

Wärmepumpe

AUFZEICHNUNG UND AUSWERTUNG DES DRUCK-ENTHALPIE-DIAGRAMMS EINER KOMPRESSIOWÄRMEPUMPE

- Demonstration der Funktionsweise einer elektrischen Kompressionswärmepumpe.
- Quantitative Untersuchung des zugehörigen Kreisprozesses.
- Aufzeichnung und Auswertung des Druck-Enthalpie-Diagramms.

UE2060300

03/18 UD



Fig. 1: Messanordnung

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Eine elektrische Kompressionswärmepumpe besteht aus einem Kompressor mit Antriebsmotor, einem Verflüssiger, einem Ausdehnungsventil und einem Verdampfer. Ihre Funktionsweise beruht auf einem Kreisprozess mit Phasenübergang, den das Arbeitsmittel in der Pumpe durchläuft und der idealisiert in die vier Schritte Kompression,

Verflüssigung, gedrosselte Entspannung und Verdampfung unterteilt werden kann.

Zur Kompression wird das gasförmige Arbeitsmittel vom Kompressor angesaugt, ohne Entropieänderung ($s_1 = s_2$) von p_1 auf p_2 komprimiert und dabei überhitzt, siehe Fig. 2 und Fig. 3. Die Temperatur steigt daher von T_1 auf T_2 . Pro Masseneinheit wird die mechanische Verdichtungsarbeit $\Delta w = h_2 - h_1$ verrichtet.

Im Verflüssiger kühlt das Arbeitsmittel stark ab und kondensiert. Die frei werdende Wärme (Überhitzungswärme und Kondensationswärme) beträgt pro Masseneinheit $\Delta q^{\text{cond}} = h_2 - h_3$. Sie erwärmt das umgebende Reservoir.

Das kondensierte Arbeitsmittel gelangt zum Entspannungsventil, um dort gedrosselt (d.h. ohne mechanische Arbeit) auf niedrigeren Druck entspannt zu werden. Dabei nimmt auch die Temperatur ab, da Arbeit gegen die molekularen Anziehungskräfte im Arbeitsmittel verrichtet werden muss (Joule-Thomson-Effekt). Die Enthalpie bleibt konstant ($h_4 = h_3$).

Im Verdampfer verdampft das Arbeitsmittel unter Aufnahme von Wärme vollständig. Dies führt zur Abkühlung des umgebenden Reservoirs. Pro Masseneinheit beträgt die aufgenommene Wärme $\Delta q^{\text{vapo}} = h_1 - h_4$.

Zur Darstellung des Kreisprozesses einer Kompressions-Wärmepumpe verwendet man häufig das Mollier-Diagramm des Arbeitsmittels. Darin ist der Druck p gegen die spezifische Enthalpie h des Arbeitsmittels aufgetragen (die Enthalpie ist ein Maß für den Wärmeinhalt des Arbeitsmittels, sie wird im Allgemeinen mit wachsendem Druck und mit zunehmendem Gasanteil größer).

Außerdem werden die Isothermen ($T = \text{const.}$) und Isentropen ($s = \text{const.}$) sowie der relative Masseanteil der flüssigen Phase des Arbeitsmittels angegeben. Links von der sogenannten Siedelinie ist das Arbeitsmittel vollständig kondensiert. Rechts von der sogenannten Taulinie liegt das Arbeitsmittel als überhitzter Dampf und innerhalb beider Linien als Flüssigkeits-Gas-Gemisch vor. Die beiden Linien berühren sich im kritischen Punkt.

Zur Darstellung im Mollier-Diagramm lässt sich der oben beschriebene idealisierte Kreisprozess durch Messung der Drücke $p_4 = p_1$ und $p_3 = p_2$ hinter und vor dem Entspannungsventil und der Temperatur T_1 vor dem Kompressor und T_3 vor dem Expansionsventil bestimmen.

Im Experiment sind die Komponenten mit Kupferrohr zu einem geschlossenen System verbunden und auf einem Grundbrett aufgebaut. Sie können dank der übersichtlichen Anordnung unmittelbar mit der Abfolge der Zustandsänderungen im Kreisprozess der Wärmepumpe in Verbindung gebracht werden. Verdampfer und Verflüssiger sind als Kupferrohrwindeln ausgebildet und tauchen in je einen Wasserbehälter ein, der als Reservoir zur Bestimmung der aufgenommenen bzw. abgegebenen Wärme dient. Zwei große Manometer zeigen die Druckverhältnisse des Kältemittels in den beiden Wärmetauschern an. Zwei Digitalthermometer ermöglichen die Temperaturmessung in den beiden Wasserbehältern. Zur Messung der Temperaturen in den Kupferrohren vor dem Kompressor und vor dem Expansionsventil werden Temperatursensoren mit angepasster Messklemme eingesetzt.

