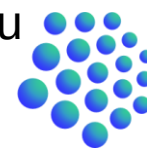


Thermodynamik I Übungsstunde 08

Juncheng Fu (Elias)
29. November 2024

Übungsmaterial





- Die Übungsstunde wird von mir aufgezeichnet!
- **Nicht offiziell**
- (Screen recording) Lade ich später auf YT hoch
- Keine Garantie für Qualität, es ist nur in der Not zu nutzen (Falls Krank...)



151-0051-00L Thermodynamik I HS2024 / FAQ Sessionsprüfung / Klausur - FAQ



Klausur - FAQ

Thermo I Klausur – Frequently asked questions

Wie lange dauert die Klausur?

Die Bearbeitungszeit der Klausur sind insgesamt 135 Minuten, die sich aus 120 Minuten Klausurzeit und einer Einlesezeit von 15 Minuten zu Beginn zusammensetzen. Typischerweise besteht die Klausur aus 4 Aufgaben und beinhaltet insgesamt ca. 70 bis 100 Punkte.

Wie funktioniert die Einlesezeit?

In der Einlesezeit ist es vorgesehen, dass die Aufgabenstellungen gelesen werden können, um Verständnisfragen vorab stellen zu können und ein guter Überblick über die Klausur gewonnen werden kann. Während der Einlesezeit ist eine Bearbeitung der Aufgaben nicht gestattet und würde als Täuschungsversuch gewertet. Daher darf während der Einlesezeit nur ein Textmarker (bitte zur Klausur mitbringen!) genutzt werden. Mit Textmarker geschriebene Lösungen werden in der Korrektur nicht berücksichtigt.



Wieso wenn **PG** geg. Ist, Dann darf keine IG TAB-Wert verwenden?

TAB-Wert sind experimental gemessen,
die **Wärmekapazität für TAB-Wert ist nicht konstant!**

Annahme für PG:
Wärmekapazität ist konstant!

Deswegen auf kein falls TAB-Wert
nutzen für PG
Jedoch bei IG->PG Approximation kann
man schon TAB A-20 (cp,cv) verwenden.
Es ist eine andere TAB

TABLE A-22

Ideal Gas Properties of Air

$T(K), h \text{ and } u(kJ/kg), s^\circ (kJ/kg \cdot K)$											
				when $\Delta s = 0$						when $\Delta s = 0$	
T	h	u	s°	p_r	v_r	T	h	u	s°	p_r	v_r
200	199.97	142.56	1.29559	0.3363	170.7	450	451.80	322.62	2.11161	5.775	223.6
210	209.97	149.69	1.34444	0.3987	151.2	460	462.02	329.97	2.13407	6.245	211.4
220	219.97	156.82	1.39105	0.4690	134.6	470	472.24	337.32	2.15604	6.742	200.1
230	230.02	164.00	1.43557	0.5477	120.5	480	482.49	344.70	2.17760	7.268	189.5
240	240.02	171.13	1.47824	0.6355	108.4	490	492.74	352.08	2.19876	7.824	179.7
250	250.05	178.28	1.51917	0.7329	97.9	500	503.02	359.49	2.21952	8.411	170.6
260	260.09	185.45	1.55848	0.8401	88.7	510	513.32	366.92	2.23993	9.031	162.1
270	270.11	192.60	1.59634	0.9579	80.8	520	523.63	374.36	2.25997	9.684	154.1
280	280.13	199.75	1.63279	1.0866	73.8	530	533.98	381.84	2.27967	10.37	146.7
285	285.14	203.33	1.65055	1.1584	66.1	540	544.35	389.34	2.29906	11.10	139.7
290	290.16	206.91	1.66802	1.2311	59.1	550	554.74	396.86	2.31809	11.86	133.1
295	295.17	210.49	1.68515	1.3068	52.8	560	565.17	404.42	2.33685	12.66	127.0
300	300.19	214.07	1.70203	1.3860	47.1	570	575.62	411.97	2.35531	13.50	121.2
305	305.22	217.67	1.71865	1.4686	41.9	580	586.10	419.55	2.37348	14.38	115.7
310	310.24	221.25	1.73498	1.5546	37.3	590	596.52	427.15	2.39140	15.31	110.6
315	315.27	224.85	1.75106	1.6442	33.0	600	607.02	434.78	2.40902	16.28	105.8
320	320.29	228.42	1.76690	1.7375	29.1	610	617.53	442.42	2.42644	17.30	101.2
325	325.31	232.02	1.78249	1.8346	25.6	620	628.07	450.09	2.44356	18.36	96.92
330	330.34	235.61	1.79783	1.9356	22.5	630	638.63	457.78	2.46048	19.48	92.84
340	340.42	242.82	1.82709	2.0409	19.9	640	649.22	465.50	2.47716	20.64	88.99
350	350.49	250.02	1.85843	2.1799	17.6	650	659.84	473.25	2.49364	21.86	85.34
360	360.58	257.24	1.88983	2.2626	15.6	660	670.57	481.01	2.50985	23.13	81.89
370	370.67	264.46	1.91313	2.892	13.7	670	681.32	488.81	2.52589	24.46	78.61
380	380.77	271.69	1.94001	3.176	12.1	680	692.10	496.62	2.54175	25.85	75.50
390	390.88	278.93	1.96633	3.481	10.7	690	702.91	504.45	2.55731	27.29	72.56
400	400.98	286.16	1.99194	3.806	9.5	700	713.77	512.33	2.57277	28.80	69.76
410	411.12	293.43	2.01699	4.153	8.4	710	724.04	520.23	2.58810	30.38	67.07
420	421.26	300.69	2.04142	4.522	7.5	720	734.82	528.14	2.60319	32.02	64.53
430	431.43	307.99	2.06533	4.915	6.7	730	745.62	536.07	2.61803	33.72	62.13
440	441.61	315.30	2.08870	5.332	6.0	740	756.44	544.02	2.63280	35.50	59.82

Wieso leistet eine Komponente (Drossel) keine Arbeit?

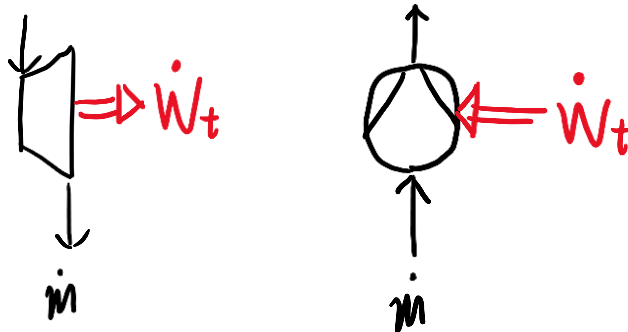
Gegen Frage: „Was leistet Arbeit? Und wie leistet es Arbeit?“

Für Kolben-Zylinder



System Grenze (Volumen) nicht konstant -> Volumenarbeit

Für Turbine und Kompressor



Es gibt mechanische Arbeitsfluss -> Technische Arbeit (kinetische Arbeit)

Wieso leistet eine Komponente (Drossel) keine Arbeit?

