

### Teil 3 - Die Umsetzung mittels einer multifunktionalen Baugruppe

Die für die Umsetzung des Verfahrens erforderliche Einrichtung, bestehend aus Wärmetauschersystem und Regelsystem mit Optimierungsprogramm, ist bereits vom Deutschen Patentamt als Gebrauchsmuster eingetragen worden. Durch diese Einrichtung, die auch für die Nachrüstung von bestehenden Wärmepumpenanlagen eingesetzt werden kann, ergeben sich noch weitaus mehr Möglichkeiten für eine Stabilisierung der Quelltemperatur.

Mit dieser in Teil 1 schon beschriebenen Einrichtung, ausgeführt als multifunktionale Baugruppe zur Erweiterung von Wärmepumpenanlagen, kann

- sowohl eine begrenzte Wärmemenge aus dem Heizkreis der Wärmepumpe auf deren Primärkreis übertragen und so die Quelltemperatur erhöht werden
- als auch eine Regeneration der Wärmequelle vorgenommen werden, indem bei abgeschaltetem Verdichter der Wärmepumpe allein durch deren elektrische Zusatzheizung Wärme erzeugt und der Wärmequelle zugeführt wird.

Die beiden folgenden schematischen Darstellungen einschließlich der Bezugszeichenliste sind der Gebrauchsmusterschrift entnommen worden. Die für die jeweilige Betriebsweise zum Transport der Wärme genutzten Leitungen wurden hervorgehoben dargestellt, die dafür erforderlichen Regelkreise sind punktiert gekennzeichnet worden.

Das Schema in Anlage 5 zeigt die Betriebsweise der Wärmepumpe mit einer begrenzten Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis in deren Quellenkreis, dadurch kann die Wärmepumpe mit einer erhöhten Quellenvorlauftemperatur arbeiten. Dafür erforderlich ist lediglich die vom Regelsystem auszulösende Umschaltung des Dreiweeventils (21) im Quellenvorlauf und die Zuschaltung der Umwälzpumpe (22) des Wärmetauschers (20).

In Anlage 6 wird die Regeneration der Wärmequelle durch eine Übertragung von Wärme dargestellt, die nur von der elektrischen Zusatzheizung der Wärmepumpe erzeugt wird. Der Verdichter der Wärmepumpe ist dabei außer Betrieb, Quellenpumpe und Heizkreispumpe arbeiten wie im Normalbetrieb. Das Regelsystem veranlasst das Einschalten der elektrischen Zusatzheizung sowie die Umschaltung des Dreiweeventils (31) im Heizkreis (die Heizungsanlage wird von der Wärmepumpe getrennt) und die Umschaltung des Dreiweeventils (34) im Quellenkreis (die Wärme kann so vom Medium des Quellenkreises im Wärmetauscher (30) aufgenommen und direkt zur Quelle geleitet werden).

In der Anlaufphase der Wärmepumpe kann mittels einer weiteren Regelungsfunktion Wärme mit noch geringer Temperatur durch Umstellen des Dreiwege-

ventils (31) im Heizkreisvorlauf statt in die Heizungsanlage über den zweiten Wärmetauscher (30) in den Quellenkreis geleitet werden und zu einer Erhöhung der Quellentemperatur beitragen. Auf diese Weise wird auch die zunächst für ein Erwärmen des Gebäudes noch unzureichende Temperatur im Heizkreisvorlauf zur Erhöhung der Quellentemperatur genutzt.

In gleicher Weise kann auch nach dem Ende eines Ladevorgangs die ansonsten ungenutzte Restwärme aus der gesamten Wärmepumpenanlage, bestehend aus Wärmepumpe, Rohrleitungen und Wärmetauscher, zur Regeneration der Quelle genutzt werden.

Auch bei einem Teillastbetrieb der Wärmepumpe, wenn wegen der Einzelraumregelung einige Thermostatventile schließen, kann man die durch das Verfahren gegebenen Möglichkeiten nutzen. Man muss nicht mehr Wärme nutzlos über die hydraulische Weiche ableiten, um das Takten der Wärmepumpe zu verhindern, man kann stattdessen die Temperatur im Primärkreis der Wärmepumpe erhöhen und so nicht nur die Effizienz steigern, sondern zugleich auch noch einen Beitrag zur Regeneration der Quelle leisten.

Sehr wirtschaftlich wird die Regeneration der Wärmequelle, wenn einerseits für die Speicherung von Wärme zeitweise überschüssiger Strom beispielsweise von Windkraftanlagen zu günstigen Preisen oder zumindest Strom zum Nachtstromtarif genutzt werden kann, andererseits durch gespeicherte Wärme in den Erdsonden, im Erdreich, im Heizungspufferspeicher und im Brauchwasserspeicher am Tage deutlich weniger Ladevorgänge erforderlich sind und auch die noch notwendigen Ladevorgänge aufgrund wesentlich höherer Quellentemperaturen dann deutlich weniger Strom verbrauchen.

Durch die beschriebene Verfahrensänderung und die zugehörige Einrichtung zu deren Umsetzung erreichen Sole/Wasser-Wärmepumpen - die ohnehin schon einen besseren Wirkungsgrad haben als andere Bauarten von Wärmepumpen - noch weitaus höhere Effizienzwerte, zugleich lassen sich damit auch durch Umwandlung von Strom in Wärme und deren Speicherung die Wärmequellen regenerieren, und dies selbst bei winterlichen Betriebsbedingungen.

Die Verfahrensänderung lässt sich ebenfalls bei sonstigen Wärmepumpenanlagen umsetzen, beispielsweise bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. Damit aber die aus dem Heizkreis entnommene Wärme dem System nicht verloren geht, muss der Rücklauf der Wärmepumpe mit dem darin noch enthaltenen Anteil in einen Wärmespeicher geleitet werden. Bei Anlagen, die mit Solarwärme unterstützt werden und daher bereits einen solchen Speicher haben, lässt sich das besonders gut realisieren.

Zu den Vorteilen dieser Baugruppe zählt nicht nur die kompakte Bauweise mit

einem einheitlichen Regelsystem für beide Optionen einschließlich Verarbeitung der gleichen Messwerte der aktuellen Betriebstemperaturen, sondern auch die Möglichkeit einer variablen Nutzung der unterschiedlichen Regelungsfunktionen.

So können beispielsweise bei einer Wärmepumpenanlage großer Leistung für ein Wärmenetz alle verfügbaren Funktionen genutzt werden. Um aber auch bei Wärmepumpen kleinerer Leistung ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen, könnte man im Normalbetrieb auf die Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis verzichten und sich auf die für eine Regeneration der Wärmequelle verfügbaren Funktionen beschränken. Dies wäre eine preisgünstigere Variante, da das Wärmetauschersystem 1 mit der regelbaren Umwälzpumpe dann entfällt und statt eines komplexen Regelsystems mit Optimierungsprogramm auch ein einfacher Regler ausreicht.

Trotzdem wäre es schon im normalen Ladebetrieb einer Wärmepumpe kleinerer Leistung weiterhin möglich, in der Anlaufphase der Wärmepumpe mit einer noch geringen Heizkreistemperatur die in Anlage 6 dargestellte Variante für eine zusätzliche Regeneration der Quelle zu nutzen.

30.9.2019

WO (26) 8-10

#### **Teil 4 - Wesentliche Unterschiede zum Stand der Technik**

##### **Die Auswirkungen der Verfahrensänderung auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde und auf den Wärmefluss**

Wie unterscheidet sich eine erdgekoppelte Wärmepumpenanlage mit der Möglichkeit einer Regeneration der Wärmequelle hinsichtlich der Betriebsweise von einer gleichartigen Anlage gemäß dem Stand der Technik?

Im Normalbetrieb nur durch höhere Solevorlauftemperaturen. Ein Unterschied in der Betriebsweise ergibt sich erst dann, wenn über das Wärmetauschersystem

- entweder bei laufendem Betrieb der Wärmepumpe nur kurzzeitig etwas Wärme aus dem Heizkreis der Anlage in deren Quellenkreis übertragen wird
- oder in der Zeit zwischen den Ladevorgängen der Wärmepumpe durch deren elektrische Zusatzheizung Strom in Wärme umgewandelt und diese dann dem Quellenkreis zugeführt wird.

Es handelt sich dabei um zwei sich ergänzende technologische Ansätze. Diese

Zuführung von Wärme über das eigene Betriebssystem führt zu höheren Solevorlauftemperaturen und somit zu einer deutlichen Effizienzsteigerung insbesondere bei erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen.

Ein Problem bei Sole / Wasser-Wärmepumpen besteht allerdings darin, dass für die Wärmeleitung im trockenen Erdreich relativ viel Zeit benötigt wird, so dass kein schneller Ausgleich von Temperaturdifferenzen möglich ist, wenn Wärme durch Erdsonden entzogen wurde. Der Wärmefluss ist dadurch begrenzt.

Diesem dem Wärmeträger Erdreich anhaftenden Nachteil kann entgegengewirkt werden, indem man die Auskühlung des Erdreichs durch die in die Sonde zurückfließende abgekühlte Sole verringert.

Um das beim Wärmeentzug unvermeidliche Absinken der Quelltemperatur zu begrenzen kann durch die Verfahrensänderung schon während der Ladevorgänge der Wärmepumpe die Solevorlauftemperatur durch eine begrenzte Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe erhöht werden.

