

Energie-Labor (EnLab)

Entdeckungsreise in die Welt der Energietechnik

Postenlauf:

Test- Wärmepumpe



Dieser Posten wurde durchgeführt von:

Kohorte: _____

Gruppennummer: _____

Namen: _____

Datum: _____

Vorbereitungsfragen zum Postenlauf Wärmepumpe

(Die folgenden Fragen zum Postenlauf Wärmepumpe müssen *vor der Labordurchführung* von allen Teilnehmenden bearbeitet werden!)

- Zählen Sie die drei typischen Wärmequellen auf, die von Wärmepumpen genutzt werden können.

- _____
- _____
- _____

- Nennen Sie Anwendungsbereiche von Wärmepumpen?

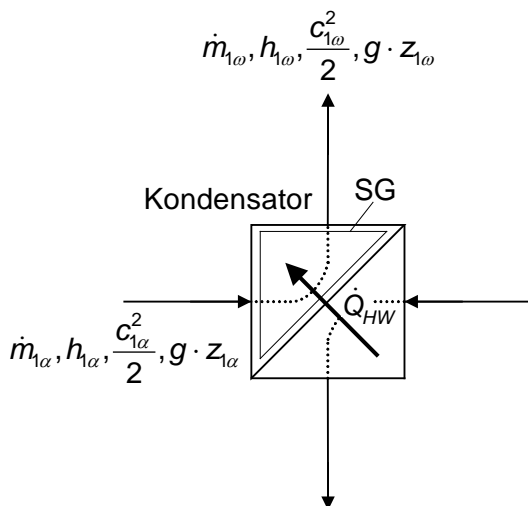
- _____
- _____
- _____

- Nennen Sie übliche Arbeits- (Kälte)mittel von Wärmepumpen?

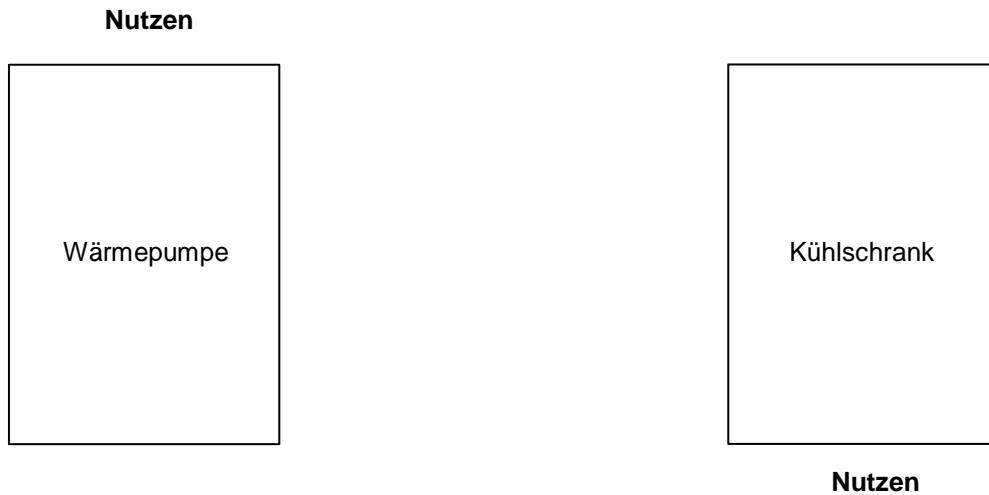
- _____
- _____
- _____

- Über den Kondensator der Wärmepumpe wird Wärme an den Heizkreislauf abgegeben. Vereinfachen Sie die allgemeine Energiegleichung für die Heizwassererwärmung (SG = Systemgrenze).

$$\sum \dot{Q} + \sum P = \sum_{\omega} \dot{m}_{\omega} \left(h + \frac{c^2}{2} + g \cdot z \right)_{\omega} - \sum_{\alpha} \dot{m}_{\alpha} \left(h + \frac{c^2}{2} + g \cdot z \right)_{\alpha}$$



- Skizzieren Sie die Energieflussbilder einer verlustfreien Wärmepumpe, sowie eines verlustfreien Kühlschranks und bezeichnen Sie die ein- und austretenden Energieströme (Leistungen).



- Was versteht man unter einer Leistungszahl (*COP*) einer Wärmepumpe?
- Schreiben Sie die drei typischen Einheiten der beiden Prozessgrößen hin.