Gegen Frage: „Was leistet Arbeit? Und wie leistet es Arbeit?“

System Grenze (Volumen) konstant -> Keine Volumenarbeit



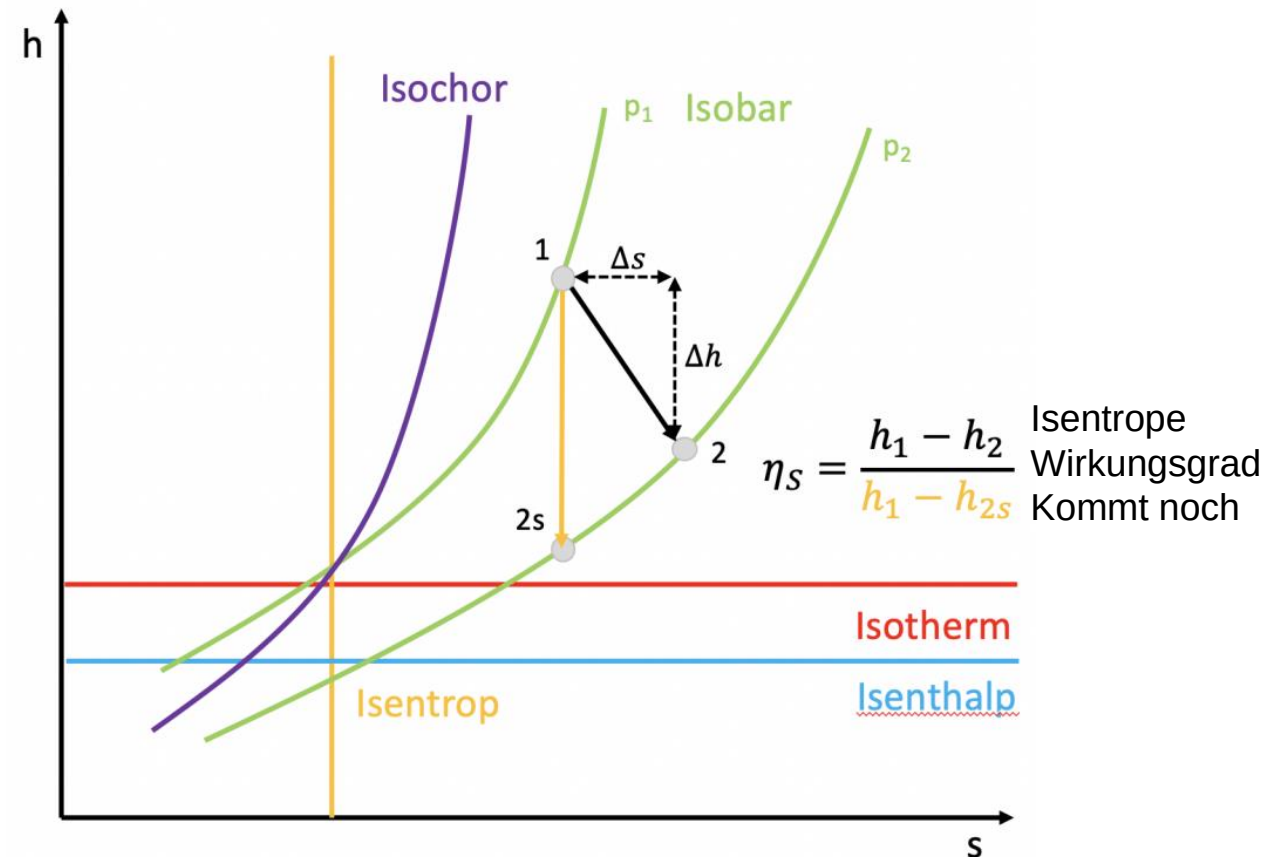
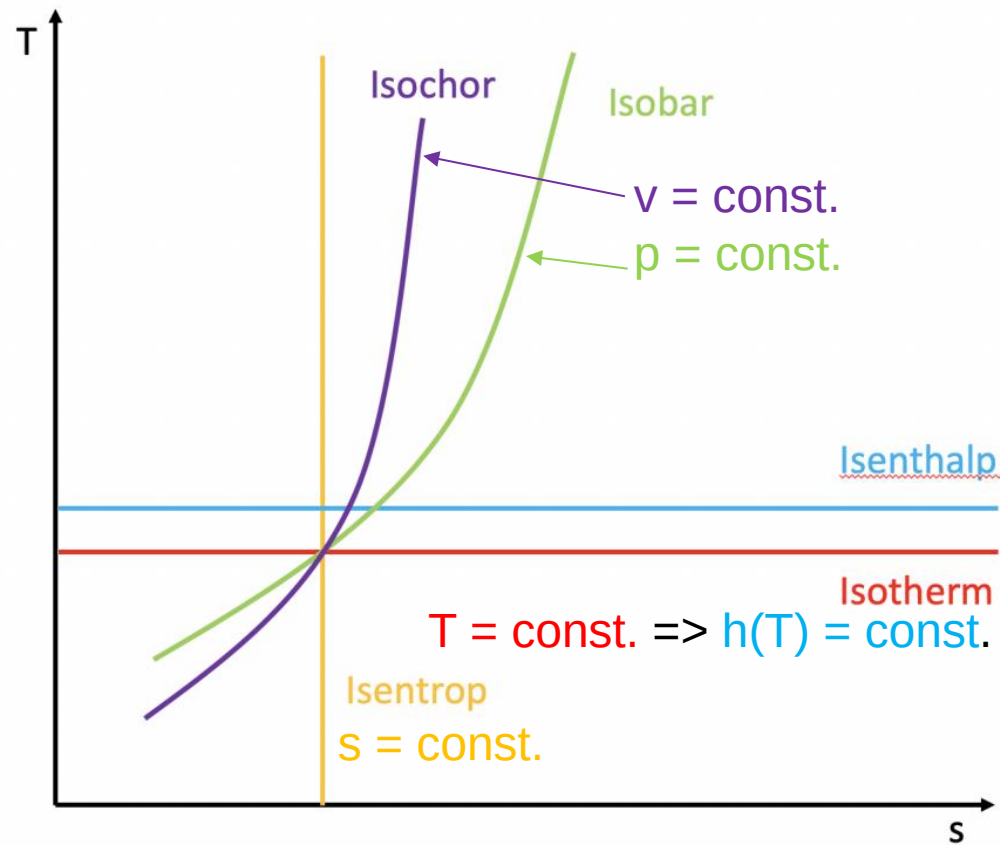
Es gibt **keine** mechanische Arbeitsfluss -> keine technische Arbeit
(kinetische Arbeit)

Analog gilt auch für Wärmeaustauscher, Diffusor, Düse...
Sie leisten keine Arbeit

