet durch die beiden vertikalen Linien.

An der Grafik **5.5** in Anlage 3 ist zu erkennen, dass für eine Erwärmung von Brauchwasser von 45°C auf 50°C sich zuerst immer die Heizkreisvorlauftemperatur deutlich erhöhen muss, da nach dem Start der Wärmepumpe deren Quellentemperatur erheblich geringer ist und dementsprechend auch die Heizkreisvorlauftemperatur.

Man sieht deutlich, dass sich nach einem Start der Wärmepumpe die Heizkreistemperatur erhöht, jedoch aufgrund von deren anfangs sehr geringer Temperatur die Brauchwassertemperatur sich nicht erhöht, sondern sich sogar von 45°C auf 44,1°C verringert. Erst nach 26 Minuten hat sich das Brauchwasser wieder auf 45°C erhöht, also auf die Temperatur wie zum Zeitpunkt des Starts der Wärmepumpe. Bisher ist dafür zwar Strom verbraucht worden, das Brauchwasser wurde aber noch gar nicht erwärmt!

Dies wird sich ändern, weil die Wärme aus dem Heizkreisvorlauf während der ansteigenden Temperatur in den Quellenkreis der Wärmepumpe geleitet wird, solange deren Temperatur noch niedriger ist als die Temperatur beispielsweise im Brauchwasserspeicher.

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

Sollte sich aber die Wärmepumpe während der Erwärmung von Brauchwasser frühzeitig beispielsweise durch eine Überlastung im Stromnetz abschalten, dann wäre die bereits aufgewendete Energie vollständig nutzlos und als Anergie zu betrachten, die Temperatur im Brauchwasserspeicher hätte sich durch die Zuführung des zunächst kühlen Wassers sogar noch weiter verringert.

Durch ein weiterentwickeltes und bereits patentiertes Verfahren lässt sich die Effizienz von Wärmepumpen jedoch deutlich steigern durch eine Regeneration der Wärmequellen, was ganzjährig möglich ist bei den Erdsonden der Sole/Wasser-Wärmepumpen, aber auch bei den Wärmespeichern der Luft/Wasser-Wärmepumpen, wie das als Anlage 1 beigefügte Kreislaufschema einer Wärmepumpe zeigt.

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 bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen als auch bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen 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.

Die als Anlage 4 beigefügte Tabelle zeigt den Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Gerade diese Anlagen haben bisher extrem schlechte COP-Werte durch den hohen Wärmebedarf in den Wintermonaten bei zugleich niedrigsten Außenlufttemperaturen, der Wärmespeicher dieser Anlagen kann aber gerade Wärme mit sehr hoher Temperatur viel besser speichern als Erdsondenanlagen (deren Temperatur sollte nicht höher als die Erdreichtemperatur von maximal 15°C sein, weil sich sonst ein Teil der Wärme im Erdreich verteilen würde).

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

Jeder, der sich ernsthaft mit diesem Thema beschäftigt, sollte sich bewusst werden, dass bei Wärmepumpen vom derzeitigen Stand der Technik ein erheblicher Teil der Energie sich besser nutzen lässt für eine Regeneration der Wärmequelle, sei es für Erdsonden bei Sole/Wasser-Wärmepumpen oder für den Wärmespeicher bei Luft/Wasser-Wärmepumpen (vor allem bei diesen von der Außenluft abhängigen Anlagen mit einem COP-Wert im Winter von sogar nur weniger als 1,5 ist das von besonderer Bedeutung).

Mit einem dafür schon entwickelten und auch bereits patentierten Verfahren mit einem multifunktionalen Regelsystem lässt sich nach jedem Start der Wärmepumpe die stets notwendige Wärme für die Steigerung der Heizkreisvorlauftemperatur zunächst einmal anderweitig nutzen.

Das als Anlage 1 beigefügte Kreislaufschema der Wärmepumpe zeigt das ganz einfache Prinzip. Bei deren Start zur Erwärmung von Brauchwasser oder zum Heizen ist die Heizkreisvorlauftemperatur meist noch recht niedrig, deren Wärme sollte deshalb zunächst so lange zur Erhöhung der Quellentemperatur genutzt werden, bis sie die schon vorhandene Temperatur im Warmwasserspeicher bzw. in der Heizungsanlage ebenfalls erreicht hat.

Wie man in der Anlage 5 sehen kann würden für die weitere Erhöhung der Temperatur die Dreiwegeventile dann umschalten und die steigende Wärme aus dem Heizkreisvorlauf umleiten in den Warmwasserspeicher oder in die Heizungsanlage bis zur Abschaltung der Anlage.