- Arbeit = Energie = [] = [] = []

- Leistung = $\frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}} = \frac{[\quad]}{[\quad]} = \frac{[\quad]}{[\quad]} = \frac{[\quad]}{[\quad]}$

Symbolverzeichnis

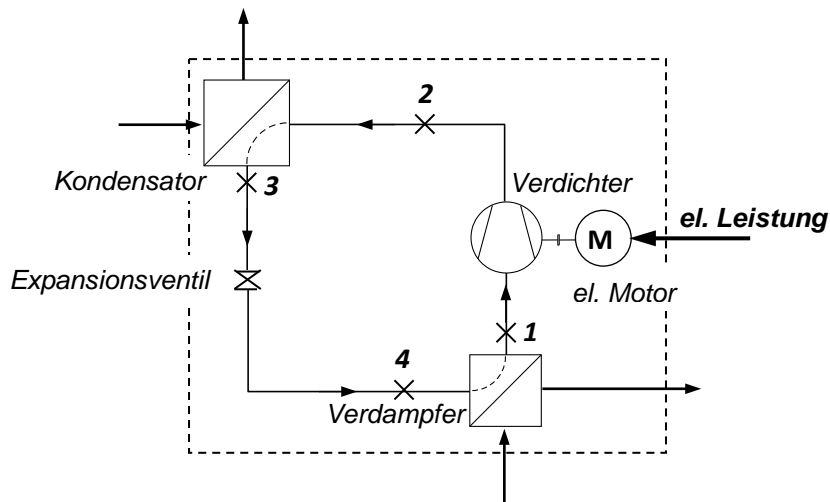
Bezeichnung	Symbol	Einheiten
Elektrische Leistung	P_{el}	[W]
Elektrische Energie	E_{el}	[Ws]
Wärmeleistung	\dot{Q}	[W]
Wärmeenergie	Q	[Ws]
Spezifische Kosten el. Energie	k_{el}	[Rp./kWh]
Kosten el. Energie	K_{el}	[CHF]
Volumenstrom	\dot{V}	[m ³ /s]
Massenstrom	\dot{m}	[kg/s]
Dichte	ρ	[kg/m ³]
Temperatur	ϑ, T	[°C], [K]
Spezifische Wärmekapazität	c_p	[J/(kg K)]
Spezifische Enthalpie	h	[J/kg]
Geschwindigkeit	c	[m/s]
Erdbeschleunigung	g	[m/s ²]
Zeit	τ	[s]
Höhe	z	[m]
Leistungszahl	COP	[-]
Eintretende Grösse	α	[-]
Austretende Grösse	ω	[-]

Gegebene Grössen

Die Dichte ρ und die spezifische Wärmekapazität c_p des Wassers sind abhängig von der Temperatur. Die Stoffwerte von Wasser aus dem VDI-Wärmeatlas, 9. Auflage (2002) befinden sich im Anhang.

Vom Kühlschrank zur Wärmepumpe

Der Kühlschrank und die Wärmepumpe bestehen aus den gleichen Komponenten und laufen nach dem gleichen Arbeitsprinzip. Der einzige Unterschied liegt in der Nutzung der Energien: In einem Kühlschrank wird die Energie im Verdampfer genutzt, in einer Wärmepumpe die Energie im Kondensator.



Verfahrensflussbild des Kälteprozesses

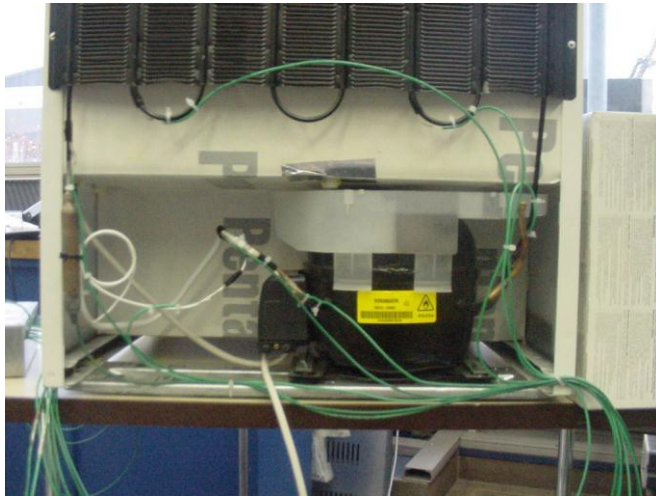
Kühlschrank



Der Verdampfer besteht aus einer Rohrschlange und befindet sich im Kühlraum des Kühlschranks (in der Abbildung links) in der hinteren Wand versteckt eingebettet. Das Kühlgut wird in diesem Bild mit einem elektrisch beheizten Widerstand simuliert.

Der Kondensator (in der Abbildung rechts) ist auf der Rückseite des Kühlschranks angebracht. Die Lamellen dienen zur Vergrößerung der Wärmeübertragungsfläche (Wärmeabgabe an die Umgebungsluft).





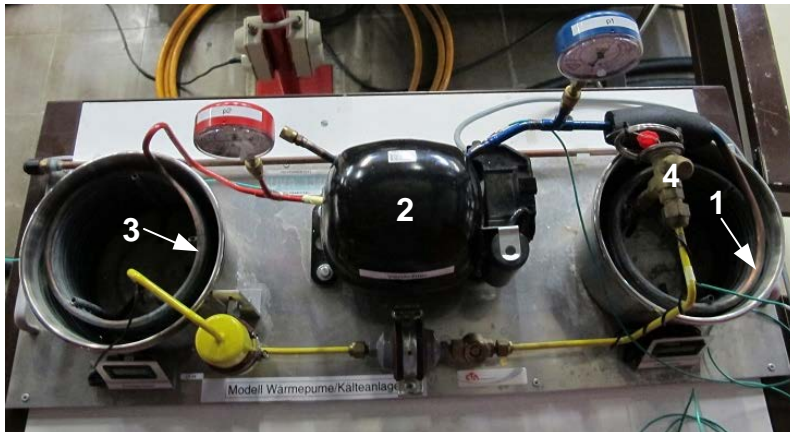
Der unterhalb des Kondensators, in einer Nische angebrachte, Verdichter (Kompressor) dient zur Förderung des Kältemittels in dem geschlossenen Kreislauf. Er wird von einem Elektromotor angetrieben. Der Verdichter und der Motor sind hier in einem hermetisch abgeschlossenen Gehäuse untergebracht.