Zweiter Hauptsatz für Kreisprozesse



T-s & h-s Diagramme für IG



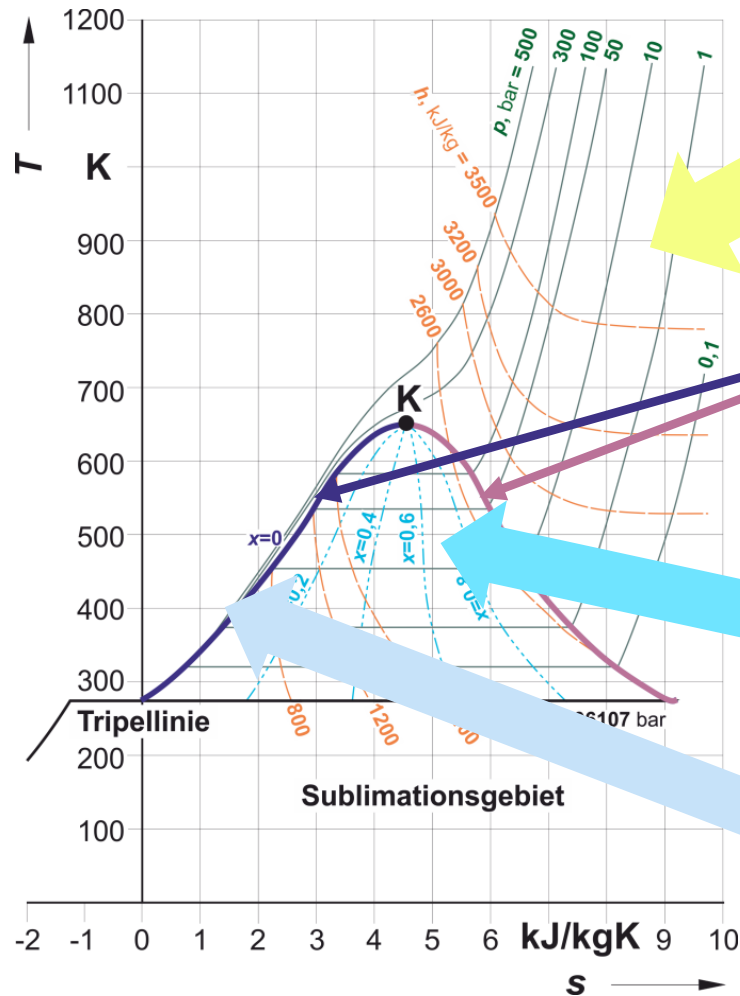
Iso-linien auf T-s und h-s Verläufe ziemlich ähnlich, weil für IG, $h(T)$

$$dh = c_p dT$$

h-s Diagramm ist T-s Diagramm in vertikale Achse ausgedehnt

T-s Diagramm von Wasser als Realstoff

Tabellenwerte separat für folgende Gebiete



Überhitzter Dampf: T und p sind unabhängige Variablen

Gesättigte Zustände: T und p sind abhängig, Angabe von Werten für flüssige/gasförmige Sättigungslinie

Nassdampfgebiet: Berechnung aus den Werten an der Sättigungslinie

Nassdampf

$$\phi = \phi_f + x (\phi_g - \phi_f)$$

$$s(x, T) = (1 - x) \cdot s_f + x \cdot s_g = s_f + x \cdot (s_g - s_f)$$

Unterkuhlte Flüssigkeit: verwende inkompressible Näherung

$$s(T, p) \approx s_f(T)$$

[RF-IF_Approximation.pdf](#)

T-s Diagramm nicht auf ZF

Wie kann man isobare, isochore, isenthalpe Verläufe merken?

Trick: für Ideales Gas

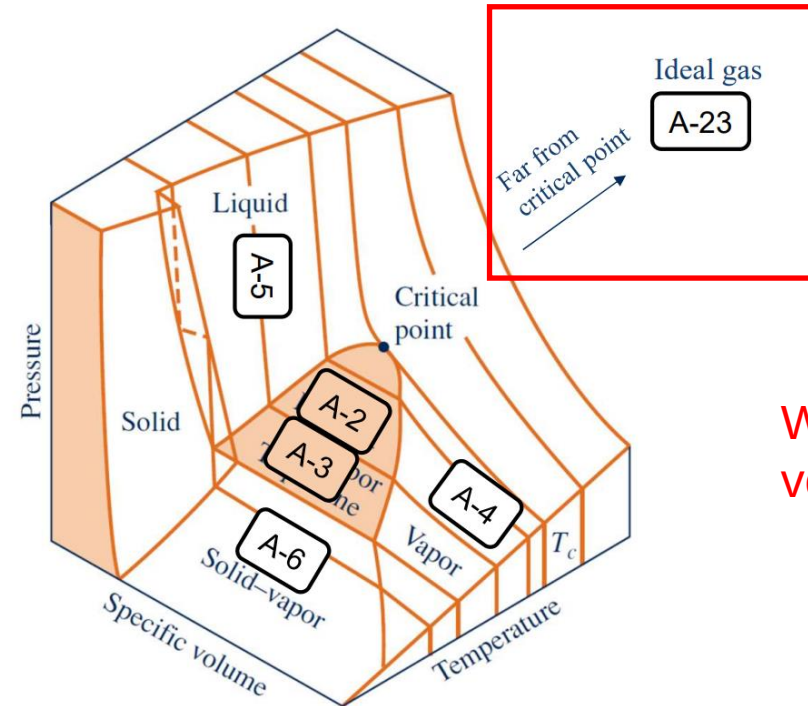
THERMODYNAMIC PROPERTIES

AND WHERE TO FIND THEM.

Hinweise:

TAB für H₂O in Moran & Shapiro

Weitere TAB für andere Reinstoffe



Aus W. 06 Ü. 04 Slides

Weit weg von ND mit zunehmende T, Verhalten sich wieder ähnlich wie IG

Wir haben T-s & h-s Diagramme von Wasser in TAB-Sammlung

T-s Diagramm nicht auf ZF

Wie kann man isobare, isochore, isenthalpe Verläufe merken?

Trick: für Ideales Gas

Index to Figures and Charts

Figure A-1	Generalized compressibility chart, $p_R \leq 1.0$	1021
Figure A-2	Generalized compressibility chart, $p_R \leq 10.0$	1022
Figure A-3	Generalized compressibility chart, $10 \leq p_R \leq 40$	1022
Figure A-4	Generalized enthalpy correction chart	1023
Figure A-5	Generalized entropy correction chart	1024
Figure A-6	Generalized fugacity coefficient chart	1025
Figure A-7	Temperature–entropy diagram for water (SI units)	1026
Figure A-7E	Temperature–entropy diagram for water (English units)	1027
Figure A-8	Enthalpy–entropy diagram for water (SI units)	1028
Figure A-8E	Enthalpy–entropy diagram for water (English units)	1029
Figure A-9	Psychrometric chart for 1 atm (SI units)	1030
Figure A-9E	Psychrometric chart for 1 atm (English units)	1031
Figure A-10	Pressure–enthalpy diagram for carbon dioxide (SI units)	1032
Figure A-10E	Pressure–enthalpy diagram for carbon dioxide (English units)	1033
Figure A-11	Pressure–enthalpy diagram for Refrigerant 410A (SI units)	1034
Figure A-11E	Pressure–enthalpy diagram for Refrigerant 410A (English units)	1035