Durch die Übertragung erhöht sich aber nicht nur die Solevorlauftemperatur (was zu einer höheren Leistungszahl führt), sondern aufgrund der etwa gleichbleibenden Spreizung im Primärkreis von etwa 5 K zugleich auch die Solerücklauftemperatur (was der Auskühlung des Erdreichs entgegenwirkt). Wie sich die dafür erforderliche höhere Leistung der Wärmepumpe auswirkt ist Teil 2 der Beschreibung und deren Anlage 2 zu entnehmen.

Die Wärmeübertragung führt zu einer Regeneration der Quelle bereits während des normalen Betriebs der Wärmepumpe, auch schon in der Heizperiode mit dem höchsten Wärmebedarf, nicht erst bei einer wieder höheren Außentemperatur und dadurch abnehmendem Wärmebedarf - ein bedeutsamer Unterschied zu Anlagen gemäß dem Stand der Technik.

Um immer einen ausreichenden Wärmefluss zur Sonde zu gewährleisten, muss die Temperaturdifferenz  $\Delta T_E$  zwischen Erdreich und Erdsonde stets groß genug sein. Dies ist die Aufgabe des Optimierungsprogramms, das unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Betriebsbedingungen die Temperaturdifferenz dem allmählich zunehmendem Wärmebedarf in der Heizperiode anpassen muss.

Generell gilt, dass die Temperaturverteilung um die Sonde herum bestimmt wird durch den Abstand zur Sonde. Die für den Wärmefluss maßgeblichen Flächen  $F$  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 für den Wärmefluss notwendige Temperaturdifferenz  $\Delta T_E$  zum ungestörten Erdreich verändert sich somit ebenfalls proportional zur Wärmestromdichte.



Zusätzliche Informationen zu den nachfolgenden Darstellungen der Temperaturverläufe sowie zu den Auswirkungen dieser Verfahrensänderung auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde und den Wärmefluss enthält Anhang 1 zum Verfahren.

Die als Anlage 8 beigegefügte Grafik zeigt stark vereinfacht, wie man sich die Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde vorzustellen hat. Wegen der viel Zeit erfordernden Wärmeausbreitung im Erdreich ist für die Dauer des Ladevorgangs einer Wärmepumpe vor allem dieser Nahbereich für den Wärmeübergang in die Erdsonde von Bedeutung.

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 Temperaturen 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 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.

Die daraus folgenden Temperaturverläufe im Erdreich im Nahbereich der Sonde werden rechts von der Erdsonde dargestellt, die in Abhängigkeit 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.

Der durch grüne Linien begrenzte Temperaturbereich ergibt sich für eine Anlage mit einem Wärmetauschersystem sowie einem Regelsystem mit einem ausgefeilten Optimierungsprogramm, wenn der Quellenkreis der Anlage durch Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis oder Umwandlung von Strom in Wärme regeneriert worden ist und in diesem Beispiel dann eine Solevorlauftemperatur von 2°C und eine Solerücklauftemperatur von -3°C erreicht wird.

Bei einer Anlage gemäß dem Stand der Technik wird sich für eine Solevorlauf-temperatur von  $-2^{\circ}\text{C}$  bei einer angenommenen Temperaturdifferenz von 2 K für den Wärmeübergang vom Erdreich zur Erdsonde eine Temperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  an der Sonde außen einstellen, das wäre also eine Temperaturdifferenz  $\Delta T_E = 10\text{ K}$  zum ungestörten Erdreich. Aber schon im Abstand von  $r = 2$  würde sich diese auf 5 K halbieren, die Erdreichtemperatur würde damit bereits  $5^{\circ}\text{C}$  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. Die gemäß VDI 4650 auf ungefähr 5 K auszulegende Spreizung im Solekreis ist nahezu konstant, Vorlauf- und Rücklauf-temperatur ändern sich also in gleichem Maße.

Durch die Zuführung von Wärme aus dem Heizkreis kühlt sich die zur Erdsonde zurückfließende Sole nicht mehr so stark ab, in diesem Beispiel 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 Solerücklauf-temperatur bleibt erhalten.

Lässt der Wärmefluss dadurch nach, weil die Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich geringer ist? Das ist differenziert zu betrachten. Für den nächsten Ladevorgang steht im Nahbereich der Erdsonde - und nur der ist aufgrund der im weitgehend trockenen Erdreich sehr langsamen Ausbreitung von Wärme entscheidend - sogar Wärme mit einer höheren Temperatur zur Verfügung.

In dem anschließenden Bereich des umgebenden Erdreichs ergeben sich jedoch schlechtere Bedingungen. Dort führen die höheren Temperaturen im Nahbereich der Erdsonde dazu, dass sich der Wärmefluss verringert, es braucht daher mehr Zeit, die Wärme aus weiter entfernten Bereichen zur Erdsonde zu transportieren.

Der Wärmefluss in den weiter entfernten Bereichen trägt zwar nur mit einer größeren Verzögerung zur Wärmeübertragung in die Sondenanlage bei, dennoch ist dies bei der Auslegung der Anlage zu berücksichtigen. Diese muss ohnehin für eine etwas höhere Entzugsleistung ausgelegt werden, da sich durch die verbesserten Betriebsbedingungen der Wärmepumpe der elektrische Leistungsanteil an der Wärmeerzeugung verringert.

Trotzdem kann bei einem erhöhten Wärmebedarf in der Heizperiode die Zeit zwischen den Ladevorgängen dann möglicherweise nicht mehr ausreichen, die Sole auf die erforderliche Vorlauf-temperatur zu erwärmen.

Ein daraus folgender Rückgang der Quelltemperatur lässt sich zumindest weit-

gehend dadurch verhindern, dass in den Nachtstunden, in denen das Stromnetz eine Schwachlastphase hat, die Wärmepumpe mittels ihrer Elektroheizstäbe nach einer Freigabe durch ein SG-Signal den überschüssigen Strom insbesondere aus Windkraftanlagen in Wärme umwandelt und diese in den Erdsonden und dem umgebenden Erdreich gespeichert wird (power-to-heat).

In Teil 3 der Verfahrensbeschreibung ist bereits dargestellt worden, wie durch die multifunktionale Baugruppe diese Umwandlung von Strom in Wärme und deren Speicherung möglich ist.

Durch die nächtliche Regeneration der Wärmequelle sowie das zugleich mögliche Aufladen von Warmwasser- und Heizungspufferspeicher werden dann über einen Zeitraum von einigen Stunden weniger Ladevorgänge als sonst üblich notwendig, die längeren Pausen dazwischen tragen dazu bei, dass trotz der höheren Erdreichtemperaturen noch genügend Wärme nachfließen kann.

Wie sich die Regeneration auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde bei winterlichen Betriebsbedingungen auswirken kann zeigt die als Anlage 9 beigefügte grafische Darstellung. In diesem Beispiel mit einer um 9 K erhöhten Solevorlauftemperatur wird die Wärme ohne Verluste gespeichert, da die Temperatur im die Sonde umgebenden ungestörten Erdreich mit 10°C noch etwas höher ist, das Erdreich wirkt daher als Wärmehülle, es fließt keine Wärme ab.

Je nach der Temperatur der in die Sonde zurückfließenden Sole und der Dauer der Regeneration kann aber nicht nur das SONDENSYSTEM, sondern auch das umgebende Erdreich mehr oder weniger stark erwärmt werden. Die jeweils besten Vorgaben für das Optimierungsprogramm des Regelsystems werden sich erst mit Simulationsrechnungen für die möglichen Betriebszustände unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Stromkosten ermitteln lassen.

Für die nächsten Ladevorgänge der Wärmepumpe steht somit eine zunächst sehr viel höhere Quelltemperatur zur Verfügung, der vorübergehend gespeicherte Wärmevorrat wird aber umgehend wieder abgebaut, bis sich der Normalzustand erneut eingestellt hat. Während dieser Zeit kann bereits Wärme aus den weiter entfernten Bereichen nachfließen und die zuvor im weiteren Umkreis der Sonde entstandenen Wärmesenken allmählich wieder ausgleichen.

Weitere Details zur Regeneration der Quelle mit den Auswirkungen auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde und auf den Wärmefluss werden im Anhang 1 zur Verfahrensbeschreibung behandelt.

Sehr anschaulich lassen sich die Möglichkeiten einer Regeneration der Quelle durch Systemvergleiche darstellen zwischen einer Wärmepumpenanlage entsprechend dem Stand der Technik einerseits (Referenzsystem) und einer Anlage

mit einem Wärmetauschersystem andererseits (Alternativsystem).\*

Anlage 10 zeigt das Ergebnis der Berechnung der Systemarbeitszahlen für eine um 4 K höhere Solevorlauftemperatur von +2°C (Alternativsystem) gegenüber einer Anlage mit einer Solevorlauftemperatur von -2°C (Referenzsystem), wie sie auch der Grafik in Anlage 8 zugrundegelegt worden sind, bei einer Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis in den Quellenkreis.

Bei einer Regeneration der Wärmequelle durch die zeitweilige Zuführung von umgewandelter elektrischer Energie lassen sich noch deutlich höhere Effizienzsteigerungen erreichen, wie der Excel-Systemvergleich in Anlage 11 zeigt.

Hier werden die Systemarbeitszahlen berechnet für eine durch Umwandlung von Strom in Wärme auf 12°C erhöhte Solevorlauftemperatur (Referenzsystem) und eine nach einiger Zeit notwendige erneute Anhebung der Solevorlauftemperatur, die durch den Wärmeentzug bei weiteren Ladevorgängen auf 11,6°C gesunken ist, mittels der Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpenanlage (Alternativsystem).

Auch bei dieser Umwandlung von Strom in Wärme ist nur eine im Vergleich zur Nennleistung der Wärmepumpe geringe elektrische Leistung erforderlich, da diese Wärme nicht in das Erdreich geleitet wird, sondern nur die Anhebung der Temperaturen in der Sonde und ggf. in deren direktem Nahbereich bewirken soll.

