

## **Verfahren und Regeneration - die Wirkungen des multifunktionalen Regelsystems auf die Temperaturen in der Erdsonde sowie im Nahbereich der Sonde und auf den Wärmefluss**

Das "Effizienz-Modul" wird ausführlich beschrieben als ein innovatives Verfahren zur Steigerung der Effizienz von Wärmepumpenanlagen und zur Regeneration der Wärmequellen.

In Teil 4 der Website und der zugehörigen Anlage 1 werden die wesentlichen Unterschiede zum Stand der Technik dargestellt, in Teil 5 werden die Quellen für die Zuführung der erforderlichen Energie behandelt. Die grafischen Darstellungen bedürfen zunächst einer genaueren Beschreibung, um die teilweise komplexen geothermischen Abhängigkeiten und deren Wirkungen verstehen zu können.

Die den patentierten Verfahren zugrunde gelegten Annahmen über die Temperaturverteilung im Umkreis einer Erdsonde sind vom Deutschen Geoforschungszentrum Potsdam hinsichtlich der Übertragung von Wärme auf die Erdsonden und zu den Auswirkungen auf das Erdreich überprüft worden, es wurde bestätigt, dass sie durchaus den realen Gegebenheiten entsprechen.

Anders als bei Anlagen der Tiefen Geothermie verringert sich bei Erdwärmepumpen in der Heizperiode die Erdreichtemperatur. Dies wirkt sich entsprechend auf die Solevorlauftemperatur und aufgrund der gemäß VDI 4650 gleichbleibenden Spreizung im Primärkreis der Wärmepumpe auch auf die Solerücklauftemperatur aus, wie Anlage 1 zeigt. Die Quelltemperatur um die Erdsonde herum kühlt sich so mehr und mehr ab.

Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen sind es im Winter die niedrigen Lufttemperaturen, die zu gleichartigen Problemen führen und zu einem extrem hohen Strombedarf, da auch die Photovoltaikanlagen in dieser Zeit keinen Strom liefern können.

Ein Problem bei Sole/Wasser-Wärmepumpen besteht darin, dass die Weiterleitung von Wärme im trockenen Erdreich viel Zeit benötigt, daher die bei einem Wärmeentzug im Erdreich entstehenden Temperaturdifferenzen sich nur langsam ausgleichen. Erst durch die mittels des multifunktionalen Regelsystems mögliche Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe oder die Umwandlung von Strom in Wärme kann eine Regeneration der Wärmequelle zu einer Erhöhung der Soletemperaturen führen.

Generell gilt dabei, dass die Temperaturverteilung um die Sonde herum bestimmt wird durch den Abstand zur Sonde. Die fiktiven für den Wärmefluss maßgeblichen koaxialen Flächen um eine zylindrische Sonde mit einem Radius von  $r = 1$  an deren Außenmantel vergrößern sich proportional zum Radius  $r$ , die Wärmestromdichte (der Wärmestrom pro Flächeneinheit) nimmt umgekehrt proportional zur Entfernung  $r$  ab.

Die als Anlage 2 beigegefügte Grafik zeigt stark vereinfacht, wie man sich die Temperaturverteilung im Erdreich vorzustellen hat. Für den Wärmeübergang in die Erdsonde ist vor allem der Nahbereich von Bedeutung.

Die Temperaturen im Erdreich im Umkreis der Erdsonde ändern sich ständig, sowohl durch den Wärmeentzug während eines Ladevorgangs der Wärmepumpe als auch in der darauf folgenden Pause bis zum nächsten Ladevorgang durch aus dem weiter entfernten Erdreich nachfließende Wärme. Man kann also nur einen Bereich beschreiben, in dem diese Temperaturänderungen stattfinden.

Alle Temperaturangaben (jeweils in °C) beziehen sich auf die eingezeichnete Erdsonde und deren Umfeld ab einer Tiefe von 10 m unter der Erdoberfläche, wo von einer ganzjährig gleichbleibenden Temperatur im ungestörten Erdreich von 10°C auszugehen ist.