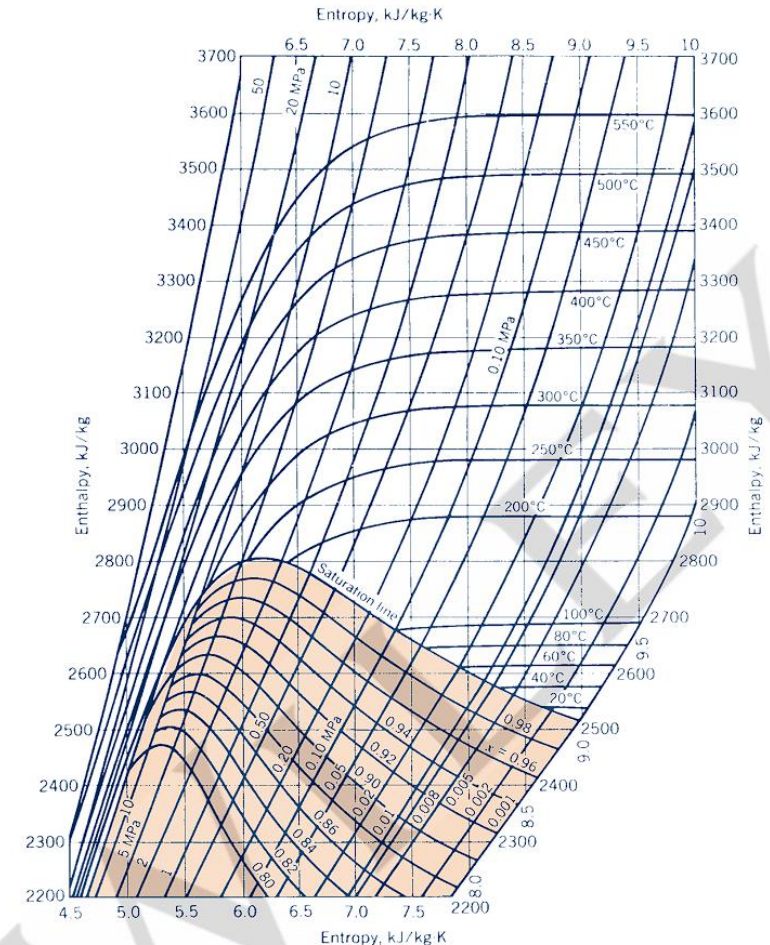


Figure A-8 Enthalpy–entropy diagram for water (SI units). Source: J. B. Jones and G. A. Hawkins, *Engineering Thermodynamics*, 2nd ed., Wiley, New York, 1986.

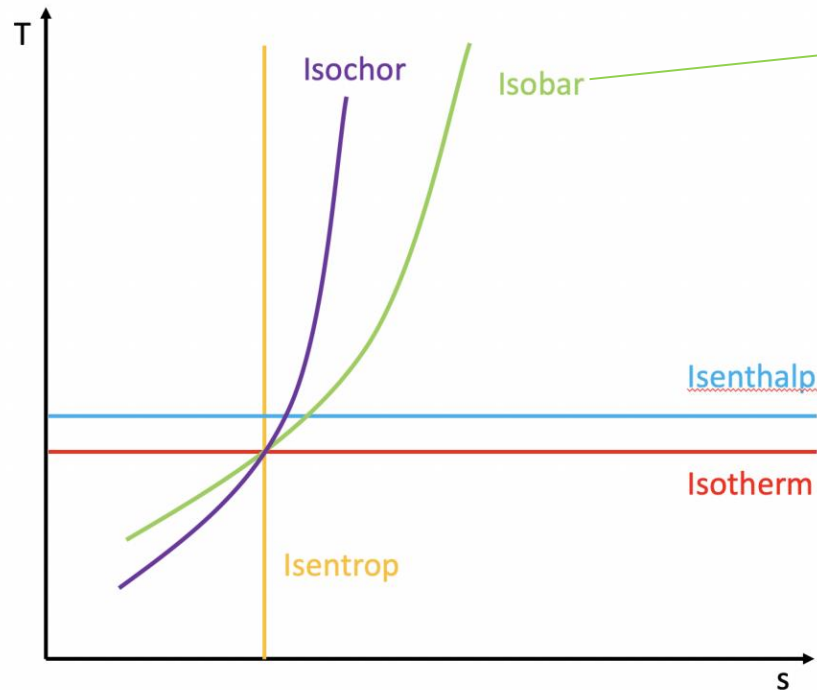
h-s für Wasser

T-s Diagramm nicht auf ZF

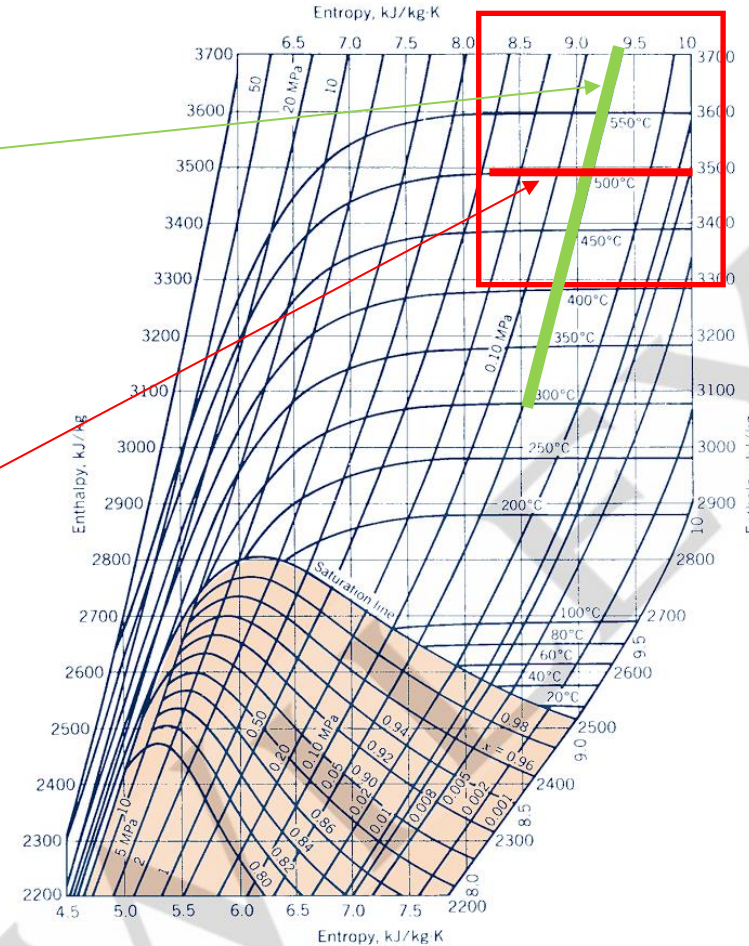
Wie kann man isobare, isochore, isenthalpe Verläufe merken?