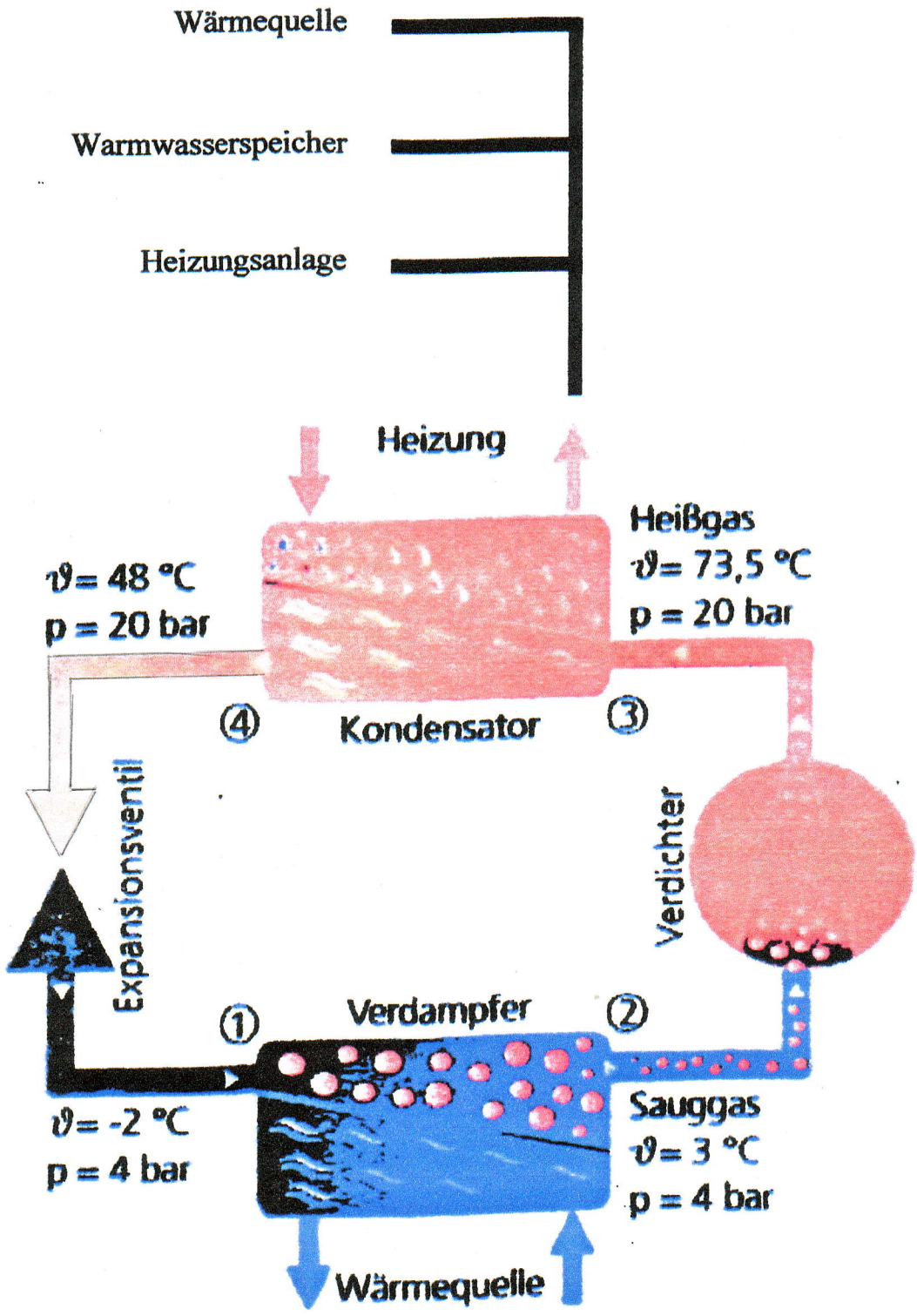
Maßgebend für hohe COP-Werte ist vor allem die bei jeder Wetterlage zu erreichende möglichst große Steigerung der Quellentemperatur durch eine vielfältige Nutzung der verschiedenen Möglichkeiten, beispielsweise durch den zeitweise überschüssigen Strom von Windkraftanlagen. Entscheidend ist ein multifunktionales Regelsystem mit einem Optimierungsprogramm, das abhängig von den Wetterverhältnissen sowie den jeweiligen Kosten der Energie und deren Verfügbarkeit die gerade beste Lösung ermitteln kann.

