

**Aufzeichnungen der Temperaturen und des Strombedarfs
einer Sole/Wasser-Wärmepumpe in einem Bestandsgebäude
für eine Radiatorenheizung und für die Brauchwassererwärmung**

Die bei jedem Start einer Wärmepumpe zunächst noch niedrige Heizkreistemperatur kann durch ein multifunktionales Regelsystem genutzt werden für eine Erhöhung der Quellentemperatur.

Dies lässt sich zeigen am Beispiel einer Sole/Wasser-Wärmepumpe gemäß dem Stand der Technik, deren Temperaturänderungen und deren Strombedarf mehrfach sowohl bei der Erwärmung von Brauchwasser als auch bei Heizvorgängen aufgezeichnet wurden.

Wenn man sich die beigelegten tabellarischen Aufzeichnungen der Daten genau ansieht wird man feststellen, dass bei Wärmepumpenanlagen gemäß dem Stand der Technik nach dem Start stets sehr viel Energie für den Anlauf sowie oft auch bei der Erwärmung von Warmwasser durch den Rückgang der Temperatur im Wasserspeicher erforderlich ist - dieser Anteil ist als Anergie zu bezeichnen.

Außerdem kann Energie auch völlig verloren gehen bei jeder Abschaltung einer Wärmepumpe während des Anlaufs durch den Energieversorger, da nach den Bedingungen der Stromtarife dreimal am Tag eine Unterbrechung bis zu zwei Stunden zulässig ist. Hinzu kommt dadurch auch noch der nutzlose Entzug der Wärme aus dem Erdreich bzw. aus dem Wärmespeicher, was den Temperaturhub zur Heizkreiswärme vergrößert und damit den Stromverbrauch bei den nächsten Heizvorgängen erhöht.

Diese bei Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik durch die Anergie sowie auch bei weiterem Energieverbrauch entstehende Verluste lassen sich weitgehend verhindern durch das multifunktionale Regelsystem, das für das patentierte Verfahren zu einer ganzjährigen Regeneration der Wärmequellen entwickelt wurde, es kann auch noch sogar sehr ertragreich Energie hinzugewonnen werden.

Die für den Anlauf der Wärmepumpe erforderliche Energie geht nicht verloren, wenn man zunächst die Wärme mit der noch zu niedrigen Temperatur in den Quellenkreis überträgt (Phase 1), dann bei der ansteigenden ausreichend hohen Vorlauftemperatur die Wärme für Heizen oder Warmwasser genutzt wird (Phase 2) und schließlich nach der Abschaltung der Wärmepumpe die in der gesamten Anlage noch vorhandene Wärme erneut wieder umgeleitet wird in den Bereich der Quelle (Phase 3).

Den folgenden Seiten lässt sich zunächst der Auszug der Daten vom 19.10.2023 für die

Anlage 5 für die Betriebsdauer der Wärmepumpe bei einer Brauchwassererwärmung mit einer direkt anschließenden Umschaltung auf Heizen entnehmen. Die exakten Aufzeichnungen der Temperaturen im Minutentakt sind von besonderer Bedeutung, vor allem die Heizkreisvorlauftemperatur VL und die Temperatur im Brauchwasserspeicher BW, sowie die Daten des Stromzählers.

Es folgt ein vergleichendes Fazit für die an fünf Tagen vorgenommenen Aufzeichnungen von Daten am extremen Beispiel von Anlage 5.

Für dieses Beispiel werden dann 8 Grafiken beigelegt und jeweils detailliert beschrieben. Der Text bezieht sich sowohl auf die in der Tabelle enthaltenen Daten als auch auf den Verlauf der Temperaturen in den Grafiken.

Dabei ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen einer Erwärmung von Brauchwasser und dem Vorgang zum Heizen. Der zeitliche Verlauf wird gekennzeichnet durch vertikale Linien, die Dauer in Minuten am oberen Rand der Grafik angegeben.

Die bei der eigenen Wärmepumpenanlage ermittelten Energieverluste ergeben sich nicht nur bei von den Erdreichtemperaturen abhängigen Sole/Wasser-Wärmepumpen, sondern weitaus mehr noch bei den von der Außenluft abhängigen Wärmepumpen.

Darum werden im Anhang zusätzlich auch die Auswirkungen von Energieverlusten bei Luft/Wasser-Wärmepumpen betrachtet. Die Außentemperaturen verändern sich sehr viel stärker als die Erdreichtemperaturen, deshalb wirken sich Energieverluste durch Anergie und zugleich extrem niedrige Temperaturen im Wärmespeicher erheblich ungünstiger auf den Strombedarf im Winter aus.

Dies zeigen die Anlagen mit den berechneten Werten. Geht man von einer Temperatur im Wärmespeicher von 10°C im Herbst aus, dann erhöht sich bei einer Temperatur von 0°C im Winter der Strombedarf schon von 1,485 kW auf 2,145 kW (+44,4%). Zu dieser Zeit steht auch kein Strom aus Photovoltaikanlagen mehr zur Verfügung.

Steigert man aber im Sommer und auch in der Übergangszeit durch das multifunktionale Regelsystem die Temperatur im Wärmespeicher durch überschüssige Energie aus Solaranlagen auf 24°C und mehr, nutzt zugleich auch im Winter weiterhin die bisher verlorengehende Anergie und auch den zeitweise überschüssigen Strom aus Windkraftanlagen, so werden die unzähligen Wärmepumpen kleiner Leistung in den Haushalten auch weiter die erforderliche Wärme erzeugen können, ohne das Stromnetz zu überfordern, wenn keine PV-Anlage mehr Strom liefern kann.

Auf die derzeit in den Stromnetzen schon bestehenden Probleme wird im Anhang noch kurz eingegangen. Die erheblich steigende Zahl der Wärmepumpen erfordert zur Lösung der Energieprobleme kurzfristig Maßnahmen, die den Strombedarf deutlich verringern.

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
-------	-----	------	------	------	--	------

Fazit der vorgenommenen Vergleiche am extremen Beispiel von Anlage 5

- Bei den insgesamt aufgezeichneten sieben Vorgängen zum Heizen und zur Brauchwassererwärmung ergeben sich große Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen Dauer und des Energiebedarfs.
- Entscheidend dafür ist der Zeitpunkt, wann sich die Wärmepumpe wieder einschaltet,
- weil die Temperatur im Heizkreis der Wärmepumpe bzw. die Temperatur im Brauchwasserspeicher den eingestellten niedrigsten Wert unterschreitet.
- Sofern die Wärmepumpe beispielsweise gerade Wärme für den Brauchwasserspeicher erzeugt kann es lange dauern, bis auch der nächste Wärmebedarf für die Heizung erzeugt werden kann,
- weil die dafür eingestellte Temperatur von 44,9°C deutlich unterschritten wird.
- Die nach dem Start der Wärmepumpe teilweise sehr lange weiter absinkende Temperatur im Brauchwasserspeicher ergibt sich durch die noch zu niedrige Vorlauftemperatur der Wärmepumpe, wie das Beispiel in Anlage 5 zeigt.
- Die Vorlauftemperatur VL bei den zuvor gestarteten Vorgängen für Heizen lag bei nur etwa 39°C, diese ist bis auf 33,3°C gesunken.
- Die Brauchwassertemperatur sinkt dadurch sogar ab bis auf 44,1°C.
- Dies führt dazu, dass zunächst viel Energie aufgewendet wird, um die Brauchwassertemperatur überhaupt wieder auf die zuvor bereits vorhandene Temperatur von 45°C anzuheben.
- Dieser als Anergie zu betrachtende Aufwand trägt nicht dazu bei, die Brauchwassertemperatur von 45°C wieder auf 50°C zu steigern!
- Diese Energie ist aber erforderlich, um die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe wieder zu erhöhen.
- Es gibt dafür jedoch ein neuartiges effizientes Verfahren!
- Diese allein für die Anhebung der Temperatur auf wieder 45,0°C erforderliche Anergie kann besser durch ein multifunktionales Regelsystem zur Erhöhung der Quellentemperaturen genutzt werden.