Die Soletemperaturen in der Erdsonde sind auf der linken Seite der Grafik an der Sonde angegeben, sie bewegen sich zwischen VL = - 2°C / RL = - 7°C als Bezugswerte einer Anlage gemäß dem Stand der Technik und VL = + 2°C / RL = - 3°C nach einer Wärmeübertragung mit einer Temperaturerhöhung um 4 K.

Die daraus folgenden Temperaturverläufe im Erdreich im Nahbereich der Sonde werden rechts von der Erdsonde dargestellt, die abhängig vom Radius  $r$  ermittelten Temperaturdifferenzen zum ungestörten Erdreich ergeben sich aus den nebenstehenden Tabellen.  $\Delta T_o$  kennzeichnet die Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich für den Verlauf der oberen Kennlinien,  $\Delta T_u$  für den Verlauf der entsprechenden unteren Kennlinien.

Die roten Linien in der Grafik begrenzen den Temperaturbereich einer Wärmepumpenanlage gemäß dem Stand der Technik bei einer Solevorlauftemperatur von - 2°C und einer Solerücklauftemperatur von - 7°C als Bezugswerte.

Der durch grüne Linien begrenzte Temperaturbereich ergibt sich für eine Anlage mit einem multifunktionalen Regelsystem bei gleicher Witterung und gleichem Wärmebedarf, wenn der Quellenkreis der Anlage durch eine Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis regeneriert worden ist und in diesem Beispiel eine Solevorlauftemperatur von +2°C und eine Solerücklauftemperatur von - 3°C erreicht wurde.

Bei einer Anlage gemäß dem Stand der Technik wird sich für eine Solevorlauftemperatur von - 2°C bei einer angenommenen Temperaturdifferenz von 2 K für den Wärmeübergang vom Erdreich zur Erdsonde eine Temperatur von 0°C an der Sonde außen einstellen, das wäre also eine Temperaturdifferenz  $\Delta T_E = 10$  K zum ungestörten Erdreich. Aber schon im Abstand von  $r = 2$  würde sich diese auf nur 5 K halbieren, die Erdreichtemperatur würde damit bereits 5°C betragen.

Der schematischen Darstellung der Grafik ist zu entnehmen, wie sich eine Erhöhung der Quelltemperatur um 4 K durch die Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis auf

die Temperaturverteilung im Erdreich und damit auf den Wärmefluss auswirken würde, weil sich Vorlauf- und Rücklauftemperatur aufgrund der mit ungefähr 5 K stets gleichbleibenden Spreizung im Solekreis in gleichem Maße ändern.

Durch diese Zuführung von Wärme aus dem Heizkreis kühlt sich die zur Erdsonde zurückfließende Sole nicht mehr so stark ab, in diesem Beispiel auch nur auf  $-3^{\circ}\text{C}$  statt auf  $-7^{\circ}\text{C}$ . Dementsprechend verringert sich auch die Erdreichtemperatur direkt an der Sonde nicht mehr so stark, die für die Wärmepumpe maßgebliche Quelltemperatur ist somit deutlich höher, die Differenz von 7 K bezogen auf den niedrigsten Wert der Solerücklauftemperatur bleibt erhalten.

Um die unterschiedlichen Auswirkungen der Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe und der Umwandlung von Strom in Wärme zu vergleichen und zu bewerten sind erweiterte Berechnungen durchgeführt worden. Wie sich diese Maßnahmen gegenüber einer Anlage ohne Wärmetauscher auswirken ist der als Anlage 3 beigefügten Tabelle zu entnehmen. 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.

In Spalte 2 der Tabelle sind zunächst die Werte für eine Wärmepumpenanlage ohne Wärmetauscher aufgeführt mit  $\Delta T_o$  für die obere Differenz der Erdreichtemperatur zur Temperatur im ungestörten Erdreich (in der Tabelle sind aber auch die entsprechenden Werte  $\Delta T_u$  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 4 werden die Vorlauftemperaturen nur bis  $r = 15$  dargestellt, das entspricht einem Abstand von 42 cm zur Erdsonde, in der Tabelle in Anlage 3 sind die Temperaturen dagegen auch für einen Abstand bis 72 cm berechnet worden, um die Auswirkungen auf den weiteren Bereich nachvollziehen zu können.