Funktionsprinzip

Das Kältemittel verdampft in der Rohrschlange (Verdampfer, 4-1). Die dazu benötigte Wärmeenergie wird aus dem Kühlraum (d.h. aus dem Kühlgut im Kühlraum) entzogen. Der Verdichter bringt das dampfförmige Kältemittel von einem tiefen Druck auf ein höheres Druckniveau (1-2). Anschliessend wird das Kältemittel im Kondensator verflüssigt (2-3). Die dabei frei werdende Wärmeenergie wird an die umgebende Luft abgegeben. Der Druck des Kältemittels wird mittels Kapillarrohr (Expansionsvorrichtung, 3-4) zwischen dem Kondensator und dem Verdampfer reduziert.

Die Verdampfung und die Kondensation sind Aggregatzustandsänderungen und ermöglichen eine Wärmeübertragung mit hoher Intensität, was zu einer starken Reduktion der Dimensionen der Apparate führt.

Wärmepumpe



Die Wärmepumpe arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie ein Kältschrank und besteht aus denselben vier Hauptkomponenten:

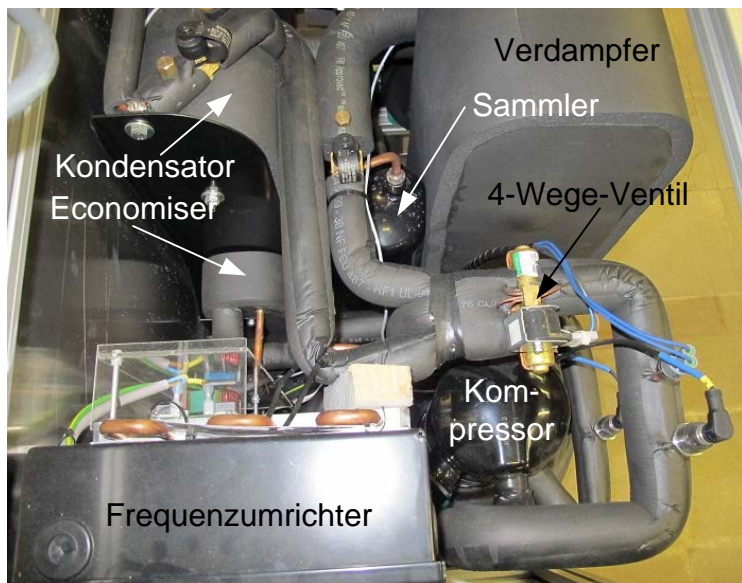
- 1: Verdampfer*
- 2: Verdichter*
- 3: Kondensator*
- 4: Expansionsventil*

Die für die Verdampfung bei tiefem Druck benötigte Wärmeenergie wird der Wärmequelle (Grundwasser, Erdreich oder Aussenluft) entnommen. Die beim Kondensieren frei gesetzte Wärmeenergie wird zur Erhöhung der Temperatur des Wassers in einem Heizsystem verwendet.