→

- Das Prinzip dieses innovativen multifunktionalen Regelsystems ist der Grafik in Anlage 7 zu entnehmen (siehe dazu die Beschreibung in "Das Problem der Anergie bei Wärmepumpen").
- Dadurch ergeben sich mehrere Vorteile:
- Die von der Wärmepumpe durch die Anergie erzeugte Wärme wird nicht an die Heizung oder den Brauchwasserspeicher weitergeleitet, sondern an die Erdsondenanlage oder einen Wärmespeicher.
- Die wesentlich niedrigeren Temperaturen der Wärmequellen werden erheblich gesteigert durch diese Überleitung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe.
- Erst wenn dann im Heizkreis der Wärmepumpe die notwendige Vorlauftemperatur erreicht worden ist, wird die Wärme auch wieder zur Heizung oder zum Brauchwasserspeicher geleitet.
- Auf diese Weise verhindert man den Rückgang der Temperatur im Brauchwasserspeicher unter 45°C (entsprechend gilt dies auch für die Heizungsanlage).
- Durch die erhebliche Steigerung der Quellentemperatur ergibt sich sowohl bei Sole/Wasser-Wärmepumpen wie vor allem auch bei Luft/Wasser-Wärmepumpen ein deutlich geringerer Temperaturhub zwischen Quelle und Heizkreis, die Effizienz erhöht sich.
- Die bisher im Prinzip nutzlose Anergie wird zwar weiterhin für die Wärmepumpe zur Erhöhung der Vorlauftemperatur benötigt,
- sie wird nun aber zugleich als wertvolle Energie für die Erhöhung der Quellentemperaturen genutzt mit dem Ergebnis,
- dass sich dadurch der Stromverbrauch der Anlagen insgesamt ganz erheblich verringert.
- Dies ist besonders wichtig wegen der bestehenden Energiekrise, weil der Strombedarf durch den Einsatz von Wärmepumpen anstelle von Gasheizungen deutlich zunehmen wird, was auch dazu führt,
- dass die Stromnetze zeitweise überlastet sein werden, sodass gemäß den Tarifbestimmungen die Stromversorger bis zu drei mal täglich Wärmepumpen zwei Stunden abschalten können - dann wird bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik die Brauchwassertemperatur nicht immer wieder ausreichend erhöht werden können, sondern sich häufiger trotz zeitweiliger Zuführung der Anergie sogar verringern.

Informationen zu den Grafiken der aufgezeichneten Temperaturen vom 19.10.2023

Die Grafiken 5.1 bis 5.8 ergänzen die tabellarischen Aufzeichnungen der Temperaturen einer Sole/Wasser-Wärmepumpe für eine Radiatorenheizung in einem Bestandsgebäude und deren Brauchwassererwärmung, die Nennleistung beträgt 15 kW.

Aufgezeichnet wurden am 19.10.2023

die Vorlauftemperatur VL im Heizkreis = BT2 (rot),

die Brauchwassertemperatur im Speicher = BT6 (blau)

und bei den Grafiken 5.6 bis 5.8 zusätzlich auch die Heißgastemperatur = BT14 (lila-farben).

Calc. Supply zeigt den Mittelwert der eingestellten Heiztemperatur von 40°C (schwarz).

Schwarze Linien kennzeichnen auch die Brauchwassertemperatur von 45°C für den Start der Erwärmung sowie an deren Ende von 50°C für die Abschaltung der Wärmepumpe.

Die Dauer eines Vorgangs oder eines Teils davon wird angegeben am oberen Rand der Grafik, gekennzeichnet durch die beiden vertikalen Linien.

Aufgenommen wurden die Daten am Abend bei einer Außentemperatur von 8,9°C.

Die Grafik 5.1 zeigt den gesamten Tagesverlauf über 24 Stunden, die Zeiten werden am unteren Rand angegeben. In der Nacht und ein zweites Mal gegen Abend ist jeweils das Brauchwasser wieder erwärmt worden, sobald dessen Temperatur unter 45°C absinkt.

Grafik 5.2 ist ein Ausschnitt des Tages mit der Brauchwassererwärmung am Abend und einem direkt anschließenden Heizvorgang zu dem Zeitpunkt, an dem die Brauchwassertemperatur wieder 50°C erreicht. Dies dauert insgesamt eine Stunde und 16 Minuten.

Allein 40 Minuten davon entfallen auf die Brauchwassererwärmung, wie die Grafik 5.3 zeigt, die restlichen 36 Minuten in Grafik 5.4 benötigt der Heizvorgang nach dessen Umschaltung, was ungefähr den anderen Heizvorgängen entspricht.

Nach dem Start der Wärmepumpe zur Brauchwassererwärmung fällt die Vorlauftemperatur zunächst deutlich ab, wie man der Grafik 5.5 entnehmen kann. Das führt zu einem großen Unterschied zur Temperatur im Brauchwasserspeicher, dem nun deutlich kühleres Wasser zugeführt wird mit der Folge, dass die Temperatur im Speicher nicht ansteigt, sondern um fast ein Grad auf 44,1°C absinkt (wie man den tabellarischen Daten entnehmen kann).

Es dauert nun 26 Minuten, bis das Brauchwasser wieder die zu Beginn des Vorgangs vorhandene Temperatur von 45°C erreicht und dann erst die Temperatur im Speicher wieder ansteigt. An den im Minutentakt aufgenommenen Daten kann man feststellen, dass allein für den Ausgleich dieses Temperaturabfalls in diesen 26 Minuten bereits 6 kWh Strom verbraucht worden sind, für den Temperaturanstieg auf 50°C sind dann nur noch weitere 4 kWh benötigt worden.

Der nach dem Start der Wärmepumpe als Anergie zu betrachtende Stromanteil von 6 kWh ist zwar erforderlich, um die Heizkreisvorlauftemperatur zunächst so weit zu steigern, dass schließlich die Brauchwassertemperatur oder die Heiztemperatur wieder erhöht werden kann, ist aber zusätzlich auch noch anders zu nutzen - das ist neu.

Ein für Wärmepumpen entwickeltes Verfahren ermöglicht durch ein multifunktionales Regelsystem eine ganzjährige Regeneration der Wärmequelle einer Sole/Wasser-Wärmepumpe bzw. eines Wärmespeichers einer Luft/Wasser-Wärmepumpe.

Dafür kann nicht nur entweder etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Quellenkreis übertragen werden oder zeitweise auch überschüssiger Strom in Wärme umgewandelt und gespeichert werden, es lässt sich auch - wie in den Grafiken zu sehen ist - die bei jedem Start anfallende Anergie für die Erhöhung der Quellentemperatur nutzen.

Es muss lediglich die Wärme im Heizkreisvorlauf statt in den Brauchwasserspeicher oder in den Heizkreis über ein Dreiwegeventil in einen Wärmetauscher und von dort weiter in die Quelle geleitet werden. Diese Umleitung von Wärme endet erst dann, wenn die Heizkreisvorlauftemperatur die notwendige Temperatur beispielsweise für eine Erhöhung der Brauchwassertemperatur erreicht hat, es kommt dadurch nicht mehr zu einer Temperaturabsenkung im Speicher, die dafür anschließend notwendige zusätzliche Energie entfällt.

