

Wie lassen sich das Verfahren und die Regeneration der Wärmequelle mittels des multifunktionalen Regelsystems umsetzen ?

Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik müssen nicht verändert werden, sie können schon mit geringem Aufwand nachgerüstet werden. Für eine Umsetzung des innovativen Verfahrens, das auch eine Regeneration der Wärmequelle bereits während der winterlichen Heizperiode mit dem höchsten Wärmebedarf ermöglicht, ist lediglich ein zusätzliches multifunktionales Regelsystem erforderlich.

Das System eignet sich sowohl für Sole/Wasser-Wärmepumpen als auch andere Bauarten wie die zahlreichen Luft/Wasser-Wärmepumpen. Es kann gleichermaßen für Wärmepumpen kleiner Leistung in Einfamilienhäusern eingesetzt werden wie für Großwärmepumpen in Wärmenetzen.

Wie ändert sich der betriebliche Ablauf durch das zusätzliche Regelsystem ? Im Normalbetrieb der Wärmepumpe ergeben sich gar keine Änderungen gegenüber dem Standard, sondern nur dann, wenn sich wegen des steigenden Wärmeentzugs die Soletemperaturen deutlich verringern und Wärme zugeführt werden soll.

Das multifunktionale Regelsystem hat dafür zwei sich ergänzende Funktionen,

- die Übertragung von nur etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Quellenkreis während eines ganz normalen Ladevorgangs
- oder die Umwandlung von Strom in Wärme in der Zeit zwischen den einzelnen Ladevorgängen und deren Speicherung zur Regeneration der Wärmequelle in der Erdsondenanlage einer Sole/Wasser-Wärmepumpe oder in einem Speicher einer Luft/Wasser-Wärmepumpe.

Um die beiden Funktionen und deren unterschiedliche Wirkungen vollständig zu verstehen muss zunächst deren Wirkungsweise anhand der beigefügten Grafiken und deren Bezugszeichenliste detailliert beschrieben werden. Eine Beschreibung des Systems sowie der jeweiligen Funktionen ist auch der Gebrauchsmusterschrift DE 2019 101 161 zu entnehmen.

Die Grafik Fig. 1 der Gebrauchsmusterbeschreibung zeigt den Aufbau des Systems. Es besteht aus dem ersten Modul 12 mit den beiden Wärmetauschern (20) und (30) sowie dem zweiten Modul 13 mit dem Regelsystem (40) und dessen Prozessor (41) und Speicher (42).

In Fig. 2 ist eine Wärmepumpe (70) gemäß dem Stand der Technik mit der Zusatzheizung (71) dargestellt. Die Kennziffer (51) symbolisiert die Quelle, Kennziffer (61) die Heizung. Die für die jeweilige Betriebsweise zum Transport der Wärme genutzten Rohre sind hervorgehoben dargestellt, hier ist es der Normalbetrieb der

Wärmepumpe noch ohne die Nutzung eines Wärmetauschers.

Das zugefügte multifunktionale Regelsystem nutzt dabei nur die Temperaturwerte des Sensors (53) für den Quellenvorlauf (52) und des Sensors (55) für den Quellenrücklauf (54), sie werden über die gepunkteten Linien übertragen. Auf diese Weise wird dauerhaft die vorhandene Spreizung im Quellenkreis erfasst.

Die Übertragung von Wärme erfolgt gemäß Fig. 3. Durch die Zuschaltung der Umwälzpumpe (22) wird dem Heizkreis etwas Wärme entzogen und dem Wärmetauscher (20) zugeleitet, so dass sich sogleich nach der Umschaltung des Dreiwegeventils (21) auf die Leitung (23) die Temperatur des Quellenvorlaufs (52) erhöht und dieser Vorlauf der Wärmepumpe (70) zugeleitet wird.

Diese arbeitet nun mit einer höheren Quellentemperatur, der Temperaturhub ΔT zwischen Quelle und Heizkreis verringert sich, dadurch auch die jetzt noch erforderliche elektrische Leistung.

Die dem Heizkreis entnommene Wärme geht dem System nicht verloren. Aufgrund der etwa gleichbleibenden Spreizung von 5 K gemäß VDI 4650 erhöht sich auch die Quellenrücklaufemperatur, die Erdsonde kühlt sich daher nicht mehr so deutlich ab wie bei einer Anlage ohne Wärmetauscher, die Erdreichtemperatur im Nahbereich der Erdsonde verringert sich damit ebenfalls weniger stark mit der Folge, dass die dadurch höhere Temperatur im Erdreich mehr Energie enthält.

In Teil 1 von Verfahren und Regeneration werden das Prinzip und die Auswirkungen detailliert beschrieben. Die Einfügung eines Wärmetauschers in das System wird dort schematisch mit der hier beigefügten Anlage 1 dargestellt. Die Beschreibung und die Energiefluss-Diagramme zeigen anschaulich die für die Wärmepumpe sich ergebende Steigerung der Effizienz.

Für die Umwandlung von Strom in Wärme wird gemäß Fig. 4 der für eine höhere Leistung vorgesehene Wärmetauscher (30) genutzt. Die Umwälzpumpen (56) im Quellenkreis und (64) im Heizkreis bleiben nach dem Ende eines Ladevorgangs weiter in Betrieb, die elektrische Zusatzheizung (71) wird eingeschaltet und das Dreiwegeventil (31) im Heizkreis der Wärmepumpe wird umgeschaltet (damit ist die Heizungsanlage von der Wärmepumpe getrennt), so dass die erzeugte Wärme jetzt dem Wärmetauscher (30) zugeleitet wird.

Zugleich wird auch das Dreiwegeventil (34) im Quellenvorlauf auf die Leitung (35) umgeschaltet, der Quellenvorlauf (52) wird nun im Wärmetauscher (30) erwärmt und der somit erwärmte Rücklauf (54) direkt der Quelle (51) zugeführt.

Eine Steigerung der Effizienz von Wärmepumpen kann sich aufgrund der höheren Quellentemperatur sowohl durch die Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis als auch durch die Umwandlung von Strom in Wärme ergeben. Wie sich dies auswirkt zeigen die als Anlage 6 beigefügte Tabelle sowie Auszug 1 und Auszug 2.

Weil die Erdsondenanlage nur bis auf eine Temperatur von maximal 10°C erwärmt wird geht keine Energie verloren. Die von der Wärmepumpe erzeugte Wärme erhöht nur die Temperatur der Erdsonde, diese Wärme kann allenfalls bis in den Nahbereich der Sonde fließen, da das umgebende von der Sonne erwärmte oberflächennahe Erdreich eine dauerhaft höhere Temperatur von 10 bis 12°C hat.

Abhängig davon, wie viel überschüssige Energie von Solaranlagen oder Windkraftanlagen zur Verfügung steht, kann die Regeneration des Erdreichs mehr oder auch weniger stark ausfallen - es entsteht eine Situation, die sogar den hohen sommerlichen Temperaturen entsprechen kann.

Die wesentlichen Unterschiede zum Stand der Technik sind Teil 4 der Verfahrensbeschreibung und dessen Anhang 1 zu entnehmen, den Einfluss der Temperaturdifferenzen auf den Wärmefluss und die Effizienz der Anlagen zeigt der aus dem Anhang 1 entnommene beigefügte Auszug 1.

Die darin enthaltenen Grafiken und Berechnungen beweisen den starken Einfluss des multifunktionalen Regelsystems auf die Erdreichtemperaturen. Bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik fällt die Solevorlauftemperatur in einer winterlichen Heizperiode allmählich stark ab, beispielsweise auf eine Quelltemperatur von nur noch -2°C , so dass der Temperaturhub ΔT und damit zwangsläufig auch die dann erforderliche elektrische Leistung sich deutlich erhöht.