Die Leistungszahl des idealisierten Kreisprozesses lässt sich aus den im Mollier-Diagramm abgelesenen spezifischen Enthalpien h_1 , h_2 und h_3 berechnen:

$$(1) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta w} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

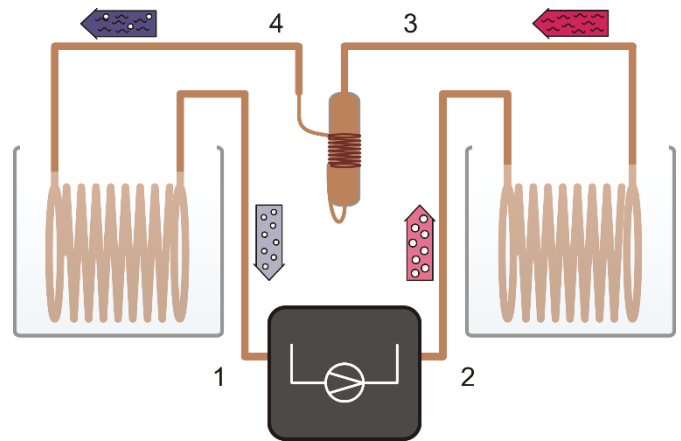


Fig. 2: Schematische Darstellung der Wärmepumpe mit Kompressor (1, 2), Verflüssiger (2, 3), Entspannungsventil (3, 4) und Verdampfer (4, 1).

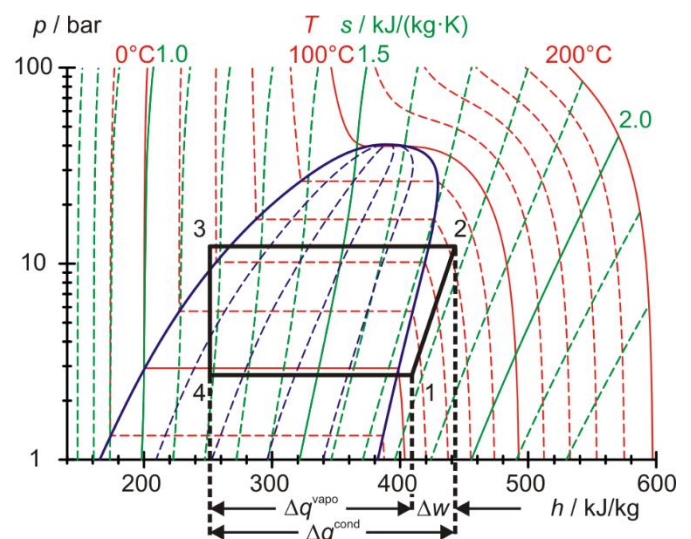


Fig. 3: Darstellung des idealisierten Kreisprozesses der Wärmepumpe im Mollier-Diagramm.

Sind die Enthalpien h_2 und h_3 des idealisierten Kreisprozesses sowie die dem Warmwasserreservoir pro Zeitintervall Δt zugeführte Wärmemenge ΔQ^{cond} bestimmt, so lässt sich der Massestrom des Arbeitsmittels abschätzen:

$$(2) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)}$$

GERÄTELISTE

1	Wärmepumpe D @230V oder	1000820 (U8440600-230)
1	Wärmepumpe D @115V	1000819 (U8440600-115)
4	Temperatursensoren NTC mit Messklemme	1021797 (U8558010)
1	VinciLab	1021477 (UCMA-001)
1	Coach 7, Universitätslizenz 5 Jahre	1021524 (UCMA-185U)