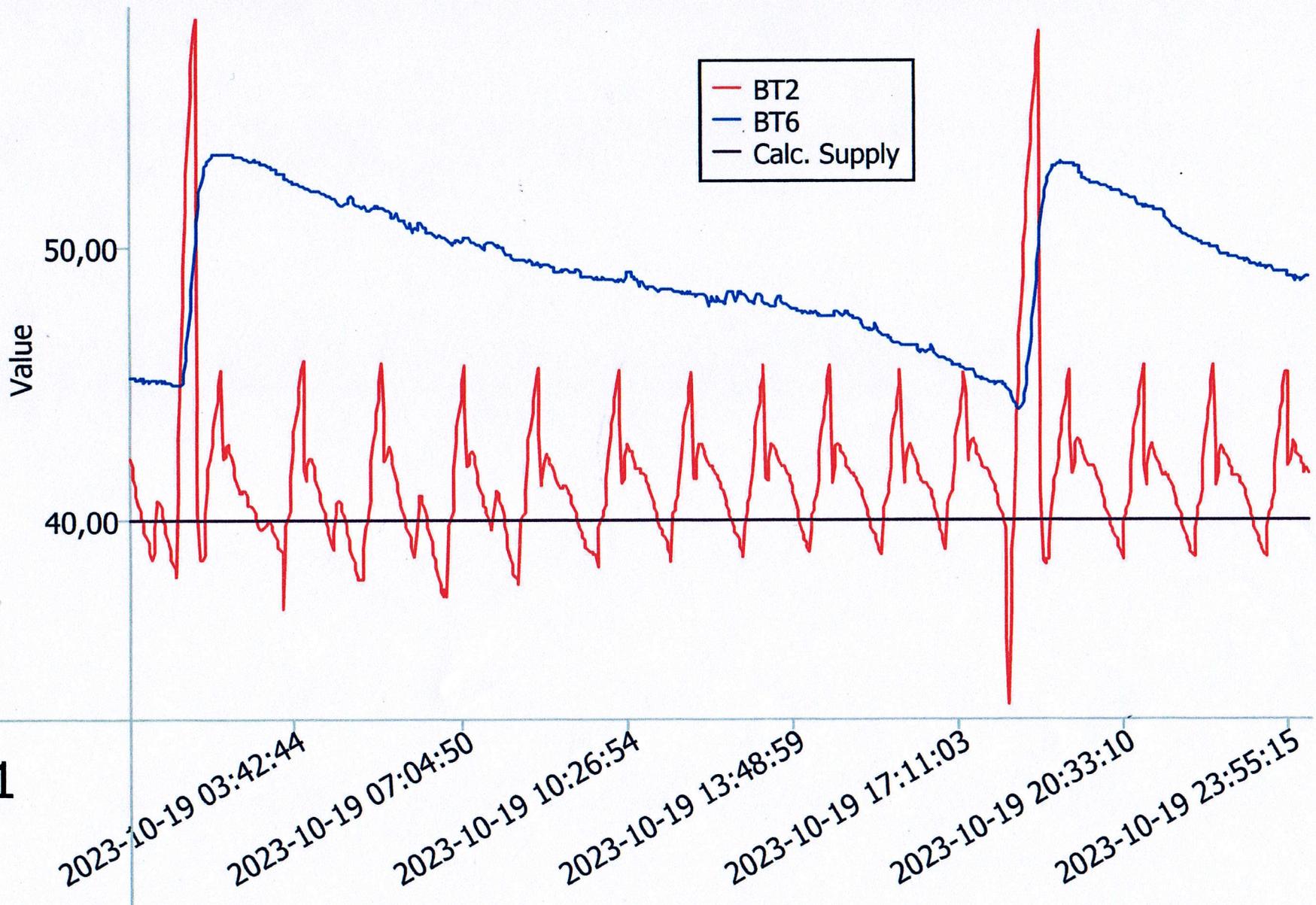
Diese Umleitung von Wärme führt weder zu einem geringeren noch zu einem höheren Stromverbrauch. Durch diese Umleitung von Wärme erreicht man jedoch eine deutliche Steigerung der Quellentemperaturen, die sich im Laufe des Jahres bei Erdwärmepumpen sonst von etwa 12°C auf 0°C verringern, bei den von der Außenluft abhängigen Wärmepumpen von etwa 25°C bis auf -15°C, während die umgeleiteten Vorlauftemperaturen dagegen das ganze Jahr weit darüber liegen.

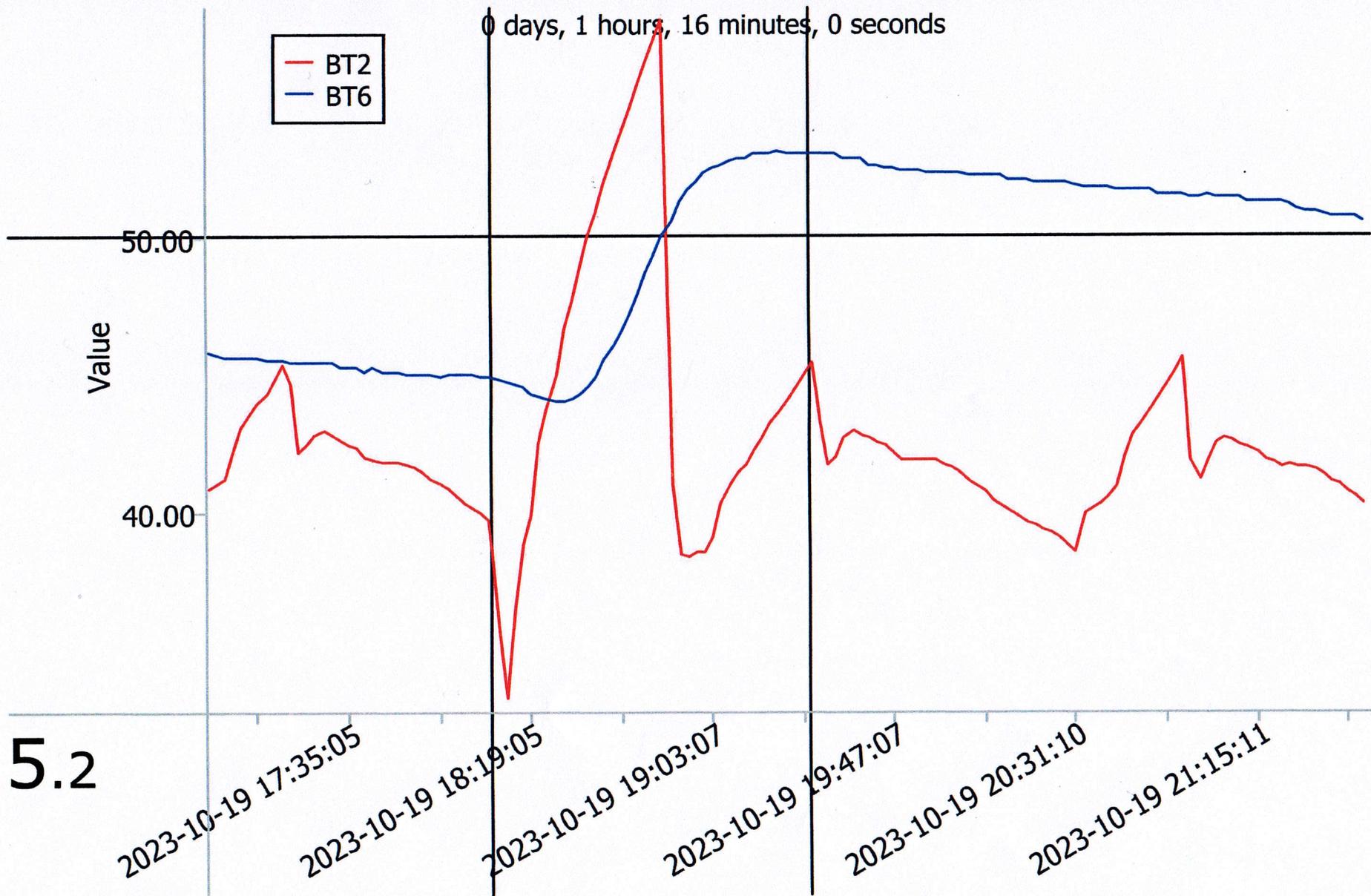
In den Grafiken **5.6** bis **5.8** sind auch die Heißgastemperaturen enthalten, die bei jedem Start der Wärmepumpe sehr schnell noch viel höhere Werte erreichen, auch diese hohen Temperaturen können trotz einem nur geringen Volumen in gleicher Weise genutzt werden.

