

Anhang 1 zu Teil 4 der Verfahrensbeschreibung

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

Die in Teil 4 in den Anlagen 8 und 9 dargestellten unterschiedlichen Temperaturverläufe werfen die Frage auf, wie sich die jeweiligen Temperaturdifferenzen ΔT_E zum ungestörten Erdreich auf den Wärmefluss auswirken.

- Wie verändern die höheren Erdreichtemperaturen nach der Übertragung von Wärme in den Primärkreis der Wärmepumpe den Wärmefluss im Nahbereich der Erdsonde ?
- Welche Rolle spielt die jeweils verbleibende Temperaturdifferenz ΔT_E zum ungestörten Erdreich ?
- Wie sehr wird der Wärmefluss im weiteren Umkreis durch die erhöhten Temperaturen im Nahbereich beeinträchtigt ?
- Wie wirken sich diese Einflüsse auf die Effizienz der Anlagen aus ?

Für eine genauere Betrachtung bietet sich als Beispiel die Regeneration einer Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme an, weil sich dann sehr große Temperaturunterschiede zu einer Anlage ohne ein Wärmetauschersystem ergeben. Die in der Verfahrensbeschreibung als Anlage 9 enthaltene Grafik wird deshalb nochmals als Anlage 1 beigefügt.

Vergleicht man die Werte ΔT_o und ΔT_u der oberen und unteren Kennlinien hinsichtlich der jeweiligen Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich, könnte man annehmen, dass der Wärmefluss beeinträchtigt wird.

Nach einer Regeneration ist bei einem neuen Ladevorgang der Wärmepumpe der Temperaturverlauf im Erdreich gekennzeichnet durch die obere Kennlinie R (die grüne Linie) mit den Werten für ΔT_o . Die jeweiligen Temperaturdifferenzen zum ungestörten Erdreich unterscheiden sich deutlich von der oberen Kennlinie B (die rote Linie) als Bezugswerte einer Anlage ohne Wärmetauscher.

Wie die Tabellenwerte am Rand der Grafik zeigen ändern sich aber nicht die mit der Wärmestromdichte zusammenhängenden Temperaturdifferenzen zwischen der jeweils oberen und unteren Kennlinie für die Bezugswerte und die entsprechenden Werte nach einer Regeneration, weil deren Temperaturdifferenz an der Erdsonde ($r = 1$) unverändert jeweils 7 K beträgt.

Um die jeweiligen Temperaturunterschiede besser erkennen zu können sind die Werte in Anlage 2 tabellarisch aufgelistet worden.

Vergleicht man nun die Temperaturunterschiede ΔT_r im Nahbereich der Erdsonde für die einzelnen Teilabschnitte $r = 1$ bis $r = 2$, $r = 2$ bis $r = 3$ und so fort, so zeigen sich deutliche Veränderungen durch die Wärmeübertragung. Genau diese Unterschiede zwischen den Temperaturwerten ΔT_r in den Teilbereichen sollten maßgebend für den Wärmefluss sein. Der Vergleich lässt vermuten, dass nach einer Übertragung von Wärme der Wärmefluss langsamer sein könnte als zuvor.

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.

Welche Auswirkungen ergeben sich durch eine Erhöhung der Quelltemperatur?

Im trockenen Erdreich gespeicherte Wärme kann sich bekanntlich nur sehr langsam ausbreiten - "Wärme fließt nicht, Wärme kriecht" heißt es dazu in einem Bericht über Untersuchungen der ETH Zürich.

Der zunehmend höhere Wärmebedarf im Winter führt dazu, dass bei Sole/Wasser-Wärmepumpen durch den größeren Wärmeentzug die Quelltemperatur und dadurch auch die Solevorlauftemperatur bei Wärmepumpenanlagen gemäß dem Stand der Technik absinkt, wie die mehrjährigen Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts ISE zeigen (siehe Anlage 5).

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 Quelltemperatur kurzzeitig etwas Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Primärkreis übertragen werden sollte, um einem Rückgang der Quelltemperatur 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 Quelltemperatur der Anteil der Erdwärme P_{EW} abnimmt, der Anteil der elektrischen Leistung P_{el} sich dagegen erhöht.