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), 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 nicht verloren, sie führt zunächst vor allem zu einer Erhöhung der Temperatur in der Sondenanlage, was sich entsprechend auch auf deren Nahbereich im umgebenden Erdreich auswirkt, der sich nun nicht mehr so stark abkühlt wie bei Anlagen ohne Wärmetauscher.

Bei üblichen Wärmepumpenanlagen kann sich bei winterlichen Betriebsbedingungen oft eine Solerücklauftemperatur von  $-2^{\circ}\text{C}$  ergeben, was eine Solerücklauftemperatur von  $-7^{\circ}\text{C}$  und eine Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich von  $-17^{\circ}\text{C}$  ergibt. Im

Abstand von  $r = 10$  (in diesem Beispiel entspricht das einem Abstand zur Sonde von 27 cm) hat sich die Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich schon auf lediglich noch  $1^\circ\text{C}$  verringert.

Bei einer Übertragung von Wärme mit einer um 4 K höheren Temperatur ergibt sich diese Temperaturdifferenz bereits 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  $1^\circ\text{C}$  auf der Außenseite der Erdsonde erreicht.

Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik erreichen nur bei warmem Wetter derart hohe Temperaturen im Nahbereich der Erdsonde, dagegen ergeben sich bei winterlichen Betriebsbedingungen durch den großen Wärmebedarf in kurzer Folge lange Zeiten für die Ladevorgänge der Wärmepumpe, so dass die im Erdreich noch immer vorhandene gespeicherte Wärme sich nicht schnell genug ausbreiten kann, die Quelltemperatur daher ständig weiter absinkt.

Die in Anlage 4 dargestellte Regeneration der Wärmequelle zeigt eine deutlich höhere 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. Um 1 Kubikmeter Wasser um 1 Grad zu erwärmen werden 1,16 kWh benötigt (Google).

Den in Anlage 3 enthaltenen Berechnungen liegt eine Erdsonde mit einem Durchmesser von 6 cm zugrunde, deren Radius beträgt 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 Quelltemperatur bei.

Diese bei Sole/Wasser-Wärmepumpen erreichbaren Vorteile lassen sich zumindest teilweise auch bei Luft/Wasser-Wärmepumpen umsetzen. Bei diesen überwiegend eingesetzten Anlagen kleinerer Leistung wird die Wärme der im Jahresverlauf sehr unterschiedlichen Tagestemperatur genutzt.

---

\* 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 eine Rohrlänge von 450 m mit  $1,285 \text{ m}^3$  Wasserinhalt werden dann 1,49 kWh benötigt.

Da sich im Winter mit niedrigen Temperaturen von  $0^{\circ}\text{C}$  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 jedoch 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 oft 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.

Zusammenfassend kann man sagen:

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 jedoch keine Wärme beispielsweise aus einer Solaranlage als Ersatz für zu wenig Erdwärme zugeleitet werden, was ohnehin während der Heizperiode keinen Sinn macht, da Solaranlagen wegen Kälte und wenig Sonne 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 den zeitweise überschüssigen Strom aus Windkraftanlagen in Wärme umzuwandeln und diese in lediglich geringer Menge dann bei Sole/Wasser-Wärmepumpen im Nahbereich der Erdsonde zu speichern bzw. bei Luft/Wasser-Wärmepumpen in einen Speicher zu leiten.

Allein die dadurch deutlich höhere Temperatur in der Erdsondenanlage und in deren Nahbereich oder in einem gesonderten Speicher bedeutet schon dauerhaft mehr Energie. Der Temperaturhub zwischen Quelle und Heizkreis verringert sich, so dass auch die für die Wärmepumpe noch erforderliche elektrische Leistung abnimmt.