INBETRIEBNAHME

VinciLab und Temperatursensoren

- Die Software Coach 7 auf dem Mess-Rechner installieren.
- Das VinciLab mit Hilfe des USB-Kabels an den Computer anschließen.
- Jeweils einen Temperatursensor vor dem Kompressor (Messstelle 1 in Fig. 2), hinter dem Kompressor (Messstelle 2), vor dem Entspannungsventil (Messstelle 3) und hinter dem Entspannungsventil (Messstelle 4) an das Kupferrohr klemmen und an die Analogeingänge A1, A2, A3 und A4 des VinciLab anschließen.
- Das VinciLab und Coach 7 starten. In Coach 7 die Schaltfläche  anklicken, in dem sich öffnenden Fenster „Anmelden“ den Benutzernamen „Autor“ aus dem Drop-down-Menü auswählen, das Autorenpasswort eingeben und mit OK bestätigen.
- Die Schaltfläche  anklicken. In dem sich öffnenden Fenster „Einstellungen für Aktivitäten“ die Vor-Auswahlen „Typ Aktivität: Messung“ und „Schnittstelle: VinciLab“ durch Anklicken von OK bestätigen.

Die Software stellt die Verbindung zum VinciLab her. Ein Bild des VinciLab mit Piktogrammen der angeschlossenen Sensoren erscheint im linken unteren der vier Fenster.

- Messzeit von einer Stunde und Messfrequenz 30 Sekunden einstellen. Dazu die Schaltfläche  anklicken. Als Messzeit 3600 Sekunden und als Frequenz 2 pro Minute eingeben und mit OK bestätigen.
- Die Schaltfläche  anklicken.

Die (noch leere) Datentabelle erscheint im rechten oberen Fenster. VinciLab und Coach 7 sind jetzt fertig für die Messung konfiguriert.

Wärmepumpe

Sicherheitshinweis:



- Vor Inbetriebnahme der Wärmepumpe unbedingt die Sicherheitshinweise unter Punkt 2. in der Bedienungsanleitung der Wärmepumpe durchlesen und befolgen.

- Wasserbehälter mit je 2000 ml Wasser befüllen und in die Haltebleche einsetzen.
- Wärmepumpe ans Netz anschließen.
- Kompressor einschalten und ca. 10 min laufen lassen, so dass er seine Betriebstemperatur erreicht.
- Wasser erneuern und dabei jeweils die Masse des Wassers in den beiden Wasserbehältern bestimmen und notieren.
- Temperaturfühler der Digitalthermometer in die Wasserbehälter geben.

Hinweis:

Das Wasser sollte Raumtemperatur haben (ca. 20 – 25°C), ansonsten friert der Verdampfer im Laufe der Messung so zu, dass der Rührer nicht mehr bewegt werden kann.

DURCHFÜHRUNG

Hinweise:

Wegen der umfassenden Zahl der aufzunehmenden Messgrößen empfiehlt es sich, das Experiment zu zweit durchzuführen.

Das Wasser in den Behältern muss während des gesamten Experiments immer gut umgerührt werden.

- Die Werte der Drücke auf den Manometern und der Wassertemperaturen auf den Digitalthermometern der Wärmepumpe ablesen und jeweils als Startwerte notieren.
- Den Kompressor der Wärmepumpe noch nicht einschalten, zuerst die Messung in Coach 7 starten. Dazu die Schaltfläche  anklicken. In der Messtabelle erscheint der Eintrag „0 Datenzeilen“. Nach der eingegebenen Messfrequenz von 30 Sekunden erscheint der Eintrag „1 Datenzeilen“ und eine Schaltfläche mit dem Symbol „+“. Jetzt den Kompressor einschalten und das Symbol „+“ anklicken.

Durch das Anklicken des Symbols „+“ wird die Tabelle geöffnet und die Messwerte angezeigt. Sie beinhaltet zunächst nur die Zeile für $t = 0$ s mit den Startwerten für die Temperaturen T_1 , T_2 , T_3 und T_4 .

- Sobald nach weiteren 30 Sekunden die zweite Zeile in der Tabelle erscheint ($t = 30$ s), die Werte der Drücke auf den Manometern, der Wassertemperaturen auf den Digitalthermometern und der Kompressorleistung auf dem Energie-monitor der Wärmepumpe ablesen und notieren.
- Die Messung in dieser Weise fortführen bis der Überdruck-Schutzschalter der Wärmepumpe auslöst und durch Anklicken der Schaltfläche  beenden.
- Im Fenster mit der Datentabelle den Schraubenschlüssel in der Titelleiste anklicken. In dem sich öffnenden Menü „Messungen“ „CSV File exportieren“ auswählen und mit OK bestätigen. In dem sich öffnenden Fenster einen Dateinamen eingeben, ein Verzeichnis auswählen und „Speichern“ anklicken.

