

Kontaktstudium Erneuerbare Energien

Leseprobe aus den Kapiteln

"Ressourcen" und
"Technische Umsetzung"



Die Angebote der wissenschaftlichen Weiterbildung werden im Rahmen von KIC InnoEnergy entwickelt,
gefördert vom European Institute of Innovation & Technology (eit).

Autoren

Ressource Solarenergie

Dipl.-Ing. Dr. rer. nat. Aurelian Florin Badea

Aurelian F. Badea promovierte, nach seinem Diplomabschluss in Technischer Physik (1995) und seinem Masterabschluss in Angewandter Kernphysik (1996), im Jahr 2001 mit summa cum laude im Fachgebiet Physik an der Universität Bukarest. Seit 2005 ist er als Dozent am Karlsruher Institut für Technologie – KIT tätig und hält dort Vorlesungen über Energietechnik. Badea ist Autor und Co-Autor von über 100 Zeitschriftenartikeln und referiert Publikationen in internationalen Konferenzen.

Technische Umsetzung: Erdwärme

Dr. rer. nat. Roman Zorn

Nach Abschluss des Studiums der Geologie an der früheren technischen Universität Karlsruhe (TH) und mehreren Berufsjahren im IT-Sektor begann Dr. Roman Zorn 2002 eine Promotion im Themenbereich einer innovativen Bodensanierungstechnologie (heutige Angewandte Geowissenschaften (AGW) des Karlsruher Instituts für Technologie, KIT), die Dr. Roman Zorn mit Auszeichnung bestanden hat. Seit 2006 ist Roman Zorn wissenschaftlicher Angestellter beim Europäischen Institut für Energieforschung. (EIFER) und gleichzeitig Direktor des gemeinsamen GEO-LAB's vom EIFER/AGW. Roman Zorn kann auf über zehnjährige Erfahrung in angewandter Forschung in der oberflächennahen und der tiefen Geothermie zurückgreifen. Zahlreiche angewandte Forschungsprojekte wurden von ihm selbst initiiert, durchgeführt und geleitet. Er war und ist häufiger Projektpartner in Verbundvorhaben (aktuell das neueste Projekt ist das EWS-tech, welches sich mit der Qualitätssicherung von Erdwärmesonden beschäftigt, <http://www.fachdokumente.lubw-baden-wuerttemberg.de/servlet/is/108420/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=203&OBJECT=108420&MODE=METADATA>). Roman Zorn ist aktiv in der Lehre (KIT, Schwerpunkt Geothermie), hat zahlreiche nationale und internationale Publikationen und ist unter anderem auch Mitherausgeber der Zeitschrift GTES (Geothermal Energy Science, http://www.geothermal-energy-science.net/general_information/editorial_board.html).

Impressum

Leseprobe aus den Kapiteln "Ressourcen" und "Technische Umsetzung"

© Karlsruher Institut für Technologie – Fernstudienzentrum , alle Rechte vorbehalten

Karl-Friedrich-Str. 17 • 76133 Karlsruhe • Tel. 0721/608-48200, Fax 608-48210

1. Auflage 2013 (20130812.1)

Satz und fernstudiendidaktische Überarbeitung: Team des FSZ

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellen	4
1 Ressourcen	5
1.1 Solarenergie	5
1.1.1 Die Sonne als Energiequelle - Blickwinkel der Sonne	5
2 Technische Umsetzung - Erdwärme	9
2.1 Betriebsweisen	9
Stichwortverzeichnis	14

- Leseprobe -

'Leseprobe'

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Blickwinkel der Sonne.....	7
Abb. 2:	Betriebsweisen einer Wärmepumpe.....	9
Abb. 3:	Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Vorlauftemperatur des Heizsystems.....	12
Abb. 4:	Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Wärmequellentemperatur.....	13

- Leseprobe -

Tabellen

Tab. 1: Daten über den Fusionsreaktor Sonne 6

'Leseprobe'

1 Ressourcen

1.1 Solarenergie

Unabhängig davon ob die solare Strahlung als thermische Energie genutzt oder elektrischer Strom erzeugt wird, ist die primäre Energiequelle die Sonne.

1.1.1 Die Sonne als Energiequelle - Blickwinkel der Sonne

Die Sonne ist eine Gaskugel mit einem Durchmesser von 1,39 Mio. km. Die Masse der Sonne ist ca. 2×10^{30} kg, das ist etwa das 330 000fache der Erdmasse. Das Alter unserer Sonne wird auf ca. 5 Milliarden Jahre geschätzt.