Es ist also eine Frage der Optimierung des Systems, unter Nutzung der Möglichkeiten der Sektorkopplung den unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Strombezugskosten gerade günstigsten Arbeitspunkt für die Wärmepumpe zu finden, um so den jährlichen Stromverbrauch wesentlich zu verringern gegenüber der heutigen Betriebsweise von Wärmepumpenanlagen.

Zusammenfassend kann man sagen: Der entscheidende Unterschied gegenüber Wärmepumpenanlagen gemäß dem Stand der Technik ist die Möglichkeit einer Regeneration der Quelle bei laufendem Betrieb der Anlage - sei es durch eine Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis in den Quellenkreis oder durch eine Umwandlung von Strom in Wärme und deren Speicherung - was stets dazu führt, dass der Erdsonde aus dem Erdreich Wärme mit einer höheren Temperatur zugeführt wird, also mit mehr Energie, und so die im Erdreich im Laufe des Jahres gespeicherte Sonnenwärme besser genutzt wird.

---

\* Der Excel-Systemvergleich wurde bereits 2014 freundlicherweise von Prof. Henning, Fraunhofer-Institut ISE, zur Verfügung gestellt und aktuell an die vorliegenden Daten angepasst.

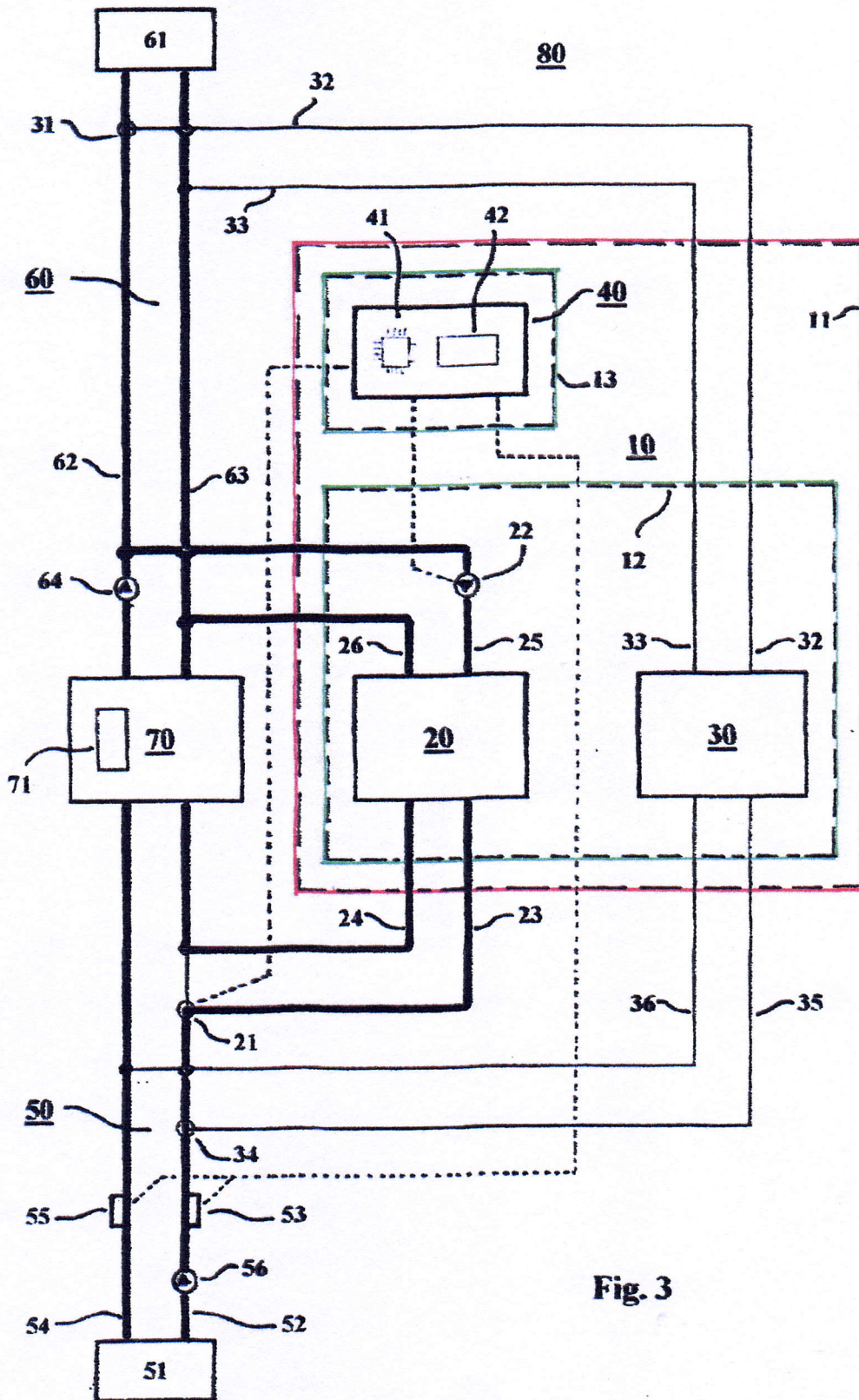


Fig. 3