Alternativ können die Messwerte (ohne Überschriften) in der Tabelle markiert und mit Hilfe von Kopieren und Einfügen z.B. in eine Excel® – Tabelle übertragen werden.

MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

Masse des Wassers im Verdampfer $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vapo}}$: 1,98 kg

Masse des Wassers im Verflüssiger $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{cond}}$: 1,98 kg

Die Messdaten für die Temperaturen, die Drücke und die Kompressorleistung finden sich in der Excel® - Tabelle im Anhang. Die ersten fünf Spalten entsprechen der aus Coach 7 exportierten CSV-Datei, wobei die Zahlenwerte schon sinnvoll gerundet sind. Die folgenden fünf Spalten sind nachträglich ergänzt worden und entsprechen den handschriftlich aufgenommenen Messwerten für die Wassertemperaturen, die Drücke und die Kompressorleistung. Die Drücke p_3 und p_4 sind gemäß

$$(3) \quad p_3 = p_{e3} + 1\text{bar} \text{ und } p_4 = p_{e4} + 1\text{bar}$$

p_{e3} , p_{e4} : gemessene Überdrücke

schon in die entsprechenden Absolutdrücke umgerechnet worden. Die grau unterlegten, fett markierten Werte bei $t = 900$ s und $t = 1020$ s werden für die Berechnung der Leistungsbilanz verwendet.

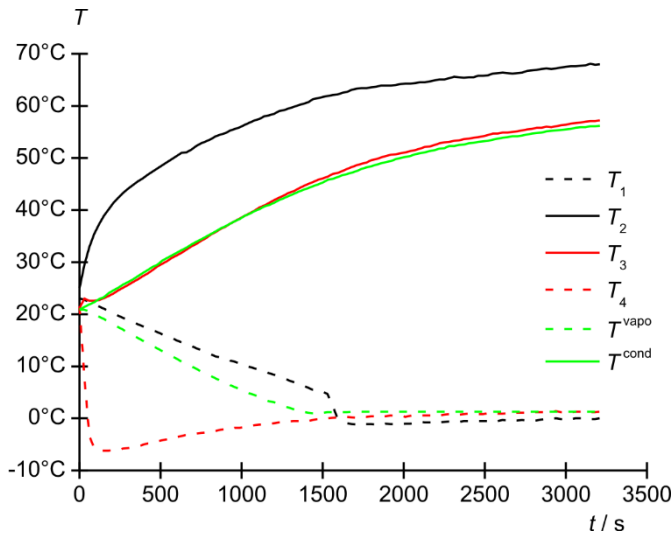


Fig. 4: Zeitliche Verläufe der Temperaturen T_1 , T_2 , T_3 und T_4 an den Messstellen 1 bis 4 und T^{vapo} und T^{cond} des Kalt- und Warmwasserreservoirs. Schwarz: Kompressor, Rot: Entspannungsventil, Grün: Wasserreservoirs. Durchgezogene Linien: warme Seite, gestrichelte Linien: kalte Seite.

Temperaturverläufe

- Die zeitlichen Verläufe der Temperaturen T_1 , T_2 , T_3 und T_4 an den Messstellen 1 bis 4 und T^{vapo} und T^{cond} des Kalt- und Warmwasserreservoirs in einem Diagramm darstellen (Fig. 4).

Wie erwartet steigt die Temperatur T_2 wegen der Überhitzung des Arbeitsmittels infolge der Kompression an, und die Temperatur T_4 nimmt aufgrund der Drosselung stark ab. Durch die beim Abkühlen des Arbeitsmittels im Verflüssiger frei werdende Wärme steigt die Temperatur T^{cond} des Warmwasserreservoirs. Die beim vollständigen Verdampfen des Arbeitsmittels aufgenommene Wärme kühlt das Kaltwasserreservoir ab, und infolgedessen nimmt die Temperatur T^{vapo} ab.