Im inneren Kern der Sonne findet Fusion von Wasserstoffkernen zu Helium statt. In dieser Zeit (d.h. 5 Milliarden Jahre) hat die Wasserstoffkonzentration (ursprünglich ca. 100 %) auf ca. 92 % abgenommen und die Heliumhäufigkeit ca. 8 % erreicht. Der Wasserstoffvorrat reicht jedoch aus, dass die jetzige Leistung noch über 10 Milliarden Jahre abgegeben werden kann.

Die Sonne strahlt mit ca. 4×10^{26} W in den Raum, von denen 2×10^{17} W die Erde treffen, von den natürlichen Energiearten auf der Erde ist sie die bei weitem bedeutendste. An nächster Stelle liegt die Wärme aus dem Erdinneren mit 32×10^9 kW und die Energie der Gezeiten, die aus der Rotationsenergie der Erde resultiert, mit 3×10^9 kW. In Prozent ausgedrückt, sieht das so aus:

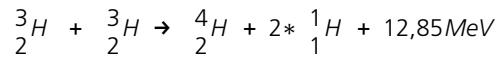
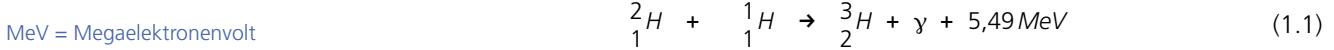
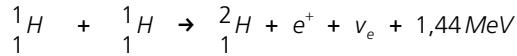
■ Sonnenenergie:	99,980 %
■ Erdwärme:	0,018 %
■ Gezeitenenergie:	0,002 %

Zum Vergleich: Der Energieverbrauch weltweit beträgt derzeit ca. 10^{13} W.

Die Sonne hat in ihrem Inneren eine Temperatur von ca. 10^7 K und eine Dichte von ca. 100 g/cm^3 . Die mittlere thermische Energie der Teilchen beträgt dann 1 bis 10 keV (bei einer Dichte von 10^5 kg/m^3). Damit sind die Bedingungen für den Ablauf der Fusionsprozesse gegeben. 90% der Energie werden im Zentrum bis etwa $0,3 R_s$, mit R_s dem Sonnenradius, erzeugt.

R_s = Sonnenradius

Die Sonne schöpft ihre Energie aus einer Kette von Fusionsprozessen:



${}_1^1H$ =Wasserstoff(Protium); ${}_1^2H$ =Schwerer Wasserstoff(Deuterium);

${}_2^3H$ =Helium-3; ${}_2^4H$ =Helium-4; γ =Gammastrahlung;

ν_e =Elektron-Neutrino; $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

Alle Prozesse zusammen verbinden im Gesamteffekt Wasserstoff zu Helium-4:



Fusionsreaktor Sonne

Daten über den Fusionsreaktor Sonne	
Alter:	ca. 4,6 Milliarden Jahre
Sonnenradius R_{Sonne}:	$6,96 \cdot 10^5 \text{ km}$
Masse	$2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Stoffe	92,1% H_2 7,8% He 0,1% andere Elemente
Kerntemperatur:	ca. 10^7 K
Strahlungsdichte an der Sonnenoberfläche i_s:	$63,11 \text{ MW/m}^2$
Strahlungsleistung der Sonne P_s:	$3,84 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Massendefekt Δm:	$4,27 \cdot 10^9 \text{ kg/s}$
(Einstein'sches Energie-Masse-Äquivalenz-Theorem: $P_s = \Delta m c^2$; c=Lichtgeschwindigkeit im Vakuum: 300 000 km/s	

Tabelle 1: Daten über den Fusionsreaktor Sonne

Jede Sekunde wandelt die Sonne etwa 4 Mio. t in Energie um. Die dabei freiwerdende Energie wird aus dem Kern der Sonne durch Wärmeleitung und Konvektion an die äußeren Schichten transportiert und von der Oberfläche abgestrahlt.

Durch die Absorption in den äußeren Schichten der Sonne nimmt die Leuchtkraft von der Mitte der Sonnenscheibe nach außen um das etwa 2,5-fache ab. Wegen der Unempfindlichkeit des Auges gegenüber Helligkeitsunterschieden lässt sich dies nicht unmittelbar feststellen. Für die meisten terrestrischen Anwendungsfälle gilt, dass die Annahme einer gleichmäßigen Strahlungsdichte über der gesamten Sonnenscheibe genügt.