Anlage 5 Einrichtung zur Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis



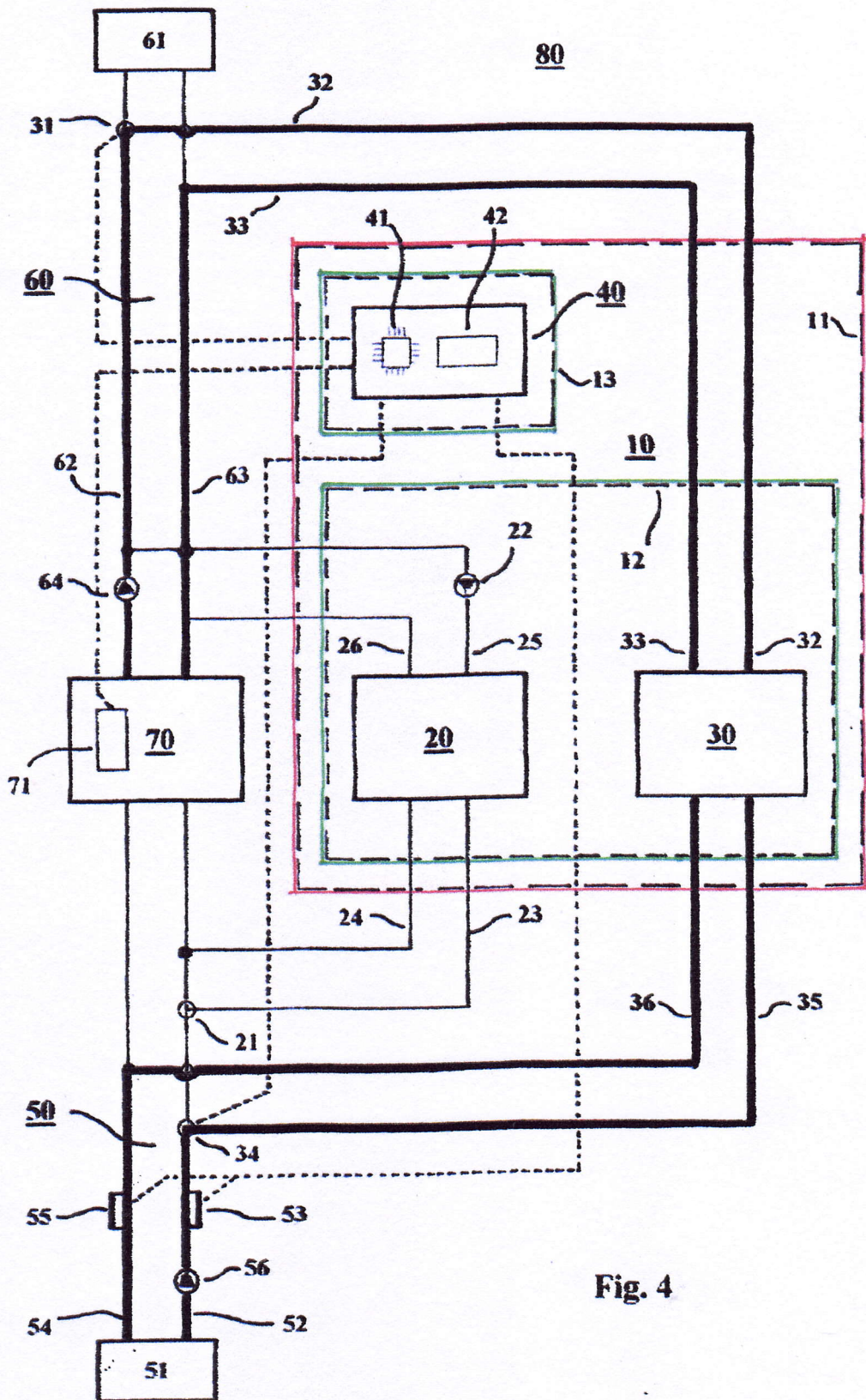


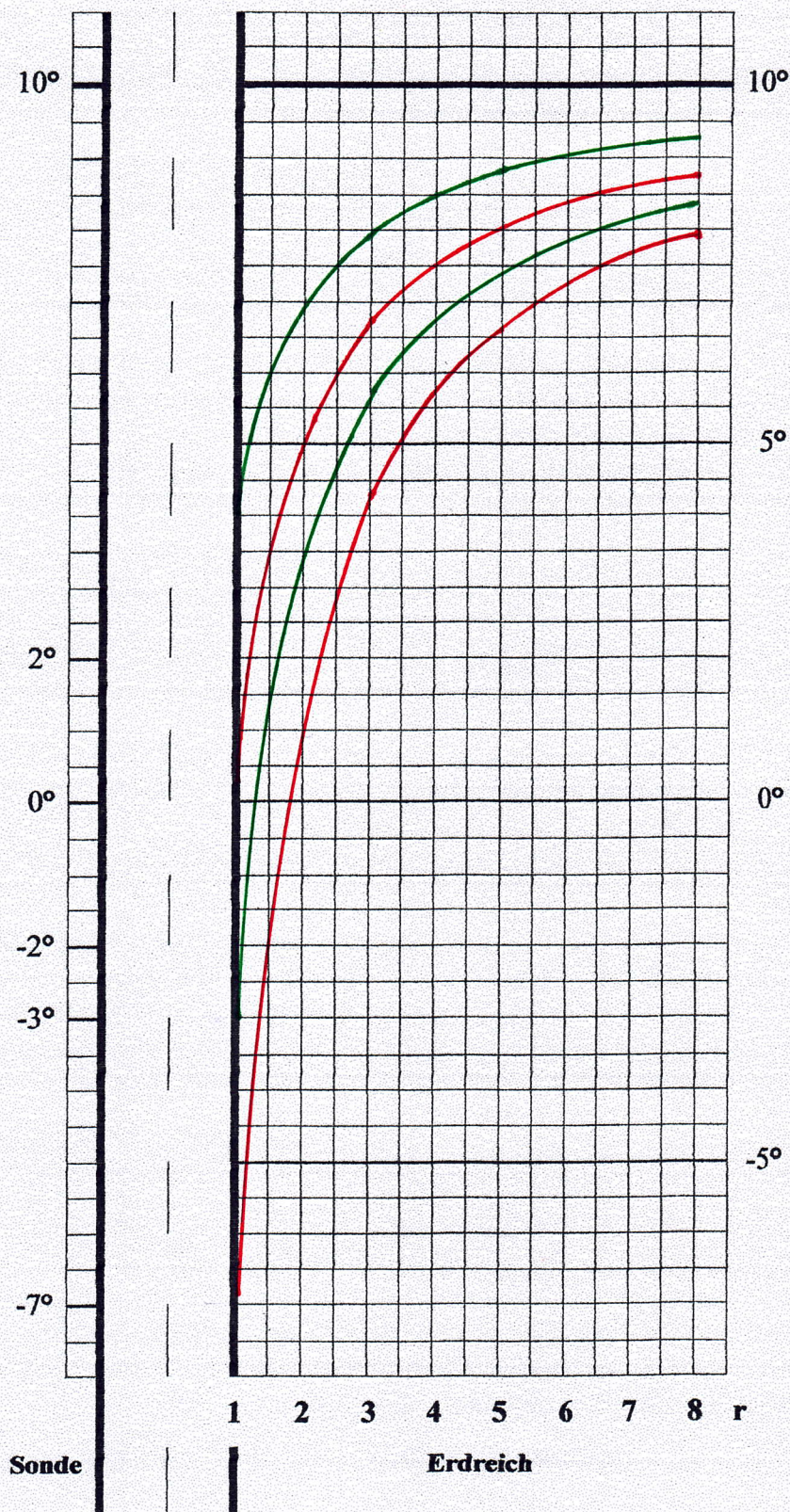
Fig. 4

Anlage 6 Einrichtung zur Umwandlung von Strom in Wärme

## 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)





W	r	$\Delta T_o$	$\Delta T_u$
	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	$\Delta T_o$	$\Delta T_u$
	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

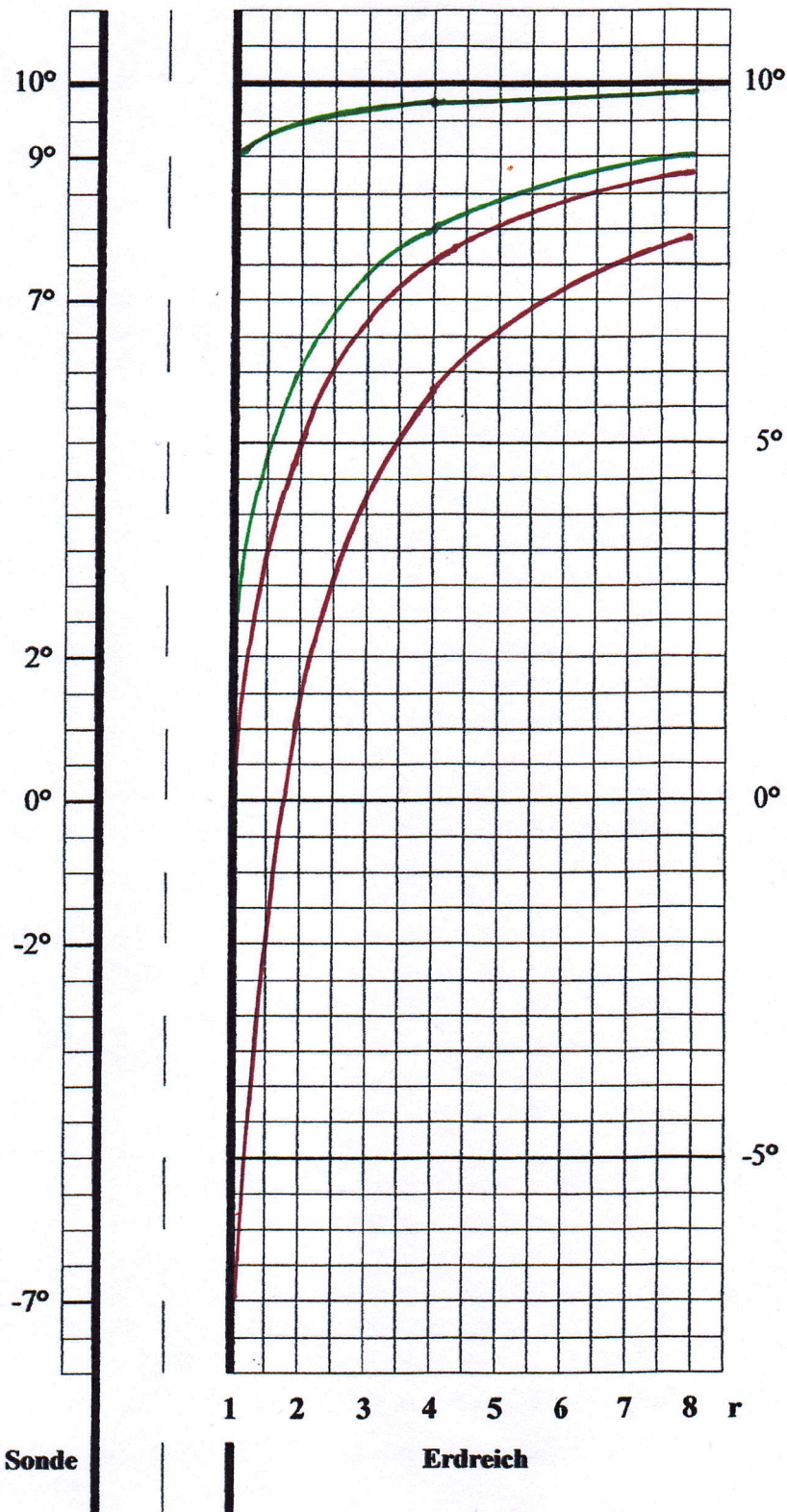
Anlage ohne  
Wärmetauscher  
(Bezugswerte)

Links: Temperaturen  
an der Außenwand  
der Erdsonde

### Anlage 8 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)**





**R**

r	$\Delta T_o$	$\Delta T_u$
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	$\Delta T_o$	$\Delta T_u$
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 9    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)**



### Systemvergleich für ein Zahlenbeispiel

vorgegebene Größen	Einheit	Wert
Massenstrom Heizkreis	kg/s	1
spez. Wärmekapazität Heizkreis	J/kgK	4200
Massenstrom Solekreis	kg/s	1
spez. Wärmekapazität Solekreis	J/kgK	4200
abgegebene Heizleistung	kW	10

Werte Wärmepumpe		
Carnot'scher Gütegrad	-	0,5
Linearterm	-	n.a.
Quadratischer Term	-	n.a.