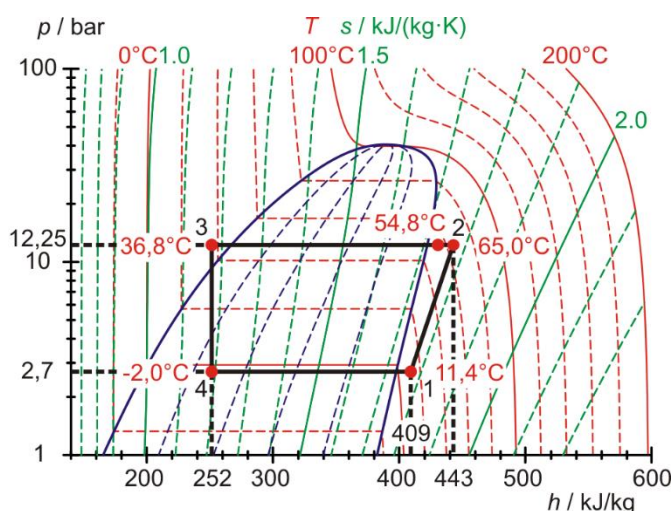


Fig. 5: Darstellung des Kreisprozesses der Wärmepumpe im Mollier-Diagramm, 15 Minuten nach Einschalten des Kompressors.

Die Temperaturen T_1 und T_3 nach der Verdampfung bzw. Wärmeaufnahme des Arbeitsmittels vom Kaltwasserreservoir und nach der Verflüssigung bzw. Wärmeabgabe des Arbeitsmittels an das Warmwasserreservoir entsprechen, abgesehen von Wärmeverlusten vor allem an die Umgebung, den Temperaturen des Kalt- und Warmwasserreservoirs T^{vapo} und T^{cond} . Nach etwa 25 Minuten (1500 s) friert der Verdampfer so zu, dass sich die Temperaturen T_1 , T_4 und T^{vapo} infolge der thermischen Isolierung der Kupferrohrwendeln durch die Eisschicht nicht mehr signifikant ändern.

Kreisprozess im Mollier-Diagramm und Leistungsbilanz

- Den Kreisprozess der Wärmepumpe mit den bei $t = 900$ s aufgenommenen Messwerten für T_1 , T_2 , T_3 und T_4 und p_3 und p_4 im Mollier-Diagramm darstellen (Tab. 1, Fig 5) und die Werte für die spezifischen Enthalpien h_1 , h_2 und $h_3 = h_4$ ablesen.

T_1 und $p_4 = p_1$ legen Punkt 1 im Mollier-Diagramm fest. Der Schnittpunkt der zugehörigen Isentropen mit der Horizontalen $p_3 = p_2 = \text{const.}$ ergibt Punkt 2. Der Schnittpunkt der Horizontalen mit der Isothermen T_3 führt zu Punkt 3 und das Lot auf die Horizontale $p_4 = p_1 = \text{const.}$ zu Punkt 4.

Der Kreisprozess entspricht dem erwarteten Verlauf. Auf Grund von Wärmeverlusten im Kompressor stimmt die gemessene Temperatur T_2 (54,8°C) nicht mit der isentropisch extrapolierten (65,0°C) überein.

Aus dem Mollier-Diagramm können folgende Werte für die spezifischen Enthalpien abgelesen werden:

$$\begin{aligned} h_1 &= 409 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ (4) \quad h_2 &= 443 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_3 &= 252 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_4 \end{aligned}$$

Hinweis:

Die Messung der Temperatur T_3 gibt einen erweiterten Einblick in die in der Wärmepumpe ablaufenden Prozesse: T_3 stimmt nicht mit der Temperatur überein, die auf der Temperaturskala des zugehörigen Manometers abgelesen wird. Diese Temperaturskala beruht auf der Dampfdruckkurve des Arbeitsmittels. Also zeigt die Messung, dass das Arbeitsmittel vor dem Entspannungsventil kein Gemisch aus Flüssigkeit und Gas, sondern vollständig flüssig ist.

Leistungszahl

Nach Gleichung (1) beträgt die Leistungszahl im Idealfall:

$$(5) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta W} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} = \frac{(443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{(443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 5,6$$

Aus der Erwärmung des Warmwasserreservoirs ergibt sich die Leistungszahl zu:

$$(6) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta W} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta W} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{P \cdot \Delta t}$$

$$= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{P \cdot \Delta t}$$

$$= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{116,5 \text{ W} \cdot 120 \text{ s}} = 1,2$$

Es werden also $1,2 / 5,6 = 0,21 = 21\%$ der elektrischen Leistung für die Kompression aufgewendet.

