

Wärmepumpen – der Stand der Technik und dessen Probleme

Das Verfahren zur Steigerung der Effizienz von Wärmepumpen nutzt ein zusätzliches Regelsystem - das Effizienz-Modul. Unter einem Modul versteht man bekanntlich eine als Ganzes austauschbare Funktionsgruppe eines Gerätes. In diesem Fall handelt es sich um ein neuartiges multifunktionales Regelsystem für Wärmepumpenanlagen.

Was ändert sich am Stand der Technik durch das neue Verfahren, welche besonderen Vorteile ergeben sich dadurch, wie können bestehende Probleme beseitigt werden ?

Das System eignet sich für Wärmepumpen aller Art, vor allem für die erdgebundenen Sole/Wasser-Wärmepumpen mit einer Erdsondenanlage und für die von der Außenluft abhängigen Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einem Wärmespeicher. Bei den bereits bestehenden Anlagen gemäß dem aktuellen Stand der Technik muss an den Wärmepumpen nichts verändert werden, die Anlagen können mit einem nur geringen Aufwand nachgerüstet werden.

Der im Jahresverlauf stark zunehmende Bedarf an Wärme für die Raumheizung führt zwangsläufig dazu, dass sich nicht nur die Heizungstemperaturen erhöhen, sondern sich auch die Quellentemperaturen durch den Wärmeentzug deutlich verringern. Wegen des dadurch erheblich größeren Temperaturunterschieds zwischen Quelle und Heizkreis muss die Wärmepumpe mehr Wärme erzeugen, der Stromverbrauch steigt erheblich an. Dies lässt sich bisher nicht verhindern, da sowohl Photovoltaikanlagen als auch Solarthermieranlagen in der winterlichen Heizperiode nahezu keine Energie mehr liefern.

Probleme für Wärmepumpen ergeben sich vor allem durch die Bundesnetzagentur, es sind die Herausforderungen für das deutsche Stromnetz durch die Vervielfachung der Wärmepumpen von derzeit 1,2 Millionen auf bis zu 16 Millionen und der E-Autos von derzeit 1,2 Millionen auf sogar bis zu 37 Millionen bis 2045 (siehe den beiliegenden Bericht der Braunschweiger Zeitung vom 9. Juni 2023).

In Niederspannungsnetzen traten bei Neubauten und Modernisierungen teilweise bereits Schwierigkeiten bei der Inbetriebnahme von Wärmepumpen auf mit der Folge, dass die Bundesnetzagentur wegen der zu erwartenden Überlastungen der Netze mit den Netzbetreibern vereinbarte, bei Bedarf ab dem 1. Januar 2024 den Strom für Wärmepumpen auf 4,2 kW zu begrenzen.

Bei den privaten Ladeeinrichtungen der E-Autos werden zwar zeitweise Einschränkungen auftreten, bei Wärmepumpen werden sich aber unvermeidbar immer auch katastrophale Auswirkungen ergeben !

Durch die Begrenzung auf 4,2 kW wird allerdings gar kein Strom eingespart, weil den Wärmepumpen viel zu wenig Energie zugeführt wird und dadurch die Temperaturen

sowohl in der Heizungsanlage als auch im Brauchwasserspeicher über einen längeren Zeitraum ständig weiter absinken, bis die Begrenzung wieder aufgehoben wird. Erst dann können die für längere Zeit schon sehr viel niedrigeren Temperaturen überhaupt wieder ansteigen, wenn Wärme mit einer deutlich höheren Temperatur von der Wärmepumpe zugeleitet werden kann, was einen deutlich höheren Stromverbrauch hervorruft !

Die bisher ganz überwiegend installierten Erdgasheizungen müssen bekanntlich durch Wärmepumpen ersetzt werden. Vor allem bei den dafür mit einem Anteil von etwa 90% eingesetzten Luft/Wasser-Wärmepumpen wirkt sich die Strombegrenzung extrem aus, weil diese Anlagen in den Wintermonaten mit dem höchsten Wärmebedarf durch deren Leistungszahl COP von dann nur noch 1,5 allein durch Strom aus dem Netz weiterhin kaum noch Wärme erzeugen können (siehe den beigefügten Auszug einer Bewertung des Universität-Instituts INATECH der Universität Freiburg).

Es wird aber neue Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz von Wärmepumpen geben durch ein Verfahren mit einem multifunktionalen Regelsystem. Dieses neuartige bereits patentierte Verfahren wird den Wärmepumpen gemäß dem Stand der Technik erstmals ermöglichen, auch die beim Start der Wärmepumpe zunächst noch geringe Heizkreistemperatur zu nutzen.

Zum aktuellen Stand der Technik von Wärmepumpen gehört das als Anlage beigefügte Kreislaufschema. Die Wärmequelle hat beispielsweise aufgrund der Jahreszeit eine sehr niedrige Temperatur von nur 3°C. Die Wärme wird durch den Strom des Verdichters erst nach und nach auf eine hohe Temperatur von 73°C angehoben und vom Kondensator zum großen Teil weiter übertragen zur Heizungsanlage oder zum Warmwasserspeicher.

Deren Temperatur, im Brauchwasserspeicher beispielsweise noch 45°C, wird aber nicht sofort erhöht, sondern fällt im Gegenteil zunächst erst einmal deutlich ab, weil das kalte Wasser der Quelle im Verdichter erst nach und nach erhöht werden kann - das bisher seit Jahrzehnten übliche System berücksichtigt dies nicht, es geht dadurch viel Strom verloren.

Die als eine Weiterentwicklung beigefügte Grafik eines Multifunktionalen Regelsystems für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe zeigt dagegen zunächst nur die Wärmepumpe **10** und den Speicher **21** für die Zuführung von Wärme **25** aus der Außenluft - das ist der aktuelle Stand der Technik, der auch meiner "Untersuchung einer Wärmepumpe gemäß dem Stand der Technik" zugrunde liegt.

Die nach dem Start der Wärmepumpe zunächst noch sehr niedrige Temperatur im Speicher wird durch den Strom der Wärmepumpe nur langsam erhöht, ist also längere Zeit deutlich niedriger als die Temperatur im Brauchwasserspeicher, die dadurch zunächst um etwa ein Grad absinkt. Die beigefügte Grafik **5.5** zeigt an mit der roten Linie BT2 den Verlauf der Heizkreistemperatur und mit der blauen Linie BT6 den Verlauf der Temperatur im Brauchwasserspeicher. Die Wärmepumpe startete, nachdem sich durch den Verbrauch des Brauchwassers dessen Temperatur von 50°C auf 45°C verringerte.