Die für den Anlauf der Wärmepumpe erforderliche Energie geht nicht verloren, wenn man zunächst die Wärme mit der noch zu niedrigen Temperatur in den Quellenkreis überträgt (Phase 1 = Grafik **5.6**), dann bei einer ansteigenden ausreichend hohen Vorlauftemperatur die Wärme für Heizen oder Warmwasser genutzt wird (Phase 2 = Grafik **5.7**) und schließlich nach der Abschaltung der Wärmepumpe die in der gesamten Anlage noch vorhandene Wärme erneut wieder zur Quelle umgeleitet wird (Phase 3 = Grafik **5.8**).

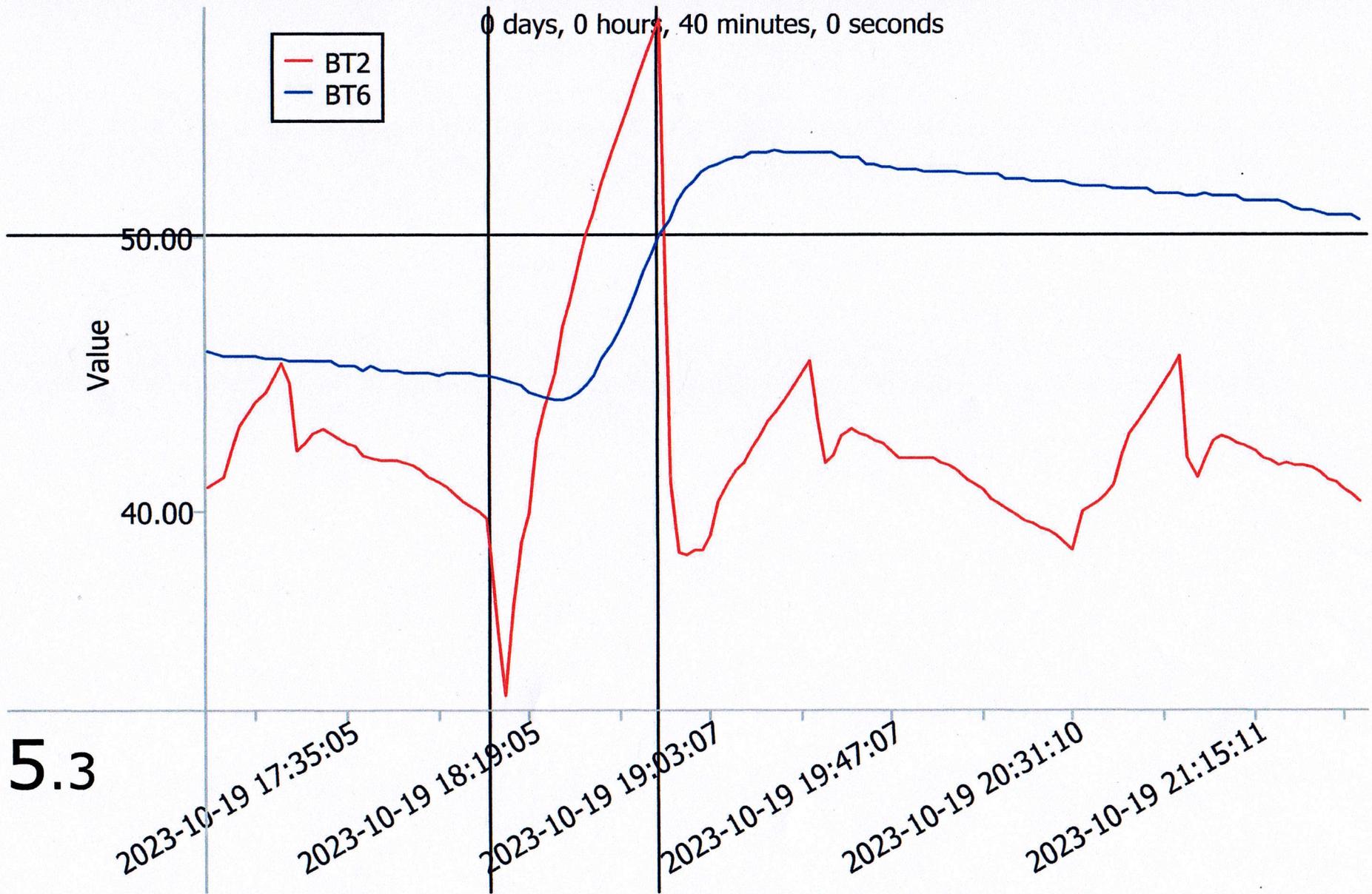
Da der Temperaturhub (die Differenz der Temperaturen zwischen Quelle und Heizkreis) maßgebend für den Strombedarf ist wirkt sich die Steigerung der Quellentemperaturen entscheidend auf den Energiebedarf aus. Mehr dazu ist den Grafiken im Anhang zu entnehmen (diese wurden übernommen aus der Datei WB2-ZE6 von meiner Website).