Massestrom des Arbeitsmittels

Nach Gleichung (2) gilt:

$$(7) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)}$$

$$= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)}$$

$$= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)}$$

$$= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s} \cdot (443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$= 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Effektive Kompressorleistung

$$(8) \quad P_{\text{eff}} = \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = (h_2 - h_1) \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$$= (443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 24,5 \text{ W}$$

In Übereinstimmung mit den Betrachtungen zur Leistungszahl werden $24,5 \text{ W} / 116,5 \text{ W} = 0,21 = 21\%$ der elektrischen Leistung für die Kompression aufgewendet.

Leistungsbilanz

Die effektive Kompressorleistung ergibt sich auch aus der dem Warmwasserreservoir pro Zeitintervall Δt zugeführten Wärmemenge ΔQ^{cond} abzüglich der dem Kaltwasserreservoir pro Zeitintervall Δt entzogenen Wärmemenge ΔQ^{vapo} :

$$(9) \quad \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t}$$

$$= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t}$$

$$= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}}$$

$$= 138 \text{ W}$$

$$(10) \quad \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{vapo}}}{\Delta t}$$

$$= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{900 \text{ s}}^{\text{vapo}} - T_{1020 \text{ s}}^{\text{vapo}})}{\Delta t}$$

$$= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (6,8 - 5,2)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}}$$

$$= 111 \text{ W}$$

Also:

$$(11) \quad P_{\text{eff}} = \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} - \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t}$$

$$= 138 \text{ W} - 111 \text{ W} = 27 \text{ W}$$

In guter Übereinstimmung mit dem oben berechneten Wert 24,5 W.

ANHANG

Tab. 1: Temperaturen T_1 , T_2 , T_3 und T_4 an den Messstellen 1 bis 4 und T^{vapo} und T^{cond} des Kalt- und Warmwasserreservoirs, Absolutdrücke p_3 und p_4 vor und hinter dem Entspannungsventil und Kompressorleistung P . Die ersten fünf Spalten entsprechen der aus Coach 7 exportierten CSV-Datei, wobei die Zahlenwerte sinnvoll gerundet wurden. Die folgenden fünf Spalten sind nachträglich ergänzt worden und entsprechen den handschriftlich aufgenommenen Messwerten für die Wassertemperaturen, die Drücke und die Kompressorleistung.

Zeit	T1	T2	T3	T4	Tvapo	Tcond	p3	p4	P
s	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	W
0	23,0	25,0	21,2	21,5	20,9	20,9	4,75	4,4	0,0
30	22,8	29,5	23,0	7,7	20,9	21,4	8,75	1,9	97,8
60	22,3	32,9	22,6	-3,4	20,5	21,9	8,75	2,0	101,1
90	21,8	35,4	22,6	-5,7	20,1	22,3	9,00	2,1	102,7
120	21,5	37,3	22,7	-6,2	19,5	22,9	9,00	2,2	103,2
150	21,1	38,9	23,1	-6,2	19,1	23,3	9,00	2,2	104,3
180	20,5	40,2	23,5	-6,2	18,5	24,1	9,25	2,2	105,1
210	20,2	41,4	24,0	-6,1	18,0	24,6	9,50	2,3	105,8
240	19,7	42,4	24,6	-6,0	17,5	25,1	9,50	2,3	106,7
270	19,3	43,3	25,1	-5,8	17,0	25,7	9,50	2,3	106,5
300	18,9	44,1	25,6	-5,7	16,4	26,2	9,75	2,3	107,0
330	18,5	44,8	26,2	-5,5	16,0	26,7	9,75	2,4	107,9
360	18,1	45,5	26,7	-5,3	15,4	27,3	10,00	2,4	108,8
390	17,7	46,1	27,3	-5,1	14,9	28,9	10,00	2,4	108,9
420	17,3	46,8	27,8	-4,8	14,4	28,5	10,00	2,4	109,7
450	16,9	47,4	28,5	-4,6	13,9	29,1	10,25	2,5	110,2
480	16,6	48,0	29,2	-4,4	13,4	29,5	10,50	2,5	110,3
510	16,1	48,6	29,7	-4,2	12,9	30,3	10,50	2,5	111,3
540	15,8	49,2	30,2	-4,0	12,5	30,8	10,50	2,5	111,5
570	15,4	49,8	30,8	-3,8	11,9	31,3	10,75	2,5	111,9
600	15,0	50,4	31,3	-3,6	11,5	31,8	11,00	2,6	112,3
630	14,6	51,0	31,8	-3,4	10,9	32,3	11,00	2,6	112,3
660	14,2	51,1	32,4	-3,1	10,6	32,8	11,00	2,6	113,6
690	13,9	51,6	33,0	-3,1	10,0	33,4	11,25	2,6	113,5
720	13,5	52,3	33,5	-2,9	9,5	33,9	11,50	2,6	114,0
750	13,1	52,8	34,1	-2,8	9,0	34,4	11,50	2,6	114,1
780	12,7	53,2	34,6	-2,7	8,5	34,9	11,75	2,6	115,0
810	12,3	53,6	35,3	-2,5	8,1	35,4	12,00	2,6	115,2
840	11,9	54,2	35,8	-2,4	7,7	35,9	12,00	2,7	115,6
870	11,7	54,5	36,4	-2,2	7,2	36,5	12,00	2,7	116,5
900	11,4	54,8	36,8	-2,0	6,8	36,9	12,25	2,7	116,5
930	11,1	55,3	37,4	-2,0	6,4	37,4	12,50	2,7	117,0
960	10,9	55,6	37,9	-1,8	6,0	37,9	12,50	2,7	117,2
990	10,5	55,9	38,4	-1,8	5,6	38,3	12,50	2,7	117,5
1020	10,1	56,4	38,9	-1,6	5,2	38,9	12,75	2,7	118,7
1050	9,9	56,8	39,4	-1,4	4,8	39,3	13,00	2,8	119,2
1080	9,6	57,2	39,9	-1,3	4,5	39,8	13,00	2,8	118,7
1110	9,4	57,5	40,5	-1,2	4,1	40,2	13,00	2,8	119,6
1140	9,1	58,0	40,9	-1,2	3,6	40,7	13,25	2,8	119,6

