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

Bilanzgrenzen für alle Wärmepumpen? Noch nicht für das neuartige Verfahren!

Warum? Durch das Verfahren wird nach dem Start der Wärmepumpe die zunächst sehr geringe Temperatur der erzeugten Wärme durch deren Übertragung in die Wärmequelle für eine deutliche Steigerung der Anlagen-Effizienz genutzt, das kann jedoch von den üblichen Bilanzgrenzen nicht berücksichtigt werden. Die Temperatur der Quelle steigt durch die Rückführung der Wärme sehr schnell auf bedeutend höhere Werte an, ohne dass dafür zusätzliche Energie eingesetzt werden muss.

Hersteller von Wärmepumpen und Wissenschaftliche Institute haben aber bisher ohne den gewünschten Kontakt aufzunehmen weiterhin stets Bilanzgrenzen zugrunde gelegt, wie das beigefügte Beispiel 1 von Vaillant sowie das Beispiel 2 vom Institut Inatech der Freiburger Universität zeigen.

Mit den Bilanzgrenzen lässt sich das veränderte System nicht bewerten. Die Frage ist, welchen Einfluss hat nach dem Start der Wärmepumpe die Überleitung von Wärme aus dem Heizkreis an einen Wärmetauscher und von dort weiter an die Wärmequelle der Sole/Wasser-Wärmepumpe oder einen Wärmespeicher der Luft/Wasser-Wärmepumpe, wenn der Heizungsanlage oder dem Warmwasserspeicher erst dann die Wärme aus dem Heizkreis zugeleitet wird, sobald die dafür erforderliche Temperatur erreicht wurde.

Diese an die Wärmequelle übertragene Wärme geht nicht verloren! Sie ist bei allen eingesetzten üblichen Wärmepumpen für deren normalen Betrieb erforderlich, um die nach dem Start noch zu niedrige Heizkreisvorlauftemperatur allmählich so weit wie es nötig ist zu erhöhen, um beispielsweise die Warmwassertemperatur im Speicher überhaupt wieder steigern zu können. Das ist zunächst gar nicht möglich, die Temperatur im Speicher sinkt sogar durch die Zuführung des noch kühlen Wassers weiter ab, wie an mehreren Beispielen gezeigt wird.

Das Beispiel 3 enthält eine Tabelle mit den Daten einer am 19.10.2023 in der eigenen Wärmepumpenanlage aufgenommenen Erwärmung von Warmwasser. Der Vorgang beginnt, wenn die Temperatur von 45°C im Speicher unterschritten wird und endet, sobald 50°C erreicht werden. Wer sich die Tabelle genau ansieht wird erkennen, dass die Temperatur BW nicht ansteigt, sondern sich sogar deutlich um fast ein Grad verringert, was man ebenso auch im Beispiel 4 in der Grafik **5.5** sehen kann. Die rote Linie BT2 zeigt die Vorlauftemperatur VL im Heizkreis der Wärmepumpe und die blaue Linie die Temperatur BT6 im Brauchwasserspeicher.

Es dauerte 26 Minuten, wie die Grafik zeigt, erst dann hatte die langsam ansteigende Vorlauftemperatur die Temperatur im Speicher wieder auf 45°C erhöhen können, also auf den Wert, den es bereits beim Start der Wärmepumpe gab. In der Tabelle sieht man, dass dafür allein 6 kWh Strom erforderlich waren - ein erheblicher Verlust, den man

als Anergie betrachten muss, aber bei allen Wärmepumpen gemäß dem aktuellen Stand der Technik nicht zu vermeiden ist.

Das neuartige Verfahren könnte dies jedoch verändern, indem man die Wärme nach dem Start der Wärmepumpe zunächst in deren Wärmequelle überträgt. Die Temperatur steigt wie bisher langsam weiter an, die Wärme wird aber erst dann in die Heizungsanlage oder in den Brauchwasserspeicher geleitet, sofern die notwendige Temperatur dafür erreicht worden ist.