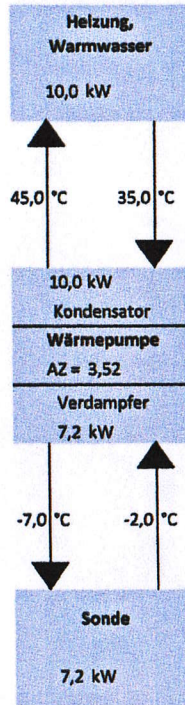
vorgegebene Temperaturen	Einheit	Wert
Vorlauf Heizkreis	°C	45,00
Rücklauf Solekreis (vor WÜ)	°C	2,00
T-Differenz WÜ heizkreisseitig	K	0,40

Vergleichsrechnung	Einheit	Referenz	Alternativ
Temperatur Vorlauf Heizung	°C	45,00	45,00
Temperatur Rücklauf Heizung	°C	35,00	35,00
Temperatur Rücklauf WÜ	°C	-	34,60
Temperatur Rücklauf Sonde	°C	-2,00	2,00
Temperatur Vorlauf Verdampfer	°C	-2,00	2,40
Temperatur Rücklauf Verdampfer	°C	-7,00	-2,60
Arbeitszahl WP	-	3,52	3,92
Leistung Wärmeübertrager WÜ	kW	-	0,40
Leistung Kondensator WP	kW	10,00	10,40
elektrische Leistung WP	kW	2,84	2,65
Leistung Verdampfer WP	kW	7,16	7,75
Leistung Sonde WP	kW	7,16	7,39
Systemarbeitszahl	-	3,52	3,77

Werte in gelb hinterlegten Feldern können geändert werden

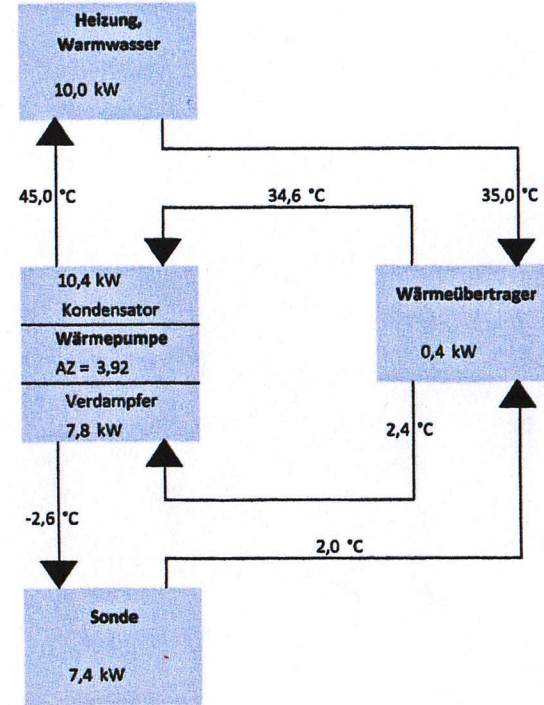
### Referenzsystem

$$JAZ_{\text{System}} = 3,5$$



### Alternativsystem

$$JAZ_{\text{System}} = 3,8$$



## Anlage 10

Excel-Systemvergleich für Solevorlauftemperaturen von -2 °C und +2 °C durch Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis



### Systemvergleich für ein Zahlenbeispiel

vorgegebene Größen	Einheit	Wert
Massenstrom Heizkreis	kg/s	1
spez. Wärmekapazität Heizkreis	J/kgK	4200
Massenstrom Solekreis	kg/s	1
spez. Wärmekapazität Solekreis	J/kgK	4200
abgegebene Heizleistung	kW	10

Werte Wärmepumpe		
Carnot'scher Gütegrad	-	0,5
Linearterm	-	n.a.
Quadratischer Term	-	n.a.

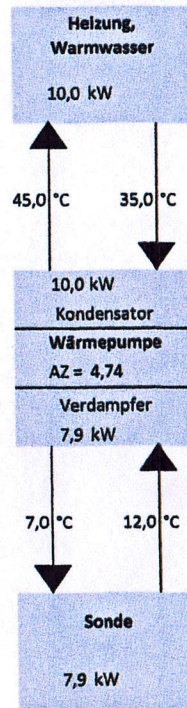
vorgegebene Temperaturen	Einheit	Wert
Vorlauf Heizkreis	°C	45,00
Rücklauf Solekreis (vor WÜ)	°C	11,60
T-Differenz WÜ heizkreisseitig	K	0,40

Vergleichsrechnung	Einheit	Referenz	Alternativ
Temperatur Vorlauf Heizung	°C	45,00	45,00
Temperatur Rücklauf Heizung	°C	35,00	35,00
Temperatur Rücklauf WÜ	°C	-	34,60
Temperatur Rücklauf Sonde	°C	12,00	12,00
Temperatur Vorlauf Verdampfer	°C	12,00	12,00
Temperatur Rücklauf Verdampfer	°C	7,00	7,00
Arbeitszahl WP	-	4,74	4,74
Leistung Wärmeübertrager WÜ	kW	-	0,40
Leistung Kondensator WP	kW	10,00	10,40
elektrische Leistung WP	kW	2,11	2,19
Leistung Verdampfer WP	kW	7,89	8,21
Leistung Sonde WP	kW	7,90	7,80
Systemarbeitszahl	-	4,74	4,56

Werte in gelb hinterlegten Feldern können geändert werden

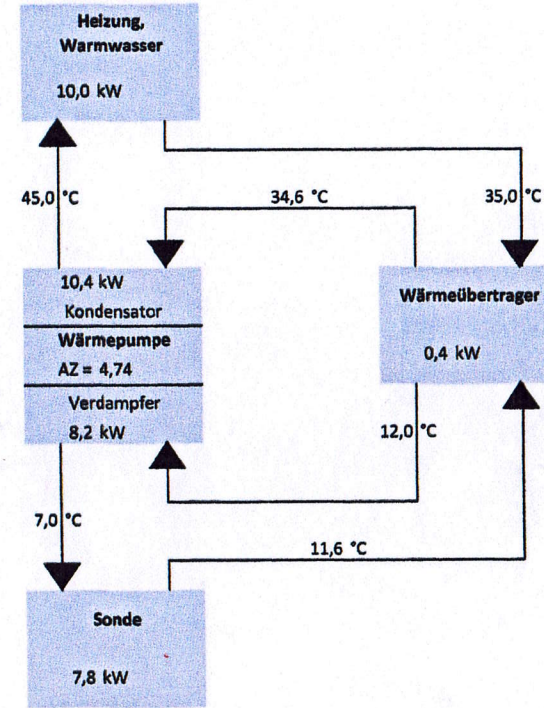
### Referenzsystem

$$JAZ_{\text{System}} = 4,7$$



### Alternativsystem

$$JAZ_{\text{System}} = 4,6$$



## Anlage 11

Excel-Systemvergleich für eine Solevorlauftemperatur von +12 °C nach einer Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme

## 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  $\Delta T_E$  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  $\Delta T_E$  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  $\Delta T_o$  und  $\Delta T_u$  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  $\Delta T_o$ . 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  $\Delta T_r$  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  $\Delta T_r$  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  $\Delta T_o$  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 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  $-2^\circ\text{C}$  ergeben, was bei einer Spreizung von 5 K eine Solerücklauftemperatur von  $-7^\circ\text{C}$  und eine

Temperaturdifferenz zum ungestörten Erdreich von  $-17^{\circ}\text{C}$  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  $1^{\circ}\text{C}$  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  $1^{\circ}\text{C}$  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  $10^{\circ}\text{C}$  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:

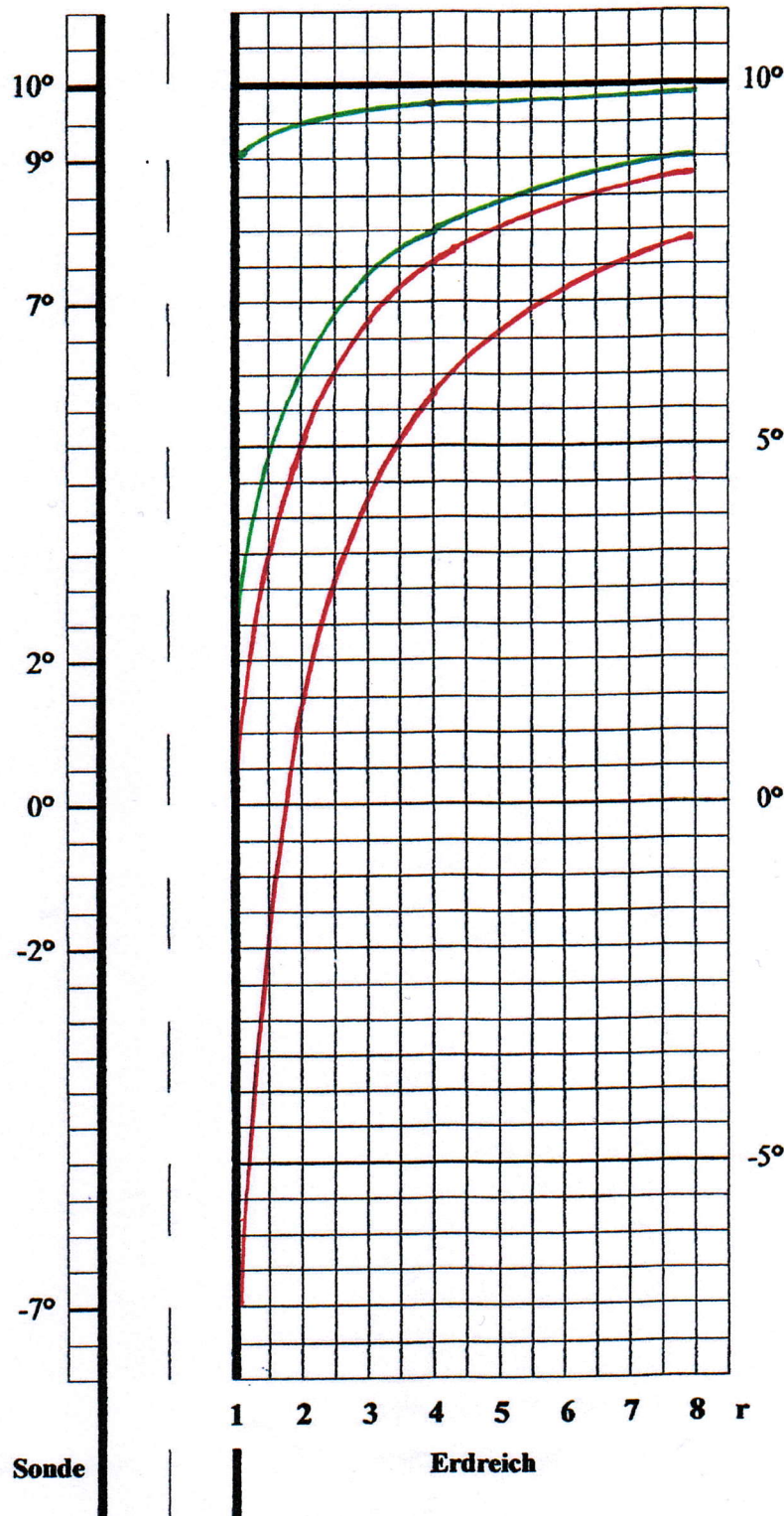
1. Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme
2. Einfluss der Übertragung von Wärme auf die Erdreichtemperaturen im Nahbereich der Erdsonde (Tabelle)
3. Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde (Grafik)
4. Temperaturverteilung im Erdreich im Umkreis der Sonde (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	$\Delta T_o$	$\Delta T_u$
	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	$\Delta T_o$	$\Delta T_u$
	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	$\Delta T_o$	$\Delta T_r$	T (°C)	$\Delta T_u$	$\Delta T_r$	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