Ein weiterer bedeutsamer Vorteil: Durch das multifunktionale Regelsystem kann auch, gleichgültig ob bei Sole/Wasser- oder Luft/Wasser-Wärmepumpen, die bei Anlagen gemäß dem Stand der Technik bei jedem neuen Start unvermeidbar entstehende Anergie genutzt werden, die sich bei allen Vorgängen zum Heizen oder zur Erwärmung von Warmwasser durch die zeitweise noch zu niedrige Heizkreis-Vorlauftemperatur 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 bzw. einen Wärmespeicher, deren Temperaturen stets deutlich niedriger sind.

### Das Ergebnis

Die Effizienz von Wärmepumpen lässt sich deutlich steigern. Dazu trägt bei die durch das innovative multifunktionale Regelsystem mögliche Übertragung von Wärme, die Umwandlung von Strom in Wärme und die Nutzung der Anergie, die nach jedem Start einer Wärmepumpe zunächst entsteht.

Die für das multifunktionale Regelsystem erforderlichen Gesteungskosten sind sehr gering im Vergleich zu den Einsparungen an Kosten, die sich durch den geringeren Energieverbrauch ergeben.

### Anlagen

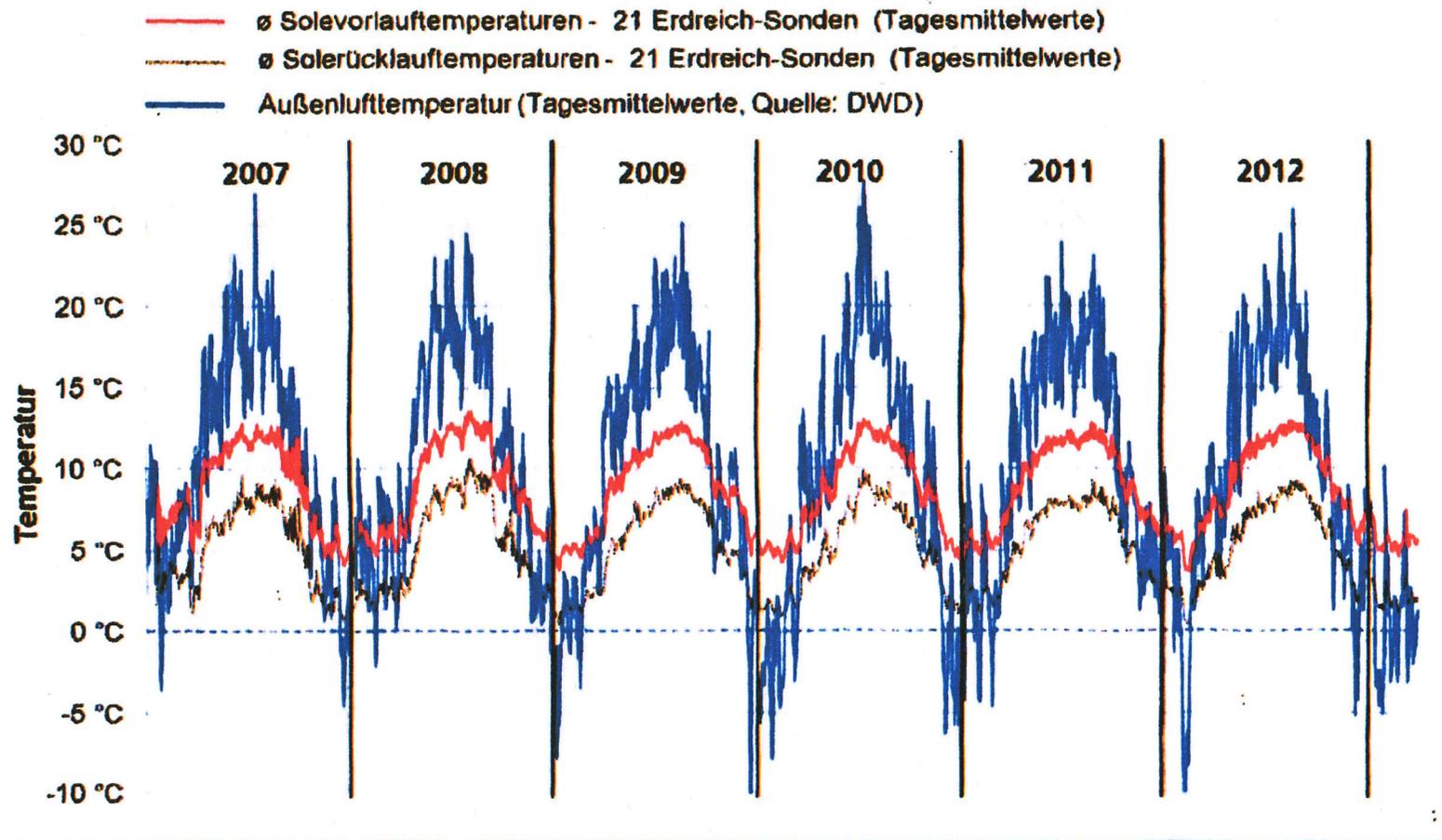
1. Temperaturverlauf von Erdwärmesonden in den Jahren 2007 bis 2012 (ISE)
2. Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde bei einer Veränderung durch Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis
3. Temperaturverteilung im Erdreich im Umkreis der Erdsonde (Tabelle)
4. Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde mit einem Vergleich zum aktuellen Stand der Technik
  - nach einer Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe in deren Primärkreis
  - nach einer Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme und deren Speicherung