Leuchtkraft der Sonne

Die Erde mit einem Durchmesser von 12 700 km umkreist die Sonne auf einer elliptischen Bahn in einer mittleren Entfernung von 150 Mio. km. Aus den geometrischen Beziehungen Sonnen-durchmesser und Abstand zur Erde resultiert, dass die Sonne auf der Erde unter einem Winkel von 32' (ca. 0.53 °) gesehen wird (Abb. 1).

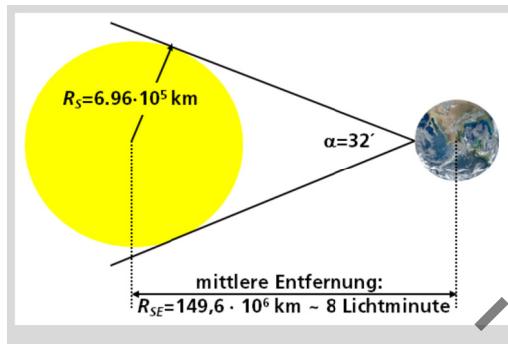


Abbildung 1: Blickwinkel der Sonne

Einfache Trigonometrie:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R_{\text{Sonne}}}{R_{SE}} \Rightarrow \alpha = 32' \quad (1.3)$$

'Leseprobe'

2 Technische Umsetzung - Erdwärme

2.1 Betriebsweisen

Wärmepumpen können in der Regel auf verschiedene Art betrieben werden (Abb. 2).

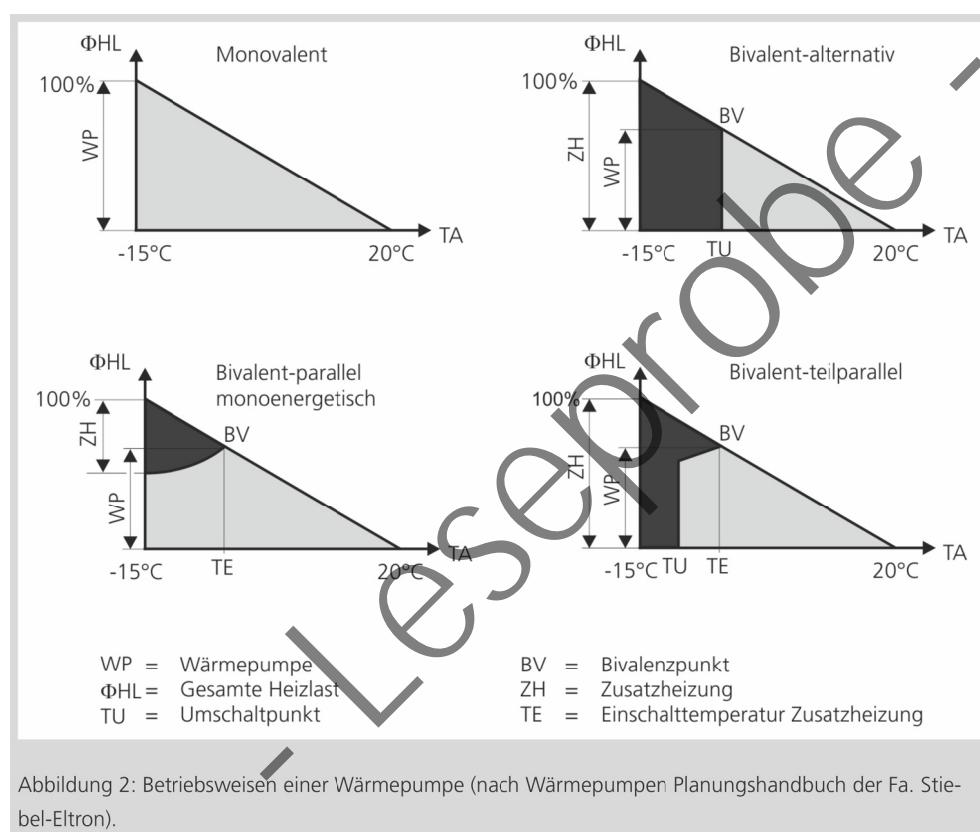


Abbildung 2: Betriebsweisen einer Wärmepumpe (nach Wärmepumpen Planungshandbuch der Fa. Stiebel-Eltron).

■ Monovalent:

Dabei handelt sich um eine hundertprozentige Deckung des Wärmebedarfs eines Gebäudes durch die Wärmepumpenanlage.