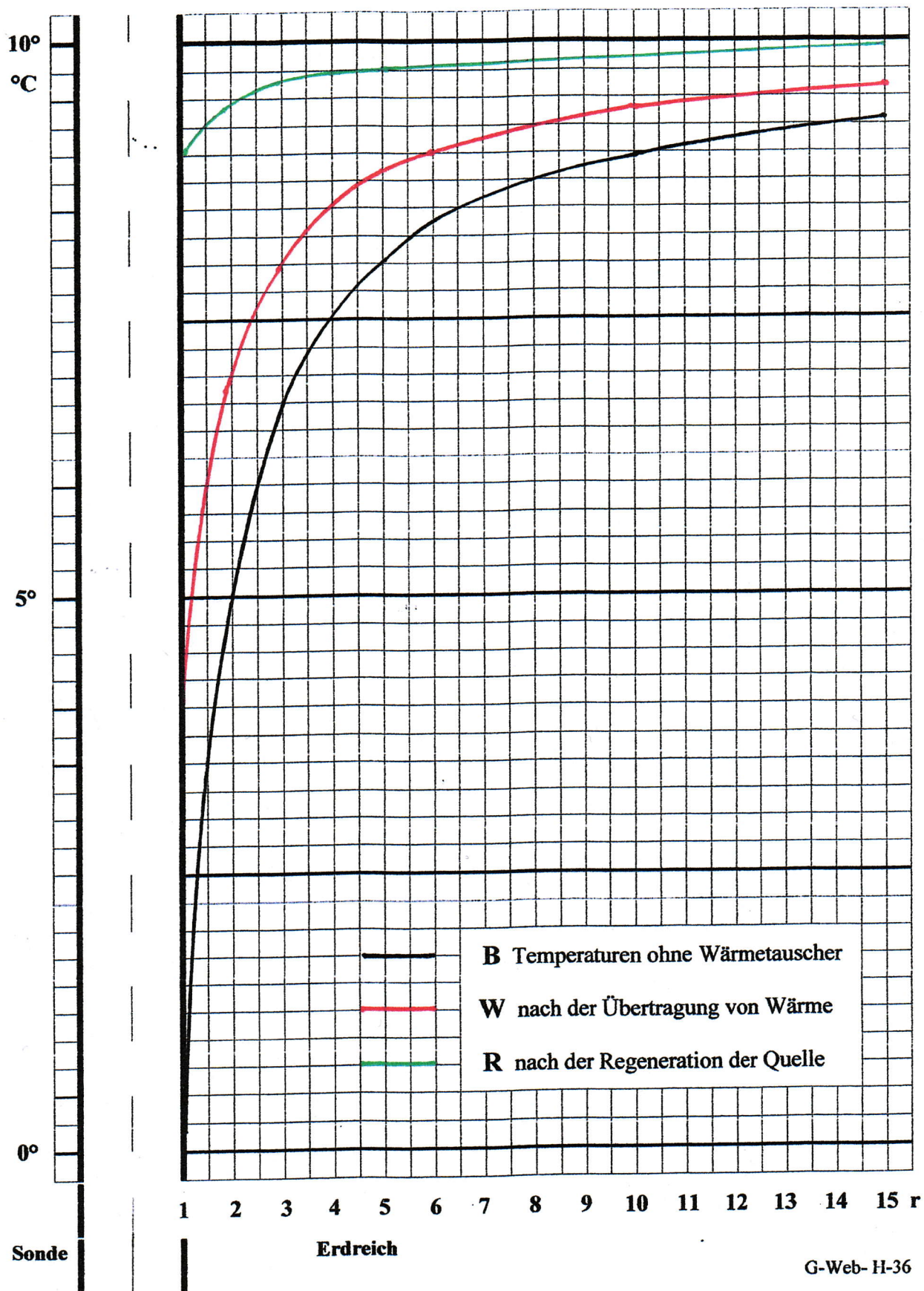
**Anlage ohne Wärmetauscher gemäß dem Stand der Technik**

r	$\Delta T_o$	$\Delta T_r$	T (°C)	$\Delta T_u$	$\Delta T_r$	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  $\Delta T_o$  und bei der unteren Temperatur  $\Delta T_u$

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

Abstand zur Sonde <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	
	$\Delta T_o$ °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
<u>1</u>	<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>
<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>	<b>0,70</b>	<u>27</u>	<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			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	<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			0,316	0,684		
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						
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 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

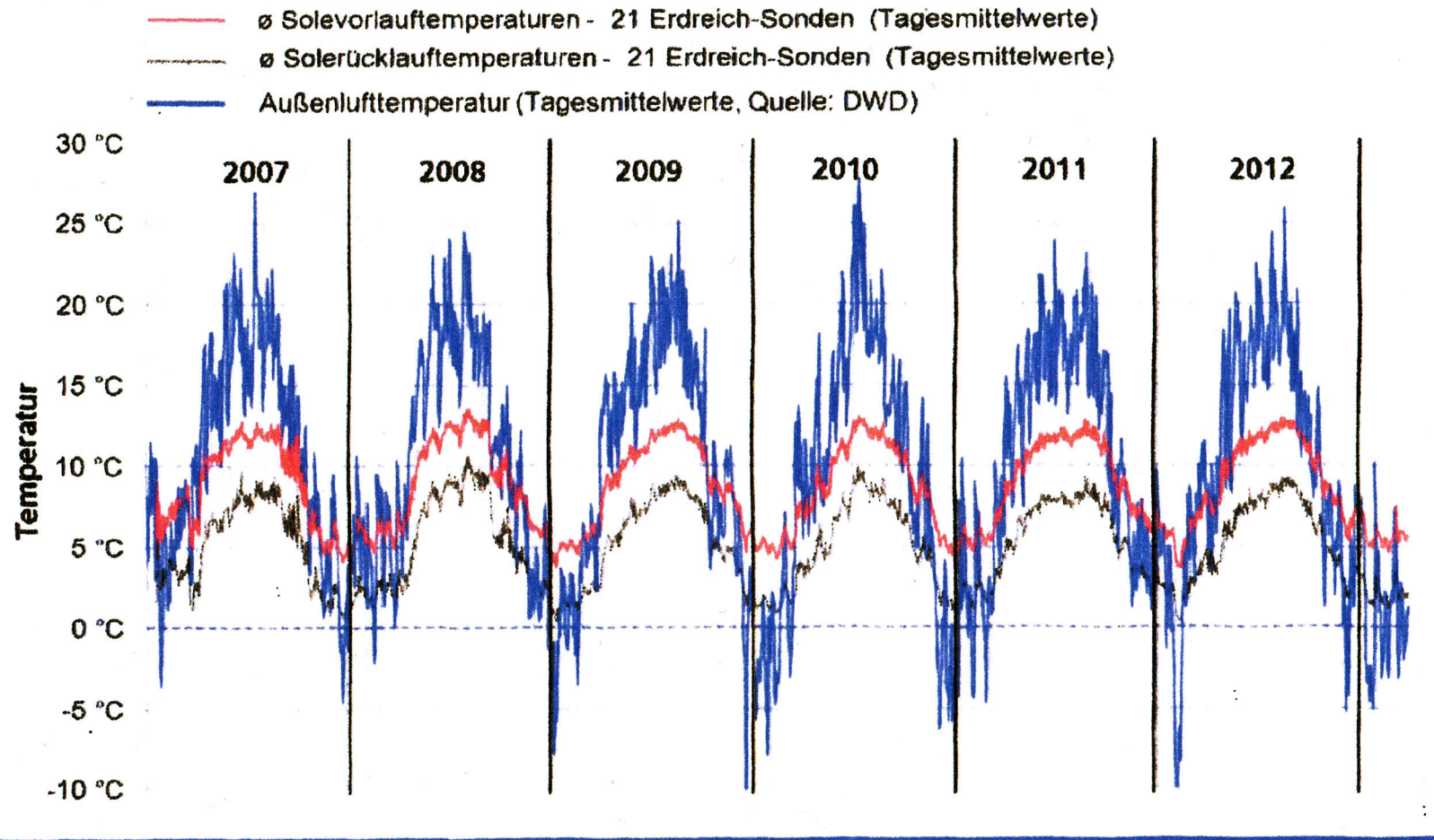
W = Übertragung von Wärme vom Heizkreis in den Quellenkreis