h-s für Wasser

Trick: für Ideales Gas



T-s Diagramm ist h-s Diagramm in vertikale Achse zusammengestaucht



Weit weg von ND mit zunehmende T, Verhalten sich wieder ähnlich wie IG

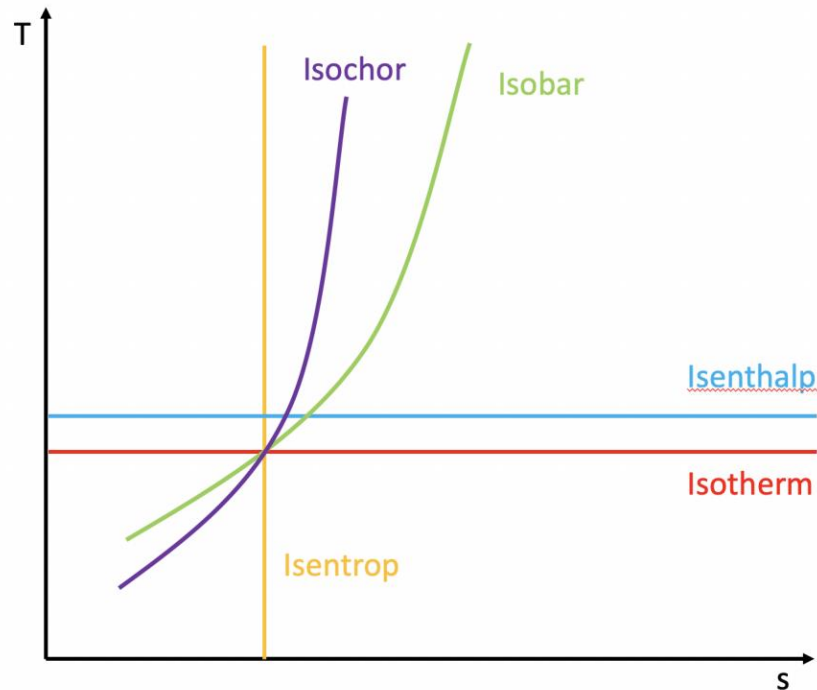
h-s Diagramm von Wasser als Referenz für IG T-s Diagramm

Figure A-8 Enthalpy-entropy diagram for water (SI units). Source: J. B. Jones and G. A. Hawkins, *Engineering Thermodynamics*, 2nd ed., Wiley, New York, 1986.

T-s Diagramm nicht auf ZF

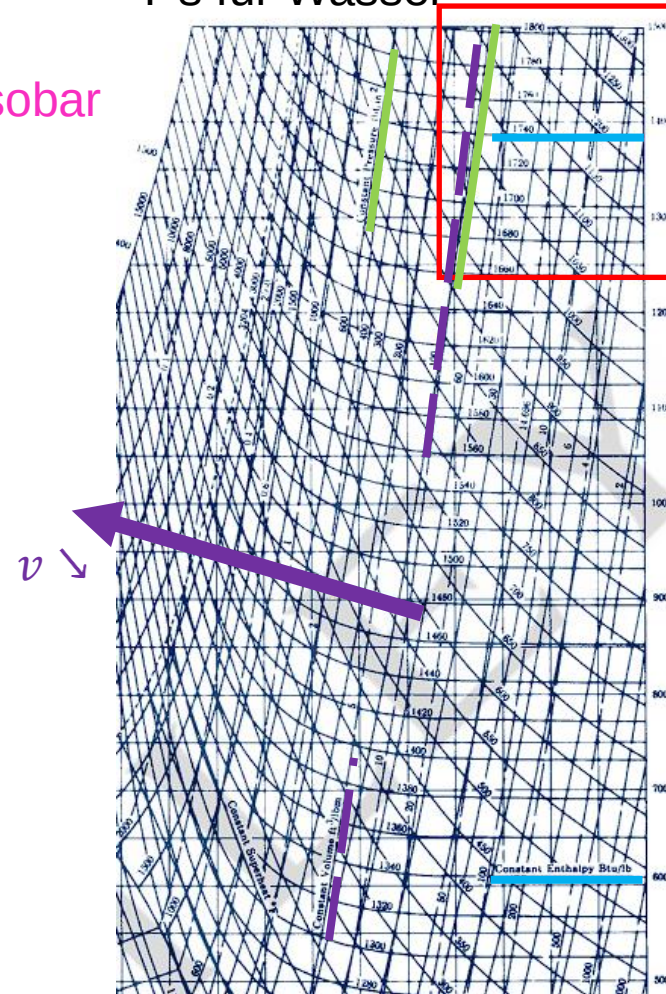
Wie kann man isobare, isochore, isenthalpe Verläufe merken?

Trick: für Ideales Gas



Isochor steiler als isobar

T-s für Wasser



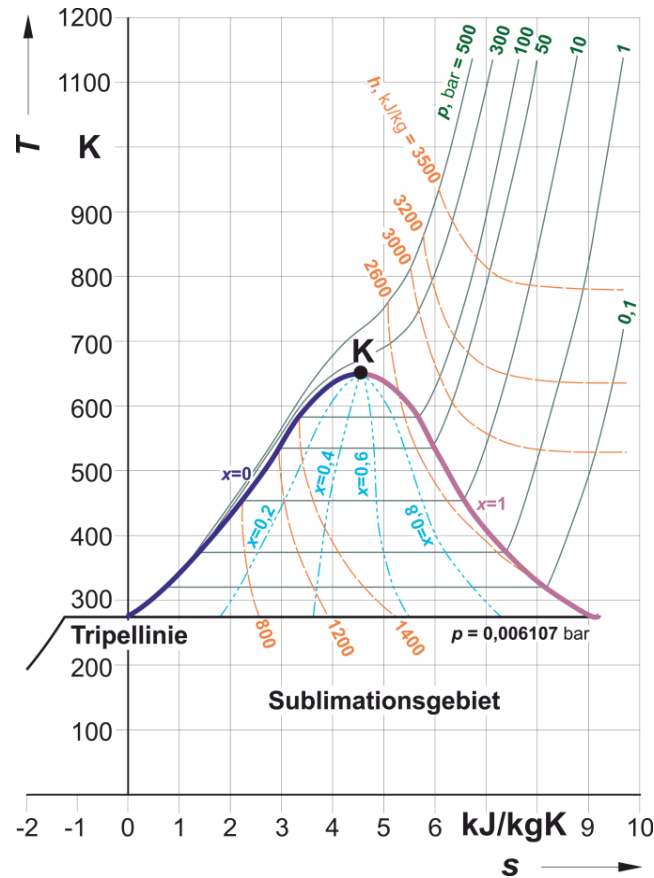
Weit weg von ND mit zunehmende T, verhalten sich wieder ähnlich wie IG

T-s Diagramm von Wasser als Referenz für IG T-s Diagramm

T-s Diagramm nicht auf ZF

Wie kann man isobare, isochore, isenthalpe Verläufe merken?

für Wasser



vgl.