Nur ein Teil der erzeugten Wärme führt wirklich zur Erhöhung der Temperaturen von Warmwasser und Heizen, wie die Grafik **5.7** in Beispiel 5 zeigt. Ein wesentlicher Teil der Wärme trägt stattdessen dazu bei, dass die Temperaturen der Wärmequellen deutlich gesteigert werden können. Dafür wird aber nicht nur die nach dem Start zunächst recht niedrige Temperatur genutzt, sondern auch die nach dem Abschalten der Wärmepumpe vorhandene Restwärme in der Anlage einschließlich der Heißgas-Wärme.

Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die Nutzung von zeitweise überschüssigem Strom aus Windkraftanlagen im Winter oder Strom aus Photovoltaikanlagen im Sommer zur Umwandlung in Wärme und bei Bedarf auch durch eine Übertragung von nur etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Primärkreis.

Notwendige Änderungen der bisherigen Bilanzgrenzen

Die grafische Darstellung auf der nächsten Seite zeigt Bilanzgrenzen der wichtigsten Wärmepumpenkennzahlen, dargestellt für Wärmepumpen vom Stand der Technik im Informationsblatt Nr. 25 vom Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie.

Durch das neue Verfahren wird es möglich, die nach dem Start der Wärmepumpe im Heizkreisvorlauf entstehende Wärme mit zunächst noch niedriger Temperatur in die Wärmequelle zu übertragen, dafür ist keine zusätzliche Energie erforderlich. Aufgrund der dadurch höheren Quellentemperaturen verringert sich der Strombedarf wesentlich.

Um diesen Vorteil rechnerisch bewerten zu können müssen von der Wärmepumpe wie bisher die verschiedenen Temperaturen in der Anlage gespeichert werden, zusätzlich aber auch für jeden Vorgang der erforderliche Strom aus dem Netz.

Außerdem ist auch die Temperatur im Wärmespeicher der Luft/Wasser-Wärmepumpe oder die Temperatur in der Erdsonde der Sole/Wasser-Wärmepumpe zu speichern, weil diese sich ständig ändert bei jedem Vorgang, abhängig von dessen Art und Dauer sowie der jeweils aktuellen Heizkreisvorlauftemperatur beim Start.

Mit einem zweiten Zähler für Wärme bzw. Strom kann auch ermittelt werden, wie viel Energie durch die Übertragung von Wärme eingespart wird im Vergleich mit Wärmepumpen vom aktuellen Stand der Technik.

Die Arbeitszahl kann auf unterschiedlichen Wegen ermittelt werden: Die berechnete Jahresarbeitszahl (meist mit „SCOP" oder „JAZ" bezeichnet) beruht auf den Leistungszahlen sowie auf Annahmen für das Heizsystem und das Klima. Sie ist ein theoretischer Wert. Die gemessene Jahresarbeitszahl (meist „SPF") wird vor Ort mit Energiemessgeräten bestimmt. Hier fließt das tatsächliche Wetter und natürlich das Nutzerverhalten ein, das einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz einer Wärmepumpe hat.

Die Jahresarbeitszahl bietet eine gute Möglichkeit zur energetischen Bewertung der gesamten Anlage. Die Zuordnung der jeweiligen Kenngrößen kann der nachfolgenden Grafik entnommen werden:

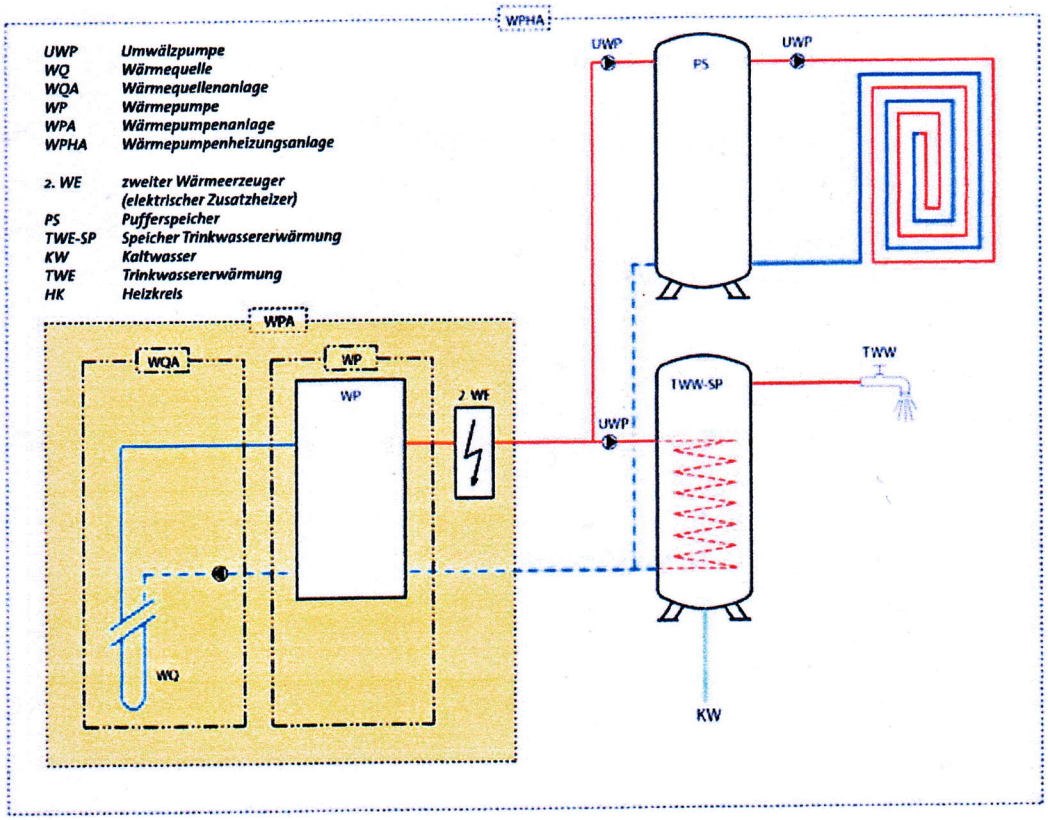


Bild 2: Bilanzgrenzen der wichtigsten Wärmepumpenkennzahlen

... und wie ermittelt man für diese Wärmepumpen zutreffende Ergebnisse?

Das der Wärmepumpe zugrunde liegende physikalische Prinzip lässt sich gut aus der als Beispiel 6 beigefügten Beschreibung von Funktion und Aufbau entnehmen.

Das Ergebnis: Die Leistungszahl ε_{WP} einer Wärmepumpe ergibt sich nach Carnot aus dem Verhältnis der abgegebenen Wärmeleistung P_{th} zu der aufgenommenen elektrischen Leistung P_{el}. Das macht deutlich, dass die Leistungszahl vom Temperaturhub abhängt, d.h. von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke, dem Heizkreis: also je geringer die Differenz, um so höher die Leistungszahl.

Eine entsprechende Berechnung für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe und Fußbodenheizung zeigt Beispiel 7, der sich daraus ergebende Einfluss der jeweiligen Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf ist in der Tabelle in Beispiel 8 zu sehen.

Insbesondere bei den von der Außenluft abhängigen Luft/Wasser-Wärmepumpen (im Schreiben von Inatech im Beispiel 2 wird darauf hingewiesen, dass diese im Winter nur mit sehr viel Strom aus dem Netz überhaupt noch die nötige Wärme erzeugen können), werden sich aufgrund der Speichermöglichkeiten durch das Verfahren hervorragende Ergebnisse für die Regeneration erreichen lassen, wie der Tabelle zu entnehmen ist.

Die Effizienz dieser kostengünstigen Luft/Wasser-Wärmepumpen könnte zukünftig sogar noch deutlich höher sein als die Effizienz von Sole/Wasser-Wärmepumpen, weil die Temperatur in den Erdsonden nicht höher als etwa 15°C sein dürfte, anderenfalls würde sonst ein Teil der übertragenen Wärme in das umgebende Erdreich abfließen.

Alle Vorteile gelten aber auch für die erdgebundenen Wärmepumpen. Weil bei jedem Start einer Wärmepumpe zugleich auch den Erdsonden Wärme zugeführt wird bleiben die im Sommer viel höheren Erdreichtemperaturen auch im Winter erhalten.

Die dem Verfahren zugrunde liegenden Annahmen über dessen Wirkungsweise sind vom Deutschen Geoforschungszentrum in Potsdam überprüft und bewertet worden. Es wurde auch ausdrücklich zu den Auswirkungen auf das Erdreich bestätigt, dass "die Annahmen über die Wärmeausbreitung im Erdreich durchaus den realen Gegebenheiten entsprechen."