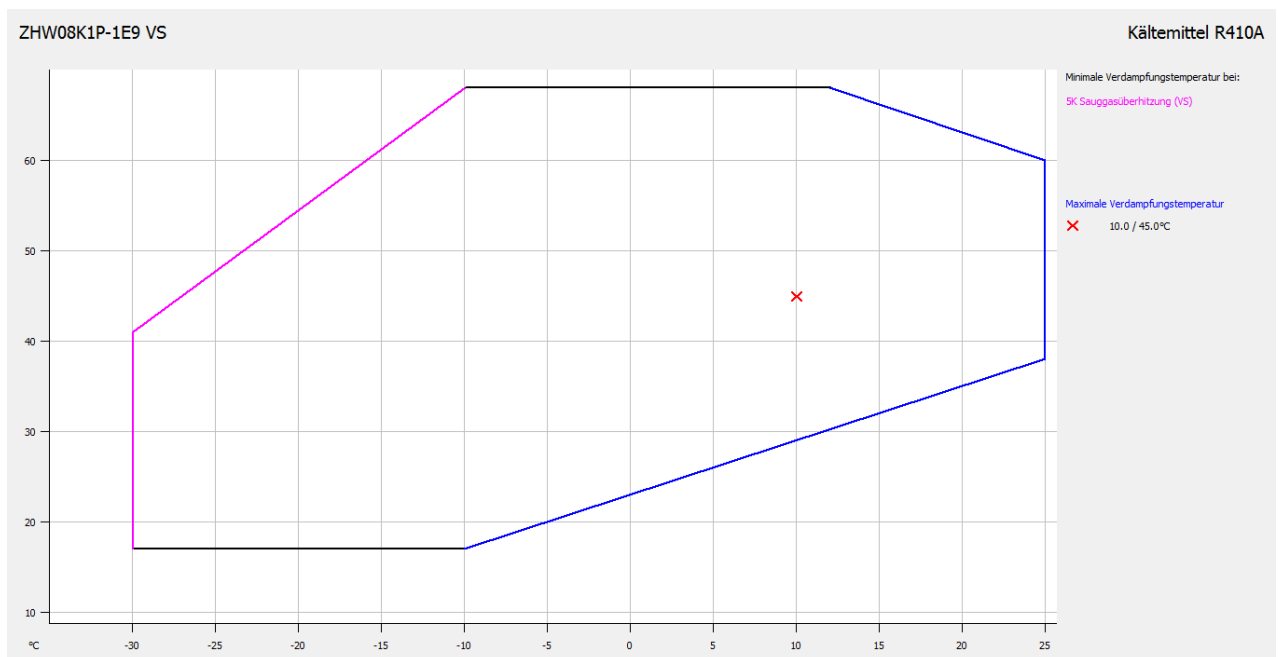
Die in diesem Postenlauf zu untersuchende Wärmepumpe basiert auf dem RMH10-Modul der Firma Emerson, welches im Rahmen des Projektes „Sole/Wasser-Wärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung“ des Bundesamtes für Energie (BFE) zur Untersuchung des Erdreichs eingesetzt wurde. Das RMH10-Modul verfügt über einen drehzahlvariablen Scroll-Kompressor. Die Drehzahlveränderung erfolgt mittels Frequenzumrichter (FU). Als Kältemittel wird R410a verwendet. Mit dem RMH10-Modul kann sowohl geheizt als auch gekühlt werden, d.h. über ein 4-Wege-Ventil kann der Prozess umgeschaltet werden (Prozessumkehr), wodurch der Kondensator zum Verdampfer und der Verdampfer zum Kondensator wird. Um durch die Drehzahlvariation (kontinuierliche Leistungsregelung) verursachte Kältemittelschwankungen aufzunehmen, verfügt das RMH10-Modul einen Kältemittelsammler. Des Weiteren besitzt das RMH10-Modul eine Kältemittel-Dampfeinspritzung, d.h. ein Teil des nach dem Kondensator flüssigen Kältemittels wird expandiert, im Gegenstrom über einen kleinen Wärmeübertrager (Economiser) mit dem restlichen flüssigen Kältemittel verdampft und direkt in den Kompressor eingespritzt. Durch die Kältemittel-Dampfeinspritzung können einerseits die Betriebsgrenzen der Wärmepumpe erweitert und somit auch bei tiefen Wärmequellentemperaturen noch hohe Wärmesenkenaustrittstemperaturen erreicht werden. Andererseits kann durch die Kältemittel-Dampfeinspritzung die Effizienz (Leistungszahl) gesteigert werden. Ein detailliertes Verfahrensflussbild der Anlage befindet sich im Kapitel „Arbeitsblätter“.

Technische Daten:

Heizleistung:	2.5 kW bis 10.5 kW bei ($T_v -5^{\circ}\text{C}/T_k 45^{\circ}\text{C}$)
Leistungszahl:	4.3 bei $10^{\circ}\text{C}/8^{\circ}\text{C}$ Brunnenwasser- und $38^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$ Heizwassertemperatur
Kältemittelfüllung:	4.5 kg R410a
Verdichter:	vollhermetisch, sauggasgekühlter Inverter-Scroll mit Dampfeinspritzung, 1800 min^{-1} bis 7020 min^{-1}
Verdampfer:	Platten-Wärmeübertrager
Kondensator:	Platten-Wärmeübertrager
Economiser:	Platten-Wärmeübertrager



Komponenten des RMH10-Moduls



Betriebsgrenzen RMH10-Modul

Zieldefinition

Zeitaufwand: 4 Lektionen

Verschaffen Sie sich einen Überblick und teilen Sie sich die zur Verfügung stehende Zeit gut ein.

Bearbeiten Sie die folgenden Aufgabenblätter so selbstständig wie möglich. Bei Fragen wenden Sie sich an den zuständigen Betreuer.

Abzugeben sind:

- ausgefülltes Titelblatt
- bearbeitete Arbeitsblätter

Die Arbeitsblätter werden korrigiert und wenn nötig, bei der Rückgabe, mit Ihnen besprochen.