Während der Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis muss keine Energie von außen wie beispielsweise Solarwärme zugeführt werden, stattdessen muss von der Wärmepumpe eine nur geringfügig höhere Wärmemenge erzeugt werden (siehe dazu die Beschreibung von "Verfahren und Regeneration", Teil 1 - das Prinzip und seine Auswirkungen; deren Anlage 1 wird nochmals als Anlage 7 beigelegt).

Während einer Übertragung von etwas Wärme ergibt sich stets eine geringfügig höhere Quelltemperatur, wie beispielsweise von 8°C auf 8,4°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 Quelltemperatur 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 Anlage 8 zu entnehmen.

Wärmepumpenanlagen gemäß dem derzeitigen Stand der Technik müssen jedoch bei winterlichen Betriebsbedingungen mit deutlich niedrigeren Quelltemperaturen 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, und der Temperaturhub zwischen Quelle und Heizkreis ist geringer.

Ein weiterer großer Vorteil: Durch das multifunktionale Regelsystem kann auch - gleichgültig ob durch eine Sole/Wasser- oder eine Luft/Wasser-Wärmepumpe - die bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik unvermeidbar entstehende Anergie genutzt werden, die sich bei den Vorgängen zum Heizen oder zur Erwärmung von Warmwasser durch zeitweise zu niedrige Heizkreis-Vorlauftemperaturen ergibt.

Diese täglich mehrmals auftretenden Energieverluste lassen sich dadurch verhindern, dass bei zu geringen Temperaturen das multifunktionale Regelsystem die Wärme über den Wärmetauscher umleitet auf die Wärmequelle oder einen Wärmespeicher mit den immer viel geringeren Temperaturen (siehe dazu die in "Verfahren und Regeneration" in Teil 5 enthaltene sehr ausführliche Beschreibung zu Anlage 12).

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.

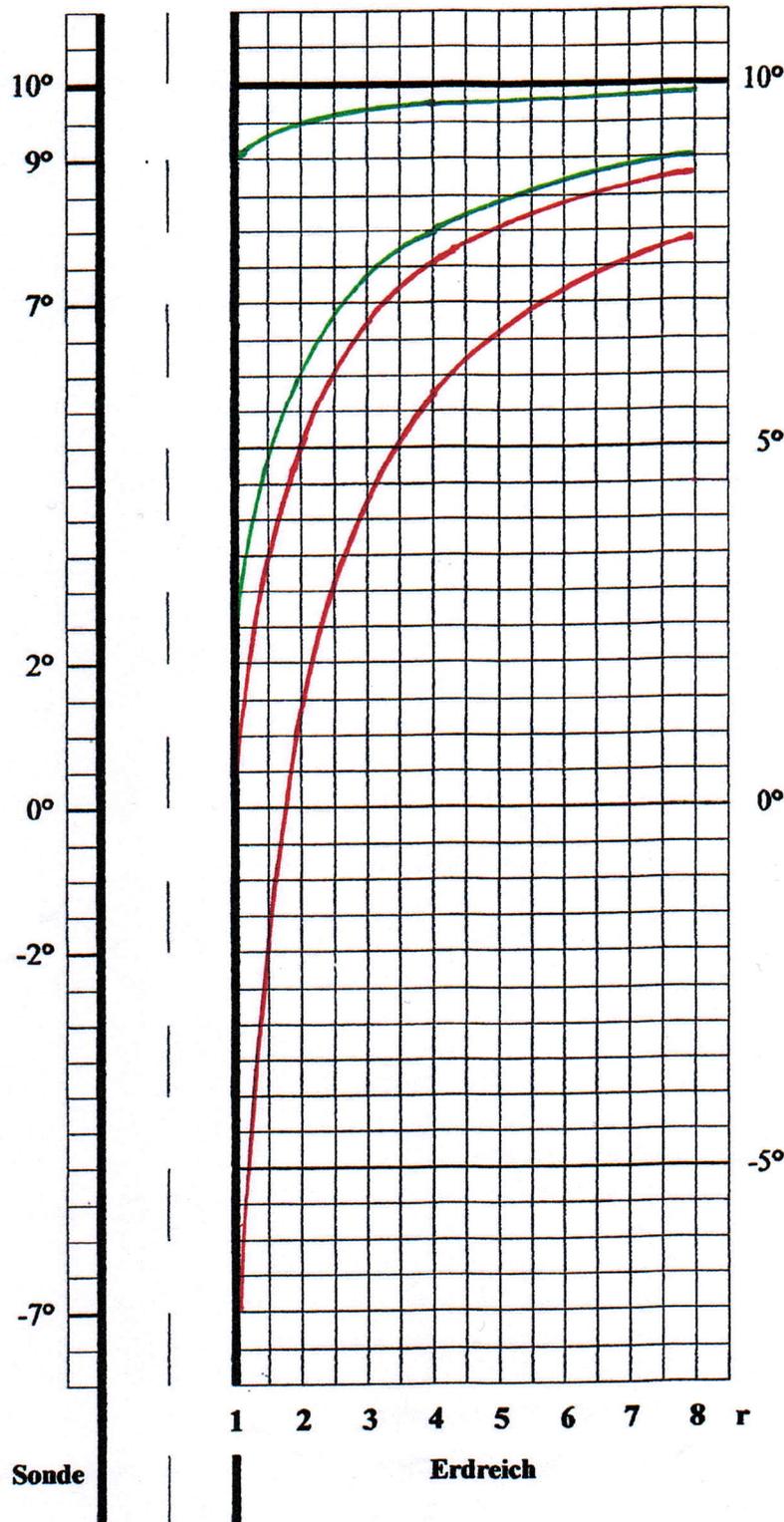
Anlagen:

1. Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme
2. Einfluss der Übertragung von Wärme auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde (Tabelle)
3. Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde (Grafik)
4. Temperaturverteilung im Erdreich im Umkreis der Sonde (Tabelle)
5. Temperaturverlauf von Erdwärmesonden in den Jahren 2007 bis 2012 (Fraunhofer-Institut ISE, Freiburg)
6. Einfluss der Quellentemperatur auf elektrische Leistung und Erdwärme
7. Schematische Darstellung von Sole/Wasser-Wärmepumpen ohne und mit Wärmetauscher bei winterlichen Betriebsbedingungen
8. Berechnung der Tabellenwerte von elektrischer Leistung und Erdwärme

28.12.2022



WO (51) 1-5



R	r	ΔT_o	ΔT_u
	1	1	8
	2	0,5	4,0
	3	0,33	2,67
	4	0,25	2,00
	5	0,20	1,60
	6	0,17	1,33
	7	0,14	1,14
	8	0,12	1,00
	9	0,11	0,89
	10	0,10	0,80

Anlage mit
Wärmetauscher
nach einer
Regeneration der
Wärmequelle

B	r	ΔT_o	ΔT_u
	1	10	17
	2	5,0	8,5
	3	3,3	5,7
	4	2,5	4,25
	5	2,00	3,40
	6	1,67	2,83
	7	1,43	2,43
	8	1,25	2,12
	9	1,11	1,89
	10	1,0	1,7

Anlage ohne
Wärmetauscher
(Bezugswerte)

Links: Temperaturen
an der Außenwand
der Erdsonde

Anlage 1 Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme

B = Bezugswerte = Temperaturen ohne Wärmetauscher (VL - 2 °C / RL - 7 °C)

R = Temperaturen nach einer Regeneration der Quelle (VL 7 °C / RL 2 °C)