Schon bei einer Übertragung von etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Quellenkreis, was im vorliegenden Beispiel der Grafik 8 (die Anlage 3 im Auszug 1) zu einer um 4 K höheren Quellenvorlauftemperatur führt, ändert sich die Erdreichtemperatur im Nahbereich der Sonde deutlich.

Bei einer Umwandlung von überschüssigem Strom in Wärme lassen sich sehr viel höhere Temperaturänderungen erreichen, im Beispiel eine Erhöhung der Quellenvorlauftemperatur um 9 K gegenüber einer Wärmepumpenanlage gemäß dem Stand der Technik. Wie man im Auszug 1 an der als Anlage 3 beigefügten Grafik sieht geht es dabei nicht nur um eine Erhöhung der Temperaturen, dadurch verschieben sich auch die Temperaturwerte immer näher an die Erdsonde. Das führt dazu, dass sich bei jedem Start der Wärmepumpe bereits genügend Wärme mit einer recht hohen Temperatur im Nahbereich der Sonde befindet.

Es muss also nicht wie bei Wärmepumpen ohne einen Wärmetauscher erst allmählich nach dem Ende des Ladevorgangs wieder eine ausreichend hohe Erdreichtemperatur erreicht werden. Wegen der bekanntlich langsamen Ausbreitung von Wärme im trockenen Erdreich beansprucht dies eine recht lange Zeit, die bei einer winterlichen Witterung bis zum nächsten Start der Wärmepumpe nicht zur Verfügung steht - die Folge ist der Rückgang der Quelltemperatur und ein Anstieg des Stromverbrauchs.

Deshalb macht es Sinn, schon im Herbst bei nur etwas nachlassender Soletemperatur dem Rückgang bereits entgegenzuwirken durch Übertragung von nur wenig Wärme

aus dem Heizkreis in den Quellenkreis. Wie man an dem Einfluss der Quelltemperatur in Tabelle 6 erkennt ist dafür auch nur sehr wenig Energie erforderlich, weitaus mehr Energie wird eingespart durch den geringeren Stromverbrauch nach dem Ende der Übertragung.

Nicht nur die derzeit bestehenden Probleme lassen sich durch das multifunktionale Regelsystem verhindern, darüber hinaus gibt es einen weiteren großen Vorteil: Die bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik stets unvermeidbar entstehende Anergie, die sich bei allen Vorgängen zum Heizen oder zur Erwärmung von Brauchwasser durch die zunächst zu niedrigen Heizkreisvorlauftemperaturen einstellt, kann höchst sinnvoll genutzt werden.

Die in Verfahren und Regeneration in Teil 5 enthaltene ausführliche Beschreibung der als Anlage 12 beigefügten Grafik ist als Auszug 2 beigefügt.

Diese täglich mehrmals auftretenden Energieverluste lassen sich dadurch verhindern, dass nach jedem Start der Wärmepumpe wegen der anfangs zu geringen Temperatur im Heizkreis die Wärme statt dessen von dem multifunktionalen Regelsystem über den Wärmetauscher umgeleitet wird auf die Erdsondenanlage oder einen Wärmespeicher mit den stets niedrigeren Temperaturen - eine zusätzliche Regeneration der Quelle.

Diese Nutzung von Anergie erfordert keinen zusätzlichen Aufwand, im Gegenteil wird durch die ansteigende Temperatur in der Erdsondenanlage und in deren Nahbereich der Temperaturhub zwischen Quelle und Heizkreis und dadurch auch die erforderliche elektrische Leistung verringert.

Anlagen:

1. Multifunktionales Regelsystem: Gebrauchsmusterschrift Fig. 1 bis Fig. 4
2. Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Wärmetauscher zur Übertragung von Wärme
3. Einfluss der Quelltemperatur auf elektrische Leistung und Erdwärme
4. Auszug 1: Einfluss der Temperaturdifferenzen auf Wärmefluss und Effizienz
5. Auszug 2: Nutzung der Anergie von Anlagen gemäß dem Stand der Technik

12.2.2023



WO (57)