In ND:
P-T gekoppelt

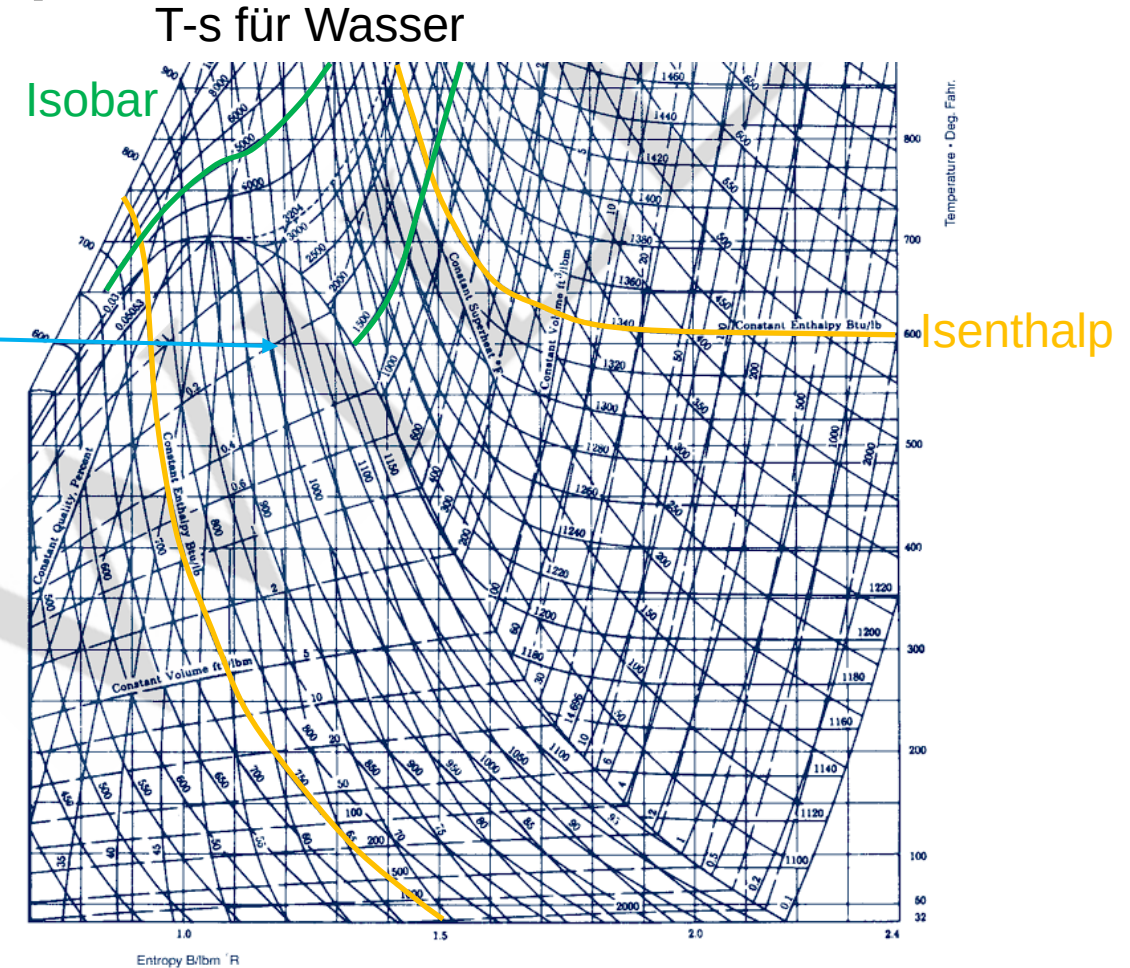
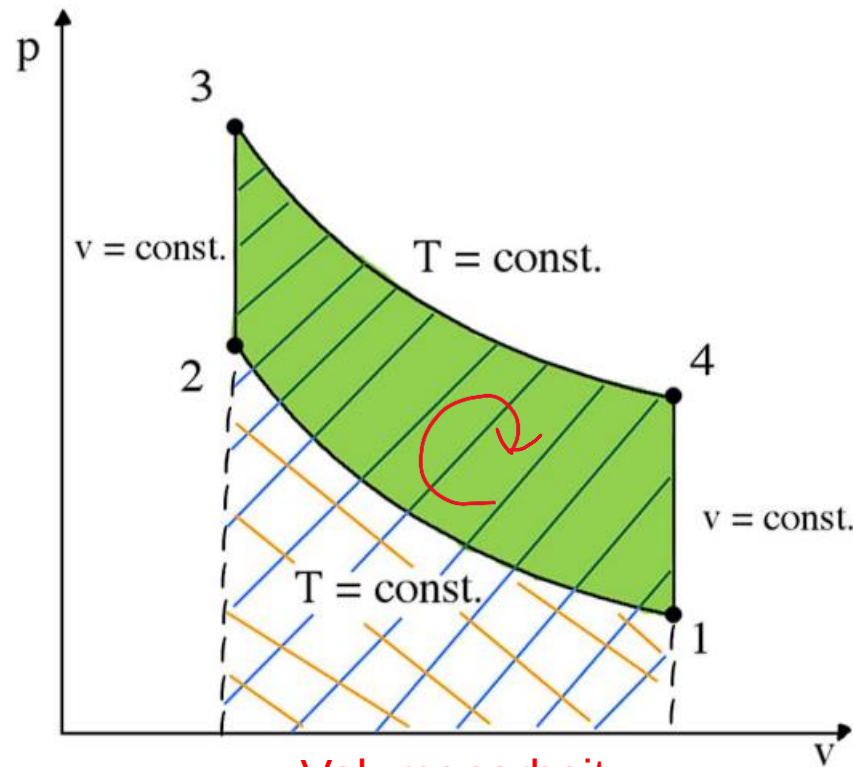


Figure A-7E Temperature-entropy diagram for water (English units). Source: J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969.