Anlage mit Wärmetauscher nach einer Regeneration der Wärmequelle

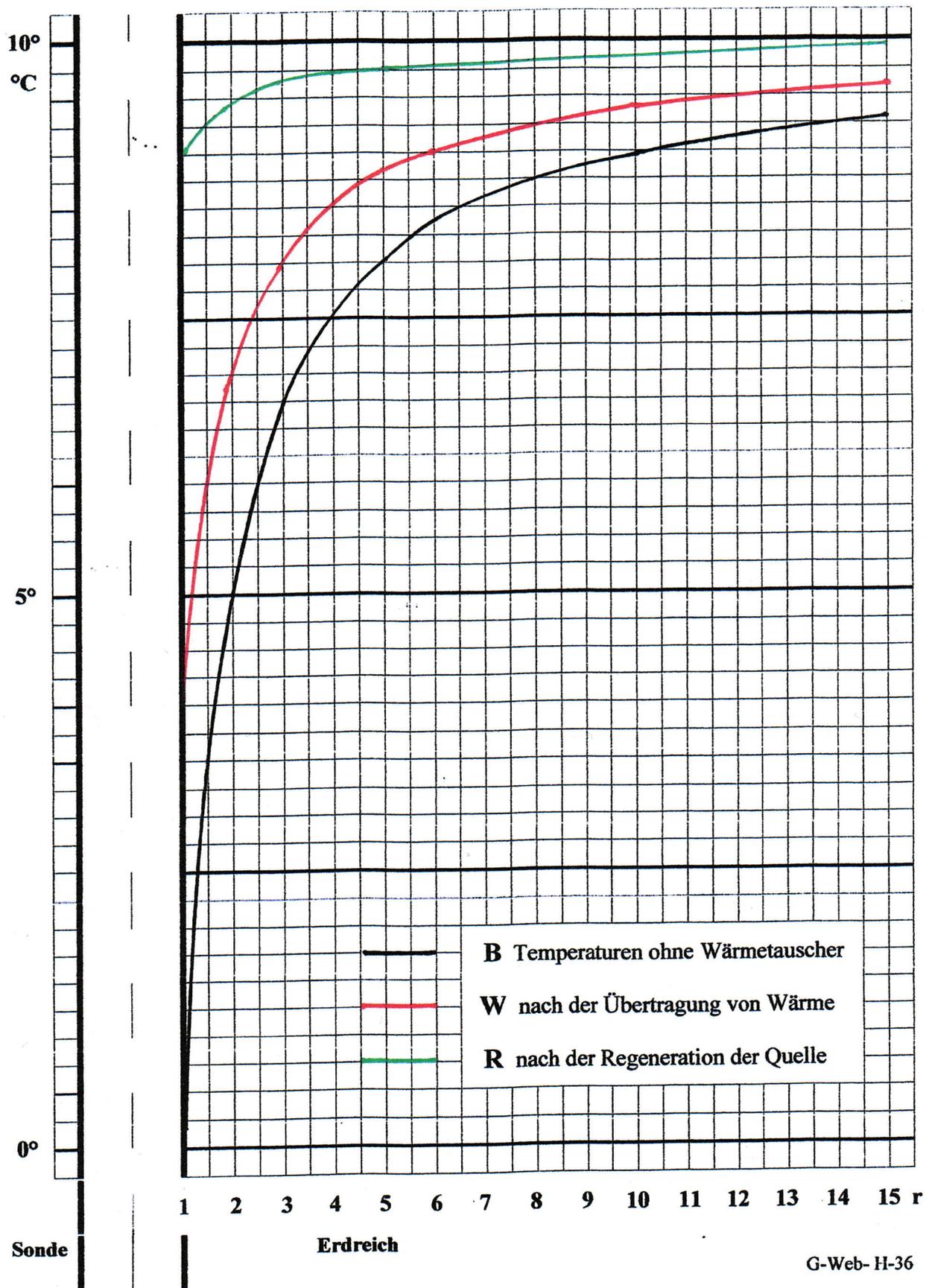
r	ΔT_o	ΔT_r	T (°C)	ΔT_u	ΔT_r	T (°C)
1	1		9	8		2
		0,5			4,0	
2	0,5		9,5	4,0		6
		0,17			1,33	
3	0,33		9,67	2,67		7,33
		0,08			0,67	
4	0,25		9,75	2,00		8,00
		0,05			0,40	
5	0,20		9,80	1,60		8,40
		0,03			0,27	
6	0,17		9,83	1,33		8,67
		0,03			0,19	
7	0,14		9,86	1,14		8,86
		0,02			0,14	
8	0,12		9,88	1,00		9,00
		0,01			0,11	
9	0,11		9,89	0,89		9,11
		0,01			0,09	
10	0,10		9,90	0,80		9,20

Anlage ohne Wärmetauscher gemäß dem Stand der Technik

r	ΔT_o	ΔT_r	T (°C)	ΔT_u	ΔT_r	T (°C)
1	10		0	17		-7
		5,0			8,5	
2	5,0		5	8,5		1,5
		1,7			2,8	
3	3,3		6,7	5,7		4,3
		0,8			1,45	
4	2,5		7,5	4,25		5,75
		0,5			0,85	
5	2,00		8,0	3,40		6,60
		0,33			0,57	
6	1,67		8,33	2,83		7,17
		0,24			0,40	
7	1,43		8,57	2,43		7,57
		0,18			0,31	
8	1,25		8,75	2,12		7,88
		0,14			0,23	
9	1,11		8,89	1,89		8,11
		0,11			0,19	
10	1,00		9,00	1,70		8,30