Viele Fachleute dürften sich wohl wundern, dass sich die Temperatur des Brauchwassers

zunächst gar nicht erhöhte, sondern sich sogar auf $44,1^{\circ}\text{C}$ verringerte. Dies konnte man nur dadurch gut erkennen, weil die verfügbaren täglichen Aufzeichnungen mehrfach auch stark vergrößert wurden. Daraus ergaben sich nicht nur viele hervorragende Grafiken für den Verlauf der Heizkreistemperaturen und der Brauchwassertemperaturen, sondern auch viele Tabellen, die im Minutentakt aufgenommen wurden, wie den beigefügten Daten der Brauchwassererwärmung vom 19.10.2023 zu entnehmen ist.

Die Grafik sowie die beigefügte Tabelle zeigen, dass dieser Vorgang 26 Minuten dauerte und 6 kWh Strom verbraucht wurden, bis die Brauchwassertemperatur dann wieder 45°C erreichte, ohne dass die Temperatur auch nur etwas angestiegen war - hier zeigt sich schon die Wirkung des kalten Wassers nach dem Start der Wärmepumpe. Die Temperatur des Brauchwassers von 50°C wurde schließlich erst nach weiteren 14 Minuten und zusätzlich 4 kWh Strom erreicht !

Dieses Problem lässt sich vermeiden durch eine nur geringfügige Ergänzung der Anlage um das Regelsystem **29** und den Wärmetauscher **16**, damit dem bereits vorhandenen Speicher **21** weitere Wärme zugeführt werden kann. Das Regelsystem entspricht dem multifunktionalen Regelsystem für das Verbrauchsmuster, jedoch etwas vereinfacht nur für die Umwandlung von Strom in Wärme und auch für die Nutzung der Anergie nach dem Start der Wärmepumpe.

Die bereits beigefügte Grafik des Multifunktionalen Regelsystems für Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigte, wie einfach die bisherige Technik geändert werden kann, wenn bei jedem Start der Wärmepumpe das noch kalte Wasser der Quelle nicht mehr an den Warmwasserspeicher oder die Heizung, sondern an einen zusätzlichen Speicher geleitet wird.

Mit dem neuen Verfahren wird das völlig anders sein, wie der übergebenen Beschreibung "Luft/Wasser-Wärmepumpen - die Möglichkeiten eines neuartigen Verfahrens für eine deutliche Steigerung der Effizienz von Wärmepumpen" und der zugehörigen Anlage "Funktion und Aufbau der Wärmepumpe" mit der Tabelle in Anlage 3 zu entnehmen ist.

Die umfangreichen Untersuchungen an der eigenen Wärmepumpenanlage haben gezeigt, dass nach dem Start der Wärmepumpe zur Steigerung der Temperatur im Warmwasserspeicher von 45°C auf 50°C zunächst 6 kWh Strom für eine höhere Heizkreistemperatur nötig waren und danach nur noch weitere 4 kWh Strom zur Steigerung der Warmwassertemperatur auf wieder 50°C , wie man in der Tabelle sieht.

Bei den Wärmepumpen mit dem aktuellen Stand der Technik muss nach jedem Start der Wärmepumpe die zunächst noch immer geringe Heizkreistemperatur BT2 ausreichend erhöht werden, weil der weitere Rückgang der Brauchwassertemperatur BT6 wieder auszugleichen ist, was als Anergie zu betrachten ist, solange die Warmwassertemperatur gar nicht wieder über 45°C gesteigert wird.

Mit dem neuen Verfahren kann der große energetische Aufwand von jeweils bis zu 6 kWh anders als bisher gut genutzt werden für die Steigerung der Temperatur im Brauchwasserspeicher, indem zunächst die Wärme über den Heizkreisvorlauf **14** in den Speicher **21**

geleitet wird. Von dort kann die Wärme je nach Bedarf entweder zum Brauchwasserspeicher oder auch zur Heizungsanlage geleitet werden, es wird dann durch die höheren Temperaturen deutlich weniger Strom benötigt - so geht keine Anergie mehr verloren !

Man kann so verhindern, dass die Temperatur im Brauchwasserspeicher überhaupt noch weiter unter 45°C absinkt. Stattdessen wird die Temperatur im Speicher erhöht, damit die Differenz zwischen der höheren Temperatur im Speicher und der ebenfalls noch höheren Temperatur im Brauchwasserspeicher deutlich verkleinert wird und somit viel weniger Strom erforderlich ist.

Anlagen

1. Kreislaufschema einer Wärmepumpe mit den Temperaturen
2. Multifunktionales Regelsystem einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Bezugszeichenliste
3. Grafik 5.5 mit Heizkreistemperatur BT2 und Brauchwassertemperatur BT6 bei einer Brauchwasser-Erwärmung
4. Tabelle mit exakt aufgezeichneten Temperaturen einer Brauchwasser-Erwärmung

4.11.2025

Hans-Georg Jundt

WB2-64
Wärmepumpen und
deren Probleme

E-Autos und Wärmepumpen: Droht dem Stromnetz der Kollaps?

Die gleichzeitige Elektrifizierung der Fahrzeuge und der Heizungen kann die Versorgung der Menschen gefährden. Experten schlagen Alarm



Essenzielle Infrastruktur für die Energiewende: Entscheidend wird sein, ob der Ausbau des Stromnetzes schnell genug vorangeht. PA / J. TACK

Nina Kugler

Berlin. Mehr strombetriebene Wärmepumpen und die wachsende Anzahl an E-Autos stellen das Stromnetz vor neue Herausforderungen. Experten warnen bereits vor Überlastungen und Engpässen. Die entscheidende Frage wird sein, ob der Netzausbau schnell genug vorangeht. Oder ob am Ende die geplante Energiewende der Ampel-Regierung an zu wenig Strom scheitert.

15 Millionen Elektrofahrzeuge und sechs Millionen Wärmepumpen sollen bis 2030 dazu beitragen, die CO₂-Emissionen zu reduzieren und die Klimaziele zu erreichen. Dafür wird in der Zukunft deutlich mehr Strom gebraucht. Zu viel?

Die Bundesnetzagentur erklärt, dass die deutschen Stromverteilernetze zwar generell gut ausgebaut seien, die Belastungen in den lokalen Netzen sich jedoch stark unterscheiden könnten. „Zukünftig stellt auch der Hochlauf von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen die Verteilernetze insbesondere in der Niederspannung vor Herausforderungen“, teilte die Behörde auf Anfrage mit. „Private Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen bedeuten teilweise beträchtlich höhere Bezugsleistungen in der Niederspannung.“

Zudem sei bei dieser Art von Verbrauchern mit einer deutlich höheren gleichzeitigen Netznutzung zu

rechnen. „Lokale Leitungen und Transformatoren sind teilweise nicht auf eine solche Belastung ausgelegt“, so das Fazit.