Erdgebundene Wärmepumpen haben oft in Großstädten allenfalls in Teilbereichen wie Grünanlagen genügend Platz. Dort wie auch vor allem in Neubaugebieten am Rande der Stadt sowie in ländlichen Gebieten lassen sich aber kleine Wärmenetze mit jeweils zwei oder auch mehreren sehr effizient arbeitenden Großwärmepumpen errichten.

Detaillierte Informationen dazu sind meiner Website https://effizienz-modul.de/infos.htm zu entnehmen, speziell zu diesem Thema aus den Dateien WB2-ZEM und WB2-ZE6, die sich so wie weitere Ergebnisse zusammenfassende Dateien am Ende der Übersicht in Anlage 9 befinden.

Das Fazit:

Die bestehenden Bilanzgrenzen können nicht die effizienten Veränderungen durch das neue System der besseren Nutzung von Energie berücksichtigen, notwendige Anpassungen der Bilanzkriterien sollten jederzeit möglich sein.

Beispiele

1 Schreiben von Vaillant zu Bilanzgrenzen

2 Schreiben vom Inatech-Institut zu Bilanzgrenzen

3 Tabelle von Daten bei einer Erwärmung von Warmwasser

4 Grafik 5.5 / Rückgang der Speichertemperatur über 26 Minuten

5 Grafik 5.7 / Nutzbare Dauer zur Erhöhung der Warmwassertemperatur und/oder der Heizungstemperatur

6 Funktion und Aufbau der Wärmepumpe

7 Berechnung der elektrischen Leistung

8 Einfluss der Wärmespeichertemperatur auf den Strombedarf

9 Website / Übersicht der Dateien

5.6.2024 Hans-Georg Jantzen WB2-ZEB

Bewertung von der **VAILLANT GROUP**

Vaillant GmbH Postfach 42850 Remscheid

Dr.-Ing. Hans-Georg Benken
An der Wabe 5
38104 Braunschweig

12.9.

Abteilung	Name/E-Mail	Telefon/Telefax	Datum	Seite
IR-H	Rainer.Lang@Vaillant-Group.com	02191 / 18 - 3606	10.09.2019	1 / 1

Ihr Schreiben vom 4. September

Sehr geehrter Herr Dr. Benken,

in Ihrem Schreiben vom 4. September bitten Sie um die Mitteilung der Gründe für unsere Absage.

Die Antwort auf die Frage, ob Ihr Verfahren zu einer Effizienzsteigerung führt, hängt von den gewählten Bilanzgrenzen ab. Wird die Wärmepumpe alleine betrachtet, führt Ihr Verfahren zu einer Effizienzsteigerung.

Für unsere Kunden ist jedoch die Effizienz des Gesamtsystems relevant. Dies beinhaltet die Wärmepumpe und die Komponenten zur Erhöhung der Temperatur der Primärseite nach Ihrem Verfahren.
Demnach führen Sie Wärme, die mit Hilfe eines verlustbehafteten Wärmepumpenprozesses auf ein höheres Temperaturniveau gebracht wurde, wieder auf die Primärseite der Wärmepumpe zurück. Dies geschieht durch eine irreversible Wärmeübertragung. Daher kann es keine Effizienzsteigerung für das Gesamtsystem geben. Dies können Sie auch anhand der Anlage 2 aus Ihrem Exposé ableiten: In der Tabelle ist die elektrische Leistungsaufnahme nach Ihrem Verfahren höher als bei herkömmlichen Systemen.

Weiterhin halten wir es für zweifelhaft, dass die erhöhte Temperatur auf der Primärseite weiterbesteht, wenn die Auskopplung beendet ist. Hier wird sich schnell die ursprüngliche niedrige Temperatur einstellen.