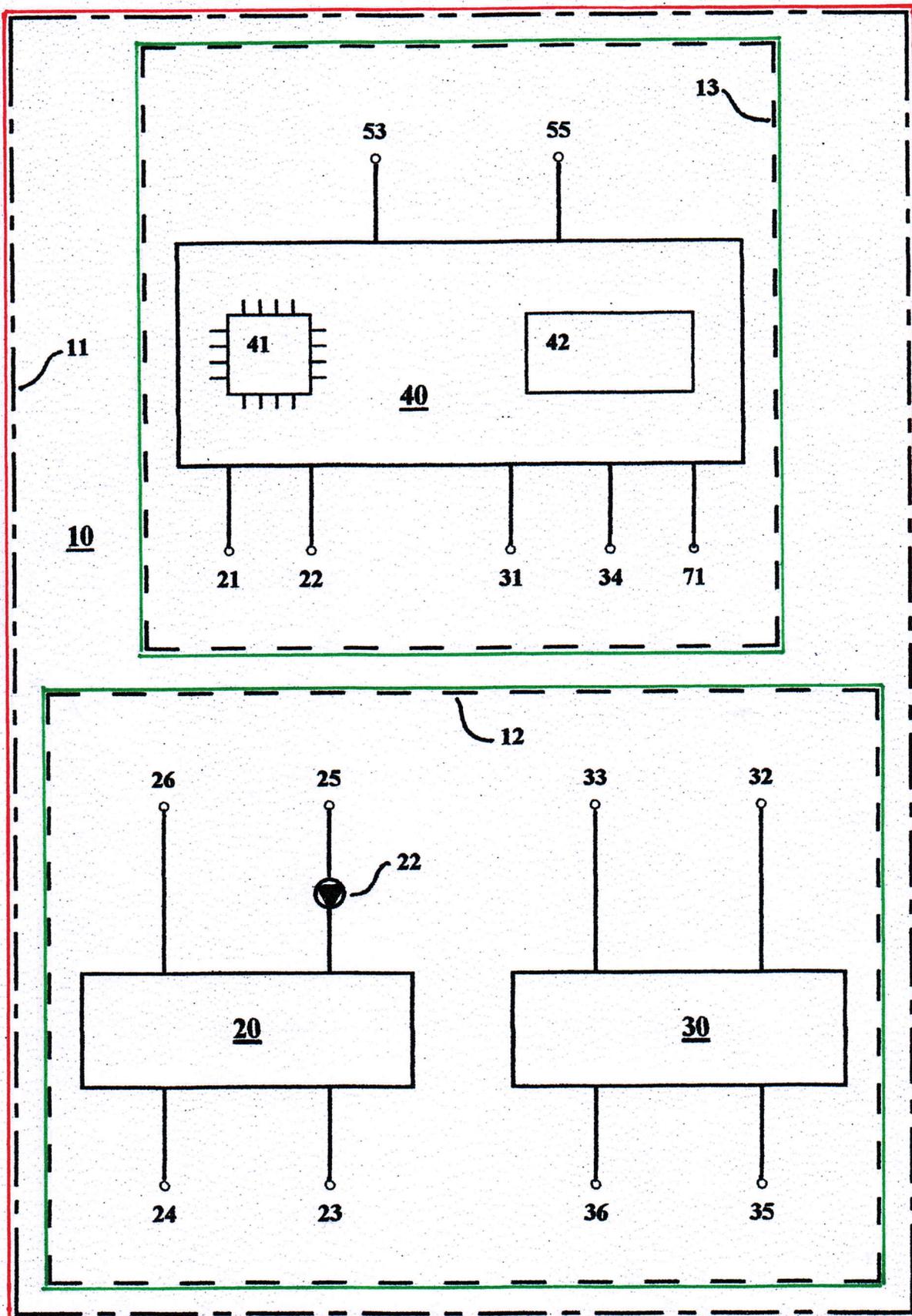


Fig. 1

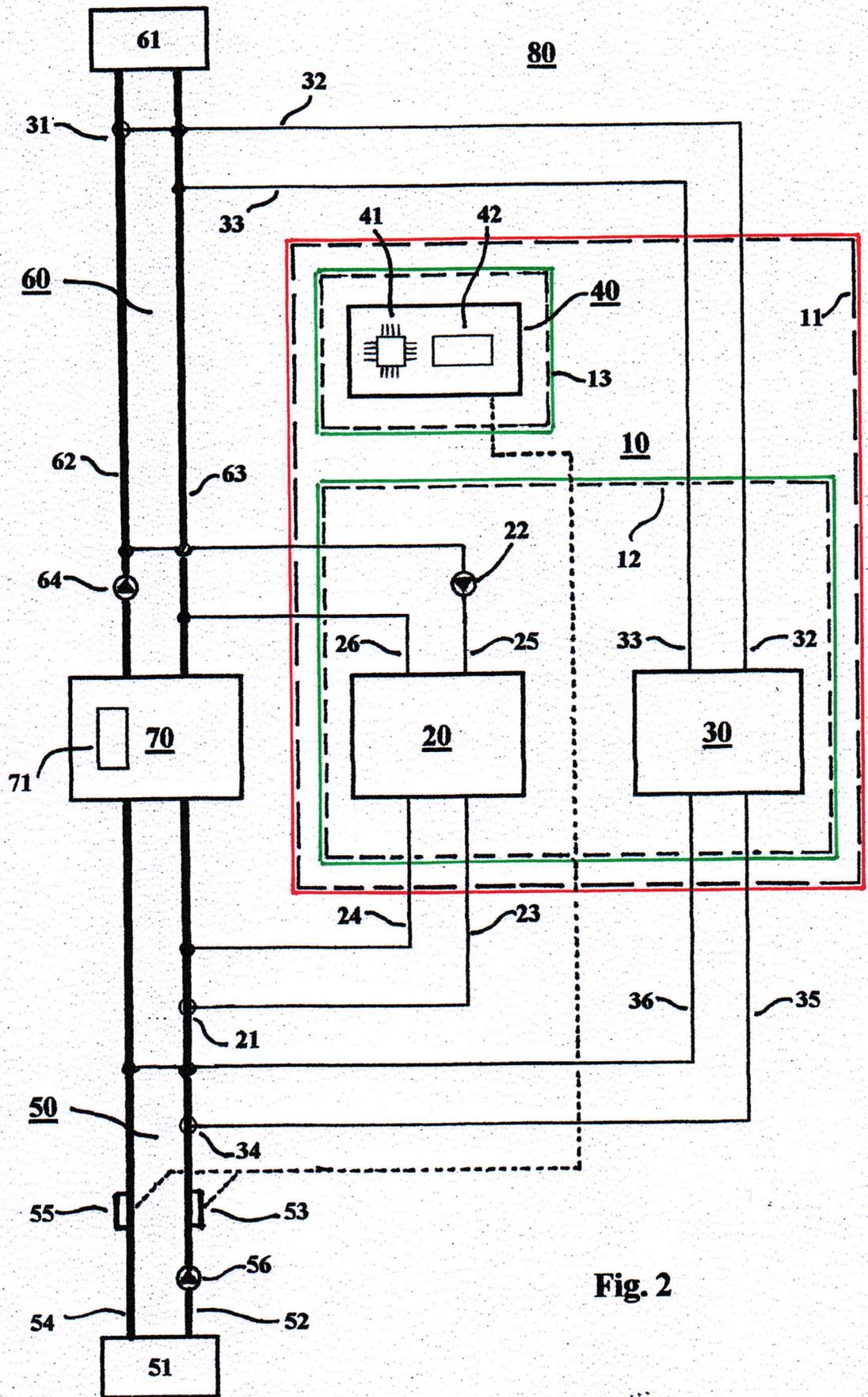


Fig. 2

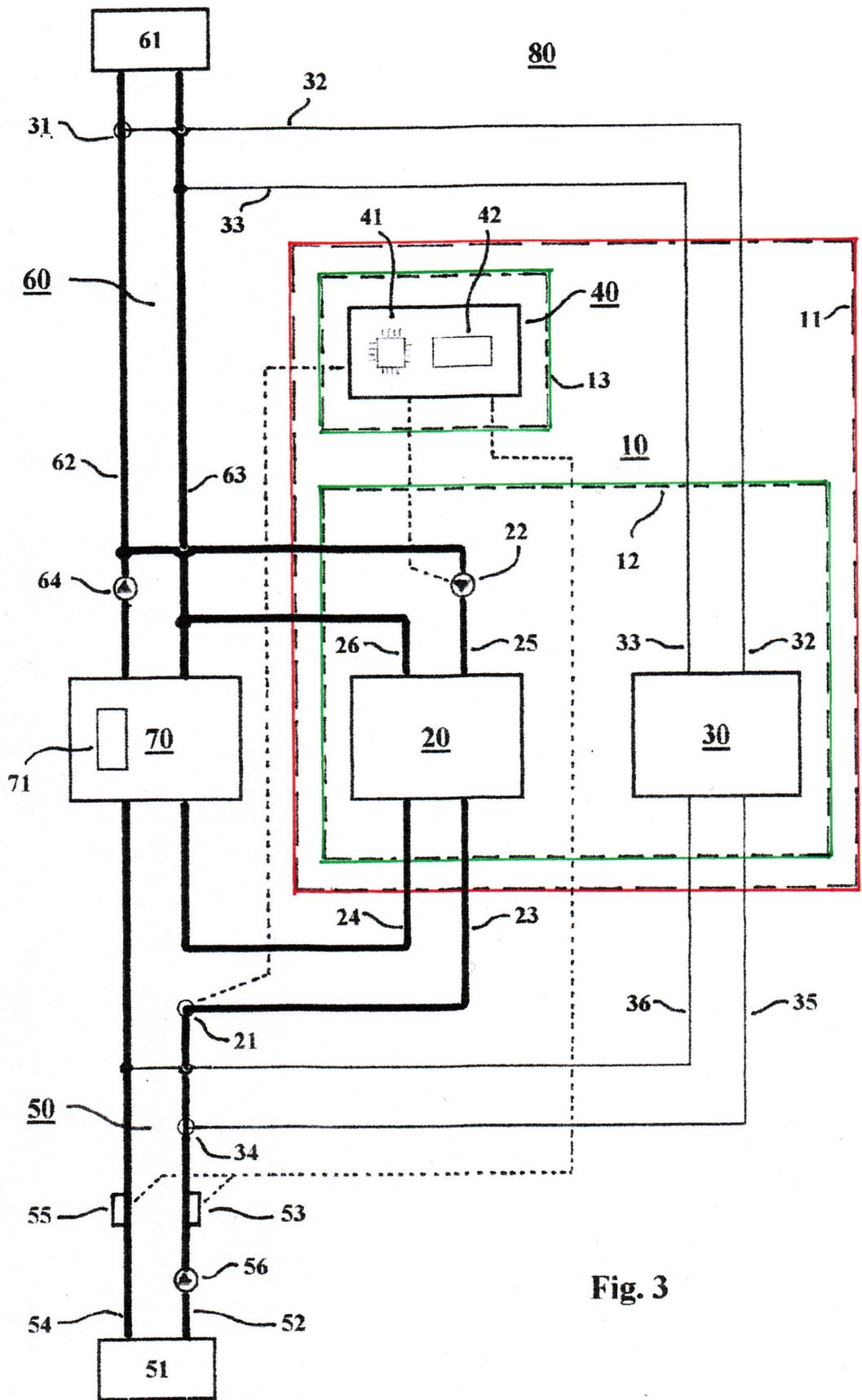


Fig. 3

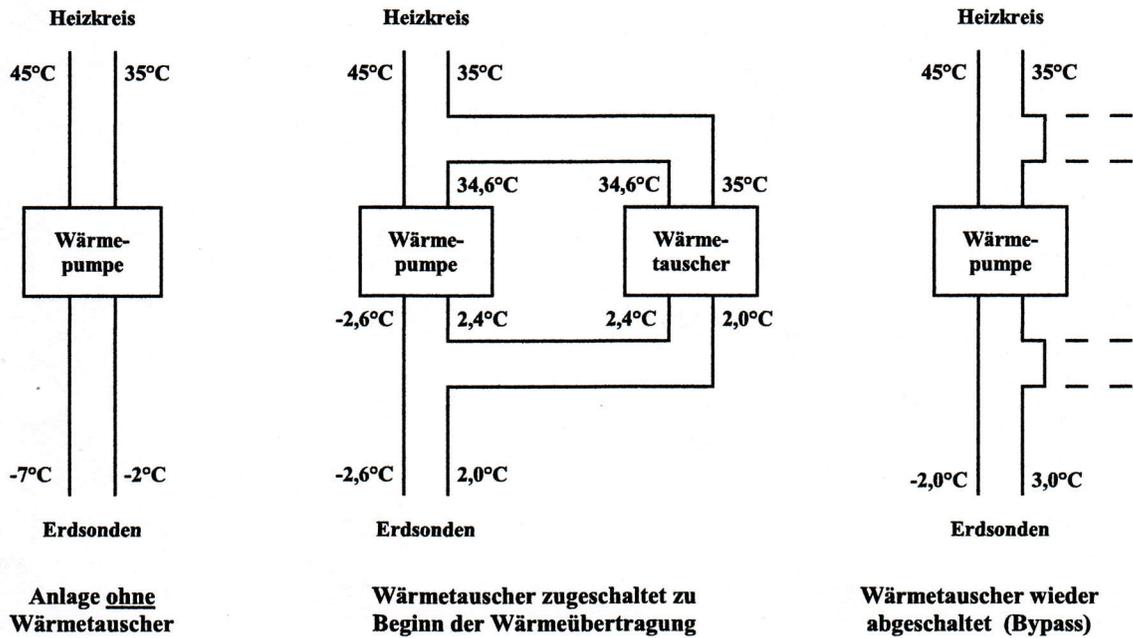
Bezugszeichenliste

- 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)

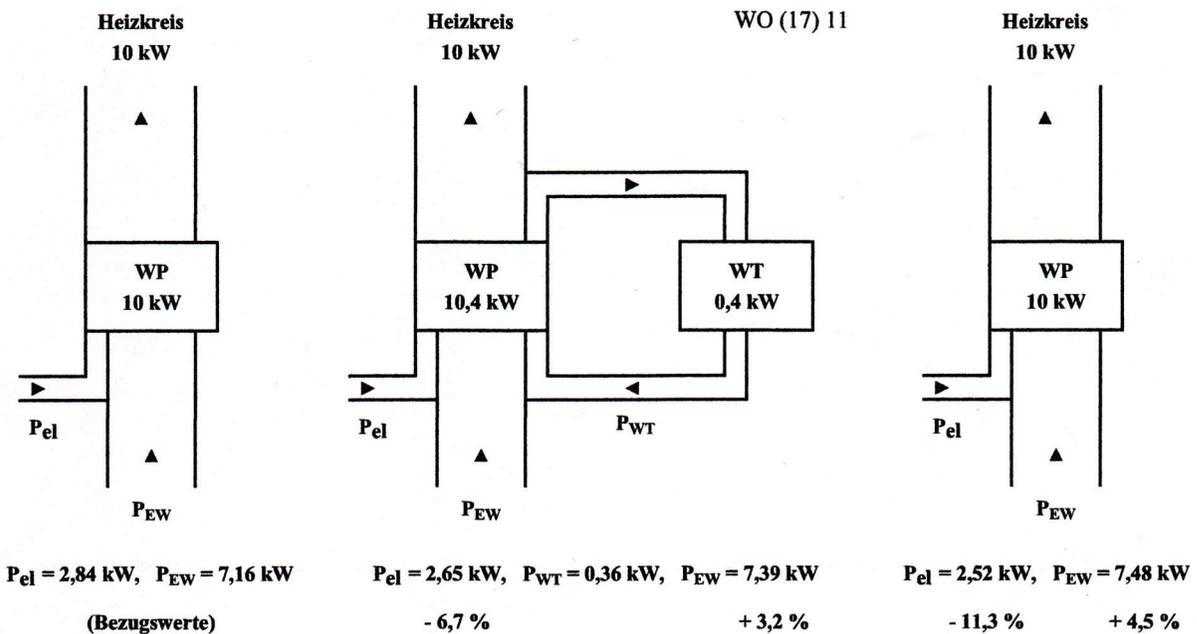
Diese kurze Übersicht soll das Prinzip der Wärmeübertragung aus dem Heizkreis der Wärmepumpe auf deren Solekreis veranschaulichen.

Die Abbildung auf der linken Seite stellt eine herkömmliche Anlage gemäß dem Stand der Technik dar, die Solevorlauftemperatur ist im Verlauf der Heizperiode bis auf -2°C gefallen.

Die beiden anderen Abbildungen zeigen die Anordnung nach Einfügung eines Wärmetauschers und die möglichen Betriebstemperaturen unter der Annahme, dass sich die Solevorlauftemperatur durch zeitweilige Wärmeübertragungen nur auf etwa $+2^{\circ}\text{C}$ verringert hat.



Die Energiefluss-Diagramme geben die Ergebnisse der entsprechenden Berechnungen wieder.