Vor welchen Herausforderungen das deutsche Stromnetz schon jetzt steht, zeigt der missglückte Anschluss von Wärmepumpen bei großen Wohnungsunternehmen. So teilte Deutschlands größter Immobilienkonzern Vonovia Mitte Mai mit, man könne 70 installierte Wärmepumpen nicht in Betrieb nehmen, weil die Stromnetze nicht ausreichend belastbar seien. Und auch Vivawest, Nordrhein-Westfalens größter Wohnungsanbieter, teilte auf Anfrage unserer Redaktion mit, dass „es bei einigen Neubau- und Modernisierungsprojekten zu zwischenzeitlichen Hemmnissen bei der Inbetriebnahme von Wärmepumpen gekommen“ sei.

Übertragungsnetzbetreiber:

Netzausbau muss schneller gehen

Die Netzagentur erklärt zwar, „dass in den uns bekannten Fällen Verzögerungen beim Netzanschluss oftmals nicht aufgrund einer mangelnden Leistungsfähigkeit der Netze, sondern aus anderen Gründen auftreten“ – etwa wegen fehlender und unplausibler Daten in den Bauanträgen. Dennoch empfiehlt die Behörde eine „zeitnahe und vorausschauende Ertüchtigung von Verteilernetzen“ – und warnt gleichzeitig: „Ertüchtigungsmaßnahmen allein werden jedoch eine schnelle Inte-

gration von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen in Verteilernetze nicht gewährleisten können.“

Auch die vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland – Tennet, 50Hertz Transmission, Amprion und TransnetBW – mahnen auf Nachfrage unserer Redaktion „mehr Umsetzungsgeschwindigkeit beim Netzausbau“ an. Sie gehen davon aus, dass sich der Stromverbrauch in Deutschland bis 2045 verdoppeln wird. Außerdem sei mit einer „Vervielfachung der Wärmepumpen“ von derzeit 1,2 Millionen auf 16 Millionen zu rechnen und einer Vervielfachung der Zahl der Elektroautos von derzeit 1,2 Millionen auf bis zu 37 Millionen.

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) sieht Probleme auf die Verteilernetze vor allem in der Niederspannung zukommen, wenn viele Menschen gleichzeitig Wärmepumpen und E-Ladestationen nutzen. „Wenn alle um 18 Uhr nach Hause kommen, das Auto einstecken und die Wärmepumpe laufen lassen und alles gleichzeitig läuft – dann sind das die Probleme, die auf Verteilernetzebene auftreten können“, sagte Katharina Umpfenbach, Leiterin Infrastruktur und Gesamtsystem bei der dena, unserer Redaktion.

Es brauche „einen massiven Ausbau der Stromnetze auf allen Spannungsebenen“, sagt Umpfenbach. Dies sei eine Herausforderung, aber machbar. „Und zwar dann, wenn wir zum einen weiter vorausschau-

end ausbauen und zum anderen flexibilisieren. Also wenn nicht nur die Erzeugungsseite dazu beiträgt, dass Strombedarf und das Stromangebot immer im Ausgleich sind, sondern auch die Nachfrageseite – indem zum Beispiel Lasten in der Zeit verschoben werden.“ Damit meint sie, dass eben nicht das E-Auto gleich abends um 18 Uhr geladen werden muss, wenn der Strombedarf gewöhnlich sehr hoch ist. Sondern dass das Laden automatisch erst in der Nacht startet.

Ein Instrument, um zu verhindern, dass es zu neuen Verbrauchsspitzen kommt, wenn plötzlich alle E-Autos gleichzeitig nachts geladen würden, ist bereits in der Ausarbeitung: Der Paragraph 14a des Energiewirtschaftsgesetzes soll reformiert werden. Die Verteilnetzbetreiber sollen so die Möglichkeit erhalten, stärker den Verbrauch zu beeinflussen. Konkret könnte das bedeuten, dass der Netzbetreiber den Betrieb einer Wärmepumpe oder den Ladevorgang eines E-Autos unterbrechen oder bremsen könnte, um damit das Netz zu entlasten.

Mit Blick auf die neuen Vorgaben zur Netzausbauplanung, den geplanten Regeln zur kommunalen Wärmeplanung, den Netzausbau, der schon stattfindet, und andere Maßnahmen zeigt sich Umpfenbach jedoch optimistisch, dass das Stromnetz nicht überlastet wird. „Grundsätzlich ist das nichts, was nicht zu schaffen ist.“



Auszug von einer Bewertung eines Universität-Instituts

From: Stefan Hess

Meine technische Einschätzung:

Die von Ihnen beschriebenen physikalischen Zusammenhänge zum COP und zur Auskühlung bzw. Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches sind aus meiner Sicht richtig.

Ich habe allerdings einen grundsätzlichen Kritikpunkt, der den Bilanzraum Ihrer Betrachtungen betrifft:

Aus meiner Sicht ist es nicht sinnvoll, Wärme, die zuvor schon dem Erdreich entzogen und unter Einsatz von Elektrizität (reiner Exergie) auf ein höheres Temperaturniveau gehoben wurde, wieder an den Solekreis zurückzuführen (also dem Erdreich wieder zuzuführen). Das deshalb, weil bilanziell in einem geschlossenen System die Erhöhung der Erdreich-Temperatur nur durch zusätzlichen Stromeinsatz erreicht werden kann.

Ob der Nutzer von Ihrem Konzept der kurzzeitigen Wärme-Rückführung tatsächlich Vorteile haben könnte wäre aus meiner Sicht also im Rahmen von **Energiebilanzen mit klar definierten Systemgrenzen** zu belegen.