Aufgaben:

1. Studieren Sie das Verfahrensbild der Anlage (d.h. das Anlagenschema), identifizieren Sie die wichtigsten Komponenten und ordnen Sie die für Ihre Untersuchung relevanten Messstellen sowie Messfühler zu.
2. Nehmen Sie die Messdatenerfassungsanlage unter der Aufsicht eines Betreuers in Betrieb und überprüfen Sie die im Stillstand gemessenen Werte auf ihre Plausibilität.
3. Nehmen Sie die Anlage in Betrieb (mit laufender Messdatenerfassung), beobachten Sie die Startphase, stellen Sie einen Betriebspunkt nach Rücksprache mit dem Betreuer ein.
4. Warten Sie bis die Beharrung erreicht ist und erfassen Sie für eine Dauer von mindestens 5 min. die notwendigen Größen. Geben Sie das Beharrungsdiagramm für eine Zeitspanne von mindestens 20 min. inklusive Messperiode mit den Arbeitsblättern ab.
5. Werten Sie die Messung sorgfältig aus, stellen Sie ein Energieflussdiagramm zusammen und diskutieren Sie Ihre Ergebnisse mit Ihrem Betreuer.

Legende

Wärmesenkenkreislauf

LE 301: Luftherhitzer

Kältemittelkreislauf «Heizen»

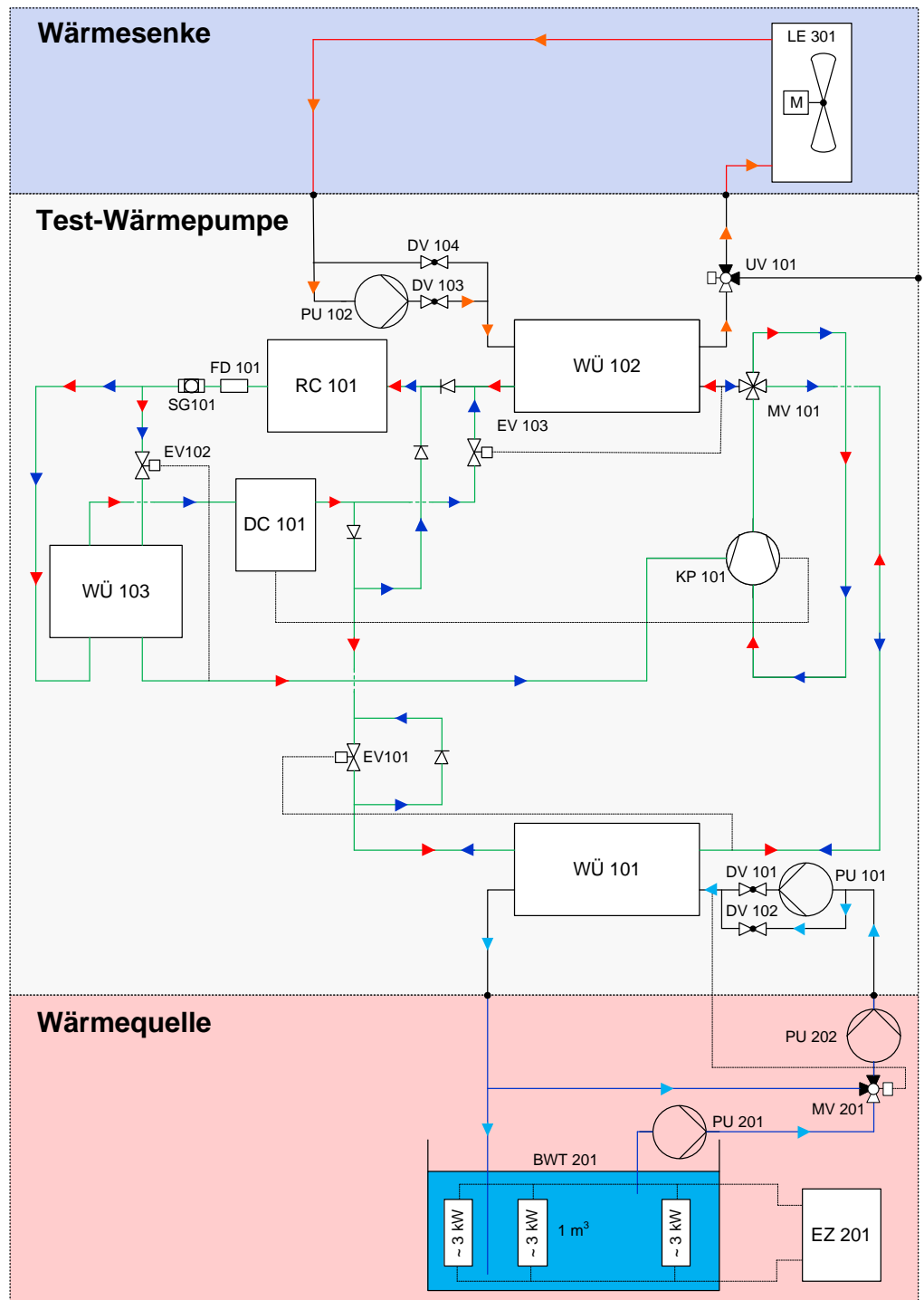
Kältemittelkreislauf «Kühlen»