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><math>P_{el} = 2,077\text{ kW}</math></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><math>P_{EW} = 7,923\text{ kW}</math></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	<b><u>Bezugswerte</u></b> für die Veränderungen zur elektrischen Leistung und zum Anteil der Erdwärme
3,517	$\varepsilon = 3,682$	3,864	4,065	4,288	4,536	4,815	
2,843 kW + 36,9 %	$P_{el} = 2,716\text{ kW}$ + 30,8 % gg. Bezugswert	2,588 kW + 24,6 %	2,460 kW + 18,4 %	2,332 kW + 11,2 %	2,204 kW + 6,1 %	2,077 kW	
7,157 kW - 9,7 %	$P_{EW} = 7,284\text{ kW}$ - 8,0 % gg. Bezugswert	7,412 kW - 6,4 %	7,540 kW - 4,8 %	7,668 kW - 3,2 %	7,796 kW - 1,6 %	7,923 kW	

**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><math>P_{el} = 2,054\text{ kW}</math></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><math>P_{EW} = 7,986\text{ kW}</math></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 + 37,6 %	$P_{el} = 2,689\text{ kW}$ + 30,9 % gg. Bezugswert	2,561 kW + 25,1 %	2,440 kW + 18,8 %	2,312 kW + 12,6 %	2,183 kW + 6,3 %	2,054 kW	
7,213 kW - 9,6 %	$P_{EW} = 7,351\text{ kW}$ - 7,9 % gg. Bezugswert	7,471 kW - 6,4 %	7,600 kW - 4,8 %	7,728 kW - 3,2 %	7,857 kW - 1,6 %	7,986 kW	

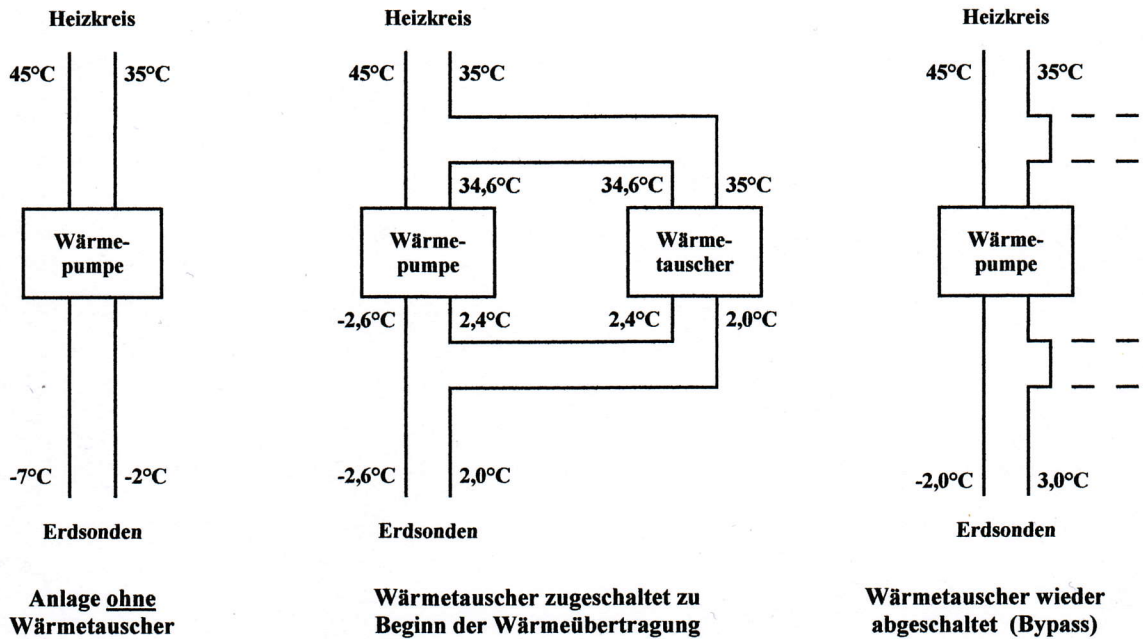
**Anlage 6 Einfluss der Quellentemperatur bei einer Radiatorenheizungsanlage ohne bzw. mit zugeschaltetem Wärmetauscher auf die Anteile der elektrischen Leistung und der Erdwärme**



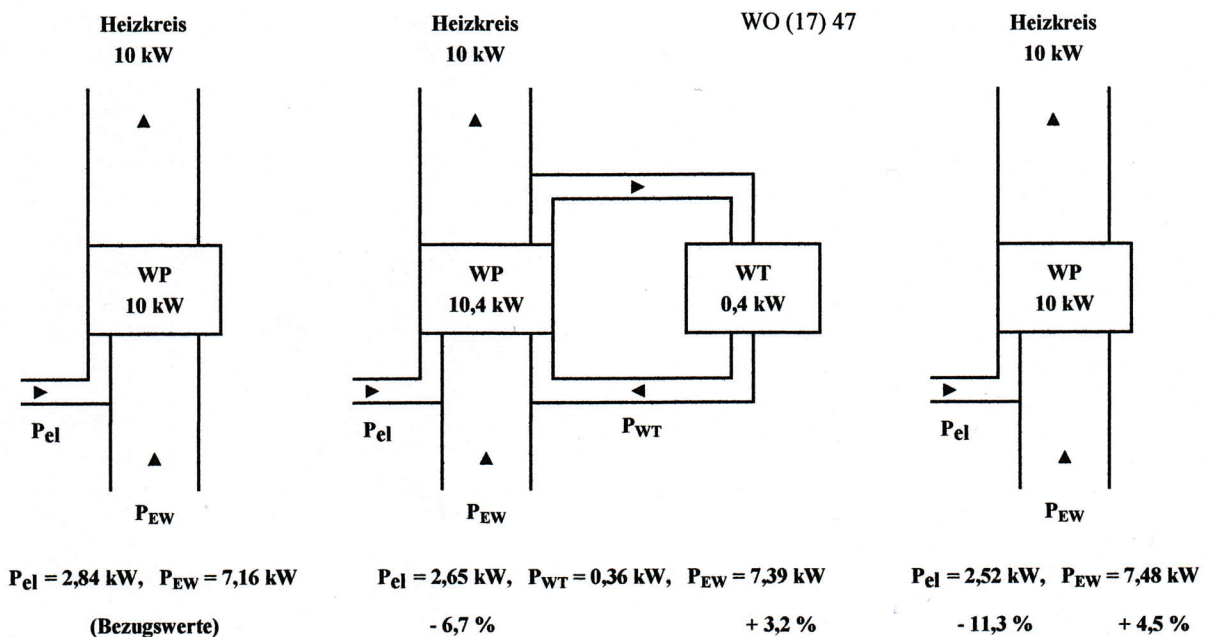
Diese kurze Übersicht soll das Prinzip der Wärmeübertragung aus dem Heizkreis der Wärmepumpe auf deren Solekreis veranschaulichen.

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  $-2^{\circ}\text{C}$  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), Soletemperatures (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**



## Teil 5 - Die Quellen für die Zuführung der erforderlichen Energie

Für Verfahren und Regeneration ist und bleibt die Hauptquelle für die an einen Heizkreis zu liefernde Wärme die im Erdreich gespeicherte Sonnenwärme, dieser Anteil erhöht sich sogar noch etwas. Weitere Quellen basieren auf in Wärme umgewandelter elektrischer Energie sowie auch auf der Verwertung betriebsbedingt anfallender Wärme, die bisher nicht genutzt werden kann.

Für die Umsetzung des Verfahrens ist lediglich die in Teil 3 beschriebene multifunktionale Baugruppe erforderlich, bestehend aus dem an die jeweilige Wärmepumpe leistungsmäßig anzupassenden Wärmetauschersystem und einem Regelsystem mit einem ausgefeilten Optimierungsprogramm, um dem bei trockenem Erdreich unvermeidbaren Rückgang der Quellentemperatur im Laufe der Heizperiode entgegenzuwirken.

Im Normalbetrieb der Anlage ändert sich nichts gegenüber dem bisherigen Verfahren, der Wärmetauscher ist außer Betrieb (Bypass). Veränderungen ergeben sich erst dann, wenn dem Quellenkreis der Wärmepumpenanlage von Zeit zu Zeit etwas Wärme zugeführt und der Rückgang der Quellentemperatur begrenzt wird.

Für die Übertragung von Wärme gibt es mehrere Möglichkeiten, und zwar

- vor allem durch eine kurzzeitige begrenzte Entnahme von Wärme aus dem Heizkreis der Wärmepumpe, was eine etwas höhere Leistung der Wärmepumpe bedingt (die über den Wärmetauscher entnommene Wärme geht aber nicht verloren, sie wird dem System wieder zugeführt),
- zusätzlich durch eine Nutzung der beim Anlauf der Wärmepumpe oft 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 sonst ungenutzten 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.

Wie in Teil 2 bereits gezeigt wurde ist das Verfahren dann besonders effizient, wenn dem Heizkreis der Wärmepumpe nur sehr wenig Wärme entnommen wird. Bereits während der Übertragung kann dies zu einem geringeren Stromverbrauch gegenüber einer Anlage gemäß dem Stand der Technik mit niedrigerer Solevorlauftemperatur führen (siehe die als Anlage 2 beigefügte Tabelle).

Bei den genannten weiteren Quellen geht es um Einsparungen an Energie, die erst durch die multifunktionale Baugruppe möglich werden, bei der üblichen

Betriebsweise von Wärmepumpenanlagen bisher 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°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 Heizung bzw. Brauchwasserspeicher vom Heizkreis getrennt werden und die Wärme über den Wärmetauscher dem Quellenkreis zugeführt wird. Dafür wird nur die multifunktionale Baugruppe genutzt, somit entsteht kein zusätzlicher Aufwand.

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

Von der bisher betrachteten Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis in den Quellenkreis zu unterscheiden ist die Umwandlung von Strom in Wärme mittels der elektrischen Zusatzheizung der Wärmepumpe, also die Zuführung von elektrischer Energie aus externen Quellen.