Anlage 1 Schematische Darstellung von Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen ohne und mit Wärmetauscher bei winterlichen Betriebsbedingungen

Anlage gemäß dem Stand der Technik bzw. Anlage mit abgeschaltetem Wärmetauscher (Normalbetrieb) *

- 2 / -7 °C	Quelle 0 / -5 °C	2 / -3 °C	4 / -1 °C	6 / 1 °C	8 / 3 °C	10 / 5 °C	Quelle 10 / 5 °C
313 K	$T_o = 40\text{ °C} = 313\text{ K}$	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	<u>$P_{el} = 2,077\text{ kW}$</u>
- 4,5 °C	$T_u = - 2,5\text{ °C} = 270,5\text{ K}$	- 0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	<u>$P_{EW} = 7,923\text{ kW}$</u>
44,5 K	$\Delta T = 42,5\text{ K}$	40,5 K	38,5 K	36,5 K	34,5 K	32,5 K	<u>Bezugswerte</u>
3,517	$\varepsilon = 3,682$	3,864	4,065	4,288	4,536	4,815	
2,843 kW	$P_{el} = 2,716\text{ kW}$	2,588 kW	2,460 kW	2,332 kW	2,204 kW	2,077 kW	für die Veränderungen zur elektrischen Leistung und zum Anteil der Erdwärme
+ 36,9 %	+ 30,8 % gg. Bezugswert	+ 24,6 %	+ 18,4 %	+ 11,2 %	+ 6,1 %		
7,157 kW	$P_{EW} = 7,284\text{ kW}$	7,412 kW	7,540 kW	7,668 kW	7,796 kW	7,923 kW	
- 9,7 %	- 8,0 % gg. Bezugswert	- 6,4 %	- 4,8 %	- 3,2 %	- 1,6 %		