Gedanken zur Relevanz bzw. zum Potential Ihres Konzepts:

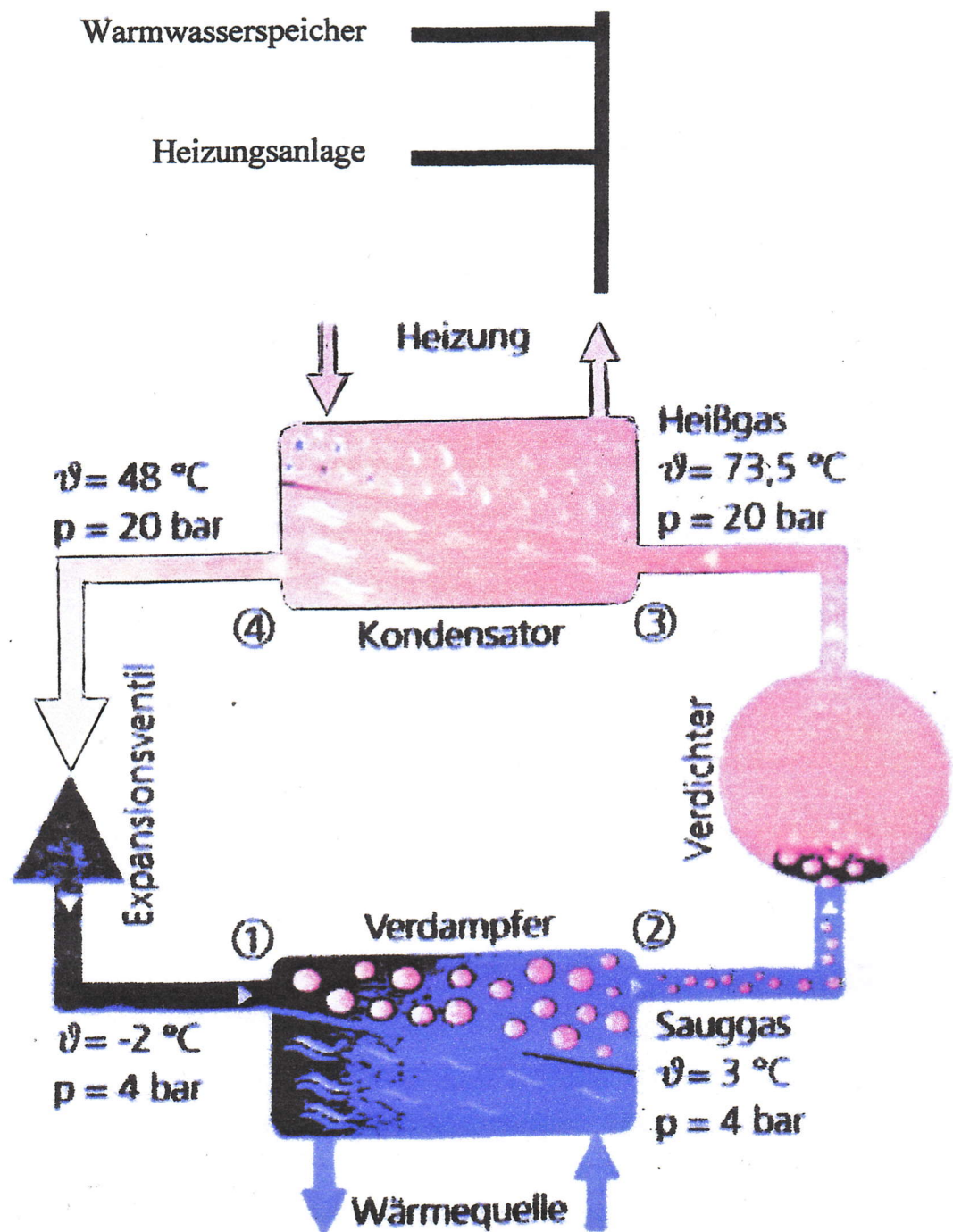
Das Thema Regeneration des Erdreiches ist schon umfassend untersucht worden, allerdings nach meiner Kenntnis v.A. aus saisonaler Perspektive (Regeneration im Sommer).

Auch ist im Sommer die Regeneration z.B. über Solarthermie, einfache Umgebungsluft-Wärmetauscher oder über die Kühlung des Gebäudes einfach und tatsächlich komplett aus Umgebungsenergie umzusetzen.

Sie sprechen Großanlagen an: Hier wird sommerliche Regeneration z.B. mit Solarthermie häufiger gemacht und funktioniert auch gut. Oft gibt es hier aber einen sehr großen zentralen Wasserspeicher und falls es Sondenfelder gibt werden diese wegen des thermischen Puffers im Winter nicht zu sehr belastet.

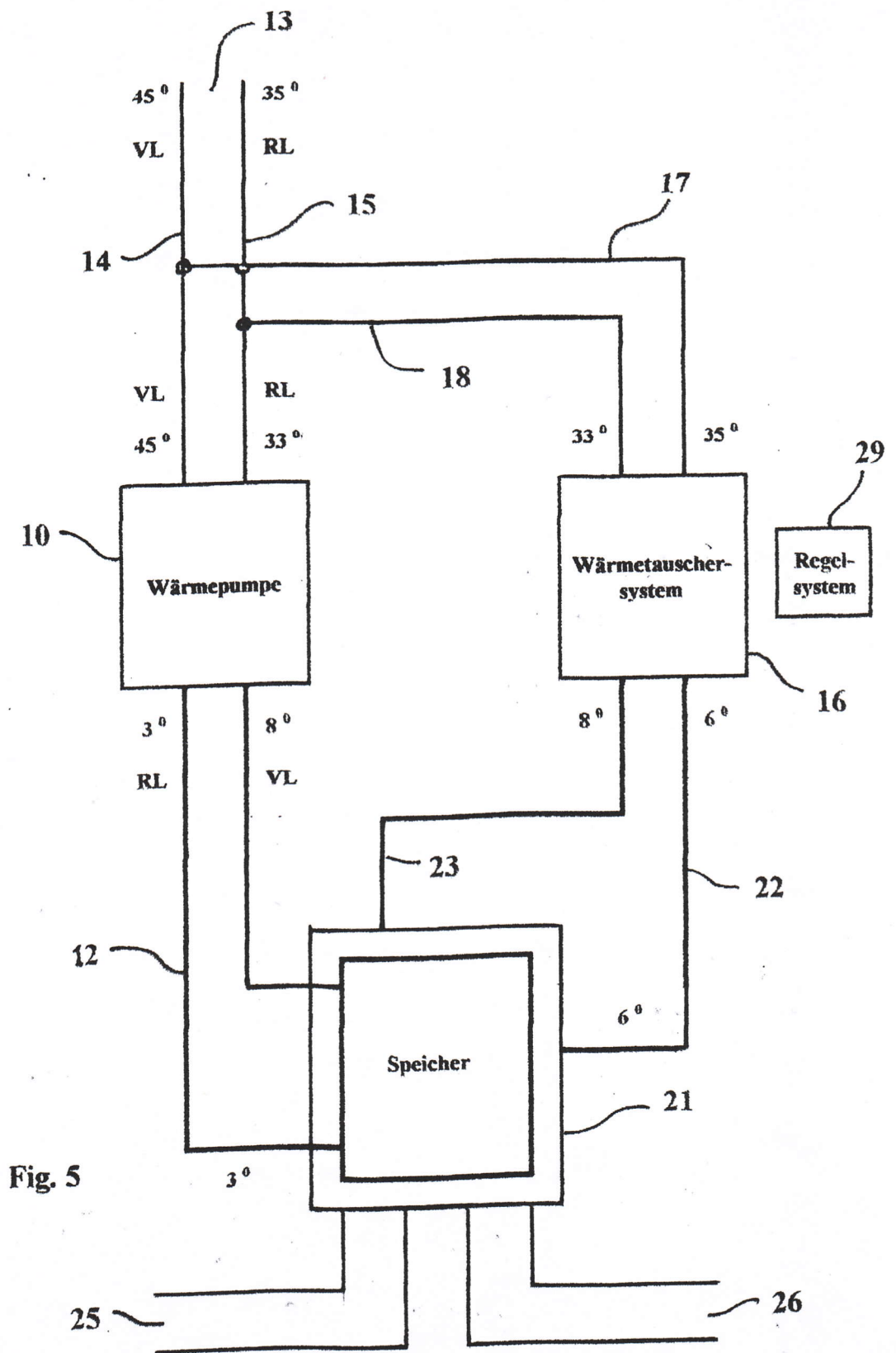
Im Energiesystem ist die Absenkung des COP von Erdwärmepumpen im Winter ein untergeordnetes Problem; hier schlagen v.A. die Außenluft-WP (Marktanteil aktuell ca. 90 %) zu Buche, die bei sehr hoher Heizlasten (sehr niedrigen Umgebungstemperaturen) einen COP nahe eins haben (Stromheizung).