KP 101: Kompressor
 WÜ 101: Verdampfer
 WÜ 102: Kondensator
 WÜ 103: Economiser
 EV 101: Hauptexpansionsventil
 EV 102: Expansionsventil
 EV 103: Expansionsventil
 DC 101: Dampfeinspritzung
 MV 101: 4-Wege-Ventil
 RC 101: Sammler
 FD 101: Filtertrockner
 SG 101: Schauglas

PU 101: Pumpe Wärmequelle
 PU 102: Pumpe Wärmesenke
 UV 101: Umschaltventil
 Wärmesenke
 DV 101: Drossel-/Umschaltventil
 DV 102: Drossel-/Umschaltventil
 DV 103: Drossel-/Umschaltventil
 DV 104: Drossel-/Umschaltventil

Wärmequellenkreislauf

PU 201: Brunnenwasserpumpe
 PU 202: Brunnenwasserumwälz-
 pumpe
 MV 201: Mischventil
 EZ 201: el. Zuheizter
 BWT 201: Brunnenwassertank



Arbeitsblätter

Messprotokoll (stationäre Bedingungen)

Volumenstrom des Heizwassers (HW) gemessen mit Wasser- und Stoppuhr

Datum	Messung	Zeit	ΔV_{HW}	$\Delta \tau_{HW}$	\dot{V}_{HW}
		[hh.mm]	[m³]	[s]	[m³/s]
	1				
	2				
	Mittelwert				

Massenstrom des Brunnenwassers (BW) aus LabView

Datum	Messung	Zeit	\dot{m}_{BW}
		[hh.mm]	[kg/h]
	1		
	2		
	Mittelwert		

Heizwasser- (HW), Brunnenwassertemperaturen (BW) und elektrische Leistung der Test-WP aus LabView

Datum	Zeit	$\vartheta_{HW\alpha}$	$\vartheta_{HW\omega}$	$\rho_{HW\omega}$	$\vartheta_{BW\alpha}$	$\vartheta_{BW\omega}$	$\rho_{BW\omega}$	P_{KP}	P_{PU}
	[hh.mm]	[°C]	[°C]	[kg/m³]	[°C]	[°C]	[kg/m³]	[kW]	[W]
									60

Arbeitsblätter

1. Massenströme

1.1 Warmwasser (Heizwasser)

Dichte des Wassers (Heizwasseraustrittstemperatur):

$$\rho_{HW} = \quad \quad \quad [\text{kg/m}^3]$$

Heizwasservolumenstrom:

$$\dot{V}_{HW} = \quad \quad \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Heizwassermassenstrom:

$$\dot{m}_{HW} = \rho_{HW} \cdot \dot{V}_{HW} = \quad \quad \quad [\text{kg/s}]$$

1.2 Kaltwasser (Brunnenwasser)

Dichte des Wassers (Brunnenwasseraustrittstemperatur):

$$\rho_{BW} = \quad \quad \quad [\text{kg/m}^3]$$

Brunnenwasservolumenstrom:

$$\dot{V}_{BW} = \quad \quad \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Wie lange hätten Sie mit der Stoppuhr gemessen, wenn sie mit dem zurückfliessenden Brunnenwasser eine Badewanne (140 l) gefüllt hätten?

$$\Delta \tau_{BW} = \quad \quad \quad [\text{min}]$$

2. Leistungen

2.1 Abgeführte Heizleistung

Temperatur Heizwasser am Kondensatoraustritt:

$$\vartheta_{HW\omega} = \quad \quad \quad [^\circ\text{C}]$$

Temperatur Heizwasser am Kondensatoreintritt:

$$\vartheta_{HW\alpha} = \quad \quad \quad [^\circ\text{C}]$$

Mittlere Heizwassertemperatur:

$$\bar{\vartheta}_{HW} = \frac{\vartheta_{HW\alpha} + \vartheta_{HW\omega}}{2} = \quad \quad \quad [^\circ\text{C}]$$

Spezifische Wärmekapazität des Heizwassers (\bar{g}_{HW}):

$$c_{p\,HW} = \quad [J/(kg\,K)]$$

Abgeführte Heizleistung:

$$\dot{Q}_{HW} = \dot{m}_{HW}(h_{HW\omega} - h_{HW\alpha}) = \dot{m}_{HW} \cdot c_{p\,HW}(T_{HW\omega} - T_{HW\alpha}) \quad [kW]$$

2.2 Zugeführte Kälteleistung

Temperatur Brunnenwasser am Verdampferaustritt:

$$g_{BW\omega} = \quad [^{\circ}C]$$

Temperatur Brunnenwasser am Verdampfereintritt:

$$g_{BW\alpha} = \quad [^{\circ}C]$$

Mittlere Brunnenwassertemperatur:

$$\bar{g}_{BW} = \frac{g_{BW\alpha} + g_{BW\omega}}{2} = \quad [^{\circ}C]$$

Spezifische Wärmekapazität des Brunnenwassers (\bar{g}_{BW}):

$$c_{p\,BW} = \quad [J/(kg\,K)]$$

Zugeführte Kälteleistung:

$$\dot{Q}_{BW} = \dot{m}_{BW}(h_{BW\omega} - h_{BW\alpha}) = \dot{m}_{BW} \cdot c_{p\,BW}(T_{BW\omega} - T_{BW\alpha}) \quad [kW]$$