Anlage 2 Einfluss der Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis in den Quellenkreis auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde

T (°C) ist die jeweilige Erdreichtemperatur an dieser Stelle



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 <u>r</u>	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	ΔT_u	Diff.	Abstand	ΔT_o	ΔT_u	ΔT_o	ΔT_u
je 3 cm	°C	°C	°C	cm	°C	°C	°C	°C
<u>1</u>	10,0	17,0	7,00	Sonde	6,0	13,0	1,0	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>	<u>1,70</u>	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 ohne Wärmetauscherbetrieb Sole = VL -2°C / RL -7°C

Beispiel W Temperaturen nach einer Übertragung von Wärme VL +2°C / RL -3°C

Beispiel R Temperaturen nach einer Regeneration 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

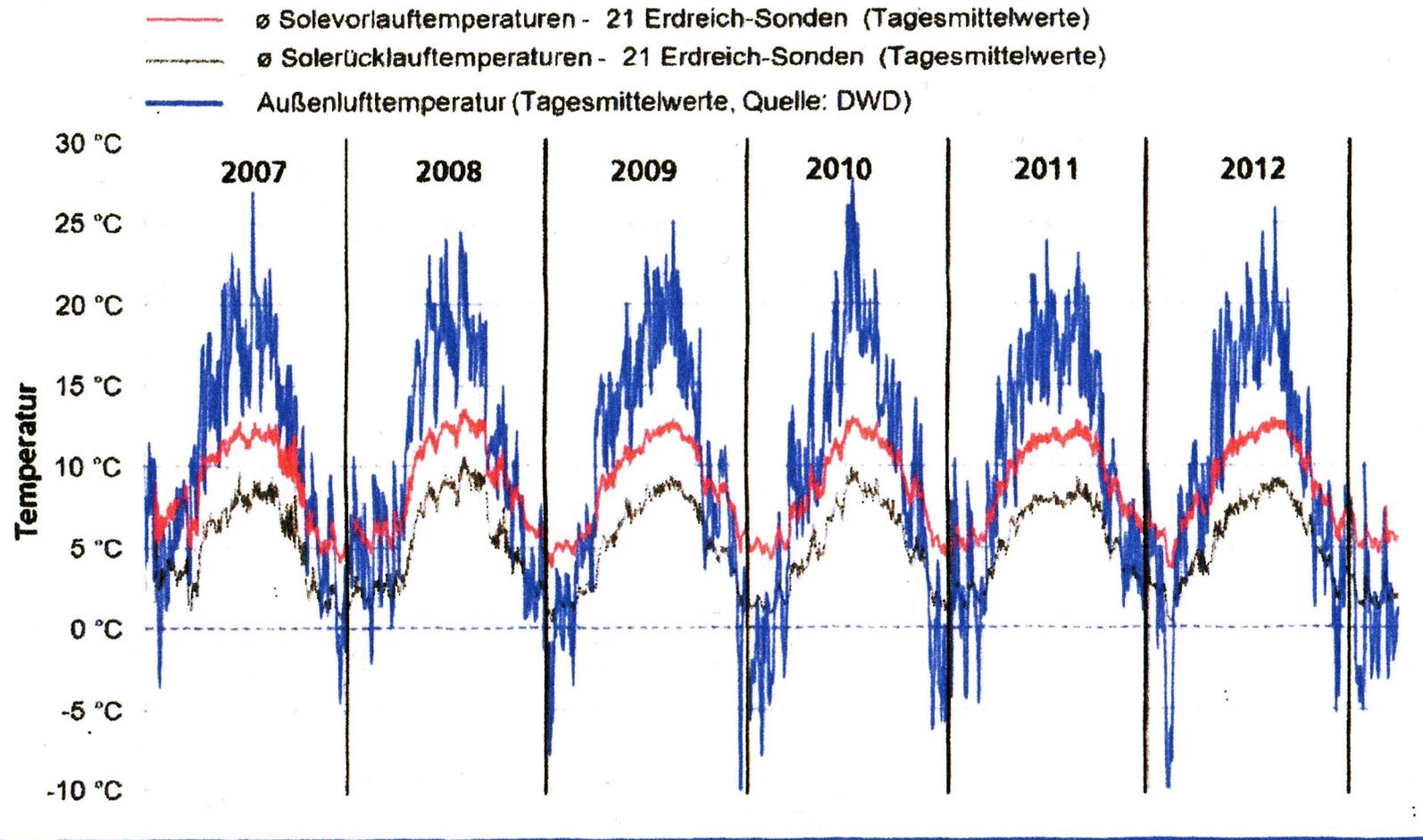
B = Bezugswerte einer Anlage gemäß dem Stand der Technik