30.5.2023

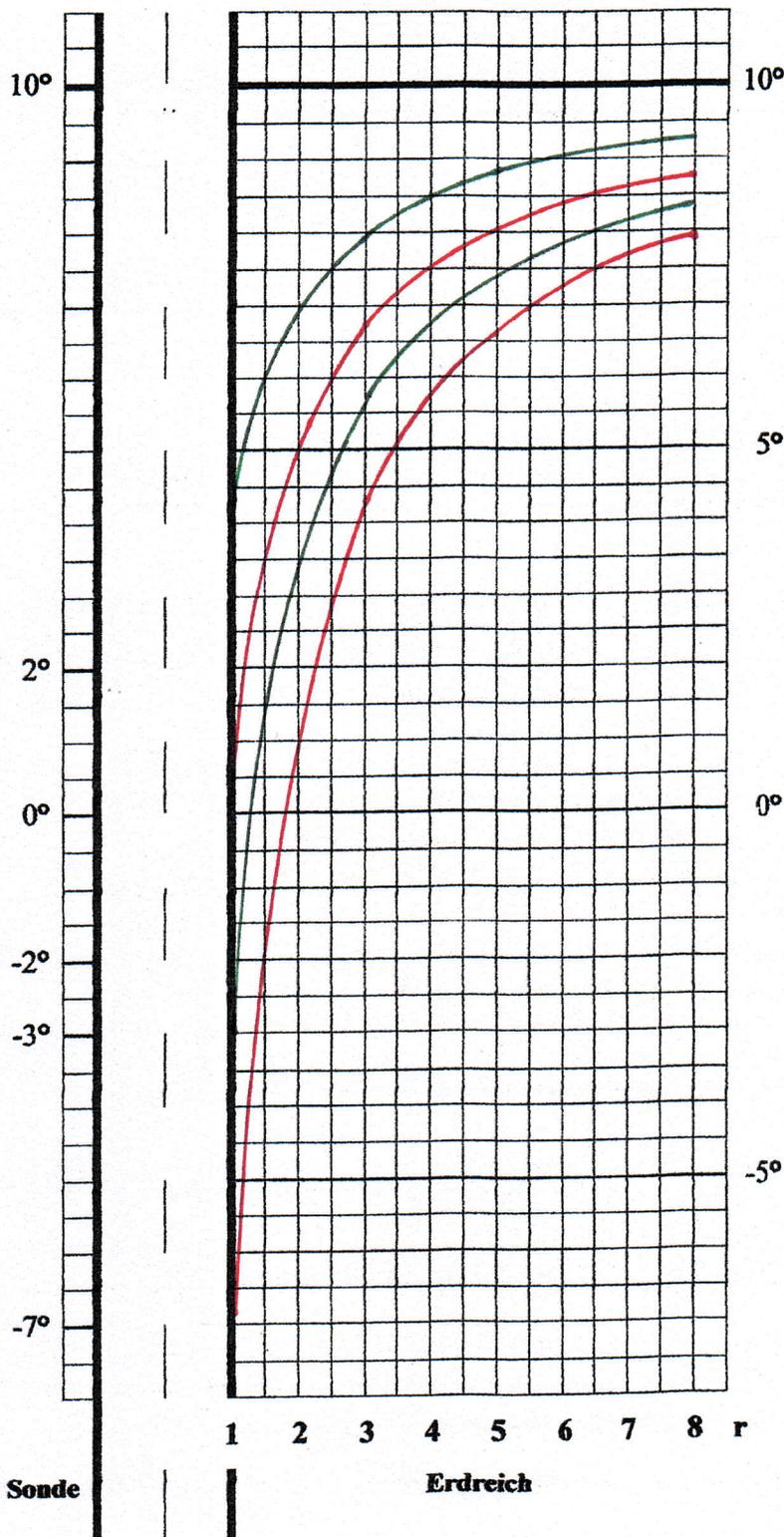


WB2-ZE3

# Temperaturverlauf Erdwärmesonden Langzeitauswertung Messkampagnen Fraunhofer ISE



Anlage 1 Temperaturverlauf von Erdwärmesonden in den Jahren 2007 bis 2012



W	r	$\Delta T_o$	$\Delta T_a$
	1	6	13
	2	3	6,5
	3	2	4,33
	4	1,5	3,25
	5	1,2	2,60
	6	1,0	2,17
	7	0,86	1,86
	8	0,75	1,62
	9	0,67	1,44
	10	0,6	1,3

Anlage mit  
Wärmetauscher:  
Erhöhung der  
Soletemperaturen  
um 4 K

B	r	$\Delta T_o$	$\Delta T_a$
	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 2 Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde

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

W = Temperaturen nach der Übertragung von Wärme (VL + 2°C / RL - 3°C)

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

bei der oberen Temperatur  $\Delta T_o$  und bei der unteren Temperatur  $\Delta T_u$

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 Übertragung von Wärme		Temperaturen nach Regeneration der Wärmequelle	
	$\Delta T_o$ °C	$\Delta T_u$ °C	Diff. °C	Abstand cm	$\Delta T_o$ °C	$\Delta T_u$ °C	$\Delta T_o$ °C	$\Delta T_u$ °C
