

Innovatives Verfahren und Regeneration für Wärmepumpenanlagen - eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse einer neuen Technologie

Die Effizienz einer Sole/Wasser-Wärmepumpe ist vor allem abhängig von der jeweiligen Quellentemperatur. Bei winterlichen Betriebsbedingungen ergeben sich durch den großen Wärmebedarf in kurzer Folge lange Zeiten für die Ladevorgänge der Wärmepumpe. Da sich die im trockenen Erdreich gespeicherte Wärme aber nur sehr langsam ausbreiten kann verringert sich die Quellentemperatur erheblich.

Bei den Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik führt dies zu einem deutlich höheren Stromverbrauch. Durch ein innovatives Verfahren lässt sich jedoch ganzjährig eine Regeneration der Wärmequelle erreichen.

Um die unterschiedlichen Auswirkungen einer dafür möglichen Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Quellenkreis und/oder einer Umwandlung von Strom in Wärme zur Regeneration der Wärmequelle zu vergleichen wurden entsprechende Berechnungen vorgenommen (Tabelle in Anlage 4) und die Ergebnisse in der als Anlage 3 beigefügten Grafik dargestellt. Diese zeigt den beim Start der Wärmepumpe bestehenden Verlauf der oberen Temperaturwerte ΔT_0 und deren Abstand zur Temperatur im ungestörten Erdreich von 10°C .

Der schwarze Linienverlauf **B** gilt für eine Anlage ohne Wärmetauscher gemäß dem Stand der Technik (Bezugswerte), die rote Linie **W** zeigt die Übertragung von Wärme und die grüne Linie **R** den Verlauf nach einer Regeneration der Quelle durch die Umwandlung von Strom in Wärme.

Die jeweiligen Soletemperaturen sind im unteren Teil der Tabelle aufgeführt. Für den Temperaturverlauf R im Erdreich nach der Regeneration der Quelle liegen beispielsweise Soletemperaturen in der Sonde von 7°C im Vorlauf und 2°C im Rücklauf zugrunde, bei der für den Übergang der Wärme vom Erdreich in die Sonde anzunehmenden Differenz von etwa 2 K ergibt sich zum ungestörten Erdreich lediglich noch ein Temperaturunterschied von 1°C .

Die Übertragung von etwas Wärme kann jederzeit während des Ladevorgangs der Wärmepumpe erfolgen, die Umwandlung von Strom in Wärme findet dagegen in der Zeit zwischen den Ladevorgängen statt - beide Möglichkeiten führen jeweils zu einer Erhöhung der Quellentemperatur.

Wie sich dies auswirkt ist der als Anlage 6 beigefügten Tabelle zu entnehmen. Es handelt sich bei den Werten in der oberen Hälfte der Tabelle um den Normalbetrieb, bei der unteren Hälfte um die Werte, die sich während der Übertragung von etwas Wärme aus dem Heizkreis bei einer um $0,4^\circ\text{C}$ höheren Temperatur ergeben.

Gegenüber den in der Tabelle angegebenen Bezugswerten P_{el} (elektrische Leistung) und P_{EW} (Erdwärme) bei einer sommerlichen Quellentemperatur von 10°C führt die bei Wärmepumpenanlagen gemäß dem Stand der Technik im Jahresverlauf sich stets verringernde Quellentemperatur zu einer deutlichen Erhöhung des Strombedarfs.

Deshalb ist es sinnvoll, schon bei einem leichten Rückgang der Quellentemperatur mit einer Übertragung von etwas Wärme aus dem Heizkreis zu beginnen. Die dabei nur geringe Erhöhung der Quellentemperatur um $0,4^{\circ}\text{C}$ von beispielsweise $8,0^{\circ}\text{C}$ auf dann $8,4^{\circ}\text{C}$ führt bereits dazu, dass sich die elektrische Leistung während der Übertragung um 21 Watt verringert und nach deren Ende bei einem Anstieg der Quellentemperatur auf 10°C auch wieder der Bezugswert von 2,077 kW erreicht wird - die Anhebung der Quellentemperatur um 2°C verringert den weiteren Strombedarf damit um 5,8 %.