Dr. Stefan Hess
Leitung Gruppe Nachhaltige Gebäude-Energietechnik
Professur Solare Energiesysteme | Hans-Martin Henning
Institut für Nachhaltige Technische Systeme - INATECH



Kreislaufschema einer Wärmepumpe

Der aktuelle Stand der Technik von Wärmepumpen



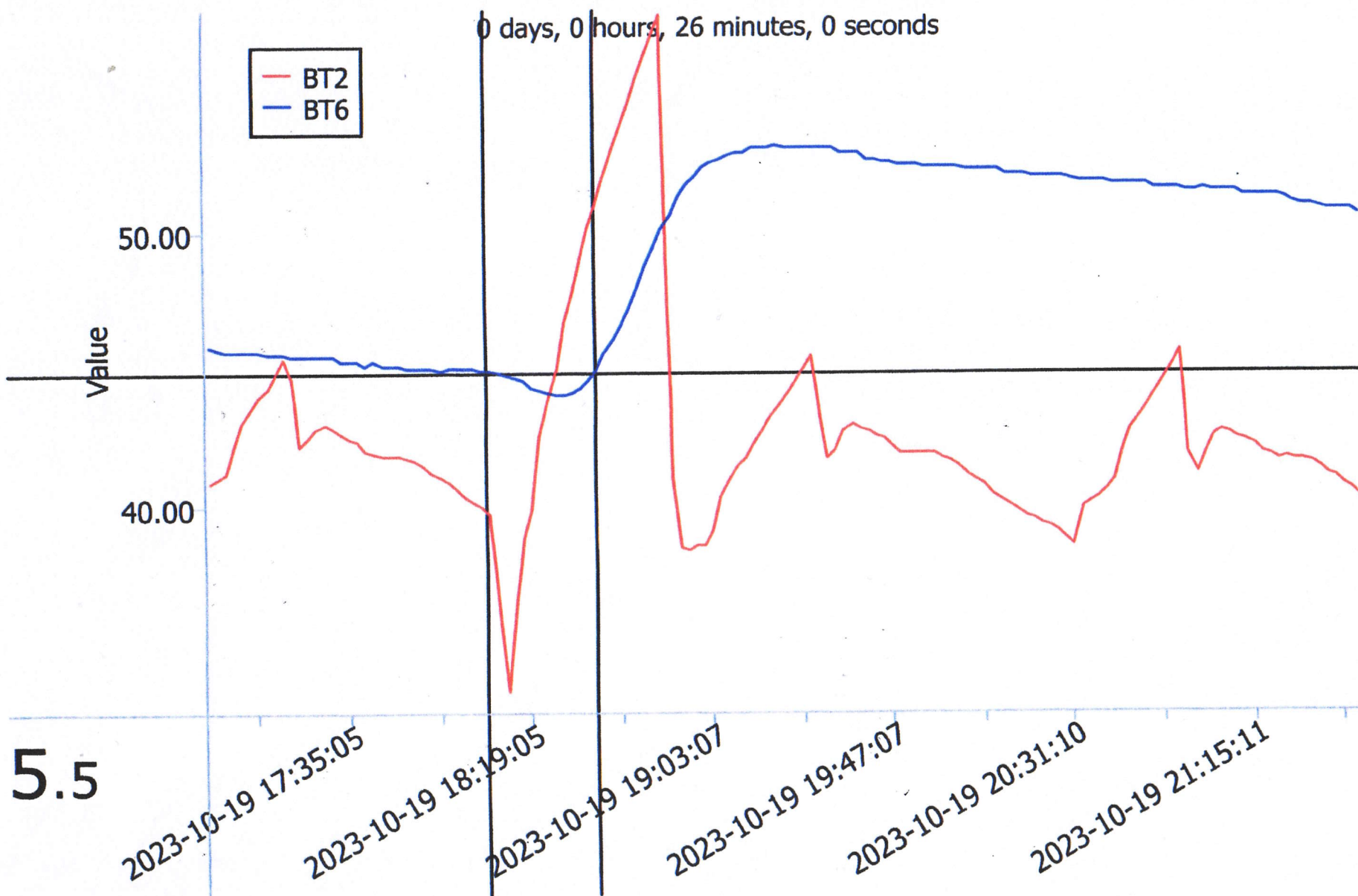
Multifunktionales Regelsystem für Luft/Wasser-Wärmepumpen

Bezugszeichenliste zu Fig. 5 *

- 10 Wärmepumpe
- 11 Vorlauf Wärmepumpe
 (Zuleitung Wasser vom Speicher zur Wärmepumpe)
- 12 Rücklauf Wärmepumpe
 (Rückleitung von Wasser zum Speicher)
- 13 Heizkreis (auch für Brauchwassererwärmung)
- 14 Heizkreisvorlauf
- 15 Heizkreisrücklauf
- 16 Wärmetauschersystem
- 17 Zuleitung Heizwasser zum Wärmetauschersystem
- 18 Rückleitung Heizwasser zur Wärmepumpe
- 21 beheizbarer Speicher (Wasser)
- 22 Zuleitung Wasser zum Wärmetauschersystem
- 23 Rückleitung Wasser zum Speicher
- 25 Zuführung von Wärme aus der Außenluft
- 26 Zuführung von Wärme aus der Solaranlage
- 29 Temperaturregelsystem für den Wärmetauscher
 (bei der Umwandlung von Strom in Wärme und bei der
 Nutzung von Anergie beim Hochlauf der Wärmepumpe)

* Fig. 5 wurde dem Patent für das Verfahren entnommen und modifiziert für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe.