Anlage mit zugeschaltetem Wärmetauscher (Übertragung) bei einer Erhöhung um 0,4 °C *

- 1,6 / - 6,6 °C	Quelle 0,4 / -4,6 °C	2,4 / -2,6 °C	4,4 / -0,6 °C	6,4 / 1,4 °C	8,4 / 3,4 °C	10,4 / 5,4 °C	Quelle 10,4 / 5,4 °C
312,8 K	$T_o = 39,8\text{ °C} = 312,8\text{ K}$	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	<u>$P_{el} = 2,054\text{ kW}$</u>
- 4,1 °C	$T_u = - 2,1\text{ °C} = 270,9\text{ K}$	- 0,1 °C	1,9 °C	3,9 °C	5,9 °C	7,9 °C	<u>$P_{EW} = 7,986\text{ kW}$</u>
43,9 K	$\Delta T = 41,9\text{ K}$	39,9 K	37,9 K	35,9 K	33,9 K	31,9 K	* Alle Berechnungen für eine <u>Radiatorenheizung</u> einer Anlage mit einer Heizlast von 10 kW und Heizkreistemperaturen von 45/35 °C
3,563	$\varepsilon = 3,733$	3,920	4,127	4,356	4,613	4,903	
2,827 kW	$P_{el} = 2,689\text{ kW}$	2,561 kW	2,440 kW	2,312 kW	2,183 kW	2,054 kW	
+ 37,6 %	+ 30,9 % gg. Bezugswert	+ 25,1 %	+ 18,8 %	+ 12,6 %	+ 6,3 %		
7,213 kW	$P_{EW} = 7,351\text{ kW}$	7,471 kW	7,600 kW	7,728 kW	7,857 kW	7,986 kW	
- 9,6 %	- 7,9 % gg. Bezugswert	- 6,4 %	- 4,8 %	- 3,2 %	- 1,6 %		

Anlage 6 Einfluss der Quelltemperatur bei einer Radiatorenheizungsanlage ohne bzw. mit zugeschaltetem Wärmetauscher auf die Anteile der elektrischen Leistung und der Erdwärme

Auszug 1 aus Anhang 1 zu Teil 4 der Verfahrensbeschreibung

Ergänzende Betrachtungen zum Einfluss von Temperaturdifferenzen auf den Wärmefluss und die Effizienz der Anlagen

Um die Wirkungen durch den Temperaturverlauf vergleichen zu können zeigt die als Anlage 3 beigefügte Grafik die durch unterschiedliche Solevorlauftemperaturen hervorgerufenen Erdreichtemperaturen für Wärmepumpen mit einer Nennleistung von jeweils 10 kW bei winterlichen Betriebsbedingungen. Um die Unterschiede darstellen zu können wird dafür eine größere Fläche im Umkreis einer Erdsonde mit einem Durchmesser von 6 cm betrachtet, das entspricht also jeweils $r = 3$ cm.

Bei einer Wärmepumpe gemäß dem Stand der Technik ohne Wärmetauscher ergibt sich der Temperaturverlauf der schwarzen Linie, die rote Linie nach einer Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis (+4 K) und die grüne Linie nach der Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme (+9 K).

Die auf die Erdsonden übertragene Wärme geht dem System keinesfalls verloren, sie führt zunächst vor allem zu einer Erhöhung der Temperatur in der Sondenanlage, was sich entsprechend auf deren Nahbereich im umgebenden Erdreich auswirkt, der sich nun nicht mehr so stark abkühlt wie bei Anlagen ohne Wärmetauscher.

In Anlage 4 werden die berechneten Werte der Temperaturverteilung im Erdreich aufgeführt. In Spalte 2 der Tabelle sind zunächst die Werte für eine Wärmepumpenanlage ohne Wärmetauscher aufgeführt mit ΔT_o für die obere Differenz der Erdreichtemperatur zur Temperatur im ungestörten Erdreich (in der Tabelle sind aber auch die entsprechenden Werte ΔT_u für die untere Temperaturdifferenz aufgeführt).

In Spalte 3 ist die Differenz dieser beiden Werte angegeben, außerdem der Abstand zur Erdsonde. Diese Werte treffen wegen der stets gleichen Spreizung im Solekreis der Wärmepumpe für Vorlauf und Rücklauf auch für die anderen Spalten zu.

Bei der Grafik in Anlage 3 werden die Vorlauftemperaturen bis $r = 15$ dargestellt, das entspricht einem Abstand von 42 cm zur Erdsonde, in der Tabelle in Anlage 4 sind die Temperaturen dagegen für einen Abstand bis 72 cm berechnet worden, um die Auswirkungen auf den weiteren Bereich nachvollziehen zu können.

Bei einer Wärmepumpenanlage gemäß dem Stand der Technik kann sich bei winterlichen Betriebsbedingungen häufiger eine Solevorlauftemperatur von -2°C ergeben, was bei einer Spreizung von 5 K eine Solerücklauftemperatur von -7°C und eine Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich von -17°C ergibt (siehe Tabelle).

Im Abstand von $r = 10$ (in diesem Beispiel entspricht das einem Abstand zur Sonde von 27 cm) hat sich die Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich bereits auf lediglich noch 1°C verringert. Bei einer Übertragung von Wärme mit einer um 4 K höheren Temperatur ergibt sich diese Temperaturdifferenz schon in einem Abstand von 15 cm zur Sonde, bei einer Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme mit einer um 9 K höheren Temperatur wird die Temperatur von 1°C auf der Außenseite der Erdsonde erreicht.

Durch das Regelsystem der multifunktionalen Baugruppe wird sowohl bei der Übertragung von etwas Wärme aus dem Heizkreis als auch bei der Umwandlung von Strom in Wärme die für die Wärmepumpe notwendige Sole in der Erdsondenanlage jeweils etwas erwärmt. Das erfordert nur sehr wenig zusätzliche Energie, weil die für Heizen und Warmwasser insgesamt benötigte Energie weiterhin ausschließlich dem durch Sonneneinstrahlung erwärmten Erdreich entnommen wird.

Die für die Wärmepumpe benötigte elektrische Leistung ist vor allem abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Heizkreis. Daraus folgt, dass von den sommerlichen Betriebsbedingungen mit Erdreichtemperaturen von 10°C ausgehend schon bei einem leichten Rückgang der Quellentemperatur kurzzeitig etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Primärkreis übertragen werden sollte, um einem Rückgang der Quellentemperatur bereits entgegenzuwirken. Die Tabelle in Anlage 6 zeigt das Ergebnis.

Der obere Teil der Daten gilt für Anlagen ohne Wärmetauscher gemäß dem Stand der Technik, aber auch für Anlagen mit einem Wärmetauscher, solange dieser noch abgeschaltet ist. Die im unteren Teil der Tabelle aufgeführten Daten gelten nur für die Zeit der Übertragung einer geringen Wärmemenge bis zu deren Ende.

Generell gilt, dass durch den Rückgang der Quellentemperatur der Anteil der Erdwärme P_{EW} abnimmt, der Anteil der elektrischen Leistung P_{el} sich dagegen erhöht.