Deutlich höhere Effizienzsteigerungen lassen sich erreichen durch die Umwandlung von Strom in Wärme, sei es durch eine Entnahme aus dem Stromnetz oder wenn der zeitweilige Überschuss von Strom aus Windkraftanlagen genutzt werden kann.

Die in der Grafik in Anlage 3 dargestellte Regeneration der Wärmequelle zeigt eine deutliche Erhöhung der Erdreichtemperatur im Nahbereich der Erdsonde allein durch die Anhebung der Soletemperaturen. Dafür ist nur wenig Energie erforderlich.

Es stellt sich die Frage, wie viel Energie man braucht um das Wasser in der Erdsonde zu erwärmen. Google weiss das: Um 1 Kubikmeter Wasser um 1 Grad zu erwärmen werden 1,16 kWh benötigt.

Den in Anlage 4 vorliegenden Berechnungen für die Grafik in Anlage 3 liegt eine Erdsonde mit einem Durchmesser von 6 cm zugrunde, deren Radius und daher auch die Abstände r im Erdreich betragen jeweils 3 cm.

Bei einer angenommenen Bohrtiefe von 200 m ergeben sich für Vorlauf und Rücklauf 400 m, außerdem zweimal 25 m bis zur Wärmepumpe. Diese 450 m Rohrlänge fassen $1,285 \text{ m}^3$ Wasser, dessen Erwärmung um 1 Grad erfordert etwa 1,5 kWh.*

Zur Erhöhung der Soletemperatur wird auch bei jedem Start der Wärmepumpe die zunächst noch durch eine zu geringe Heizkreistemperatur entstehende Anergie für eine Regeneration der Wärmequelle genutzt. Das multifunktionale Regelsystem trägt somit gegenüber Wärmepumpen gemäß dem derzeitigen Stand der Technik ganzjährig zu einer höheren Quellentemperatur bei.

Diese bei Sole/Wasser-Wärmepumpen erreichbaren Vorteile lassen sich zumindest

* Für das Rohr ergibt sich eine Fläche von $\pi r^2 = 3,14 \times 9 = 28,26 \text{ cm}^2$ und eine Rohrlänge von ungefähr 0,35 m für ein Volumen von 1 Liter Wasser, für die Rohrlänge von 450 m mit $1,285 \text{ m}^3$ Wasserinhalt werden dann 1,49 kWh benötigt.

teilweise auch bei Luft/Wasser-Wärmepumpen umsetzen. Bei diesen überwiegend eingesetzten Anlagen kleinerer Leistung wird die Wärme der im Jahresverlauf sehr unterschiedlichen Tagestemperatur genutzt.

Da sich im Winter mit niedrigen Temperaturen von 0°C und weniger die notwendige Heiztemperatur nicht erreichen lässt muss während der Heizperiode sehr viel Strom eingesetzt werden. Das ist auch dann erforderlich, wenn zusätzlich die derzeit stark geförderten Solaranlagen installiert werden, weil in den Wintermonaten wegen der dann nur geringen Sonneneinstrahlung und der geringen Lufttemperatur kaum noch Solarenergie verfügbar ist und zuvor bereits erzeugte Energie nicht über längere Zeit gespeichert werden kann.

Man kann deshalb vor allem in den Nachtstunden den zeitweise überschüssigen Strom aus Windkraftanlagen zur Umwandlung in Wärme nutzen und diese speichern in einem sonst im Jahresverlauf bereits genutzten Wärmespeicher.

In gleicher Weise wie bei Sole/Wasser-Wärmepumpen beschrieben lässt sich auch bei Luft/Wasser-Wärmepumpen die bei den derzeit üblichen Anlagen bei jedem Start der Wärmepumpe zunächst als Anergie entstehende Wärme nutzen und diese für kurze Zeit im Wärmespeicher einlagern und so die Primärtemperatur der Wärmepumpe erhöhen.

Ausführliche detaillierte Beschreibungen von Verfahrenstechnik und Regeneration und der Unterschiede zu Anlagen gemäß dem Stand der Technik sind der Website <https://www.effizienz-modul.de> zu entnehmen.