1170	8,7	58,2	41,4	-1,0	3,3	41,0	13,50	2,8	120,3
1200	8,4	58,5	41,9	-0,9	3,1	41,4	13,50	2,8	120,2
1230	8,1	59,0	42,4	-0,8	2,7	41,9	13,75	2,8	121,1
1260	7,7	59,2	42,8	-0,7	2,3	42,3	13,75	2,8	121,6
1290	7,3	59,5	43,3	-0,6	2,1	42,7	14,00	2,8	121,7
1320	7,0	59,8	43,6	-0,5	1,8	43,1	14,00	2,8	122,1
1350	6,6	60,1	44,1	-0,5	1,5	43,5	14,00	2,8	122,0
1380	6,3	60,4	44,6	-0,3	1,3	43,9	14,25	2,8	122,8
1410	5,9	60,7	45,0	-0,5	1,1	44,2	14,50	2,8	122,6
1440	5,5	61,6	45,4	-0,3	1,0	44,6	14,50	2,8	122,9
1470	5,1	61,5	45,8	-0,1	1,1	44,9	14,50	2,8	123,2
1500	5,1	61,7	46,1	-0,1	1,1	45,3	14,75	2,8	123,6
1530	4,7	61,9	46,4	0,0	1,2	45,8	14,75	2,9	123,7
1560	2,5	62,1	46,9	0,1	1,2	46,0	15,00	2,9	123,8
1590	0,1	62,2	47,1	0,2	1,2	46,3	15,00	2,9	124,5
1620	-0,6	62,5	47,5	0,2	1,2	46,7	15,00	2,9	124,7
1650	-0,9	62,7	47,9	0,3	1,2	46,9	15,25	2,9	124,9
1680	-1,1	63,1	48,3	0,2	1,3	47,2	15,50	2,9	125,0
1710	-1,2	63,3	48,6	0,1	1,3	47,5	15,50	2,9	125,1
1740	-1,1	63,4	48,9	0,2	1,3	47,9	15,50	2,9	125,4
1770	-1,1	63,4	49,1	0,3	1,3	48,2	15,75	2,9	125,9
1800	-1,1	63,6	49,6	0,4	1,3	48,4	15,75	2,9	126,0
1830	-1,2	63,7	49,8	0,4	1,3	48,7	16,00	2,9	126,0
1860	-1,2	63,9	50,1	0,4	1,3	49,0	16,00	2,9	126,4
1890	-1,0	63,9	50,4	0,4	1,3	49,2	16,00	2,9	126,3
1920	-1,1	63,9	50,6	0,6	1,3	49,4	16,00	2,9	126,6
1950	-1,1	64,0	50,7	0,5	1,3	49,8	16,25	2,9	127,0
1980	-1,1	64,2	50,9	0,6	1,3	50,0	16,25	2,9	127,3
2010	-1,0	64,3	51,1	0,3	1,3	50,2	16,50	2,9	127,2
2040	-1,0	64,3	51,3	0,5	1,3	50,4	16,50	2,9	127,3
2070	-0,8	64,4	51,5	0,7	1,3	50,7	16,50	2,9	127,5
2100	-0,7	64,5	51,8	0,6	1,3	50,9	16,50	2,9	127,7
2130	-0,8	64,5	52,1	0,6	1,3	51,1	16,75	2,9	128,0
2160	-0,8	64,7	52,2	0,6	1,3	51,3	16,75	2,9	128,6
2190	-0,8	64,9	52,5	0,6	1,3	51,5	17,00	2,9	128,6
2220	-0,8	65,1	52,8	0,6	1,3	51,8	17,00	3,0	128,8
2250	-0,7	65,1	53,0	0,7	1,3	51,9	17,00	3,0	128,9
2280	-0,6	65,3	53,1	0,8	1,3	52,3	17,00	3,0	128,9
2310	-0,5	65,6	53,3	0,8	1,3	52,3	17,00	3,0	129,0
2340	-0,7	65,5	53,4	0,7	1,3	52,5	17,00	3,0	129,2
2370	-0,5	65,4	53,6	0,8	1,3	52,6	17,50	3,0	129,4
2400	-0,5	65,5	53,7	0,9	1,3	52,8	17,50	3,0	129,8
2430	-0,4	65,5	53,9	0,8	1,3	52,9	17,25	3,0	129,4
2460	-0,5	65,8	54,0	0,8	1,3	53,1	17,50	3,0	129,9
2490	-0,5	65,8	54,2	0,8	1,3	53,2	17,50	3,0	130,0
2520	-0,5	65,9	54,4	1,0	1,3	53,3	17,50	3,0	130,1