Eine umgehende Nutzung dieses neuartigen weiterentwickelten Verfahrens sollte den Stromverbrauch von Wärmepumpen deutlich verringern und so auch 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. Erweitertes Kreislaufschema einer Wärmepumpe
2. Tabelle der exakten Aufzeichnungen von Temperaturen und Wärmeverbrauch
3. Grafik **5.5** Erwärmung von Brauchwasser zur Erhöhung von 45°C auf 50°C nach dem Start einer Wärmepumpe vom Stand der Technik
4. Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den jeweiligen Strombedarf einer Luft/Wasser-Wärmepumpe
5. Schema der Wärmepumpenanlage (Fig. 4) mit Bezugszeichenliste zur Übertragung der Anergie nach dem Start der Wärmepumpe

14.8.2025 Hans-Georg Hartmann WB3-26



Kreislaufschema einer Wärmepumpe

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

Datum 19.10.2023 Außentemperatur 8,9°C (6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

Brauchwasser-Erwärmung EIN 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		45,0
BW Start						
18.08	-8	39,8	30,3	36,3		44,9
.09	-12	36,3	27,5	36,2	325.333	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	325.334	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	325.335	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	325.336	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	325.337	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)

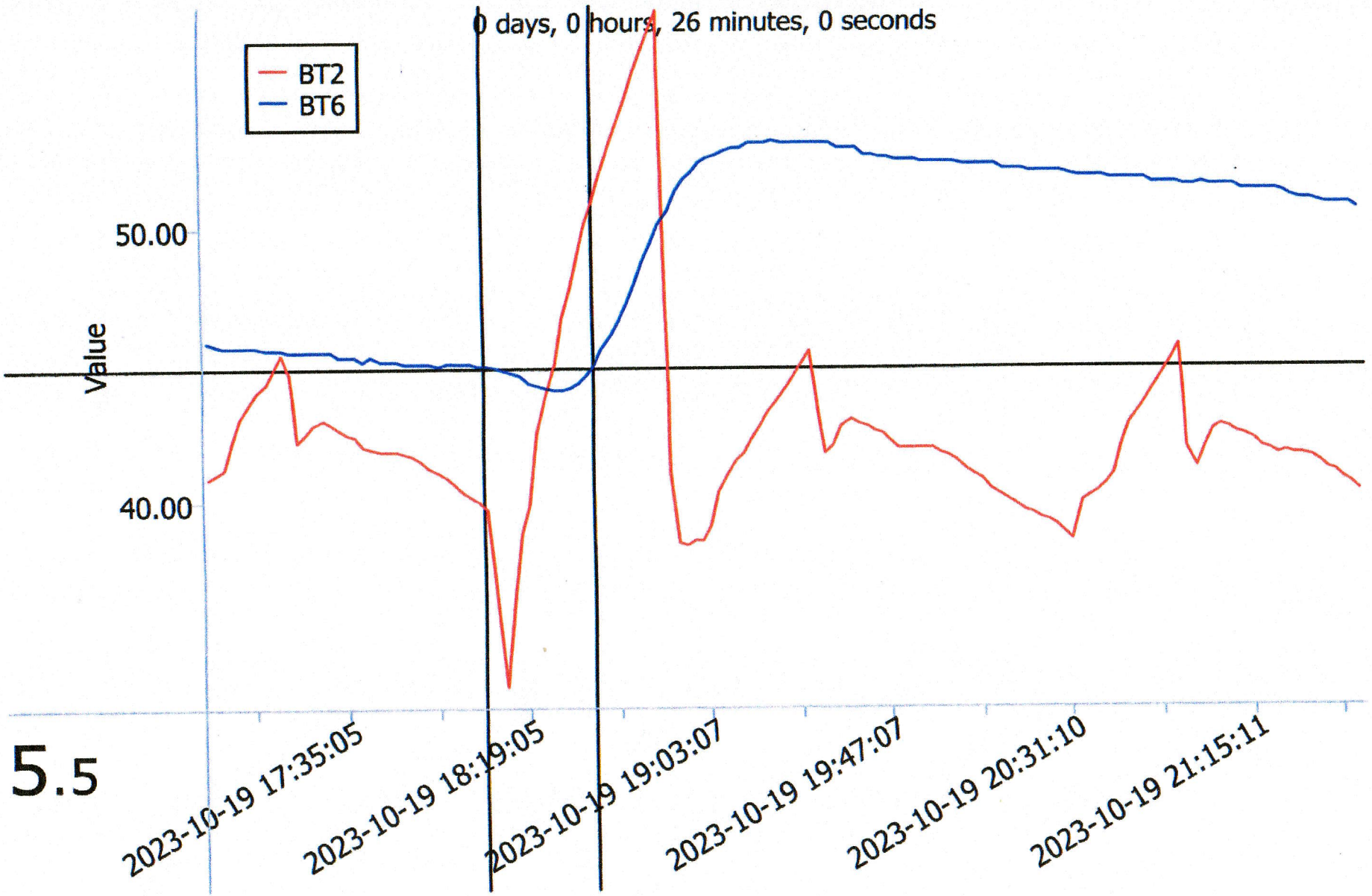
Zeit	GM	VL	RL	VL_{ext}	Wärme-Z.	BW
18.32	-124	50,0	46,4	34,1		44,5
.33	-130	50,6	47,0	34,0	325.338	44,7
.34	-136	50,9	47,5	33,9		45,0
.35	-143	51,6	48,2	33,7		45,2
.36	-149	52,2	48,8	33,6		45,4
.37	-155	52,6	49,3	33,5		45,7
.38	-162	53,1	49,5	33,4	325.339	46,3
.39	-169	53,4	50,0	33,3		46,6
.40	-169	53,8	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	325.340	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	325.341	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	32,6	325.342	50,1
	Umschaltung von Brauchwasser auf Heizen					
18.51	-169	43,5	32,3	38,2		50,5
.52	-169	40,4	32,5	38,6	325.343	50,9
.53	-169	38,7	32,8	38,4		51,3
.54	-169	38,5	32,9	38,1		51,5
.55	-169	38,5	33,9	38,0		51,6
.56	-169	38,5	33,1	38,1	325.344	51,8
.57	-169	38,5	33,1	38,1		52,0
.58	-169	38,6	33,2	38,2		52,2
18.59	-169	38,6	33,4	38,4		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