Mit freundlichen Grüßen
Vaillant GmbH

Rainer Lang

i.V. Dr. Rainer Lang

1

Auszug von einer Bewertung eines Universität-Instituts

From: Stefan Hess

Meine technische Einschätzung:

Die von Ihnen beschriebenen physikalischen Zusammenhänge zum COP und zur Auskühlung bzw. Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches sind aus meiner Sicht richtig.
Ich habe allerdings einen grundsätzlichen Kritikpunkt, der den Bilanzraum Ihrer Betrachtungen betrifft:

Aus meiner Sicht ist es nicht sinnvoll, Wärme, die zuvor schon dem Erdreich entzogen und unter Einsatz von Elektrizität (reiner Exergie) auf ein höheres Temperaturniveau gehoben wurde, wieder an den Solekreis zurückzuführen (also dem Erdreich wieder zuzuführen). Das deshalb, weil bilanziell in einem geschlossenen System die Erhöhung der Erdreich-Temperatur nur durch zusätzlichen Stromeinsatz erreicht werden kann.

Ob der Nutzer von Ihrem Konzept der kurzzeitigen Wärme-Rückführung tatsächlich Vorteile haben könnte wäre aus meiner Sicht also im Rahmen von **Energiebilanzen mit klar definierten Systemgrenzen** zu belegen.

Gedanken zur Relevanz bzw. zum Potential Ihres Konzepts:

Das Thema Regeneration des Erdreiches ist schon umfassend untersucht worden, allerdings nach meiner Kenntnis v.A. aus saisonaler Perspektive (Regeneration im Sommer).

Auch ist im Sommer die Regeneration z.B. über Solarthermie, einfache Umgebungsluft-Wärmetauscher oder über die Kühlung des Gebäudes einfach und tatsächlich komplett aus Umgebungsenergie umzusetzen.

Sie sprechen Großanlagen an: Hier wird sommerliche Regeneration z.B. mit Solarthermie häufiger gemacht und funktioniert auch gut. Oft gibt es hier aber einen sehr großen zentralen Wasserspeicher und falls es Sondenfelder gibt werden diese wegen des thermischen Puffers im Winter nicht zu sehr belastet.

Im Energiesystem ist die Absenkung des COP von Erdwärmepumpen im Winter ein untergeordnetes Problem; hier schlagen v.A. die Außenluft-WP (Marktanteil aktuell ca. 90 %) zu Buche, die bei sehr hoher Heizlasten (sehr niedrigen Umgebungstemperaturen) einen COP nahe eins haben (Stromheizung).

Dr. Stefan Hess
Leitung Gruppe Nachhaltige Gebäude-Energietechnik
Professur Solare Energiesysteme | Hans-Martin Henning
Institut für Nachhaltige Technische Systeme - INATECH