Während einer Übertragung von etwas Wärme ergibt sich stets eine geringfügig höhere Quellentemperatur, wie beispielsweise von 8°C auf $8,4^{\circ}\text{C}$ in der vorletzten Spalte der Tabelle in Anlage 6. Die dann noch erforderliche elektrische Leistung verringert sich damit bereits um etwa 1% von 2,204 kW auf 2,183 kW, dagegen erhöht sich der Anteil der Erdwärme um 0,8% .

Nach dem Ende der Übertragung wird bei einer auf 10°C angestiegenen Quellentemperatur nur noch eine elektrische Leistung von 2,077 kW benötigt, was dann trotz der in diesem Beispiel gleichbleibenden Heizlast einer Ersparnis an Strom von fast 6% entspricht. Wie sich dies berechnen lässt ist der Anlage 8 in Anhang 1 zu entnehmen.

Wärmepumpenanlagen gemäß dem derzeitigen Stand der Technik müssen jedoch

bei winterlichen Betriebsbedingungen mit deutlich niedrigeren Quellentemperaturen arbeiten, wie die Grafik in Anlage 3 zeigt. Betrachtet man die zugehörige Tabelle in Anlage 4, so kann man feststellen, dass sich die Erdreichtemperatur erst bei einem Abstand zur Erdsonde von 27 cm wieder der Temperatur im ungestörten Erdreich bis auf 1°C angenähert hat.

Für das Beispiel einer kurzzeitigen Übertragung von nur etwas Wärme beträgt der Abstand zur Erdsonde dagegen nur 15 cm, bei einer nachhaltigen Regeneration der Quelle stellt sich diese Differenz von 1°C schon direkt an der Erdsonde ein.

Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik erreichen nur bei warmem Wetter derartige Temperaturen im Nahbereich der Erdsonde. Dann ergeben sich ausreichend lange Zeiten zwischen den Ladevorgängen der Wärmepumpe, so dass die vorhandene im Erdreich gespeicherte Wärme sich gut allmählich ausbreiten kann.

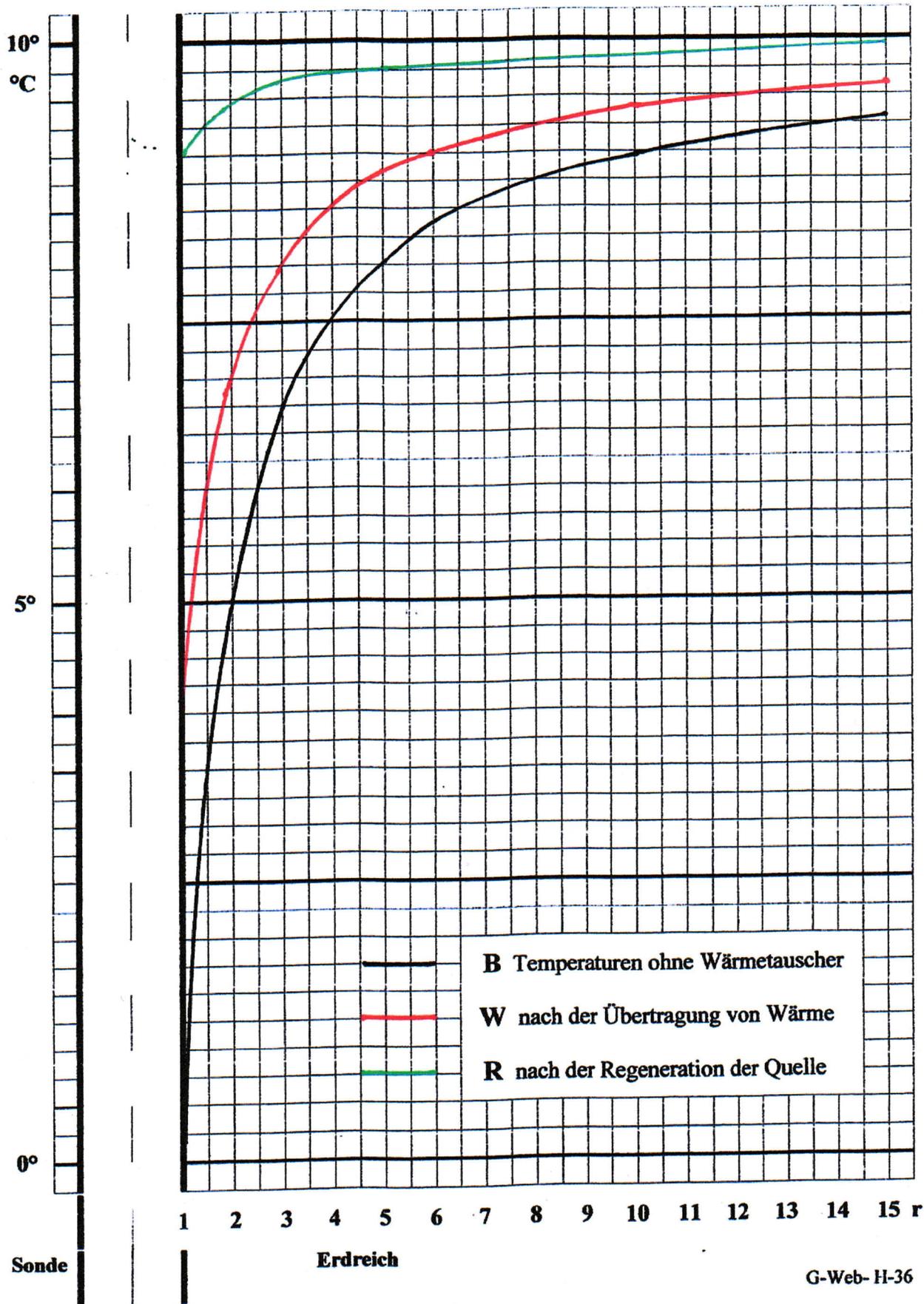
Das Problem ist also nicht, dass zu wenig Wärme zur Verfügung steht, ein Problem ergibt sich nur daraus, dass bei zunehmendem Wärmebedarf die Erdreichtemperatur im Nahbereich der Erdsonde zu weit absinkt. Einer Sole/Wasser-Wärmepumpe muss keine Wärme beispielsweise aus einer Solaranlage als Ersatz für zu wenig Erdwärme zugeleitet werden, was ohnehin während der Heizperiode keinen Sinn mehr macht, da Solaranlagen dann wegen geringer Sonneneinstrahlung kaum noch Energie liefern.

Statt dessen genügt es, kurzzeitig etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe über einen Wärmetauscher in deren Primärkreis zu übertragen oder auch zeitweise überschüssigen Strom aus Windkraftanlagen in Wärme umzuwandeln und diese in lediglich geringer Menge bei Sole/Wasser-Wärmepumpen im Nahbereich der Erdsonde zu speichern und bei Luft/Wasser-Wärmepumpen in einen Speicher zu leiten.

Allein die dadurch deutlich höhere Temperatur der Wärme in der Erdsondenanlage und deren Nahbereich oder in einem gesonderten Speicher bedeutet schon dauerhaft mehr Energie, der Temperaturhub zwischen Quelle und Heizkreis ist geringer, der Strombedarf nimmt deutlich ab.