W = Übertragung von Wärme vom Heizkreis in den Quellenkreis

R = Umwandlung von Strom in Wärme zur Regeneration der Quelle

Temperaturverlauf Erdwärmesonden

Langzeitauswertung Messkampagnen Fraunhofer ISE



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 *

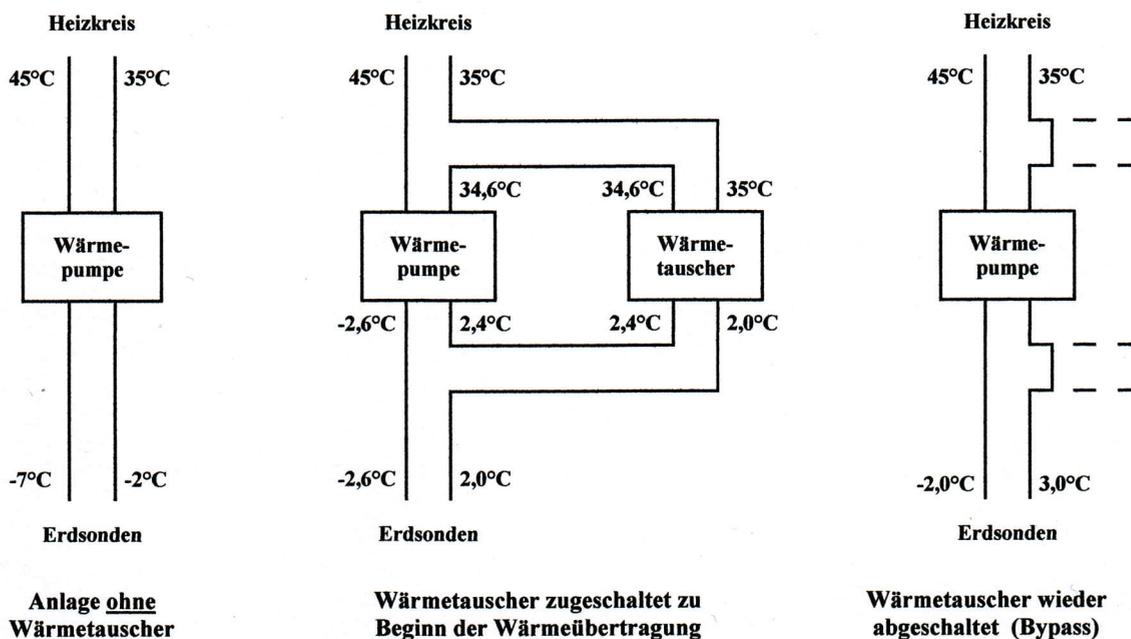
- 1,6 / - 6,6 °C	Quelle 0,4 / -4,6 °C	2,4 / -2,6 °C	4,4 / -0,6 °C	6,4 / 1,4 °C	8,4 / 3,4 °C	10,4 / 5,4 °C	Quelle 10,4 / 5,4 °C
312,8 K	$T_o = 39,8\text{ °C} = 312,8\text{ K}$	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	<u>$P_{el} = 2,054\text{ kW}$</u>
- 4,1 °C	$T_u = - 2,1\text{ °C} = 270,9\text{ K}$	- 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 Quelltemperatur bei einer Radiatorenheizungsanlage ohne bzw. mit zugeschaltetem Wärmetauscher auf die Anteile der elektrischen Leistung und der Erdwärme