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

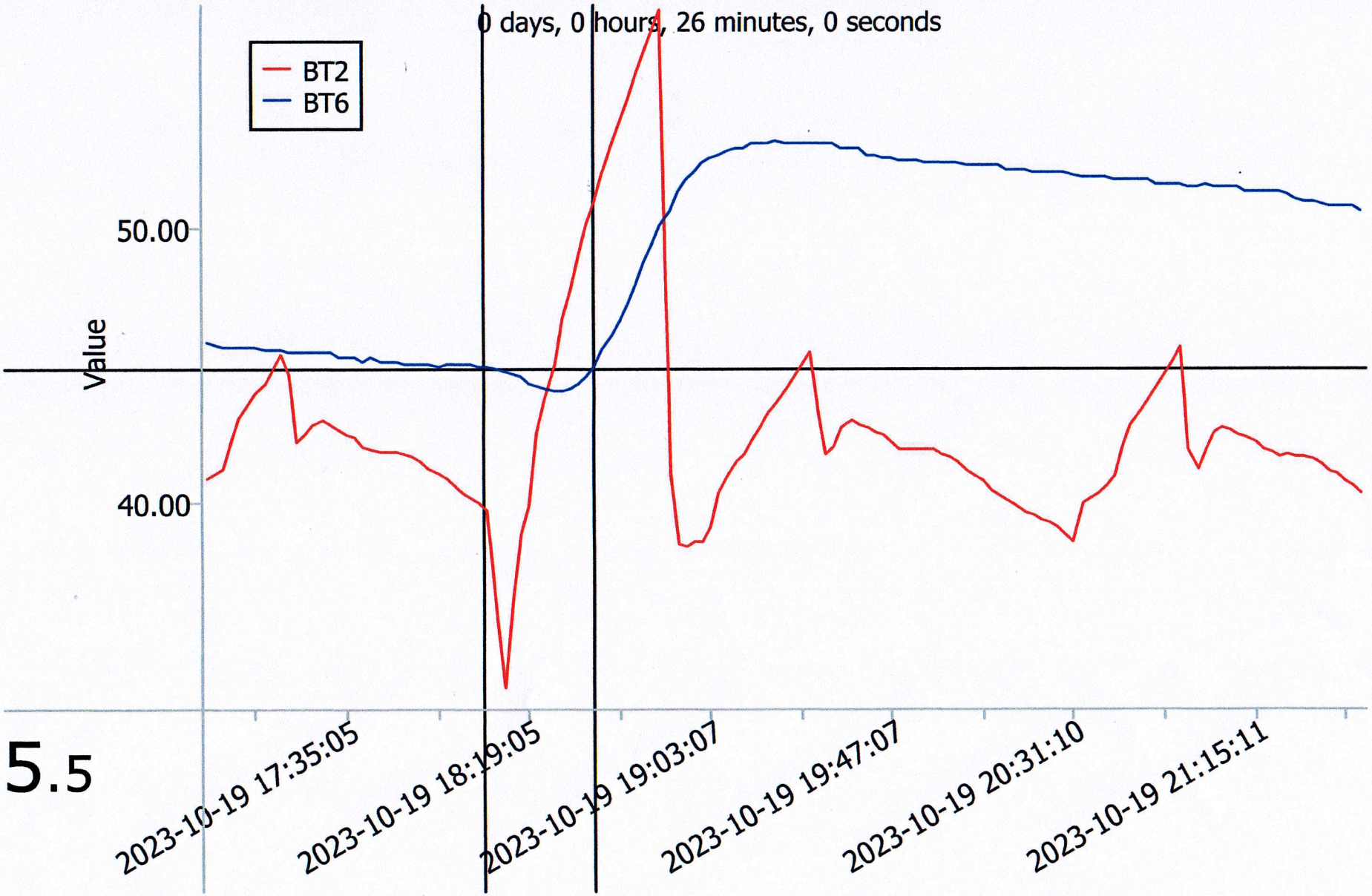
Datum 19.10.2023 Außentemperatur 8,9°C (6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