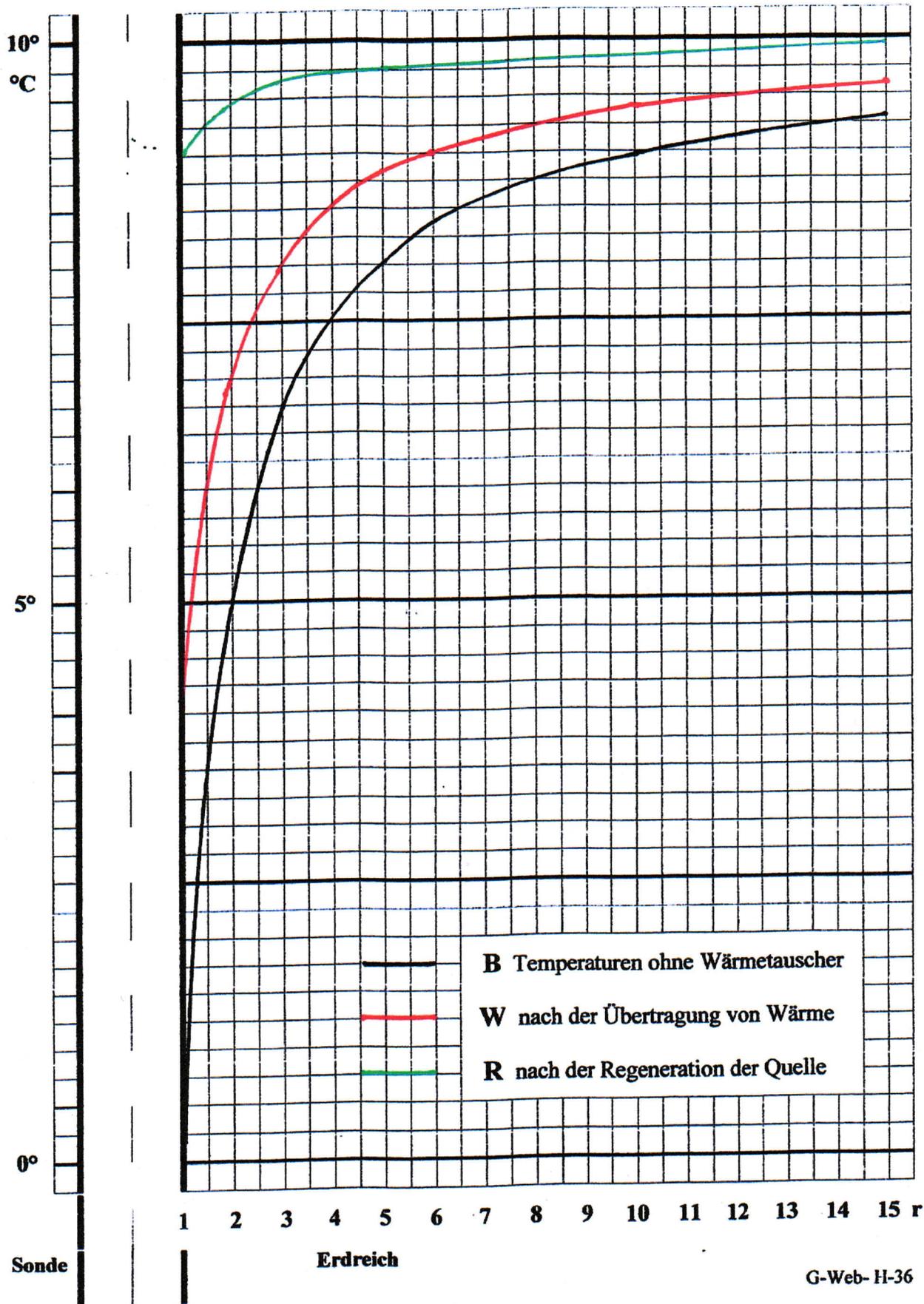
Anlagen

3. Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde
4. Temperaturverteilung im Erdreich im Umkreis der Erdsonde (Tabelle)
6. Einfluss der Quelltemperatur auf die Anteile der elektrischen Leistung und der Erdwärme (Beispiel einer Radiatorenheizung)

12.4.2023



WO (59)



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> 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	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 <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