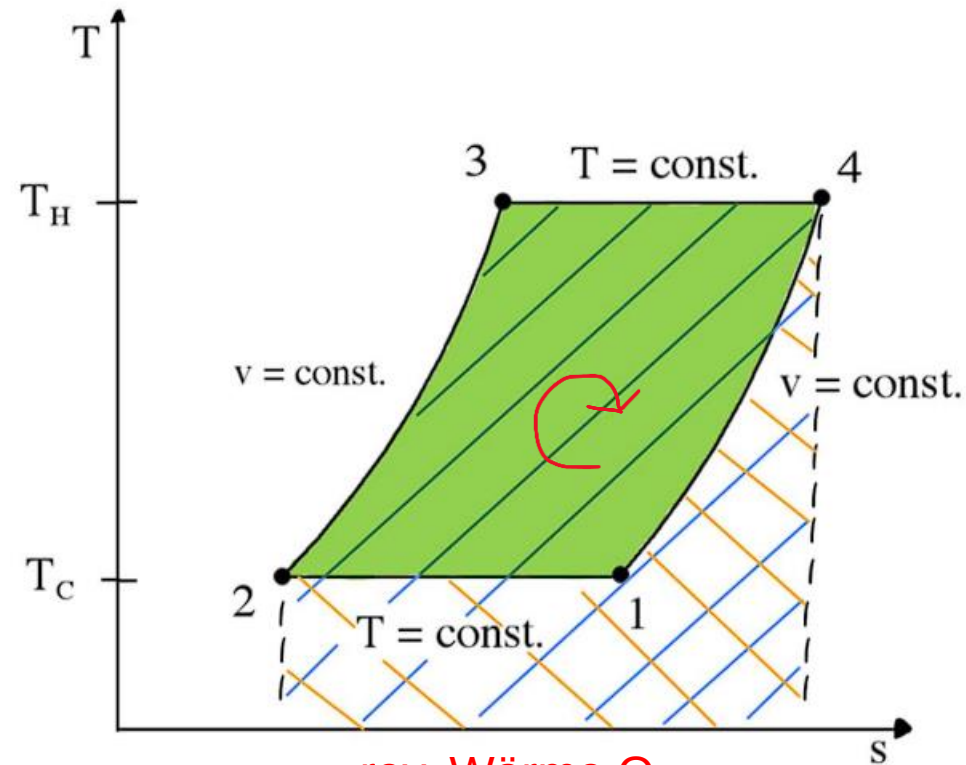
p-V Diagramm vs. T-s Diagramm von IG

Durchlaufsinn bleibt erhalten



Volumenarbeit

$$W = \int p dV$$



rev. Wärme Q

$$Q_{rev} = \int T dS$$

n.ethz.ch/~mloetscher

Thermodynamische Mitteltemperatur

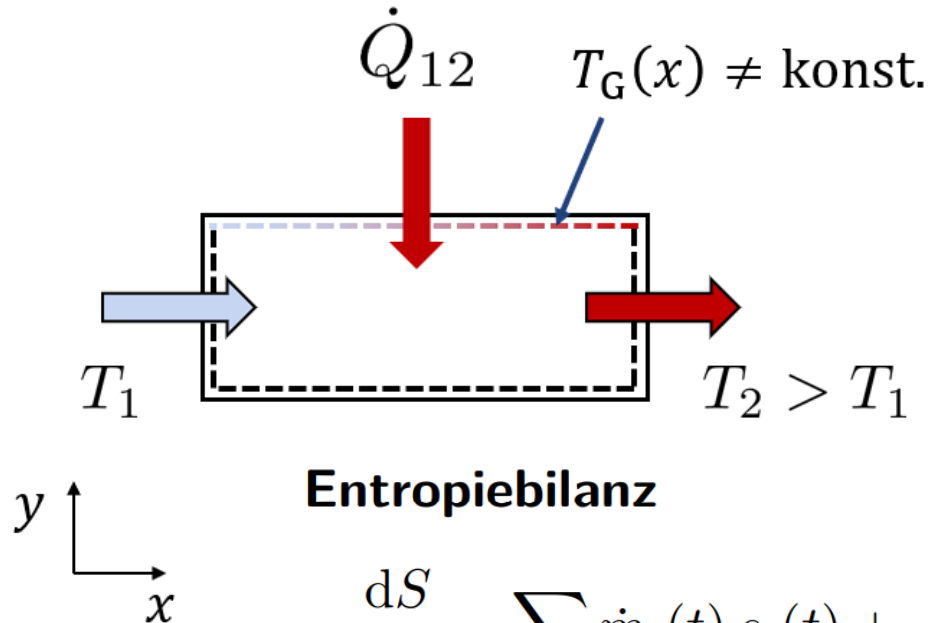
Entropie-Transportation über Wärmestrom ist von Temperatur abhängig.

Oft ist aber die Temperatur an der Systemfläche örtlich unterschiedlich.

Entropiebilanz

$$\frac{dS}{dt} = \sum_i \dot{m}_i(t) s_i(t) + \int_G \frac{\delta \dot{Q}(t)}{T_G(t)}$$

Thermodynamische Mitteltemperatur vereinfacht die Rechnung für nicht konstante Sys. Grenz-Temperatur



Entropiebilanz

$$\frac{dS}{dt} = \sum_i \dot{m}_i(t) s_i(t) + \int_G \frac{\delta \dot{Q}(t)}{T_G(t)} + \dot{S}_{\text{erz}}(t) = \sum_i \dot{m}_i(t) s_i(t) + \sum_j \frac{\dot{Q}_j(t)}{\bar{T}_j(t)} + \dot{S}_{\text{erz}}(t)$$

Integration über Systemgrenze, Daher G

Für uns relevant

Thermodynamische Mitteltemperatur

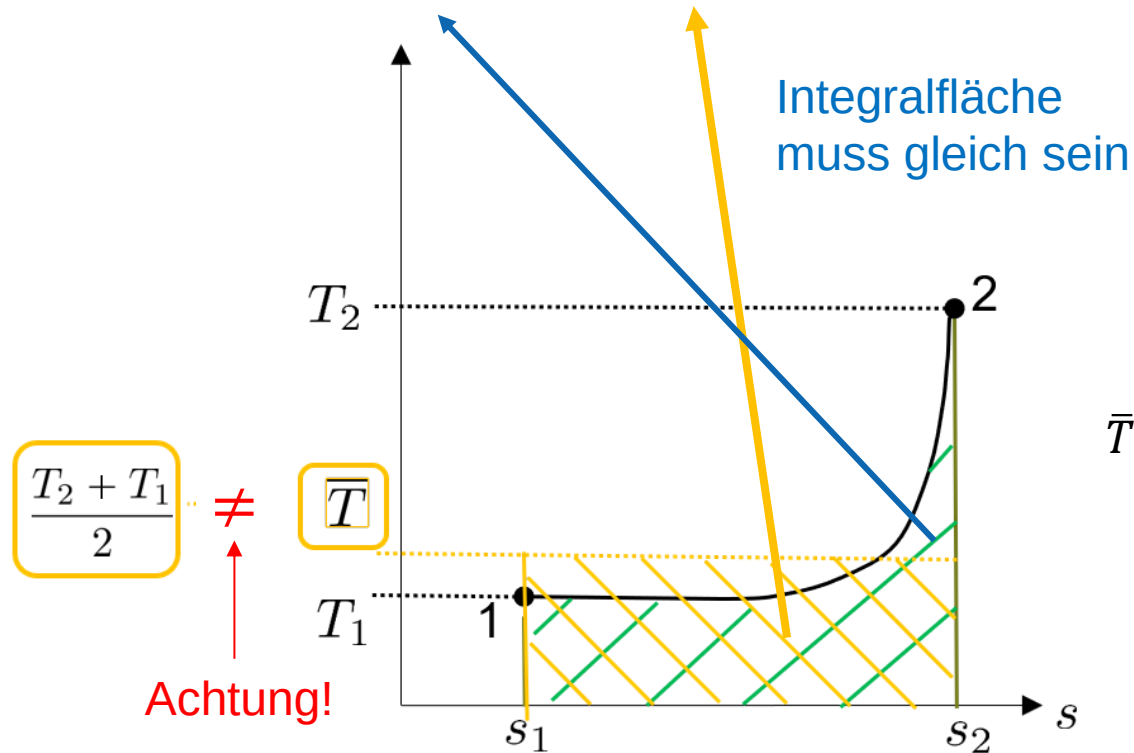
$$\int_1^2 T ds = \bar{T} \cdot (s_2 - s_1)$$

Thermodynamische Mitteltemperatur (Allgemein)

Auf ZF. $\bar{T} = \frac{\int_1^2 T ds}{s_2 - s_1}$

Thermodynamische Mitteltemperatur (Reversibler Fall)

$$\bar{T} = \frac{q_{12}^{\text{rev}}}{(s_2 - s_1)}$$



$$\bar{T} = \frac{(\text{rev}) \text{ übertragene Wärme}}{\Delta s}$$

zB. durch Energiebilanz ermitteln

zB. durch Stoffmodell oder TAB ermitteln

Thermodynamische Mitteltemperatur

Thermodynamische Mitteltemperatur (Allgemein)