Das Regelsystem entspricht dem multifunktionalen Regelsystem für das Gebrauchsmuster, aber vereinfacht nur für die Umwandlung von Strom in Wärme und die Nutzung der Anergie nach dem Start der Wärmepumpe.



Datum 19.10.2023

Außentemperatur 8,9°C (6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

Brauchwasser-ErwärmungEIN bei 45°C, AUS bei 50°C

Zeit	GM	VL	RL	VL _{ext}	Wärme-Z.	BW
17.55	25	40,9	42,0	37,5	325.332	45,1
18.05	5	40,1	41,9	36,8		<u>45,0</u>

BW Start

18.08	-8	39,8	30,3	36,3		44,9
.09	-12	36,3	27,5	36,2	<u>325.333</u>	44,9
.10	-16	34,0	27,5	36,1		44,8
.11	-20	33,5	27,6	36,1		44,8
.12	-24	33,3	28,6	36,0		44,7
.13	-28	34,8	33,4	35,9	<u>325.334</u>	44,7
.14	-32	37,4	33,8	35,8		44,7
.15	-36	38,6	34,1	35,8		44,6
.16	-41	39,2	34,5	35,7		44,5
.17	-45	39,5	35,6	35,6	<u>325.335</u>	44,4
.18	-50	40,7	37,8	35,5		44,4
.19	-54	42,9	38,9	35,3		44,3
.20	-59	43,3	39,1	35,2		44,3
.21	-64	43,7	39,6	35,1		44,2
.22	-69	44,1	40,2	35,0	<u>325.336</u>	44,2
.23	-74	44,8	41,7	34,9		44,1
.24	-79	45,7	42,3	34,8		44,1
.25	-84	46,1	42,6	34,8		44,1
.26	-90	46,9	43,2	34,7		44,2
.27	-95	47,4	43,6	34,6	<u>325.337</u>	44,2
.28	-101	47,9	44,3	34,5		44,2
.29	-106	48,3	44,9	34,4		44,3
.30	-112	49,5	45,5	34,3		44,3
18.31	-118	49,6	46,0	34,2		44,4

→ Fortsetzung der Aufzeichnung

Anlage 5 vom 19.10.2023

Teil 1: Exakte Aufzeichnungen der Temperaturwerte

Datum 19.10.2023

Außentemperatur 8,9°C

(6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

Brauchwasser-Erwärmung

(Fortsetzung der Aufzeichnung)

Zeit	GM	VL	RL	<u>VL_{ext}</u>	<u>Wärme-Z.</u>	<u>BW</u>
18.32	-124	50,0	46,4	34,1		44,5
.33	-130	50,6	47,0	34,0	<u>325.338</u>	44,7
.34	-136	50,9	47,5	33,9		<u>45,0</u>
.35	-143	51,6	48,2	33,7		45,2
.36	-149	52,2	48,8	33,6		45,4
.37	-155	52,6	49,3	33,5		45,7
.38	-162	53,1	49,5	33,4	<u>325.339</u>	46,3
.39	-169	53,4	50,0	33,3		46,6
.40	-169	53,8	50,4	33,3		46,8
.41	-169	54,5	51,0	33,2		47,2
.42	-169	54,8	51,5	33,2		47,5
.43	-169	55,0	51,8	33,1	<u>325.340</u>	47,8
.44	-169	55,6	52,2	33,0		48,2
.45	-169	56,0	52,6	32,9		48,5
.46	-169	56,3	53,0	32,8		48,8
.47	-169	56,7	53,4	32,8	<u>325.341</u>	49,1
.48	-169	57,3	53,9	32,7		49,4
.49	-169	57,6	54,3	32,7		49,8
18.50	-169	57,9	54,5	<u>32,6</u>	<u>325.342</u>	<u>50,1</u>

Umschaltung von Brauchwasser auf Heizen

18.51	-169	43,5	32,3	<u>38,2</u>		50,5
.52	-169	40,4	32,5	38,6	325.343	50,9
.53	-169	38,7	32,8	38,4		51,3
.54	-169	38,5	32,9	38,1		51,5
.55	-169	38,5	33,9	38,0		51,6
.56	-169	38,5	33,1	38,1	325.344	51,8
.57	-169	38,5	33,1	38,1		52,0
.58	-169	38,6	33,2	38,2		52,2
18.59	-169	38,6	33,4	38,4		52,3

→ Fortsetzung der Aufzeichnung

Datum 19.10.2023

Außentemperatur 8,9°C

(6,5 / 7,5 / 8,8 °C)

Heizen (Fortsetzung der Aufzeichnung)

Zeit	GM	VL	RL	VL _{ext}	Wärme-Z.	BW
19.00	-169	38,7	33,6	38,5	325.445	52,4
.01	-169	39,3	35,0	38,6		52,6
.02	-169	39,8	35,5	38,9		52,7
.03	-169	40,5	35,8	39,2		52,8
.04	-169	40,8	36,0	39,6		52,9
.05	-169	41,1	36,2	39,9	325.346	52,9
.06	-168	41,4	36,5	40,3		53,0
.07	-168	41,6	36,7	40,6		53,0
.08	-167	41,7	36,8	40,8		53,0
.09	-166	41,9	37,2	41,1	325.347	53,1
.10	-165	42,1	37,9	41,4		53,1
.11	-164	42,3	37,8	41,7		53,1
.12	-162	42,6	38,1	41,9		53,1
.13	-160	42,8	38,3	42,1	325.348	53,1
.14	-158	43,1	38,5	42,3		53,1
.15	-155	43,3	38,7	42,5		53,1
.16	-153	43,6	38,9	42,8		53,1
.17	-150	43,8	39,2	43,0	325.349	53,1
.18	-147	44,0	39,5	43,3		53,1
.19	-143	44,3	39,7	43,5		53,1
.20	-140	44,5	44,0	43,7		53,1
.21	-136	44,7	40,2	44,0	325.350	53,1
.22	-132	44,9	40,4	44,2		53,1
.23	-128	45,1	40,6	44,4		53,1
.24	-123	45,3	40,9	44,7		53,1
19.25	-118	45,5	41,4	44,9	325.351	53,1
Heizen Ende						
19.26	+ 6	45,7	41,2	45,1		53,1

1.3 Funktion und Aufbau der Wärmepumpe

Die prinzipielle Funktion einer Wärmepumpe besteht darin, Wärmeenergie bei einem niedrigen Temperaturniveau aufzunehmen und diese unter Zuführung von mechanischer Energie auf einem höheren, nutzbaren Temperaturniveau wieder abzugeben. Dadurch wird es möglich, die in der Umwelt (Luft, Erdrreich, Wasser) enthaltene Wärmeenergie nutzbar zu machen.