0 days, 0 hours, 26 minutes, 0 seconds
BT2
BT6
50.00
40.00
Value
5.5
2023-10-19 17:35:05
2023-10-19 18:19:05
2023-10-19 19:03:07
2023-10-19 19:47:07
2023-10-19 20:31:10
2023-10-19 21:15:11

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):

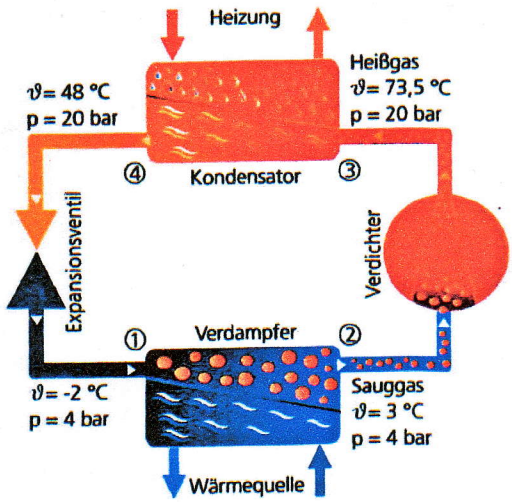


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

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:

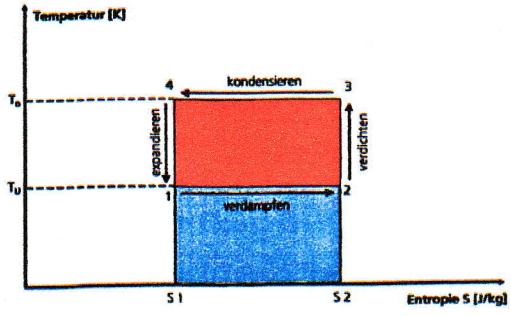


Bild 1.3: Carnot-Prozess

- 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 des Prozesses, der Carnot-Leistungszahl ε_C :

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

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:

$T_u = 0\,°C = 273\,K$

$T_o = 40\,°C = 273 + 40 = 313\,K$

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

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

$\varepsilon_C = T_o / (T_o - T_u) = T_o / \Delta T$ (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 $\varepsilon_{WP} = 0{,}5 \cdot \varepsilon_C$.