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

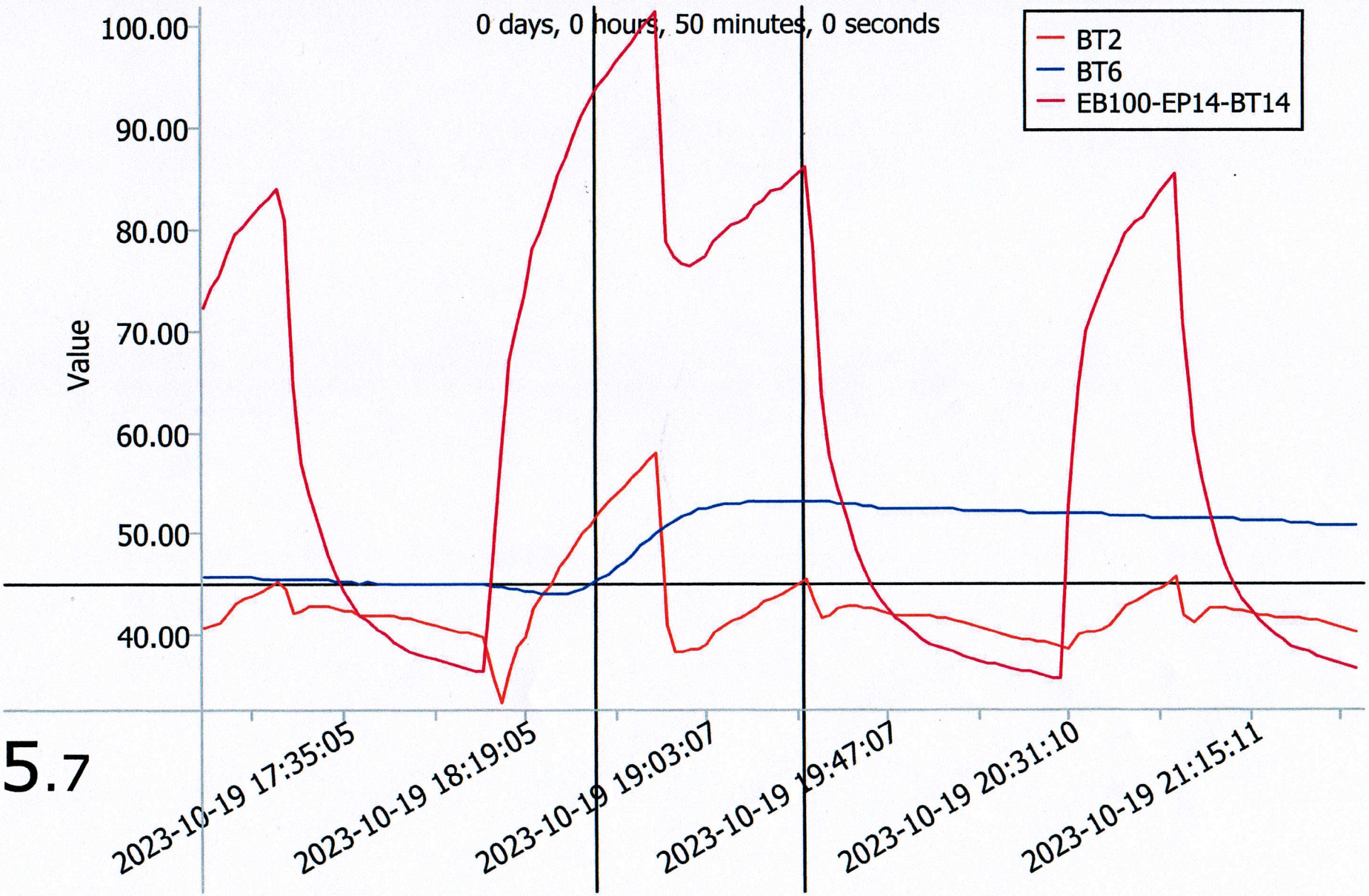
Heizen Ende

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
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

5.5

4


0 days, 0 hours, 50 minutes, 0 seconds
BT2
BT6
EB100-EP14-BT14
Value
100.00
90.00
80.00
70.00
60.00
50.00
40.00
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

5.7

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):

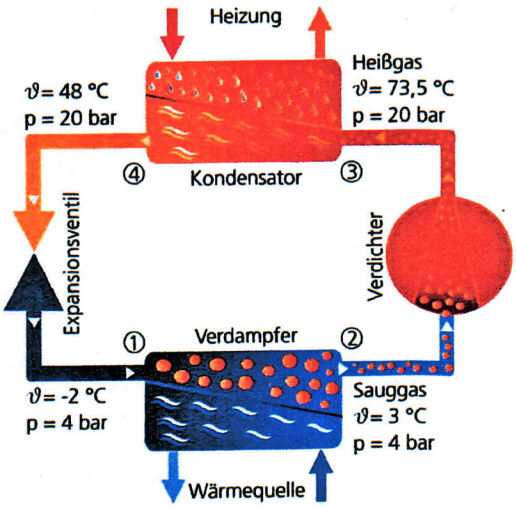


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

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:

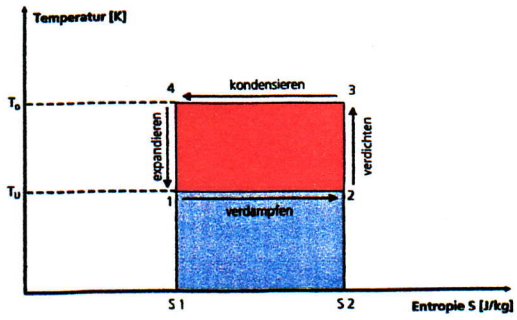


Bild 1.3: Carnot-Prozess

- 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:

$T_u = 0\,°C = 273\,K$

$T_o = 40\,°C = 273 + 40 = 313\,K$

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

6

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 ^{0}C, Mittelwert = 30 ^{0}C = 303 K (T_o)
Soletemperaturen (Quelle) = 0/-5 ^{0}C, Mittelwert = -2,5 ^{0}C = 270,5 K (T_u)
bei Quellentemperatur 0 ^{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 ^{0}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 ^{0}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

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 %	

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

G-W-Q-3.12

Effizienz-Modul

Informationen zum Thema:

WB2-11 Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik - und die bereits entwickelten Möglichkeiten für eine Steigerung der Effizienz mittels Erneuerbarer Energien