Im Wärmepumpenprozess wird ein Arbeitsmittel, auch als Kältemittel bezeichnet, periodisch verdichtet (komprimiert) und entspannt (expandiert). Im expandierten Zustand wird bei niedriger Temperatur die Wärme aus der Wärmequelle aufgenommen, wobei das Arbeitsmittel verdampft, und im komprimierten, heißen Zustand unter Verflüssigung des Arbeitsmittels wieder abgegeben. Da nach Ablauf eines Arbeitszyklus die Zustandsgrößen des Arbeitsmittels wieder dieselben sind, spricht man bei diesem Vorgang von einem Kreisprozess.

Die wichtigsten Bauteile einer Wärmepumpe sind:

- Verdichter
- Kondensator (Wärmetauscher)
- Expansionsventil
- Verdampfer (Wärmetauscher)

Das Schema einer Wärmepumpe mit den entsprechenden Druck- und Temperaturverhältnissen zeigt Bild 1.2 (Kältemittel R 407C; B0 / W45):

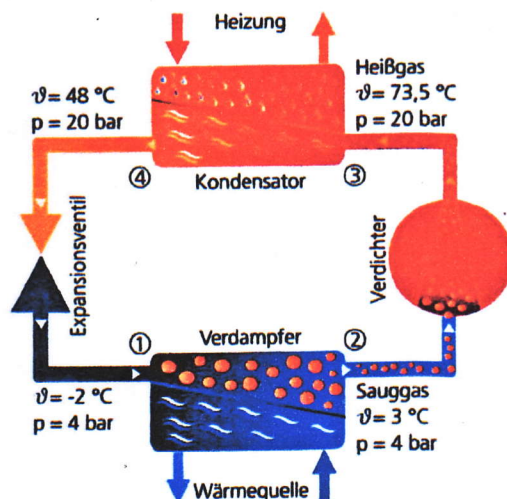


Bild 1.2: Schema eines Wärmepumpenkreislaufs

Der Carnot-Prozess

Allgemein beschreibt der (idealisierte) Carnot-Prozess die Funktion von Wärmekraftmaschinen, die durch periodische Kompression und Expansion Wärme in mechanische Arbeit umwandeln. Wird dieser Kreislaufprozess umgekehrt (links-drehend) durchlaufen, bildet er eine Kraftwärmemaschine ab, die bei tiefen Temperaturen Wärme aus der Umgebung entnimmt und mit von außen zugeführter mechanischer Arbeit bei hoher Temperatur wieder abgibt.

Als Arbeitsmittel wird hierbei ein ideales Gas mit sehr niedrigem Siedepunkt angenommen. Das folgende Bild 1.3 zeigt die vier Phasen des Kreisprozesses im sogenannten T-S-Diagramm:

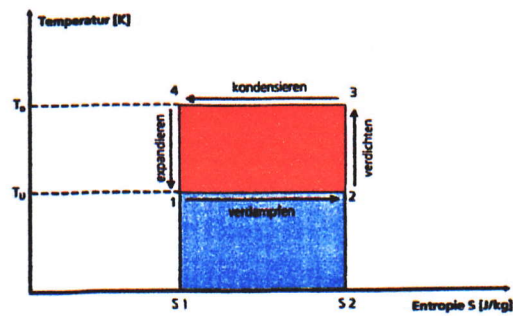


Bild 1.3: Carnot-Prozess

■ Verdampfen (1-2):

Das flüssige Arbeitsmittel wird bei niedrigem Druck und geringer Temperatur verdampft. Die dafür erforderliche Verdampfungswärme wird der Umgebung bzw. Wärmequelle entzogen, hierbei ändert sich die Temperatur nicht (isothermer Vorgang). Durch die Wärmezufuhr bei konstanter Temperatur steigt die Entropie an.

■ Verdichten (2-3):

Mittels mechanischer Arbeit wird das Arbeitsmittel verdichtet und hierbei auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Die Entropie bleibt aufgrund der von außen zugeführten Arbeit konstant (isentropischer Vorgang).

■ Kondensieren (3-4):

Im Kondensator wird dem heißen und unter hohem Druck stehenden Arbeitsmittel Wärmeenergie entzogen, so dass es kondensiert. Die Temperatur bleibt hierbei wiederum konstant, da nur die bei 1-2 aufgenommene Verdampfungswärme abgegeben wird (isotherm). Durch die Abgabe der Wärmeenergie bei konstanter Temperatur sinkt die Entropie.

■ Expandieren (4-1):

Das Arbeitsmittel wird entspannt, Druck und Temperatur verringern sich, die Entropie bleibt konstant (isentrop).

Anschaulich stellt die rote Fläche die von dem Verdichter zugeführte Energie dar, während die graue Fläche die aus der Umgebung entnommene Energie abbildet. Das Verhältnis der gesamten abgegebenen Energie (rot+grau) zur von außen zugeführten Energie (rot) entspricht der Leistungszahl des Prozesses, der Carnot-Leistungszahl ϵ_c :

$$\epsilon_c = \frac{T_o}{T_o - T_u} = \frac{T_o}{\Delta T}$$

Es wird deutlich, dass die Leistungszahl vom Temperaturhub abhängt, d.h. von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und -senke: je geringer die Differenz, umso höher die Leistungszahl.