2550	-0,5	66,2	54,7	1,0	1,3	53,5	17,50	3,0	130,5
2580	-0,5	66,3	54,7	0,9	1,3	53,7	17,50	3,0	130,1
2610	-0,3	66,4	54,9	0,9	1,3	53,9	17,75	3,0	130,6
2640	-0,4	66,3	54,9	1,0	1,3	54,0	17,75	3,0	130,5
2670	-0,5	66,2	55,0	1,1	1,3	54,2	17,75	3,0	130,8
2700	-0,4	66,3	55,1	1,1	1,3	54,2	18,00	3,0	130,8
2730	-0,3	66,4	55,3	1,1	1,3	54,3	18,00	3,0	130,8
2760	-0,4	66,7	55,5	1,1	1,3	54,5	18,00	3,0	131,5
2790	-0,4	66,8	55,6	1,2	1,3	54,7	18,00	3,0	131,5
2820	-0,4	66,9	55,8	1,2	1,3	54,8	18,00	3,0	130,8
2850	-0,2	67,1	55,8	1,2	1,3	54,9	18,00	3,0	131,7
2880	-0,1	67,2	56,0	1,2	1,3	55,1	18,00	3,0	131,8
2910	-0,1	67,1	55,9	1,2	1,3	55,2	18,25	3,0	131,5
2940	0,0	67,2	56,1	1,4	1,3	55,3	18,25	3,0	131,9
2970	-0,1	67,4	56,3	1,2	1,3	55,4	18,25	3,0	132,1
3000	-0,1	67,5	56,4	1,2	1,3	55,5	18,50	3,0	132,3
3030	-0,1	67,6	56,6	1,1	1,3	55,6	18,50	3,0	132,5
3060	0,0	67,6	56,7	1,3	1,3	55,8	18,50	3,0	132,4
3090	0,0	67,7	56,8	1,3	1,3	55,9	18,50	3,0	132,5
3120	0,1	67,8	57,0	1,2	1,3	55,9	18,50	3,0	132,3
3150	-0,1	68,1	57,1	1,2	1,3	56,1	18,50	3,0	132,4
3180	-0,1	67,9	57,1	1,2	1,3	56,1	18,50	3,0	132,6
3210	0,0	68,0	57,2	1,3	1,3	56,2	18,50	3,0	133,2