Monoenergetisch: Je nach Auslegungs- bzw. Abdeckungsgrad des Wärmebedarfs wird die Spitze über einen elektrischen Heizstab ergänzt. Die Wärmepumpe deckt i. d. R. als Grundlastsystem einen Großteil des Wärmebedarfs ab. Das Heizsystem wird somit durch zwei parallel arbeitende Wärmeerzeuger versorgt, die beide die gleiche Energieart Strom verwenden.

■ Bivalent:

Die Wärmepumpe arbeitet zusammen mit einem zweiten Wärmeerzeuger um die Deckung des Wärmebedarfs sicherzustellen. Die Wärmepumpe wird dabei für die Grundlastdeckung eingesetzt und ein Spitzenlastkessel (zum Beispiel Gas- oder Öl kessel) deckt den Rest ab. Es lassen sich dabei drei bivalente Betriebsweisen unterscheiden.

■ Bivalent-alternativ:

Die Wärmepumpe liefert bis zu einer festgelegten Außentemperatur (z.B. 0 °C) die gesamte Heizwärme. Sinkt die Temperatur unter diesen Wert, schaltet sich die Wärmepumpe ab und der zweite Wärmeerzeuger übernimmt die volle Heizlast. Entweder arbeitet die Wärmepumpe oder der Spitzenlastkessel.

■ Bivalent-parallel:

Die Wärmepumpe arbeitet während der gesamten Heizperiode. Reicht ihre Leistung alleine nicht mehr aus, so wird der Spitzenlastkessel zugeschaltet. Das bedeutet, bis zu einer bestimmten Außentemperatur erzeugt die Wärmepumpe alleine die notwendige Wärme. Bei niedrigen Außentemperaturen schaltet sich der zweite Wärmeerzeuger zu. Beide Wärmeerzeuger arbeiten parallel. Im Gegensatz zum bivalent-alternativen Betrieb ist der Anteil der Wärmepumpe an der Jahres-Heizwärme höher. Diese Betriebsweise ist speziell für Vorlauftemperaturen kleiner als 55 °C geeignet.

■ Bivalent-teilparallel:

Bis zu einer vorgegebenen Außentemperatur erzeugt die Wärmepumpe alleine die notwendige Wärme. Sinkt die Temperatur unter diesen Wert, schaltet sich der zweite Wärmeerzeuger dazu. Reicht die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe nicht mehr aus, wird die Wärmepumpe abgeschaltet. Der zweite Wärmeerzeuger übernimmt die volle Heizlast.

Die Betriebsweise der Wärmepumpenanlage ist auch von Bedeutung für die Auslegung der Erdwärmesondenanlage. Bei monoenergetischer oder bivalenter Betriebsweise steigen die jährlichen Betriebsstunden der Wärmepumpe. Daher muss die erhöhte Belastung bei der Dimensionierung der Wärmequelle entsprechend berücksichtigt werden.

Wirkungsgrad

In der Regel bezeichnet der Wirkungsgrad bei einem konventionellen Heizungssystem das Verhältnis von aufgewandter Energie zu der gewonnenen Nutzenergie. Verlaufen die verschiedenen Zustandsänderungen ideal, dann erhält man einen Wirkungsgrad von 1 (Carnot Prozess). Tatsächliche technische Prozesse haben jedoch immer Verluste, d. h. einen Wirkungsgrad kleiner als 1.

Bei der Wärmepumpe ist die gewonnene Nutzenergie die von der Wärmepumpe gelieferte Wärme. Die aufgewendete Energie ist die zugeführte elektrische Energie für den Antrieb des Verdichters/Kompressors. Rechnet man den Wirkungsgrad einer Wärmepumpe aus, erhält man einen Wert größer als 1. Dieser erklärt sich dadurch, dass zusätzlich Wärme aus der Wärmequelle vom Verdampfer aufgenommen wird. Diese Energiemenge wird bei der Berechnung des Wirkungsgrades nicht miteinbezogen, da die aufgewendete Energie der Umwelt entzogen und somit kostenlos geliefert wird. Deshalb wurde für die Wärmepumpen die so genannte Leistungszahl ϵ eingeführt.

Die Leistungszahl ϵ gibt das Verhältnis zwischen der Wärmeleistung (kW), die an das Heiznetz abgegeben werden kann und der aufgenommenen elektrischen Leistung der Wärmepumpe (kW) an. Die Leistungszahl wird für einen bestimmten Betriebspunkt z. B. 0/35 oder 0/50 angeben, sie ändert sich permanent je nach Wärmequellen- und Heizungsvorlauftemperatur. Die Leistungszahl lässt die Leistung elektrischer Hilfsaggregate, wie die der Heizungsumwälzungspumpen, oder die einer Grundwasser-Förderpumpe, die nicht unmittelbar zum Wärmepumpen-Prozess gehören, unberücksichtigt.