2.3 Zugeführte elektrische Leistung

Elektrische Leistung des Verdichters (Kompressors):

$$P_{KP} = \quad \quad \quad [\text{kW}]$$

2.4 Wärmeverluste

$$\dot{Q}_{WV} = \left| \dot{Q}_{BW} \right| + P_{KP} - \left| \dot{Q}_{HW} \right| = \quad \quad \quad [\text{W}]$$

3. Effektive Leistungszahl der Wärmepumpe

Verhältnis der Heizleistung und der elektrischen Leistung:

$$COP = \frac{\quad}{\quad} = \quad \quad \quad [-]$$

Bemerkung: Die Effizienz einer Kälte- oder Wärmepumpen-Anlage wird mit einer Leistungszahl (und nicht mit einem Wirkungsgrad) angegeben. Es gibt leider unterschiedliche Auffassungen, was alles zu P_{el} gehört. Sinnvollerweise muss die el. Leistung der Wärmequelle (z.B. Umwälzpumpe oder Ventilator) mitberücksichtigt werden. Eine Aussage über den **COP ohne** dass die **Randbedingungen** (Wärmequelle- und Wärmesenken temperaturen) bekannt sind, ist nicht möglich bzw. **wertlos!**

- In welchen Fällen wird die Nutzung von Brunnenwasser als Energiequelle nicht zugelassen?

- _____

- _____

- _____

- Welche Nachteile hat eine Luft/Wasser-Wärmepumpe gegenüber einer Wasser/Wasser - Wärmepumpe?

- _____

- _____

- _____

- Schätzen Sie die jährlichen Kosten für die elektrische Energie zur Beheizung eines Einfamilienhauses, für eine Wärmepumpe und eine Elektroheizung, ab.

- Heizwärmebedarf Gebäude und Energiepreis:

Benötigte Heizleistung:

$$\dot{Q}_H = \quad \quad \quad [\text{kW}]$$

Volllastbetriebsstunden

$$\tau = \quad \quad \quad [\text{h}]$$

Benötigte Heizenergie:

$$Q_H = \dot{Q}_H \cdot \tau = \quad \quad \quad [\text{kWh}]$$

Spezifische Kosten elektrische Energie:

$$k_{el} = \quad \quad \quad [\text{Rp./kWh}]$$

- Wärmepumpe:

$$COP = \quad \quad \quad [-]$$

Benötigte elektrische Energie:

$$E_{el} = \quad \quad \quad [\text{kWh}]$$

Kosten elektrische Energie:

$$K_{el} = \quad \quad \quad [\text{CHF}]$$

- Elektroheizung:

Benötigte elektrische Energie:

$$E_{el} = \quad \quad \quad [\text{kWh}]$$

Kosten elektrische Energie:

$$K_{el} = \quad \quad \quad [\text{CHF}]$$

Tabelle 1. Stoffwerte von Wasser beim Druck $p = 1$ bar. Im Gegensatz zu allen anderen Tabellenwerten wurden die Werte für den Temperaturbereich $\vartheta < 0$ °C (unterkühlte Flüssigkeit) mit der IAPWS-95 Formulation [1] berechnet

ϑ Temperatur c_p spezifische isobare Wärmekapazität ν kinematische Viskosität
 ρ Dichte β isobarer Volumenausdehnungskoeffizient α Temperaturleitfähigkeit
 h spezifische Enthalpie λ Wärmeleitfähigkeit Pr Prandtl-Zahl
 s spezifische Entropie η dynamische Viskosität