Beispiel:

$$T_u = 0^\circ\text{C} = 273\text{K}$$

$$T_o = 40^\circ\text{C} = 273 + 40 = 313\text{K}$$

$$\epsilon_c = \frac{T_o}{T_o - T_u} = \frac{313}{313 - 273} = 7,83$$

Für den idealen **Carnot-Prozess** ergibt sich die theoretische Leistungszahl ϵ_C aus

$$\epsilon_C = T_o / (T_o - T_u) = T_o / \Delta T \quad (\text{alle Temperaturen in K})$$

mit T_o = Temperatur der Wärmesenke (Heizkreis)

T_u = Temperatur der Wärmequelle (beispielsweise Sole)

ΔT = Temperaturhub zwischen Wärmequelle und Wärmesenke

Für die Leistungszahl ϵ_{WP} einer realen Wärmepumpe können überschlägig 50% der theoretischen Leistungszahl ϵ_C angesetzt werden,

für **Wärmepumpen** gilt daher $\epsilon_{WP} = 0,5 \cdot \epsilon_C$.

Die Leistungszahl ϵ_{WP} ist das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung P_{th} zu aufgenommener elektrischer Leistung P_{el} .

Beispiel einer Berechnung für eine Fußbodenheizung
mit einer Heizlast (Wärmeleistung) von 10 kW_{therm}

Heizkreistemperaturen = $35/25^\circ\text{C}$, Mittelwert = $30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$ (T_o)

Soletemperaturen (Quelle) = $0/-5^\circ\text{C}$, Mittelwert = $-2,5^\circ\text{C} = 270,5 \text{ K}$ (T_u)

bei Quellentemperatur 0°C : Temperaturhub $\Delta T = 303 \text{ K} - 270,5 \text{ K} = 32,5 \text{ K}$

$$\epsilon_{WP} = 0,5 \cdot \epsilon_C = 0,5 \cdot T_o / \Delta T = P_{th} / P_{el}$$

$$\rightarrow P_{el} = P_{th} \cdot \Delta T / 0,5 \cdot T_o = \Delta T \cdot 10 / 151,5 \rightarrow P_{el} = 0,066 \cdot \Delta T$$

Quelle $^\circ\text{C}$	Hub ΔT in K	P_{el} kW
26	6,5	0,429
24	8,5	0,561
22	10,5	0,693
20	12,5	0,825
18	14,5	0,957
16	16,5	1,089
14	18,5	1,221
12	20,5	1,353

Quelle $^\circ\text{C}$	Hub ΔT in K	P_{el} kW
10	22,5	1,485
8	24,5	1,617
6	26,5	1,749
4	28,5	1,881
2	30,5	2,013
0	32,5	2,145
-2	34,5	2,277
-4	36,5	2,409

Anlage 2 Berechnung der erforderlichen elektrischen Leistung für eine Luft/Wasser-Wärmepumpenanlage in Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur im Wärmespeicher

Speicher 0 °C		2 °C	4 °C	6 °C	8 °C	10 °C	Speicher 10 °C
$T_o = 30\text{ °C} = 303\text{ K}$		303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	<u>$P_{el} = 1,485\text{ kW}$</u>
$T_u = -2,5\text{ °C} = 270,5\text{ K}$		-0,5 °C	1,5 °C	3,5 °C	5,5 °C	7,5 °C	<u>Bezugswert *</u>
$\Delta T = 32,5\text{ K}$		30,5 K	28,5 K	26,5 K	24,5 K	22,5 K	für Veränderungen des Strombedarfs je nach der Temperatur im Wärmespeicher
$\varepsilon = 4,661$		4,967	5,316	5,717	6,184	6,733	
$P_{el} = 2,145\text{ kW}$		2,013 kW	1,881 kW	1,749 kW	1,617 kW	1,485 kW	
+ 44,4 % gg. Bezugswert		+ 35,5 %	+ 26,7 %	+ 17,8 %	+ 8,9 %	Bezugswert	
12 °C	14 °C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C	* Berechnungen für eine Anlage mit einer Fußbodenheizung mit Heizkreistemperaturen von 35/25 °C und einer Heizlast von 10 kW
303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	303 K	
9,5 °C	11,5 °C	13,5 °C	15,5 °C	17,5 °C	19,5 °C	21,5 °C	
20,5 K	18,5 K	16,5 K	14,5 K	12,5 K	10,5 K	8,5 K	
7,390	8,189	9,182	10,448	12,120	14,428	17,823	
1,353 kW	1,221 kW	1,089 kW	0,957 kW	0,825 kW	0,693 kW	0,561 kW	
- 8,9 %	- 17,8 %	- 26,7 %	- 35,5 %	- 44,4 %	- 53,3 %	- 62,2 %	

**Anlage 3 Einfluss der Temperatur im Wärmespeicher auf den Strombedarf einer
Luft/Wasser-Wärmepumpe**

G-W-Q-3.10

Berechnung der Tabellenwerte für das Beispiel der Anlage 3

Festlegung eines Bezugswerts zur Ermittlung des jeweiligen Strombedarfs bei unterschiedlichen Temperaturwerten,
beispielsweise für die Speichertemperatur 0°C (Quellentemperatur) gegenüber dem Bezugswert bei 10°C .

Angaben erforderlich beispielsweise zur Heizlast (10 kW) und zu dem Mittelwert der Heizkreistemperaturen (Vorlauf = 35°C , Rücklauf = 25°C), die sich für die Berechnung nicht ändern.

Ermittlung des Temperaturhubes ΔT zwischen Temperatur T_u der Quelle und Temperatur T_o des Heizkreises (dafür ist immer die Temperatur von Grad Celsius umzurechnen in Grad Kelvin $\rightarrow \Delta T = T_o$ minus T_u), für die Berechnung ist jeweils der Mittelwert einzusetzen.

Beispiel für eine Speichertemperatur von 0°C : $\rightarrow \Delta T$ für $T_o = 30^{\circ}\text{C} = 303\text{ K}$ und $T_u = -2,5^{\circ}\text{C} = 270,5\text{ K}$
bei einer Spreizung im Primärkreis von 5°C $\rightarrow \Delta T = 32,5\text{ K}$

Carnot-Formel $\rightarrow \epsilon_c = T_o / \Delta T = 303 / 32,5 = 9,323$

für Wärmepumpen gilt $\epsilon_{WP} = \text{etwa } 50\% \text{ von } \epsilon_c = 9,323 \cdot 0,5 \rightarrow \epsilon_{WP} = 4,661$

Leistungszahl COP = thermische Leistung P_{th} zur elektrischen Leistung P_{el} $\rightarrow P_{th} / P_{el} = \epsilon_{WP}$

Elektrische Leistung $\rightarrow P_{el} = P_{th} / \epsilon_{WP} = 10\text{ kW} / 4,661 = 2,145\text{ kW}$

Veränderung gegenüber dem Bezugswert $1,485\text{ kW}$ bei 10°C $\rightarrow 2,145 / 1,485 = +44,4\%$