Anlagen:

3. Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde (Grafik)
4. Temperaturverteilung im Erdreich im Umkreis der Sonde (Tabelle)
6. Einfluss der Quellentemperatur auf elektrische Leistung und Erdwärme



Anlage 3 Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde
Hinweise zur Ermittlung der Daten und Vorlauftemperaturen siehe Anlage 4

Temperaturdifferenzen gegenüber dem ungestörten Erdreich mit einer Temperatur von 10°C

bei der oberen Temperatur ΔT_o und bei der unteren Temperatur ΔT_u

r = Abstand zur Erdsonde mit $r = 1$ an der Außenwand der Erdsonde

Abstand zur Sonde r je 3 cm	Wärmepumpe im Vergleich ohne Wärmetauscher		Temperaturen im Erdreich im Abstand zur Sonde		Temperaturen nach einer Übertragung von Wärme		Temperaturen nach einer Regeneration der Wärmequelle	
	ΔT_o °C	ΔT_u °C	Diff. °C	Abstand cm	ΔT_o °C	ΔT_u °C	ΔT_o °C	ΔT_u °C
<u>1</u>	10,0	17,0	7,00	<u>Sonde</u>	6,0	13,0	<u>1,0</u>	8,0
2	5,0	8,5	3,5	3	3,0	6,5	0,5	4,0
3	3,3	5,67	2,4	6	2,0	4,33	0,33	2,67
4	2,5	4,25	1,75	9	1,5	3,25	0,25	2,00
5	2,00	3,40	1,40	12	1,20	2,60	0,20	1,60
<u>6</u>	1,67	2,83		<u>15</u>	<u>1,00</u>	2,17	0,17	1,33
7	1,43	2,43			0,86	1,86	0,14	1,14
8	1,25	2,12			0,75	1,62	0,12	1,00
9	1,11	1,89			0,67	1,44	0,11	0,89
<u>10</u>	<u>1,00</u>	1,70	0,70	<u>27</u>	0,60	1,30	0,10	0,80
11	0,91	1,545			0,545	1,182	0,091	0,727
12	0,83	1,417			0,500	1,083	0,083	0,667
13	0,77	1,307			0,461	1,000	0,077	0,615
14	0,71	1,214			0,428	0,928	0,071	0,571
15	0,67	1,133	0,463	42	0,400	0,867	0,067	0,533
16	0,625	1,062			0,379	0,812		
17	0,59	1,000			0,353	0,765		
18	0,555	0,944			0,333	0,722		
19	0,526	0,895			0,316	0,684		
20	0,500	0,850	0,350	57	0,300	0,650		
21	0,476	0,809						
22	0,454	0,773						
23	0,435	0,739					G-Web	H-42
24	0,417	0,708						
25	0,400	0,680	0,280	72				
	Beispiel B		einheitliche Werte		Beispiel W		Beispiel R	
Beispiel B	Temperaturen <u>ohne Wärmetauscherbetrieb</u>				Sole = VL -2°C / RL -7°C			
Beispiel W	Temperaturen <u>nach einer Übertragung</u> von Wärme				VL +2°C / RL -3°C			
Beispiel R	Temperaturen <u>nach einer Regeneration</u> der Quelle				VL +7°C / RL +2°C			

Anlage 4 Temperaturverteilung im Erdreich im Umkreis der Erdsonde

Ergänzung zur Website "Verfahren und Regeneration" (Teil 4),
die Erdreichtemperaturen gehören zur Grafik in Anlage 3 von Anhang 1

B = Bezugswerte einer Anlage gemäß dem Stand der Technik

W = Übertragung von Wärme vom Heizkreis in den Quellenkreis

R = Umwandlung von Strom in Wärme zur Regeneration der Quelle

Anlage gemäß dem Stand der Technik bzw. Anlage mit abgeschaltetem Wärmetauscher (Normalbetrieb) *

- 2 / -7 °C	Quelle 0 / -5 °C	2 / -3 °C	4 / -1 °C	6 / 1 °C	8 / 3 °C	10 / 5 °C	Quelle 10 / 5 °C
313 K	$T_o = 40\text{ °C} = 313\text{ K}$	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	<u>$P_{el} = 2,077\text{ kW}$</u>
- 4,5 °C	$T_u = - 2,5\text{ °C} = 270,5\text{ K}$	- 0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	<u>$P_{EW} = 7,923\text{ kW}$</u>
44,5 K	$\Delta T = 42,5\text{ K}$	40,5 K	38,5 K	36,5 K	34,5 K	32,5 K	Bezugswerte
3,517	$\varepsilon = 3,682$	3,864	4,065	4,288	4,536	4,815	
2,843 kW	$P_{el} = 2,716\text{ kW}$	2,588 kW	2,460 kW	2,332 kW	2,204 kW	2,077 kW	für die Veränderungen zur elektrischen Leistung und zum Anteil der Erdwärme
+ 36,9 %	+ 30,8 % gg. Bezugswert	+ 24,6 %	+ 18,4 %	+ 11,2 %	+ 6,1 %		
7,157 kW	$P_{EW} = 7,284\text{ kW}$	7,412 kW	7,540 kW	7,668 kW	7,796 kW	7,923 kW	
- 9,7 %	- 8,0 % gg. Bezugswert	- 6,4 %	- 4,8 %	- 3,2 %	- 1,6 %		

Anlage mit zugeschaltetem Wärmetauscher (Übertragung) bei einer Erhöhung um 0,4 °C *

- 1,6 / - 6,6 °C	Quelle 0,4 / -4,6 °C	2,4 / -2,6 °C	4,4 / -0,6 °C	6,4 / 1,4 °C	8,4 / 3,4 °C	10,4 / 5,4 °C	Quelle 10,4 / 5,4 °C
312,8 K	$T_o = 39,8\text{ °C} = 312,8\text{ K}$	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	<u>$P_{el} = 2,054\text{ kW}$</u>
- 4,1 °C	$T_u = - 2,1\text{ °C} = 270,9\text{ K}$	- 0,1 °C	1,9 °C	3,9 °C	5,9 °C	7,9 °C	<u>$P_{EW} = 7,986\text{ kW}$</u>
43,9 K	$\Delta T = 41,9\text{ K}$	39,9 K	37,9 K	35,9 K	33,9 K	31,9 K	* Alle Berechnungen für eine <u>Radiatorenheizung</u> einer Anlage mit einer Heizlast von 10 kW und Heizkreistemperaturen von 45/35 °C
3,563	$\varepsilon = 3,733$	3,920	4,127	4,356	4,613	4,903	
2,827 kW	$P_{el} = 2,689\text{ kW}$	2,561 kW	2,440 kW	2,312 kW	2,183 kW	2,054 kW	
+ 37,6 %	+ 30,9 % gg. Bezugswert	+ 25,1 %	+ 18,8 %	+ 12,6 %	+ 6,3 %		
7,213 kW	$P_{EW} = 7,351\text{ kW}$	7,471 kW	7,600 kW	7,728 kW	7,857 kW	7,986 kW	
- 9,6 %	- 7,9 % gg. Bezugswert	- 6,4 %	- 4,8 %	- 3,2 %	- 1,6 %		

Anlage 6 Einfluss der Quellentemperatur bei einer Radiatorenheizungsanlage ohne bzw. mit zugeschaltetem Wärmetauscher auf die Anteile der elektrischen Leistung und der Erdwärme

Auszug 2 aus Teil 5 der Verfahrensbeschreibung

Nutzung der bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik entstehenden Anergie

Neben der Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Quellenkreis oder der Umwandlung von Strom in Wärme und deren Speicherung in der Erdsondenanlage gibt es weitere Möglichkeiten, und zwar

- durch eine Nutzung der beim Anlauf der Wärmepumpe stets noch sehr niedrigen Heizkreistemperatur für eine Erhöhung der Quellentemperatur sowie
- einer entsprechenden Nutzung der Restwärme in der Anlage nach dem Ende des Ladevorgangs (auch diese geringen Wärmemengen tragen zu einer Stabilisierung der Quellentemperatur bei),
- außerdem kann auch bei Wärmepumpen mit fest eingestellter Leistung bei einem Teillastbetrieb zeitweise überschüssige Wärme in den Quellenkreis übertragen werden statt eine Hydraulische Weiche zu nutzen.