5.1

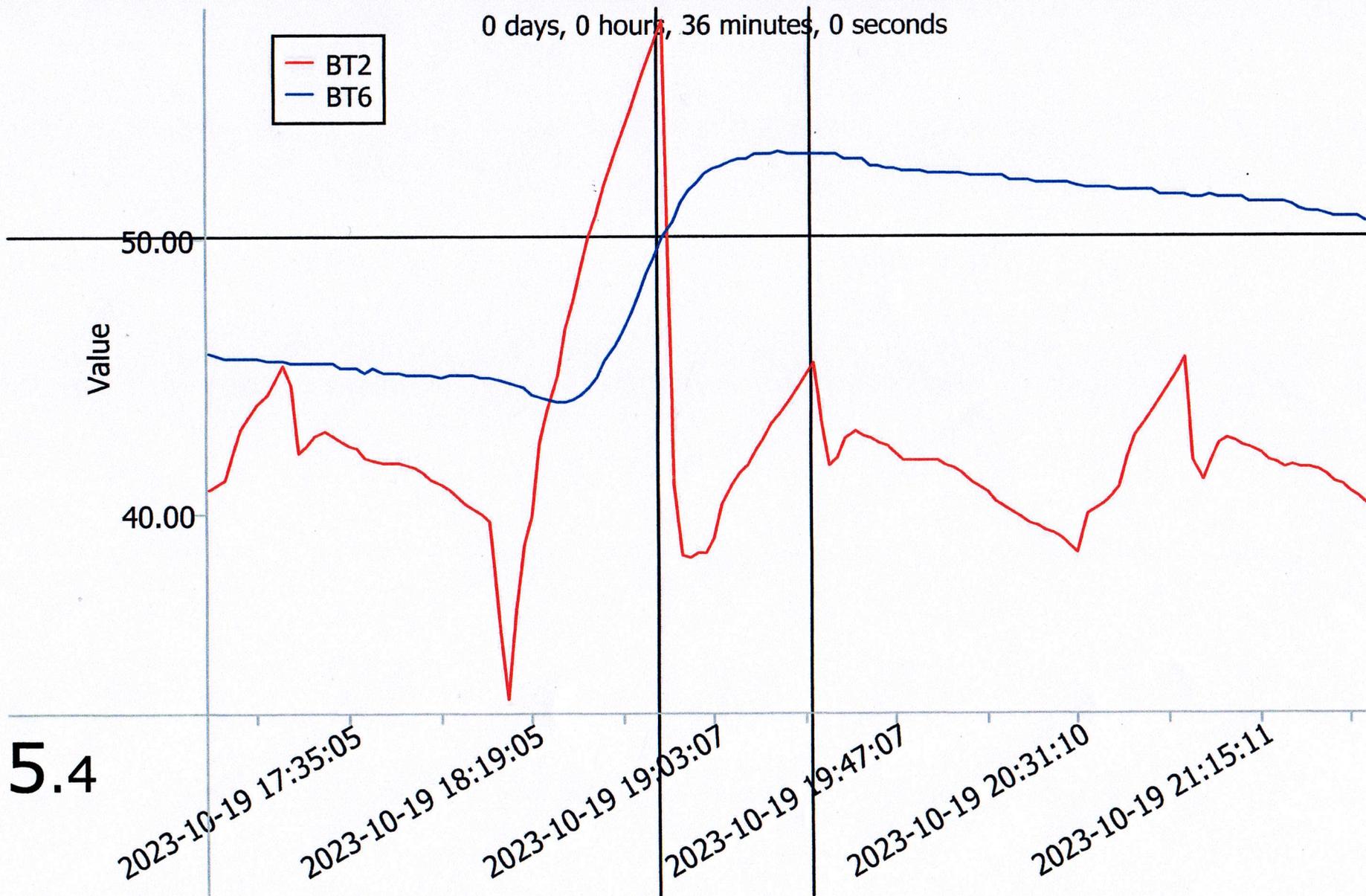




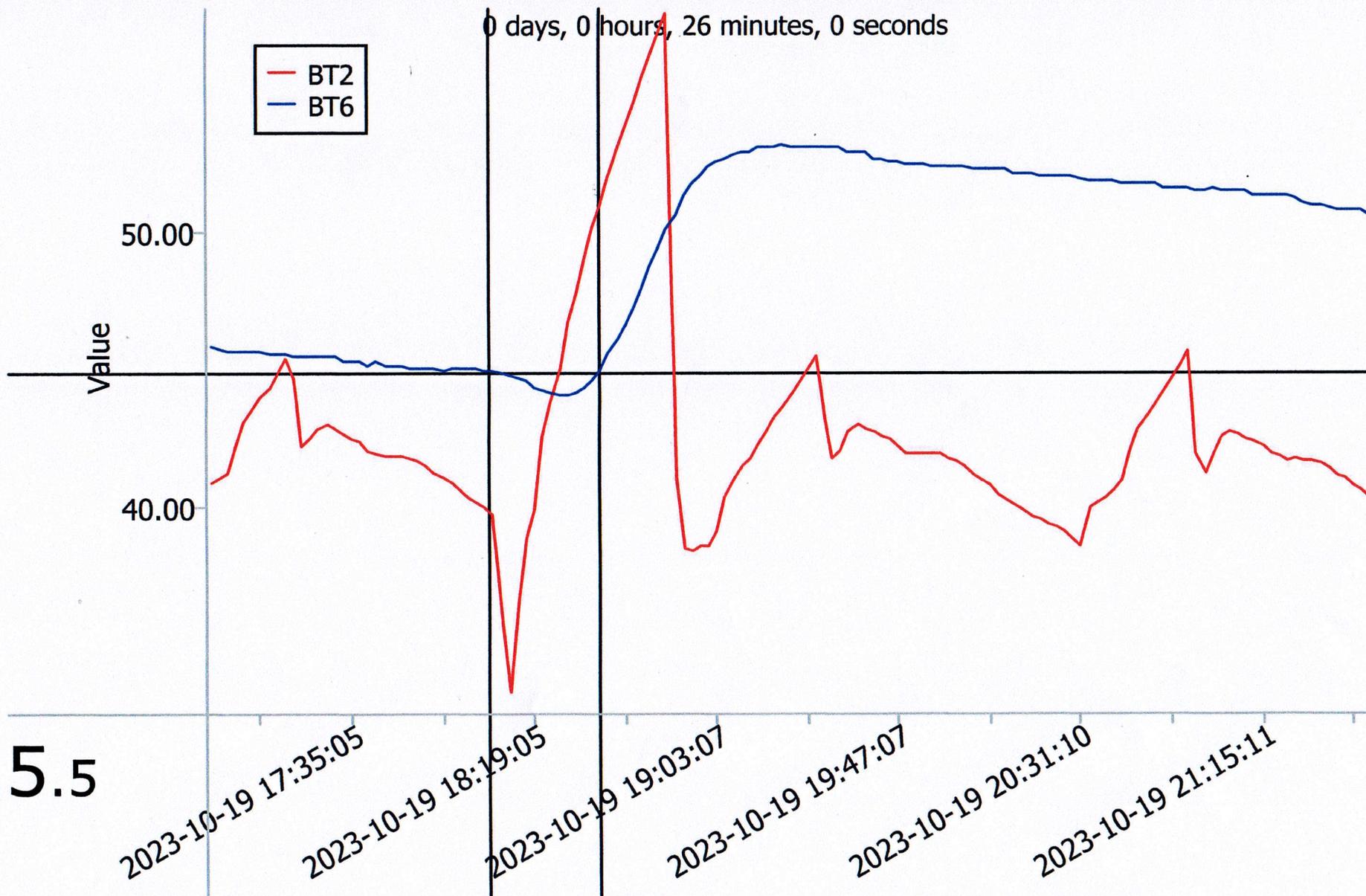
5.2

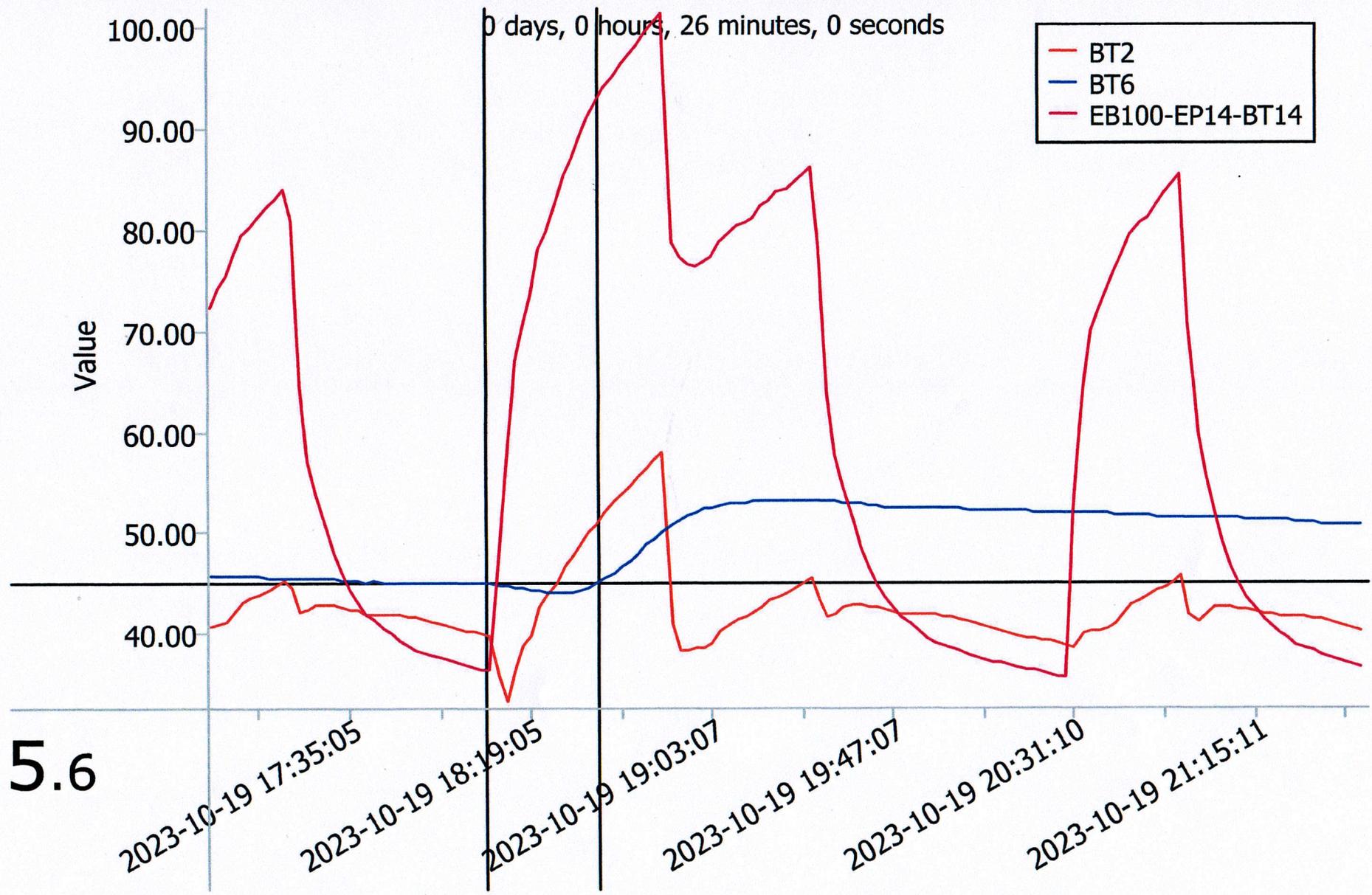


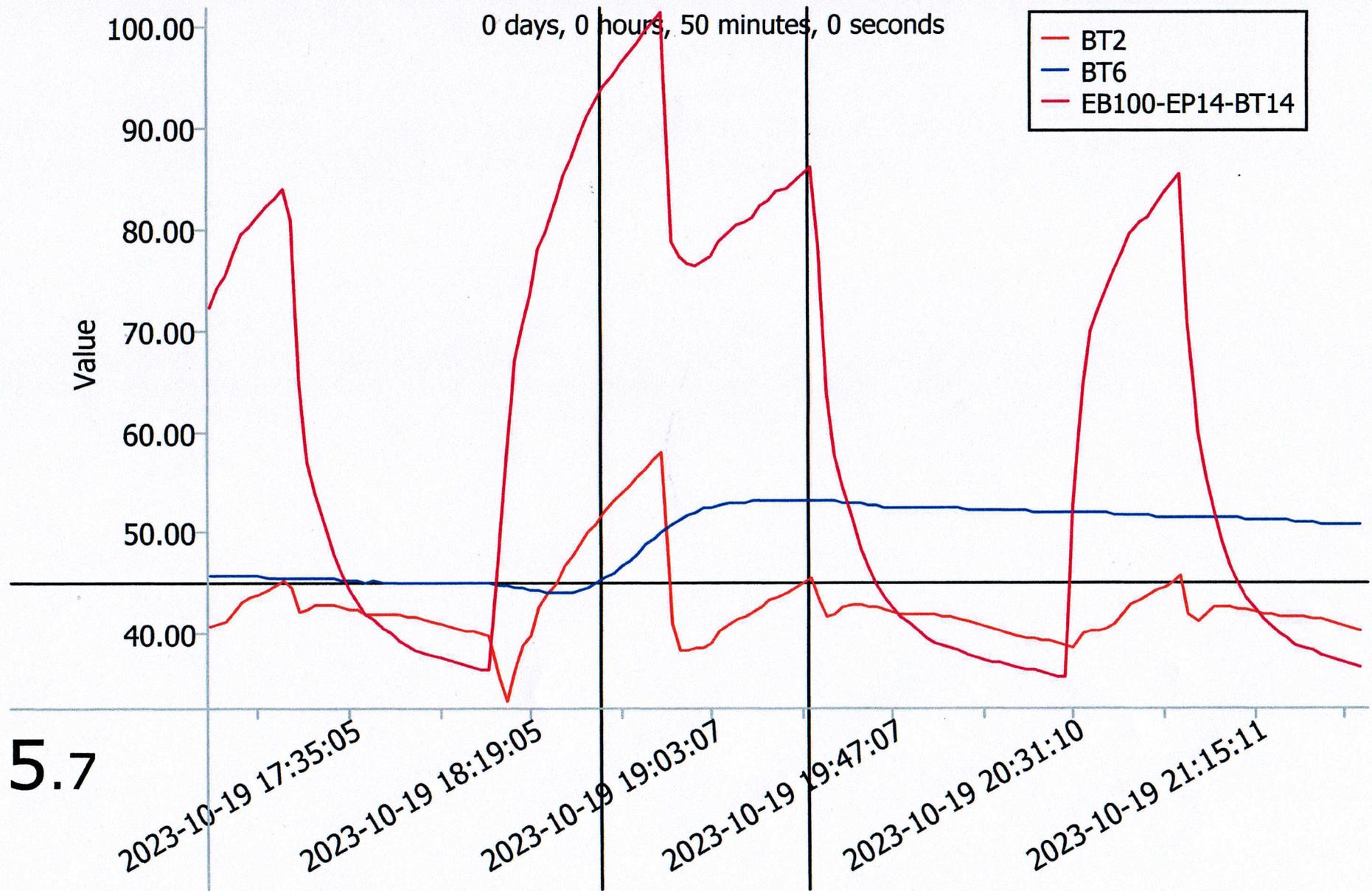
5.3

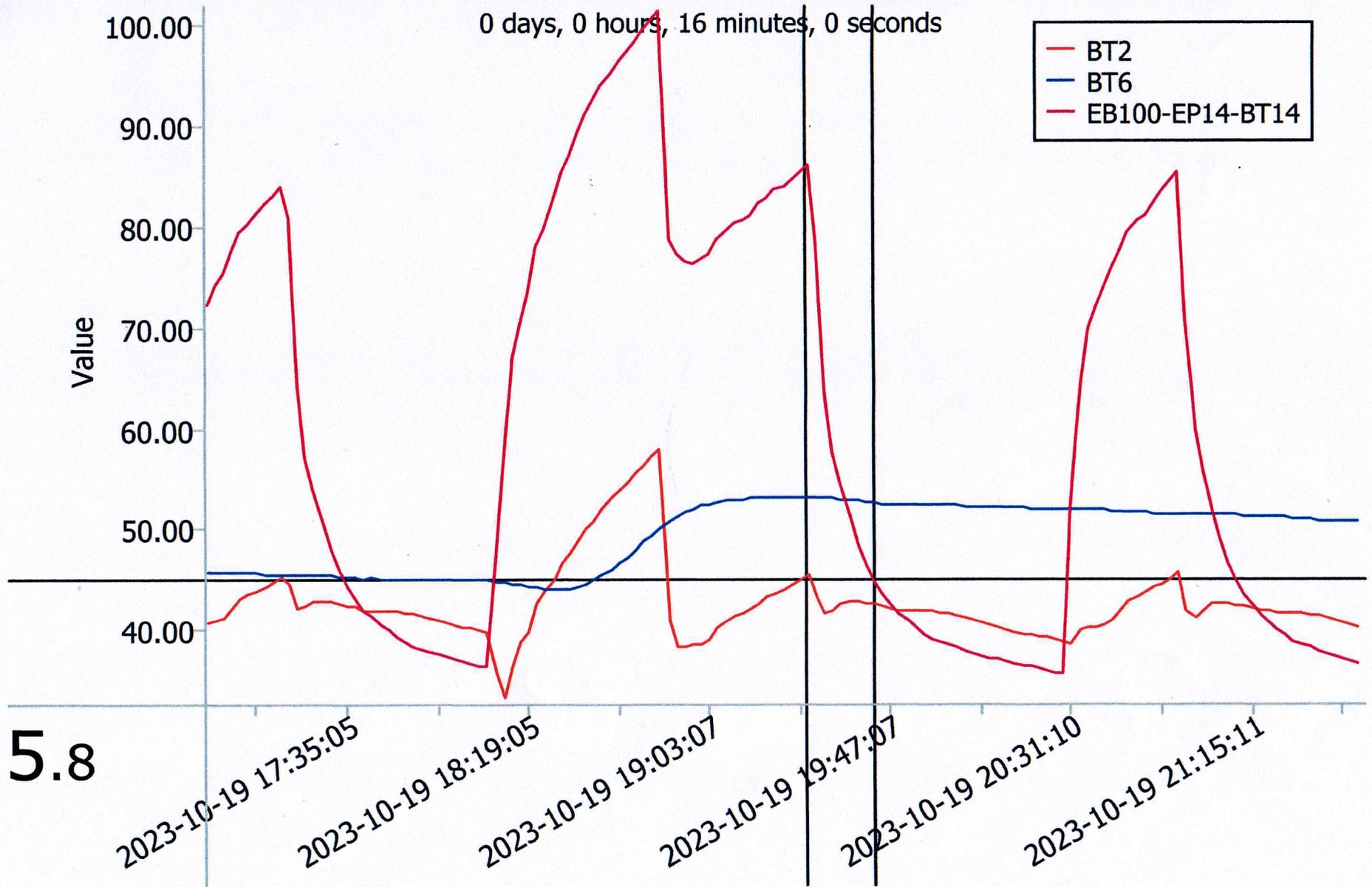


5.4









Die in den Grafiken erkennbaren Rückgänge der Temperaturen im Brauchwasserspeicher und teilweise auch im Heizkreis können oftmals auftreten, vor allem wenn die Wärmepumpe schon während der Zeit des Anlaufs vom Energieversorger entsprechend den Tarifbestimmungen bis zu dreimal am Tag für zwei Stunden abgeschaltet wird. Da Gasheizungen zunehmend durch Wärmepumpen ersetzt werden müssen wird es häufiger diese Probleme geben und so die Energiekrise erheblich vergrößern.

Obwohl Wärmepumpen derzeit erst weniger als 10% zur Heizung von Wohnräumen beitragen gibt es zeitweise bereits jetzt diese Probleme in den Stromnetzen. Darum will die Bundesnetzagentur den Netzbetreibern zukünftig eine Drosselung des Strombezugs auch für Wärmepumpen zugestehen (siehe Anhang).

Eine Lösung der Probleme kann es vor allem mit Luft/Wasser-Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik nicht geben, weil diese im Winter mit hohem Wärmebedarf bei einer Außenlufttemperatur nahe null Grad allein durch Heizen mit Strom noch Wärme erzeugen.

Der Ertrag von Photovoltaikanlagen ist in den kältesten Monaten von November bis Januar so gering, dass er nicht einmal für die Erwärmung von Warmwasser mehr reicht, keinesfalls für Wärmepumpen, wie eine Studie der Energieagentur NRW zeigt (siehe Anhang).

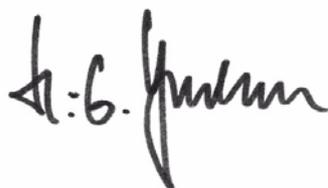
Eine Lösung der Energieprobleme wird sich nur erreichen lassen mit Maßnahmen, durch die bei Wärmepumpen dem deutlichen Rückgang der Quelltemperatur im Jahresverlauf entgegengewirkt werden kann. Das gilt sowohl für Erdwärmepumpen wie vor allem für die von der Außenluft abhängigen Wärmepumpen, auch bereits bestehende Anlagen werden sich mit dem multifunktionalen Regelsystem mit geringem Aufwand nachrüsten lassen.