Elektro-Wärmepumpen erzielen je nach Wärmequelle Leistungszahlen zwischen 3,5 und 5,5. Das bedeutet pro 1 kWh Strom werden 3,5 bis 5,5 kWh Heizwärme erzeugt. Die Leistungszahl ist umso höher, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen der Heizwasservorlauftemperatur und der Wärmequellentemperatur ist.

COP-Wert:

COP steht für „Coefficient of Performance“. Der COP-Wert bezeichnet die Effizienz der Wärmepumpe an einem bestimmten Arbeitspunkt unter vorgegebenen Betriebsbedingungen

$$\text{COP} = \frac{(Q_{wp})}{P_{el}} \quad (2.1)$$

Q_{wp} (kW) bezeichnet die abgegebene Wärmeleistung und P_{el} (kW) die elektrische Leistungsaufnahme nach DIN EN 255. Der COP-Wert gibt somit auch die Leistungen von Hilfsaggregaten, z.B. für die anteilige Pumpenleistung für Heizungs-, Sole- und Grundwasser-Förderpumpen wieder. Der COP ist eine Momentaufnahme eines bestimmten Wärmepumpentyps bei vorgegebenen Betriebsbedingungen (Betriebspunkt (S0/W35), und damit ein Gütekriterium und Vergleichswert für Wärmepumpen. Leistungszahl und COP-Wert erlauben allerdings keine energetische Bewertung der Gesamtanlage, wesentlich aussagefähiger ist dafür die Jahresarbeitszahl.

Eine COP von 4 bedeutet: Im Verdampfer entzieht die Wärmepumpe der Umgebung Wärme (75 %) und gibt diese plus der Antriebsenergie (25 %) in Form von Wärme an den Heiz- und Warmwasserkreislauf ab.

$$\text{Umweltwärme } \frac{3}{4} + \text{Endenergiestrom } \frac{1}{4} = 1 \text{ mal Nutzwärme}$$

Eine Leistungszahl von 4 bedeutet also, dass das 4-fache der eingesetzten elektrischen Leistung in nutzbare Wärmeleistung umgewandelt wird. Daher gilt: Je höher die Leistungszahl, umso besser die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpenanlagen.

Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl gibt das Verhältnis des Jahresertrages an Heizenergie (kWh/a) zur aufgewendeten Antriebs- und Hilfsenergie (kWh/a) wider. Die Effizienz der gesamten Anlage über ein Jahr wird durch das Verhältnis aus Nutzwärme W_{Nutz} und zugeführte elektrische Energie W_{el} beschrieben. Diese beinhaltet neben der Antriebsenergie auch die Hilfsenergie wie z.B. die der Heizungs- bzw. Soleumwälzpumpen oder auch die Antriebsenergie einer Grundwasser- Förderpumpe.

Die Jahresarbeitszahl, kurz: JAZ, berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{JAZ} = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{el}}} \quad (2.2)$$

Die wichtigere Wärmepumpen-Kennzahl für den Wirkungsgrad ist somit die Jahresarbeitszahl, welche zur energetischen Bewertung der Gesamtanlage dient.

Im englischen Sprachgebrauch wird die JAZ als SPF (Seasonal Performance Factor) bezeichnet.

Einflussgrößen

Die Leistungs- und Jahresarbeitszahl werden beeinflusst durch die Wahl der Wärmequelle und des Wärmeverteilungssystems.

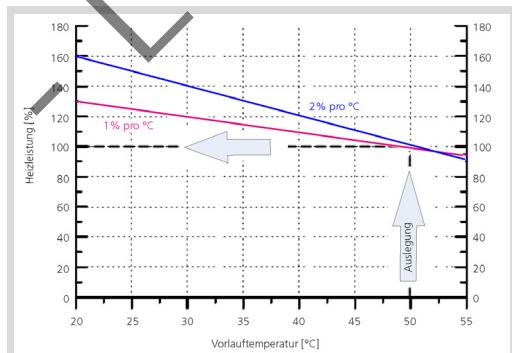


Abbildung 3: Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Vorlauftemperatur des Heizsystems (nach WBW02).