ϑ °C	ρ kg m ⁻³	h kJ kg ⁻¹	s kJ kg ⁻¹ K ⁻¹	c_p kJ kg ⁻¹ K ⁻¹	β 10 ⁻³ K ⁻¹	λ 10 ⁻³ W m ⁻¹ K ⁻¹	η 10 ⁻⁶ kg m ⁻¹ s ⁻¹	ν 10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹	α 10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹	Pr -
-30	983,83	-131,24	-0,50989	4,801	-1,4078	495,7	8653,0	8,795	0,1050	83,80
-25	989,60	-107,95	-0,41506	4,542	-0,9607	511,5	5961,3	6,024	0,1138	52,94
-20	993,57	-85,624	-0,32600	4,401	-0,6604	523,0	4361,9	4,390	0,1196	36,70
-15	996,30	-63,836	-0,24076	4,321	-0,4488	532,9	3338,0	3,350	0,1238	27,06
-14	996,73	-59,521	-0,22408	4,309	-0,4137	534,8	3178,1	3,188	0,1245	25,61
-13	997,13	-55,217	-0,20751	4,299	-0,3806	536,7	3029,8	3,038	0,1252	24,27
-12	997,49	-50,924	-0,19103	4,289	-0,3492	538,6	2892,0	2,899	0,1259	23,03
-11	997,82	-46,639	-0,17466	4,280	-0,3194	540,4	2763,8	2,770	0,1265	21,89
-10	998,13	-42,363	-0,15838	4,272	-0,2911	542,3	2644,2	2,649	0,1272	20,83
-9	998,40	-38,095	-0,14219	4,265	-0,2641	544,2	2532,6	2,537	0,1278	19,85
-8	998,66	-33,833	-0,12609	4,258	-0,2384	546,0	2428,2	2,432	0,1284	18,94
-7	998,88	-29,579	-0,11007	4,252	-0,2139	547,9	2330,5	2,333	0,1290	18,08
-6	999,08	-25,330	-0,09414	4,246	-0,1904	549,8	2238,8	2,241	0,1296	17,29
-5	999,26	-21,087	-0,07828	4,241	-0,1679	551,6	2152,7	2,154	0,1302	16,55
-4	999,42	-16,849	-0,06251	4,236	-0,1463	553,5	2071,7	2,073	0,1308	15,85
-3	999,55	-12,616	-0,04681	4,231	-0,1255	555,4	1995,4	1,996	0,1313	15,20
-2	999,67	-8,3865	-0,03118	4,227	-0,1055	557,3	1923,5	1,924	0,1319	14,59
-1	999,77	-4,1616	-0,01563	4,223	-0,0863	559,2	1855,7	1,856	0,1324	14,01
0	999,84	0,05966	-0,00015	4,219	-0,0677	561,1	1791,5	1,792	0,1330	13,47
1	999,90	4,2774	0,01526	4,216	-0,0497	563,0	1730,9	1,731	0,1335	12,96
2	999,94	8,4918	0,03061	4,213	-0,0324	564,9	1673,4	1,673	0,1341	12,48
3	999,97	12,703	0,04589	4,210	-0,0156	566,8	1618,9	1,619	0,1346	12,03
4	999,97	16,912	0,06110	4,207	0,0006	568,7	1567,2	1,567	0,1352	11,60
5	999,97	21,118	0,07625	4,205	0,0163	570,6	1518,1	1,518	0,1357	11,19
6	999,94	25,322	0,09134	4,203	0,0315	572,5	1471,4	1,472	0,1362	10,80
7	999,90	29,524	0,10636	4,201	0,0463	574,4	1427,0	1,427	0,1367	10,44
8	999,85	33,723	0,12133	4,199	0,0606	576,3	1384,7	1,385	0,1373	10,09
9	999,78	37,921	0,13623	4,197	0,0746	578,2	1344,4	1,345	0,1378	9,759
10	999,70	42,117	0,15108	4,195	0,0881	580,0	1305,9	1,306	0,1383	9,445
11	999,61	46,312	0,16586	4,194	0,1013	581,9	1269,1	1,270	0,1388	9,147
12	999,50	50,505	0,18060	4,193	0,1142	583,8	1234,0	1,235	0,1393	8,862
13	999,38	54,697	0,19527	4,191	0,1267	585,7	1200,5	1,201	0,1398	8,591
14	999,25	58,888	0,20989	4,190	0,1389	587,5	1168,3	1,169	0,1403	8,332
15	999,10	63,078	0,22446	4,189	0,1509	589,4	1137,6	1,139	0,1408	8,085
20	998,21	84,012	0,29648	4,185	0,2066	598,5	1001,6	1,003	0,1433	7,004
25	997,05	104,93	0,36723	4,182	0,2569	607,2	890,08	0,893	0,1456	6,130
30	995,65	125,83	0,43676	4,180	0,3029	615,5	797,35	0,801	0,1479	5,415
35	994,04	146,73	0,50513	4,179	0,3453	623,3	719,32	0,724	0,1501	4,822
40	992,22	167,62	0,57239	4,179	0,3849	630,6	652,98	0,658	0,1521	4,327
45	990,22	188,52	0,63859	4,179	0,4222	637,4	596,07	0,602	0,1540	3,908
50	988,05	209,41	0,70375	4,180	0,4574	643,6	546,85	0,553	0,1559	3,551
55	985,71	230,31	0,76794	4,181	0,4910	649,3	503,98	0,511	0,1575	3,245
60	983,21	251,22	0,83117	4,183	0,5231	654,4	466,40	0,474	0,1591	2,981
65	980,57	272,14	0,89350	4,185	0,5541	659,0	433,27	0,442	0,1606	2,752
70	977,78	293,07	0,95495	4,188	0,5841	663,1	403,90	0,413	0,1619	2,551
75	974,86	314,02	1,0156	4,192	0,6132	666,8	377,75	0,387	0,1632	2,375
80	971,80	334,99	1,0754	4,196	0,6417	670,0	354,35	0,365	0,1643	2,219
85	968,62	355,98	1,1344	4,200	0,6695	672,8	333,35	0,344	0,1654	2,081
90	965,32	376,99	1,1926	4,205	0,6970	675,3	314,41	0,326	0,1664	1,958
95	961,89	398,03	1,2502	4,211	0,7241	677,4	297,29	0,309	0,1672	1,848
99,61 ^{a)}	958,64	417,44	1,3026	4,216	0,7489	679,0	282,92	0,295	0,1680	1,757

^{a)} Sättigungszustand