1	<b>10,0</b>	<b>17,0</b>	<b>7,00</b>	<b>Sonde</b>	<b>6,0</b>	<b>13,0</b>	<b>1,0</b>	<b>8,0</b>
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	<b>2,00</b>	<b>3,40</b>	<b>1,40</b>	<b>12</b>	<b>1,20</b>	<b>2,60</b>	<b>0,20</b>	<b>1,60</b>
6	1,67	2,83		15	1,00	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
10	<b>1,00</b>	<b>1,70</b>	<b>0,70</b>	<b>27</b>	<b>0,60</b>	<b>1,30</b>	<b>0,10</b>	<b>0,80</b>
11	0,91	1,545			0,545	1,182	0,091	0,727
12	0,83	1,417		33	0,500	1,083	0,083	<u>0,667</u>
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	<b>0,67</b>	<b>1,133</b>	<b>0,463</b>	<b>42</b>	<b>0,400</b>	<b>0,867</b>	<b>0,067</b>	<b>0,533</b>
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		54	0,316	<u>0,684</u>		
20	<b>0,500</b>	<b>0,850</b>	<b>0,350</b>	<b>57</b>	<b>0,300</b>	<b>0,650</b>		
21	0,476	0,809						
22	0,454	0,773						
23	0,435	0,739					G-Web	H-47
24	0,417	0,708						
25	<b>0,400</b>	<b>0,680</b>	<b>0,280</b>	<b>72</b>				
	<b>Beispiel B</b>		einheitliche Werte		<b>Beispiel W</b>		<b>Beispiel R</b>	