Bei den genannten weiteren Möglichkeiten geht es um Einsparungen an Energie, die erst durch das multifunktionale Regelsystem möglich werden, bei der bisher üblichen Betriebsweise von Wärmepumpen aber nicht nutzbar sind.

Ein Beispiel: Der vergrößerte Ausschnitt eines aufgezeichneten Diagramms einer Erwärmung von Brauchwasser in einem Doppelmantelspeicher in Anlage 12 zeigt, wie auch die am Anfang und am Ende des Ladevorgangs vorhandene Wärme noch zur Regeneration der deutlich niedrigeren Temperaturen der Wärmequelle genutzt werden kann. Auch wenn es sich nur um jeweils geringe Wärmemengen handelt, sie fallen bei jedem Ladevorgang an.

Die Erwärmung des Brauchwassers soll beginnen, sobald dessen Temperatur unter 45°C absinkt und enden, wenn 50°C erreicht werden. Dem Brauchwasserspeicher wird aber aus dem Heizkreis der Wärmepumpe zunächst Wasser zugeführt, dessen Temperatur niedriger ist als die Temperatur im Brauchwasserspeicher. Dies führt dazu, dass dem System sogar ein Teil der zuvor bereits erzeugten Wärme wieder verloren geht, die Temperatur im Brauchwasserspeicher sinkt um $0,5^{\circ}\text{C}$.

Der Ladevorgang dauert insgesamt 30 Minuten, allein 16 Minuten dauert es aber, bis die Temperatur von 45°C zu Beginn des Ladevorgangs wieder erreicht wird, erst dann beginnt die beabsichtigte Erwärmung des Brauchwassers.

Der bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik hinsichtlich der Erwärmung des Brauchwassers oder des Heizwassers anfangs noch nicht und nach dem Ende des Ladevorgangs auch nicht mehr nutzbare Teil der Wärme muss daher als Anergie betrachtet werden, kann aber durch die Verfahrensänderung noch genutzt werden

für eine dank der relativ hohen Heizkreisvorlauftemperatur durchaus wirksame Regeneration der Quelle.

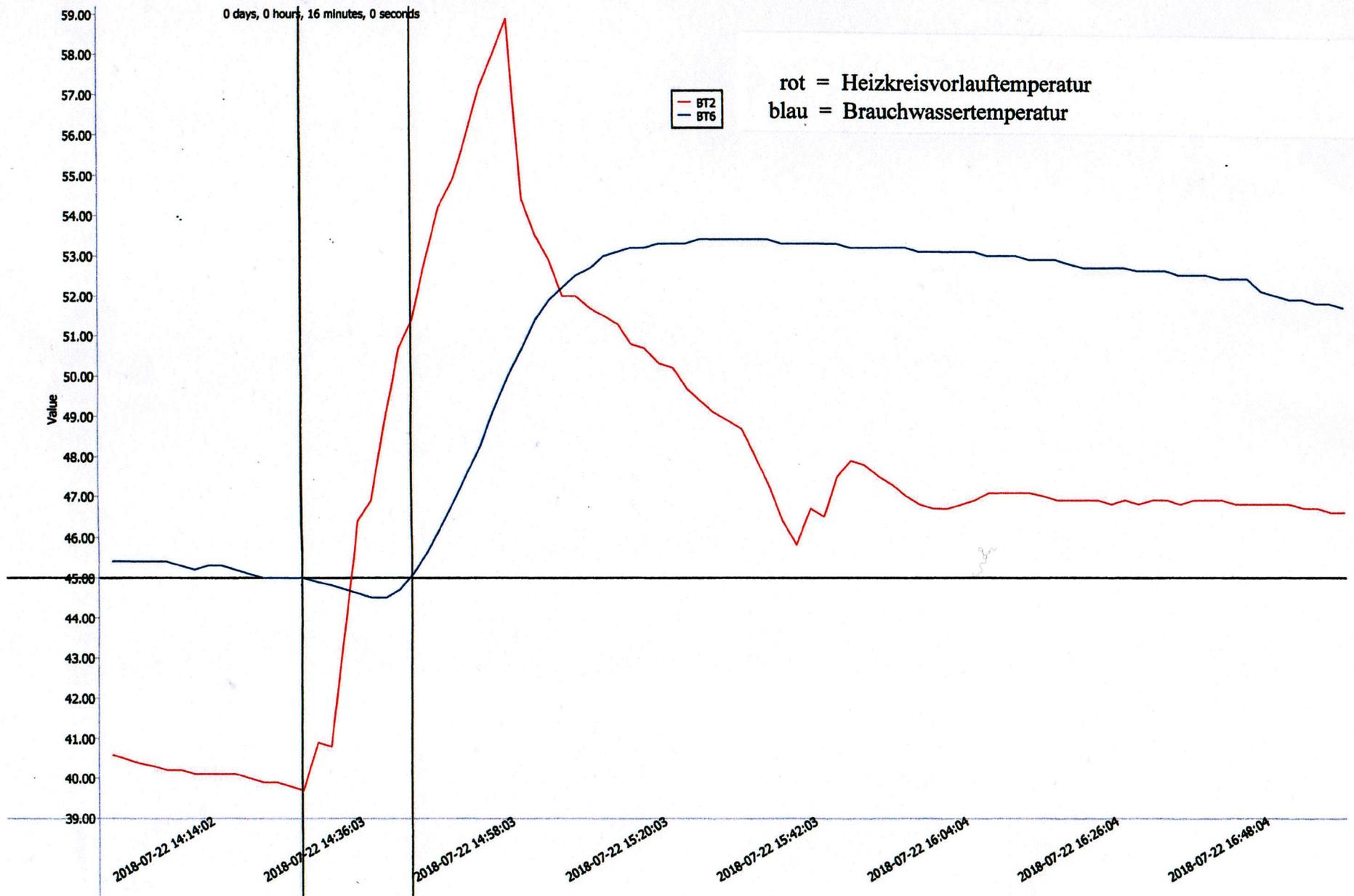
Dafür erforderlich ist lediglich, dass zeitweise entweder die Heizung oder der Brauchwasserspeicher vom Heizkreis der Wärmepumpe getrennt wird und statt dessen die Wärme über den Wärmetauscher dem Quellenkreis zugeführt wird. Dadurch lassen sich die täglich mehrmals auftretenden Energieverluste verhindern. Da nur das multifunktionale Regelsystem dafür benötigt wird, entsteht somit kein zusätzlicher Aufwand.

Auch auf den bei manchen Anlagen noch üblichen Einbau einer Hydraulischen Weiche zur Vermeidung von Takten bei einem Teillastbetrieb der Wärmepumpe nach dem Schließen von Thermostatventilen, was zu einem Wärmeverlust beiträgt, kann verzichtet werden, weil die überschüssige Wärme durch das multifunktionale Regelsystem besser zur Regeneration der Quelle genutzt werden kann.

Diese vielfältig mögliche Nutzung von Anergie erfordert keinen zusätzlichen Aufwand, im Gegenteil wird durch die ansteigende Temperatur in der Erdsondenanlage und in deren Nahbereich der Temperaturhub zwischen Quelle und Heizkreis und dadurch auch die erforderliche elektrische Leistung verringert.

Anlage:

12. Diagramm einer Erwärmung von Brauchwasser



Anlage 12 Beispiel für die Erwärmung von Brauchwasser