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 ΔT = 303 K - 270,5 K = 32,5 K

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

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

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	303 K	303 K	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	**Bezugswert** *
ΔT = 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
ε = 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	* Berechnungen für eine Anlage mit einer Fußbodenheizung mit **Heizkreistemperaturen von 35/25 °C** und einer Heizlast von 10 kW
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°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 : $\rightarrow$ ΔT für $T_o = 30°C = 303$ K und $T_u = -2{,}5°C = 270{,}5$ K
bei einer Spreizung im Primärkreis von 5°C $\rightarrow$ $\Delta T = 32{,}5$ K

Carnot-Formel $\rightarrow$ $\varepsilon_c = T_o / \Delta T = 303 / 32{,}5 = 9{,}323$
für Wärmepumpen gilt ε_{WP} = 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 $\rightarrow$ $P_{el} = P_{th} / \varepsilon_{WP} = 10$ kW / 4,661 = 2,145 kW

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

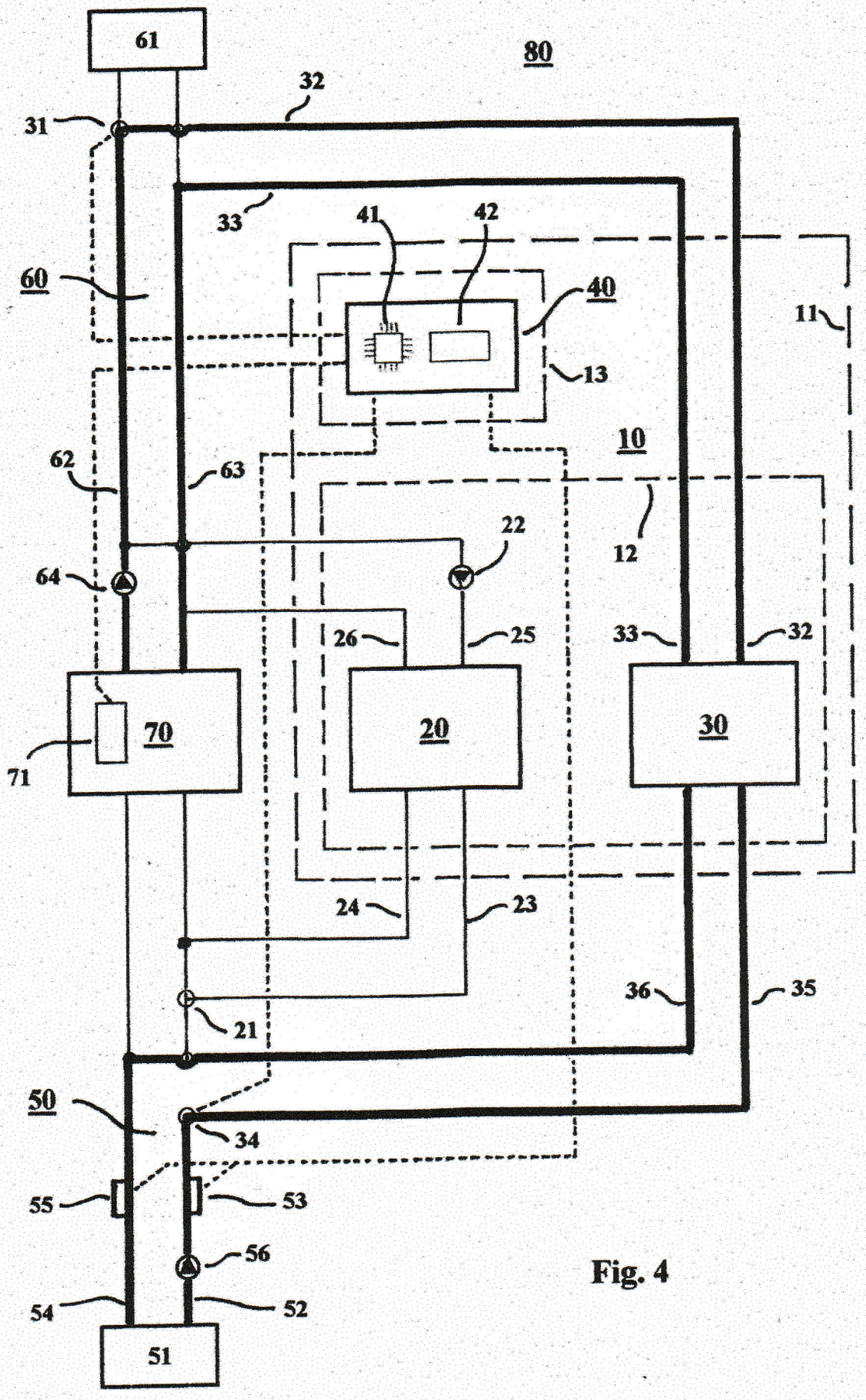

61
80
32
31
33
41
42
60
40
11
13
10
62
63
12
22
64
26
25
33
32
70
20
30
71
24
23
36
35
21
50
34
55
53
56
54
52
51

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)