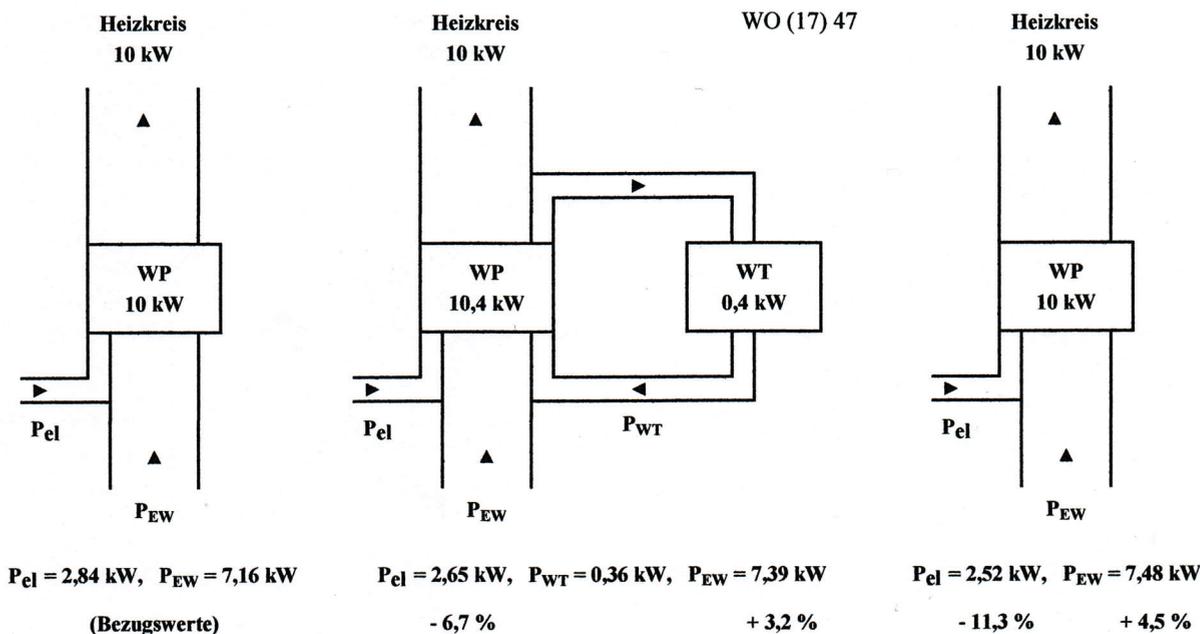
Diese kurze Übersicht soll das Prinzip der Wärmeübertragung aus dem Heizkreis der Wärmepumpe auf deren Solekreis veranschaulichen.

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

Erforderliche Angaben: Aktuelle Heizlast, Heizungstemperaturen (Vorlauf und Rücklauf), Soletemperaturen (Vorlauf und Rücklauf) und Quellentemperatur

Vorgaben für die Berechnung:

Wärmeleistung P_{th} (Heizlast) = 10 kW (bzw. 10,4 kW)

Heizungstemperaturen = 45 / 35 °C Mittelwert $T_o = 40$ °C = 313 K

Soletemperaturen = Vorlauftemperatur 8 °C, Rücklauftemperatur 3 °C,

Mittelwert $T_u = 5,5$ °C = 278,5 K bei einer Spreizung von 5 K gemäß VDI

Quellentemperatur = 8 °C entsprechend der Solevorlauftemperatur

Beispiel der Berechnung:

Differenz $\Delta T = T_o - T_u = 313$ K - 278,5 K = 34,5 K

Carnot-Formel $\epsilon_c = T_o / \Delta T = 313 / 34,5 = 9,072$

davon Ansatz für Wärmepumpen etwa 50 %

Wärmepumpe $\epsilon_{WP} = 0,5 \cdot \epsilon_c = 4,536$ $\epsilon_{WP} = P_{th} / P_{el} =$ Leistungszahl COP

Elektrische Leistung $P_{el} = P_{th} / \epsilon_{WP} = 10$ kW / 4,536 $\rightarrow P_{el} = 2,204$ kW

Anteil der Erdwärme $P_{EW} = P_{th} - P_{el} = 10$ kW - 2,204 kW $\rightarrow P_{EW} = 7,796$ kW

Bei einer Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Primärkreis (Solevorlauf) sind folgende Daten für das Beispiel anzupassen:

Quellentemperatur = 8,4 °C (statt 8 °C), Heizlast = 10,4 kW (statt 10 kW),

Soletemperaturen = Vorlauf 8,4 °C, Rücklauf = 3,4 °C, Mittelwert $T_u = 5,9$ °C

WO (53)

Anlage 8 Berechnung der Tabellenwerte der elektrischen Leistung und des Anteils der Erdwärme in Abhängigkeit von der jeweiligen Quellentemperatur