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

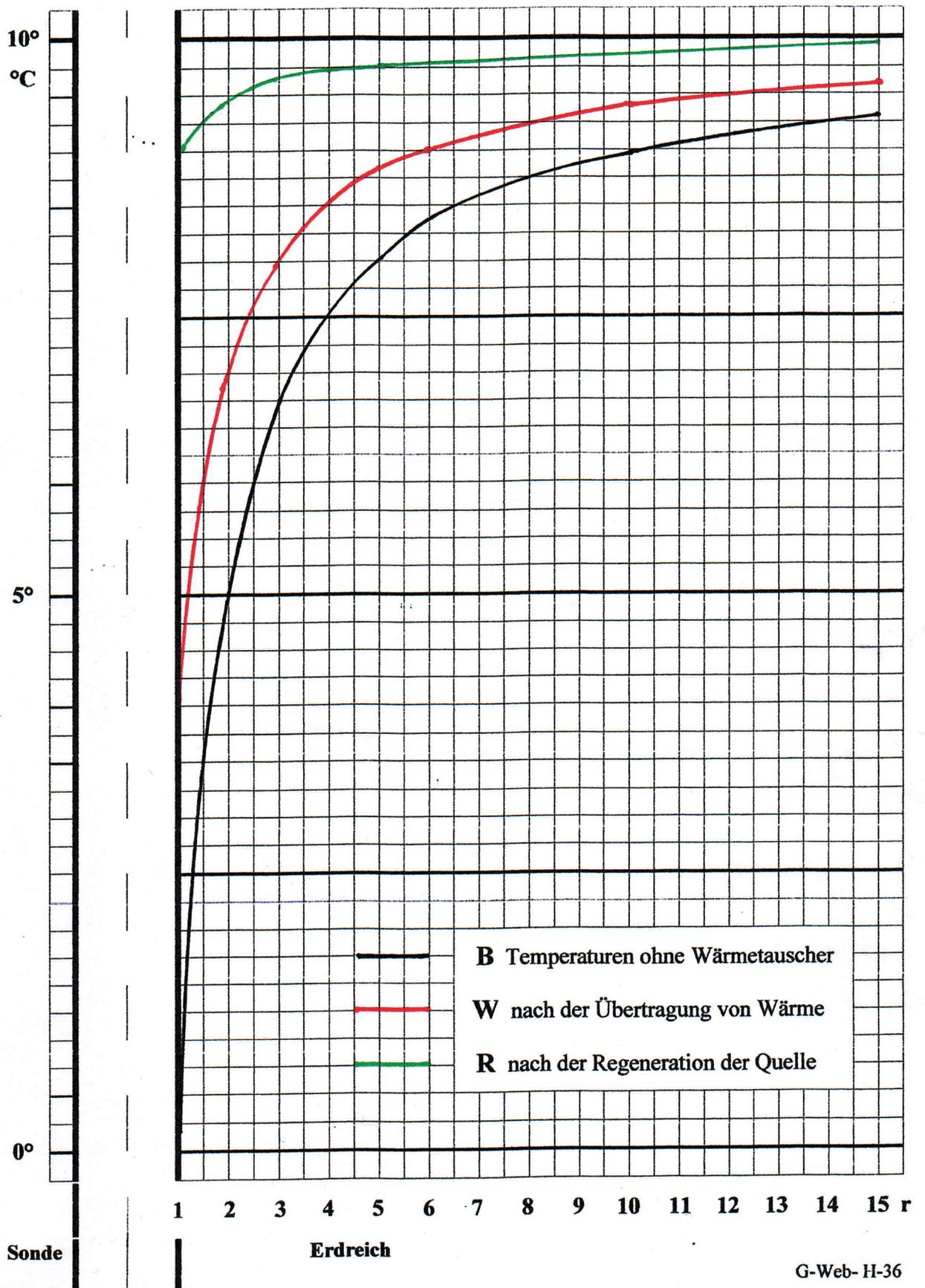
### Anlage 3 Temperaturverteilung im Erdreich im Umkreis der Erdsonde

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