---

\* Ein schnelleres Hochfahren der Anlage nach dem Start wäre von Vorteil, das weitere schnelle Ansteigen der Heizkreisvorlauftemperatur über 58°C aber nicht.

Die sehr effiziente Speicherung dieser Wärme in der Erdsondenanlage sowie im Erdreich im Nahbereich der Sonde führt zu deutlich höheren Quellentemperaturen und damit bereits während der Heizperiode zu einer nachhaltigen Regeneration der Wärmequelle, da hierfür mehr elektrische Energie, vorzugsweise als zeitweise überschüssiger EE-Strom aus Windkraftanlagen zu sehr günstigen Bezugspreisen, eingesetzt werden kann.

Die beiden sich gegenseitig ergänzenden Ansätze führen so zu einer nachhaltigen Steigerung der Effizienz von erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen, die zur Verfügung stehende Energie wird besser genutzt.

Durch ein Regelsystem mit einem ausgeklügelten Optimierungsprogramm, das sowohl über die Sektorkopplung der Systeme die bestmöglichen Bezugsbedingungen für Strom ermitteln wie auch die für den Wärmefluss und die Wärmespeicherung jeweils günstigsten Erdreichtemperaturen berechnen kann, dürften sich weitere Effizienzsteigerungen für Wärmepumpenanlagen erreichen lassen.

Anlagen:

1. Schematische Darstellung des Systems ohne und mit Wärmetauscher
2. Einfluss der Quellentemperatur auf elektrische Leistung und Erdwärme
3. Beschreibung der thermodynamischen und geothermischen Vorgänge
4. Beispiele für eine kurzzeitige Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis
5. Einrichtung zur Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis
6. Einrichtung zur Umwandlung von Strom in Wärme
7. Bezugszeichenliste zu Anlage 5 und 6
8. Temperaturverteilung im Erdreich im Nahbereich der Erdsonde
9. Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme
10. Excel-Systemvergleich für Solevorlauftemperaturen von  $-2^{\circ}\text{C}$  und  $+2^{\circ}\text{C}$  durch Übertragung von Wärme aus dem Heizkreis
11. Excel-Systemvergleich für eine Solevorlauftemperatur von  $+12^{\circ}\text{C}$  nach einer Regeneration der Wärmequelle durch Umwandlung von Strom in Wärme
12. Beispiel für die Erwärmung von Brauchwasser

30.9.2019 Teil 1 bis 3

24.3.2021 Teil 4 und 5



WO (26) 1-18

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

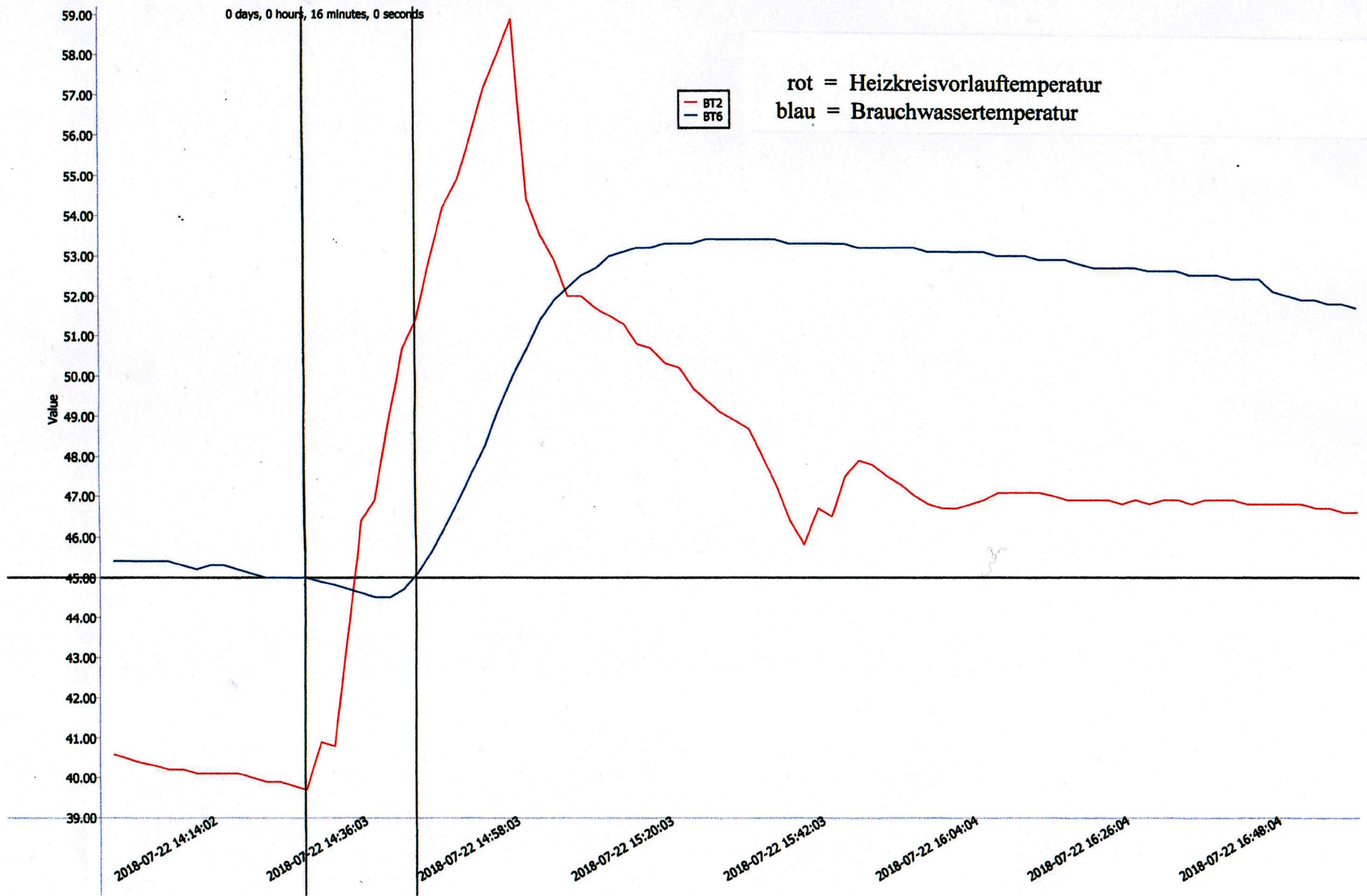
- 2 / -7 °C	Quelle 0 / -5 °C	2 / -3 °C	4 / -1 °C	6 / 1 °C	8 / 3 °C	10 / 5 °C	12 / 7 °C	14 / 9 °C
313 K	$T_0 = 40 \text{ °C} = 313 \text{ K}$	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K	313 K
- 4,5 °C	$T_u = - 2,5 \text{ °C} = 270,5 \text{ K}$	- 0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	9,5 °C	11,5 °C
44,5 K	$\Delta T = 42,5 \text{ K}$	40,5 K	38,5 K	36,5 K	34,5 K	32,5 K	30,5 K	28,5 K
3,517	$\varepsilon = 3,682$	3,864	4,065	4,288	4,536	4,815	5,131	5,491
<b><u>2,843 kW</u></b>	$P_{el} = 2,716 \text{ kW}$	2,588 kW	2,460 kW	2,332 kW	2,204 kW	2,077 kW	1,949 kW	1,821 kW
	- 4,5 % gg. Bezugswert	- 9,0 %	- 13,5 %	- 18,0 %	- 22,5 %	- 26,9 %	- 31,4 %	- 35,9 %
<b><u>7,157 kW</u></b>	$P_{EW} = 7,284 \text{ kW}$	7,412 kW	7,540 kW	7,668 kW	7,796 kW	7,923 kW	8,051 kW	8,179 kW
	+ 1,8 % gg. Bezugswert	+ 3,6 %	+ 5,3 %	+ 7,1 %	+ 8,9 %	+ 10,7 %	+ 12,5 %	+ 14,3 %



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

<b><u>Bezugswerte</u></b>	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	Diese Werte ergeben sich nach einer zwischenzeitlichen <b>Regeneration der Quelle</b> (power-to-heat)
für alle folgenden Angaben zur elektrischen Leistung und zum Anteil der Erdwärme	$T_0 = 39,8 \text{ °C} = 312,8 \text{ K}$	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	312,8 K	
	$T_u = - 2,1 \text{ °C} = 270,9 \text{ K}$	- 0,1 °C	1,9 °C	3,9 °C	5,9 °C	7,9 °C	
	$\Delta T = 41,9 \text{ K}$	39,9 K	37,9 K	35,9 K	33,9 K	31,9 K	
	$\varepsilon = 3,733$	3,920	4,127	4,356	4,613	4,903	
	$P_{el} = 2,786 \text{ kW}$	2,653 kW	2,520 kW	2,387 kW	2,254 kW	2,121 kW	
	- 2,0 % gg. Bezugswert	- 6,7 %	- 11,4 %	- 16,0 %	- 20,7 %	- 25,4 %	
	$P_{EW} = 7,254 \text{ kW}$	7,387 kW	7,520 kW	7,653 kW	7,786 kW	7,919 kW	
	+ 1,4 % gg. Bezugswert	+ 3,2 %	+ 5,1 %	+ 6,9 %	+ 8,8 %	+ 10,6 %	

**Anlage 2 Einfluss der Quelltemperatur bei einer Anlage ohne bzw. mit zugeschaltetem Wärmetauscher auf die Anteile der elektrischen Leistung und der Erdwärme**



Anlage 12 Beispiel für die Erwärmung von Brauchwasser