Ziel ist, eine möglichst niedrige Vorlauftemperatur für die Heizung und eine möglichst hohe Quellentemperatur zu haben, d.h. den Temperaturhub der Wärmepumpe zu minimieren. Wie sich diese beiden Größen detailliert auf die Heizleistung der Wärmepumpe auswirken, ist Abb. 3 und Abb. 4 zu entnehmen (Typische Vor- und Rücklauftemperaturen von Raumklimaanlagen und Heiz-/ Kühlsystemen sind in den Diagrammen dargestellt).

Den Ablauf des Carnot Prozesses kann man sich so vorstellen, dass ein Fluid wechselweise mit einem Wärmereservoir von konstant hoher Temperatur (zur Aufnahme von Wärme) und einem Wärmereservoir mit konstant niedrigerer Temperatur (zur Abgabe von Wärme) in Kontakt steht, wobei es wechselweise durch Aufbringen mechanischer Arbeit verdichtet wird und unter Abgabe von mechanischer Arbeit wieder expandiert. Die Differenz zwischen aufgenommener und abgegebener Wärme entspricht im reversiblen Fall der vom Kreisprozess im T-s-Diagramm eingeschlossenen Fläche. Sie ist genau gleich der insgesamt gewonnenen mechanischen Arbeit.

Carnot Prozess

Das Gas erreicht nach vollständigem Durchlauf des Prozesses wieder den Ausgangszustand, d.h. alle Zustandsgrößen, wie Temperatur T , Druck p , Volumen V und innere Energie U sind damit wieder so groß wie zu Beginn des Prozesses. Der Prozess ist als ideale Wärmekraftmaschine (rechtsdrehend im T-s-Diagramm), ideale Wärmepumpe oder Kältemaschine (linksdrehend) denkbar, wobei die im Wärmekraft-Prozess gewonnene technische Arbeit im Wärmepumpen-Prozess verlustfrei eingesetzt werden kann, um die beim Wärmekraft-Prozess an das kalte Wärmereservoir (Umgebung) abgegebene Wärme – zusammen mit der in Wärme umgewandelten Antriebsarbeit der Wärmepumpe (Rechteckfläche) – in das heiße Wärmereservoir wieder „hochzupumpen“. Aufgrund dieser Umkehrbarkeit wird der Prozess als reversibel bezeichnet. Der Prozess wäre mit einer periodisch arbeitenden Maschinenanlage nur unter besonders hohem Aufwand und auch nur angenähert realisierbar. Bezuglich eines Prozesses mit Gasen: Es gibt keine Verdichter und keine Expansionsmaschinen, die in einem Arbeitsgang auch die Wärmeübertragung ermöglichen, sodass die Temperatur dabei konstant bleibt. Bezuglich des Prozesses mit Nassdampf: Es gibt zwar Nassdampfturbinen, aber keine Verdichter, die Nassdampf zu Flüssigkeit komprimieren. Außerdem treten in allen Maschinen und bei allen Strömungsvorgängen Reibungsverluste auf.

Der Carnot Prozess besteht aus zwei isothermen und zwei isentropen Zustandsänderungen, die im T-s-Diagramm ein Rechteck bilden. Die Entropiezunahme ist in einem reversiblen Prozess mit der zugeführten Wärme und der absoluten Temperatur verknüpft über die Gleichung:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad \text{or} \quad \Delta Q = T \cdot \Delta S \quad (2.3)$$

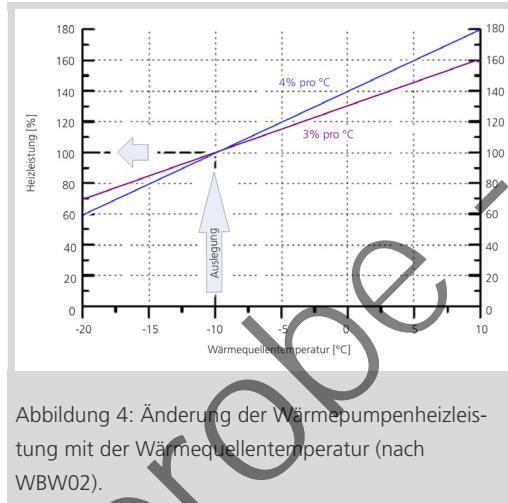


Abbildung 4: Änderung der Wärmepumpenheizleistung mit der Wärmequellentemperatur (nach WBW02).

Stichwortverzeichnis

B

Bivalent.....**10**

C

Carnot Prozess.....**10, 13**

COP.....**11**

F

Fusionsreaktor Sonne.....**6**

L

Leuchtkraft der Sonne.....**7**

M

Monovalent.....**9**

'Leseprobe'