Dies würde zu einer deutlichen Steigerung der Effizienz von Wärmepumpen und zu einem wesentlich geringeren Strombedarf führen.

Anhang

1. Funktion und Aufbau der Wärmepumpe
2. Berechnung der erforderlichen elektrischen Leistung
3. Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer Luft/Wasser-Wärmepumpe (mit Berechnung der Tabellenwerte)
4. Bundesnetzagentur: Maßnahmen zur Drosselung des Strombezugs
5. Energiebedarf von Haushalten und Ertrag von Photovoltaikanlagen

15.1.2024



WB2-44 (GzA)

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; B0 / W45):

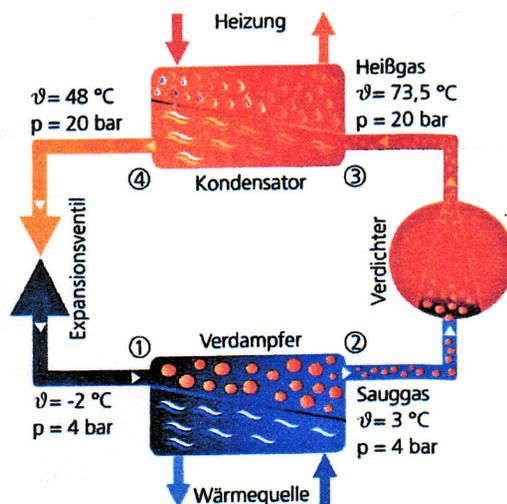


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

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:

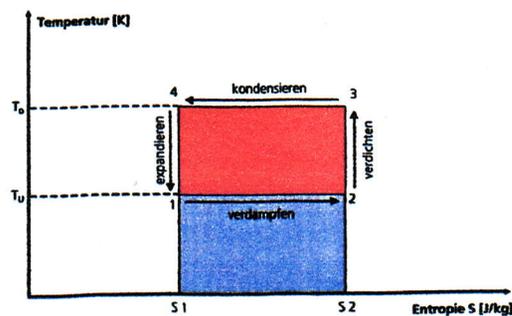


Bild 1.3: Carnot-Prozess

■ 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 (isentropen 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:

$$T_u = 0 \text{ °C} = 273 \text{ K}$$

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

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

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

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

bei Quellentemperatur $0 \text{ }^\circ\text{C}$: 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 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 $^\circ\text{C}$	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
$T_o = 30\text{ °C} = 303\text{ K}$		303 K	$P_{el} = 1,485\text{ kW}$				
$T_u = -2,5\text{ °C} = 270,5\text{ K}$		-0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	
$\Delta T = 32,5\text{ K}$		30,5 K	28,5 K	26,5 K	24,5 K	22,5 K	<u>Bezugswert</u> *
$\varepsilon = 4,661$		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	für Veränderungen des Strombedarfs je nach der Temperatur im Wärmespeicher