WB2-13 Vorteile des Verfahrens am Beispiel von Sole / Wasser-Wärmepumpen

WB2-14 Das Problem von Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik - der hohe Stromverbrauch in der winterlichen Heizperiode

WB2-15 Die Gebrauchsmusterschrift DE 2019 101 161 für das zusätzliche multifunktionale Regelsystem

WB2-16 Vorteile des Verfahrens am Beispiel von Luft / Wasser-Wärmepumpen

WB2-21 Das Verfahren zur Steigerung der Effizienz von Wärmepumpenanlagen und zur Regeneration der Wärmequellen

- Teil 1 - Das Prinzip und seine Auswirkungen (Anlage: 1)
- Teil 2 - Detaillierte Darstellung der geothermischen Zusammenhänge (Anlagen: 2, 3, 4)
- Teil 3 - Die Umsetzung mittels einer multifunktionalen Baugruppe (Anlagen: 5, 6, 7)
- Teil 4 - Wesentliche Unterschiede zum Stand der Technik: Die Auswirkungen der Verfahrensänderung auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde und auf den Wärmefluss (Anlagen: 8, 9, 10, 11)
- Teil 5 - Die Quellen für die Zuführung der erforderlichen Energie (Anlage: 12)
- Anlagen Nr. 1 bis 12 zu Teil 1 bis Teil 5

WB2-22 Anhang 1 zu Teil 4 des Verfahrens: Auswirkungen auf die Erdreichtemperaturen und die dadurch möglichen Einsparungen an Strom

WB2-32 Das Prinzip vom Verfahren und der Regeneration der Wärmequellen - wie lässt sich die Effizienz so deutlich steigern?

9

WB2-41 Vorteile des Verfahrens - eine kurzgefasste Übersicht der technologischen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen

WB2-45 Bundesnetzagentur: Strombegrenzung auf 4,2 kW bei Netzüberlastung

WB2-46 Probleme bei Strombegrenzung von Wärmepumpen auf 4,2 kW

WB2-47 Wärmepumpen können Strom sparen nach dem Start durch Übertragung von Anergie zur Wärmequelle

WB2-48 Der Ablauf von Heizen und Brauchwasser bei Wärmepumpen - die Probleme bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik

WB2-49 Luft / Wasser-Wärmepumpen - die Möglichkeiten einer deutlichen Steigerung der Effizienz dieser Wärmepumpen

WB2-GFZ Bestätigung vom Geoforschungszentrum Potsdam vom 2.5.2018 und erläuternde Anlagen

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse für Verfahren und Regeneration:

WB2-ZEM Das Verfahren nutzt ein zusätzliches Regelsystem - das Effizienz-Modul

WB2-ZEB Keine Bilanzgrenzen für das entwickelte neue Verfahren

WB2-ZE 1 Das Effizienz-Modul für Wärmepumpen - in der Heizperiode ohne Strom von Photovoltaikanlagen

WB2-ZE 2 Unterschiede zum Stand der Technik - Effizienzsteigerung der Wärmepumpen mit Nutzung von Anergie

WB2-ZE 3 Die Wirkungen des multifunktionalen Regelsystems auf die Temperaturen in der Erdsonde sowie im Nahbereich der Sonde und auf den Wärmefluss

WB2-ZE 4 Das multifunktionale Regelsystem - ein innovatives Verfahren zur Steigerung der Effizienz von Wärmepumpenanlagen

WB2-ZE 5 Die neuartige Betriebsweise von Sole / Wasser-Wärmepumpen und Luft / Wasser-Wärmepumpen und deren Vorteile einer höheren Effizienz

WB2-ZE 6 Vergleich von Luft / Wasser-Wärmepumpen mit Sole / Wasser-Wärmepumpen hinsichtlich Strombedarf

WB2-ZE 7 Das Problem der Anergie bei Wärmepumpen

WB2-ZA 1 Verfahren und Regeneration - Auszug 1 (Teil 3 und Teil 4 mit Anhang 1 sowie Teil 5)

WB2-ZA 2 Nutzung von Anergie beim Start der Wärmepumpe für deren Quellentemperatur durch das multifunktionale Regelsystem

Stand: 5.6.2024