+ 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 Heizkreistemperaturen 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

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

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 $1,485\text{ kW}$ bei 10°C $\rightarrow 2,145 / 1,485 = +44,4\%$

Netzbetreiber dürfen Ladesäule nicht ablehnen

Das gilt auch für Wärmepumpen.

Bonn. Die Netzbetreiber dürfen den Einbau einer Wärmepumpe oder einer privaten Ladesäule für E-Autos künftig nicht mehr unter Verweis auf eine mögliche Überlastung des Stromnetzes verweigern. Die Bundesnetzagentur in Bonn erklärte am Montag, dass den Netzbetreibern im Gegenzug zugestanden werde, den Strombezug dieser sehr energieintensiven Anlagen vorübergehend zu drosseln. Voraussetzung dafür sei, dass „eine akute Beschädigung oder Überlastung des Netzes droht“.

Sollte es zu einer solchen Situation kommen, „muss eine Mindestleistung immer zur Verfügung stehen, so dass Wärmepumpen betrieben und Elektroautos weiter geladen werden können“, erklärte die Bundesnetzagentur. Solange eine Überlastung droht, dürfen die Netzbetreiber demnach den Bezug auf bis zu 4,2 Kilowatt senken. „Damit können Wärmepumpen weiter betrieben und E-Autos in aller Regel in zwei Stunden für 50 Kilometer Strecke nachgeladen werden.“

Eingriffe nur in Ausnahmefällen

Die Bonner Behörde geht davon aus, dass solche Eingriffe nur in Ausnahmefällen nötig werden. Auch dürften sie wegen der Vorgaben „ohne wesentliche Komforteinbußen“ passieren. Vollständige Abschaltungen der Wärmepumpen oder Ladesäulen seien nicht zulässig. Voraussetzung für die Umsetzung der Regeln ist allerdings eine rasche Digitalisierung der Netze, insbesondere muss die Netzauslastung in Echtzeit gemessen werden können. *afp*

Diese in der Braunschweiger Zeitung veröffentlichten Entscheidungen werden die durch die Energiekrise bereits bestehenden Probleme noch extrem vergrößern !

Der Strombedarf wird sich weiter stark erhöhen,

- weil Gasheizungen durch Wärmepumpen ersetzt werden müssen,
- fast nur Luft/Wasser-Wärmepumpen installiert werden, die im Winter bei niedriger Lufttemperatur aber Wärme nur noch durch Energie aus dem Stromnetz erzeugen können,
- weil die geförderten Photovoltaikanlagen im Sommer zwar viel Strom erzeugen können, aber im Winterhalbjahr wegen Kälte und fehlender Sonne nahezu keinen Strom mehr liefern (was kaum jemand berücksichtigt),
- nach den speziellen Tarifen der Energieversorger für Wärmepumpen bei Spitzenlastzeiten im Netz bereits jetzt bis zu dreimal am Tag für jeweils zwei Stunden der Strom abgeschaltet werden kann,
- diese Abschaltungen zwangsläufig häufiger auftreten werden und dann
- nach jedem Start der Wärmepumpe zum Hochfahren der Anlage zwar schon Strom aus dem Netz benötigt wird, aber wegen der zunächst noch geringen Temperaturen weder die Temperatur der Heizung noch des Warmwassers sich schon erhöht,
- auf diese Weise jedesmal zusätzlicher Strom verbraucht wird bis zu einer Abschaltung der Wärmepumpe wegen der möglichen Überlastung des Stromnetzes,
- sich die Heizung und das Warmwasser dadurch weiter abkühlen und durch den somit nutzlos eingesetzten Strom
- und mehr Energie beim nächsten Start der Wärmepumpe sich der Strombedarf insgesamt noch deutlich erhöht.

Es gibt aber ein patentiertes innovatives Verfahren für Wärmepumpen, mit dem bereits eine Regeneration der Wärmequellen im Winter möglich ist, was den Strombedarf deutlich verringert ...

Man muss sich nur endlich damit befassen !

Von der Energieagentur NRW ist der Strombedarf von Haushalten untersucht worden, der im Jahresverlauf mit Photovoltaikanlagen erreichbare Stromertrag wurde von Echtsolar ermittelt.

<u>Musterhaushalt Energieagentur NRW</u> Studie ohne bzw. mit Warmwasser ¹				<u>Photovoltaik-Ertrag</u> "echtsolar" (DAA)			Ergebnisse im Monat ³		Quartal- Ergebnis
Monat	kWh	%	Gesamt ¹	PV	8 kWp	%	+ kWh	- kWh	kWh
Januar	290,7	9,3	384,7	22	176	2,2		- 209 ²	
Februar	267,3	8,6	361,3	47	376	4,8	15		
März	278,2	8,9	372,2	100	800	10,2	428		+ 234
April	251,4	8,1	345,4	120	960	12,2	615		
Mai	244,4	7,8	338,4	127	1.016	12,9	678		
Juni	235,8	7,6	329,8	127	1.016	12,9	686		+ 1.979
Juli	242,3	7,8	336,3	126	1.008	12,8	672		
August	237,4	7,6	331,4	114	912	11,6	581		
September	247,3	7,9	341,3	94	752	9,5	411		+ 1.664
Oktober	265,7	8,5	359,7	60	480	6,1	120		
November	277,2	8,9	371,2	33	264	3,4		- 107 ²	
Dezember	282,1	9,0	376,1	17	136	1,7		- 240 ²	- 227
Gesamt	3.120		4.248 ²	985	7.880	100	4.216	- 556 ²	

¹ Der in der Studie errechnete monatliche Stromverbrauch für Warmwasser von monatlich 94 kWh ist in dem Gesamtbetrag enthalten.

² Für die drei kältesten Monate des Jahres (November bis Januar) mit dem höchsten Wärmebedarf können Photovoltaikanlagen trotz der hohen Jahresleistung überhaupt keinen Strom zum Heizen mehr liefern, nicht einmal die 94 kWh monatlich für Warmwasser.

³ In der Studie der Energieagentur NRW ist der Strombedarf eines E-Autos nicht enthalten, nur im Sommerhalbjahr könnte genügend Strom für eine eigene Ladestation zur Verfügung stehen.

In der Studie sind für einen Musterhaushalt die monatlichen Verbrauchswerte für Strom im Jahresverlauf ermittelt worden, beispielsweise für Licht, Kochen, Kühlen und Gefrieren, Spülen, Waschen und Trocknen und anderes mehr, der größte Verbrauch in der Tabelle ergibt sich durch Warmwasser.

Das Verbrauchsprofil wurde jeweils nach der Haushaltsgröße gegliedert mit nur einer Person bis zu fünf Personen. Die in die Tabelle aufgenommenen Verbrauchswerte für Strom entsprechen weitgehend denen für Wohnungen mit zwei bis vier Personen.

Nicht in die Bewertung aufgenommen wurden die Heizungskosten, da in nur sehr wenigen Haushalten Strom für Wärmepumpen eingesetzt wird, die meisten Wohnungen besitzen noch immer Gasheizungen.

Die mit Photovoltaikanlagen im Jahresverlauf erreichbaren Erträge an Strom sind ermittelt worden von Echtsolar, einem Unternehmen der Bosch-Gruppe.

Ergänzende Informationen zum Musterhaushalt der Energieagentur NRW und dem Ertrag von Photovoltaikanlagen

Der durchschnittliche Stromverbrauch von Haushalten wurde ermittelt von der Energieagentur NRW. Die Berechnungen der Studie basieren nach deren Angaben auf aktuellem Datenmaterial.

Der Musterhaushalt verbraucht 3.120 kWh Strom pro Jahr, das sind 260 kWh im Mittel der Monate, darin ist noch nicht der Stromverbrauch für Warmwasser enthalten.

Der Stromverbrauch schwankt im Jahresverlauf nach der Jahreszeit, wie der Tabelle zu entnehmen ist.

Wie die Studie zeigt gliedert sich der Stromverbrauch jeweils nach den unterschiedlichen Größen des Haushalts und den Verbrauchsbereichen.

Der in Prozent angegebene Stromverbrauch nach Verbrauchsbereichen berücksichtigt allerdings nicht den Verbrauch für die elektrische Warmwasserbereitung, die aber den weitaus größten Anteil vom Stromverbrauch ausmacht.

Eine Tabelle zeigt aber den nach Haushaltsgröße für die Warmwasserbereitung entstehenden Verbrauch von Strom in kWh, hier ein Auszug:

Personen im Haushalt	Verbrauch ohne Warmwasser	Verbrauch mit Warmwasser	Anteil für Warmwasser	Anteil in Prozent
2 Personen	2.812	3.781	+ 969	34,5
3 Personen	3.704	5.053	+ 1.349	36,4
4 Personen	4.432	6.103	+ 1.671	37,7
			im Mittel	36,2

Dem Stromverbrauch von 3.120 kWh pro Jahr sind dementsprechend für Warmwasser etwa 36,2% hinzuzurechnen, das sind 1.129 kWh bzw. monatlich 94 kWh.

Um den Betrag von 94 kWh sind deshalb in der vergleichenden Tabelle die jeweiligen Monatswerte des Musterhaushalts ergänzt worden, damit ergibt sich ein Gesamtverbrauch von jährlich 4.248 kWh.

Nach den Ermittlungen von Echtsolar kann eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 8 kWp bei guten klimatischen Verhältnissen durch die hohen Erträge im Sommerhalbjahr durchaus schon einen Ertrag von jährlich insgesamt 7.880 kWh erreichen.

In den drei kältesten Monaten des Jahres (November bis Januar) mit dem höchsten Wärmebedarf können Photovoltaikanlagen jedoch trotz der hohen Jahresleistung überhaupt keinen Strom zum Heizen mehr liefern, in diesem Fall nicht einmal die erforderlichen 94 kWh monatlich für den Warmwasserbedarf !

25.11.2023



PV-Ertrag