Auf ZF. $\bar{T} = \frac{\int_1^2 T ds}{s_2 - s_1}$

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{rev}} \quad (\text{gelten auch spezifisch})$$

spezifische Entropie

$$ds = \frac{dq}{T} \quad | \cdot T$$

$$T \cdot ds = dq$$

für

$$\int_e^a T ds = \int_e^a dq = [q]_e^a = q_a - q_e = q_{ea}$$

mathematisch stimmt,
aber thermodynamisch schreibt
man eigentlich nicht so

Thermodynamische Mitteltemperatur (Reversibler Fall)

$$\bar{T} = \frac{q_{12}^{\text{rev}}}{(s_2 - s_1)}$$

Thermodynamische Mitteltemperatur

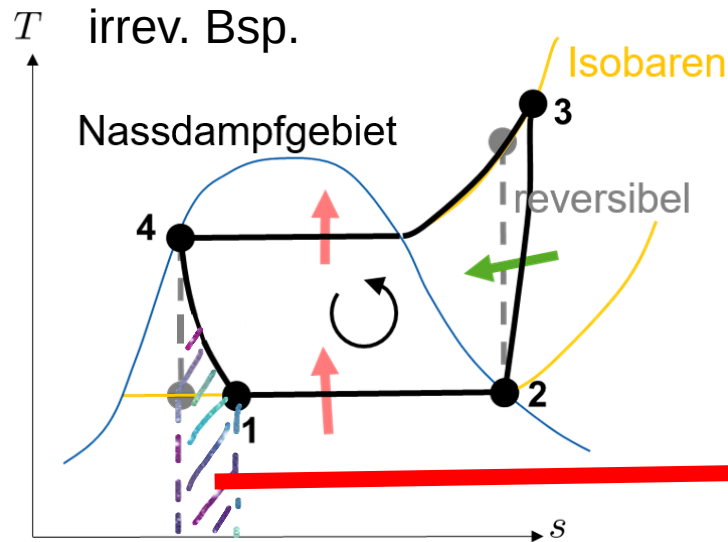
Thermodynamische Mitteltemperatur (Allgemein)

Auf ZF. $\bar{T} = \frac{\int_1^2 T ds}{s_2 - s_1}$

Thermodynamische Mitteltemperatur (Reversibler Fall)

$$\bar{T} = \frac{q_{12}^{\text{rev}}}{(s_2 - s_1)}$$

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{rev}} \quad (\text{gelten auch spezifisch})$$



Differentielle Entropieänderung

$$dS_{12} = \frac{\delta Q_{12}}{T} + \frac{\delta \Phi_{12}}{T}$$

Tds Integral ergibt sich Fläche, jedoch nicht wegen Wärmeübertragung q, sondern **wegen Entropieerzeugung**.

Wenn man q über Tds berechnet, sollte es rev.
Daher:

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{rev}}$$

sonst gibt es Dissipationsterm als Störterm und q kann man schwer berechnen.

Thermodynamische Mitteltemperatur

Thermodynamische Mitteltemperatur (Reversibler Fall)

$$\bar{T} = \frac{q_{12}^{\text{rev}}}{(s_2 - s_1)}$$

Energiebilanz stationären Strömungsprozess:

$$0 = h_1 - h_2 + q_{12}^{\text{rev}}$$

$$q_{12}^{\text{rev}} = h_2 - h_1$$

Woher kommt diese Formel?

$$\bar{T}_{12} = \frac{h_2 - h_1}{s_2 - s_1} \xrightarrow{c_p = \text{const.}} \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$$

$\xrightarrow{2}$
 $\xrightarrow{1}$

Annahme: ideale(s) Gas oder Flüssigkeit
mit $c_p = \text{const.}$

$$\bar{T} = \frac{h_2 - h_1}{(s_2 - s_1)} = \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$$

$$h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

Haupt TA:

Es ist nicht zu empfehlen einfach die Formel auswendig zu lernen, weil sie nur für ideale Gase oder ideale Flüssigkeiten gilt (wenn der Druckanteil vernachlässigt wird).

rev. -> keine Druckverlust = Isobar
Deshalb hier keine Druckterme

Thermodynamische Mitteltemperatur

Key Takeaway

Thermodynamische Mitteltemperatur
(Reversibler Fall)

$$\bar{T} = \frac{q_{12}^{\text{rev}}}{(s_2 - s_1)}$$

Nicht auf Formelsammlung!!!

Sollte man wissen, woher es kommt.
Man kann es mit Formel aus
Formelsammlung herleiten.

Thermodynamische Mitteltemperatur (Allgemein)

Auf ZF: $\bar{T} = \frac{\int_1^2 T ds}{s_2 - s_1}$

Thermodynamische Mitteltemperatur (Reversibler Fall)

$\bar{T} = \frac{q_{12}^{\text{rev}}}{(s_2 - s_1)}$

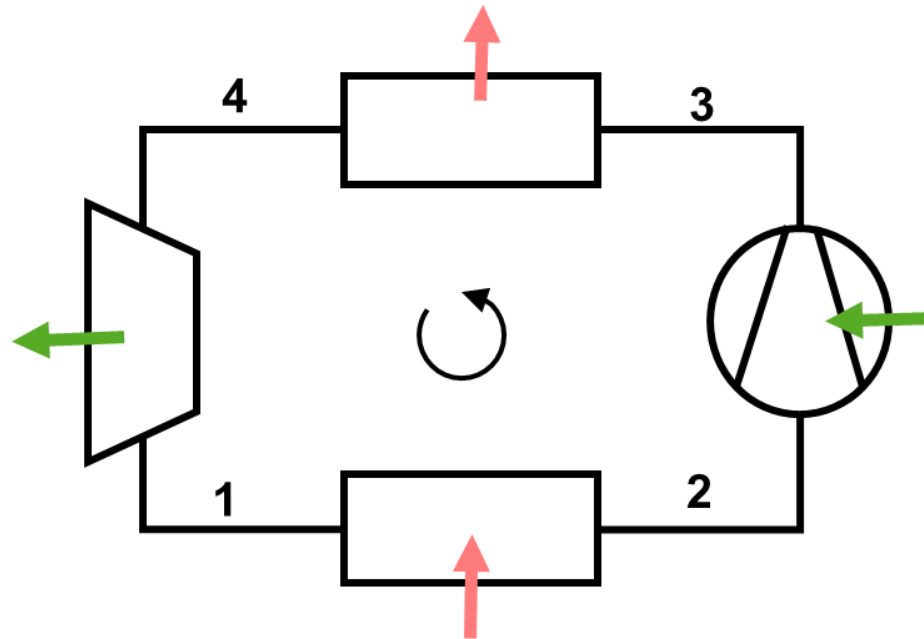
$dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{\text{rev}}$ (gelten auch spezifisch)

spezifische Entropie $ds = \frac{dq}{T}$

$T \cdot ds = dq \Rightarrow \int_e^a T ds = \int_e^a dq = [q]_e^a = q_a - q_e = q_{ea}$

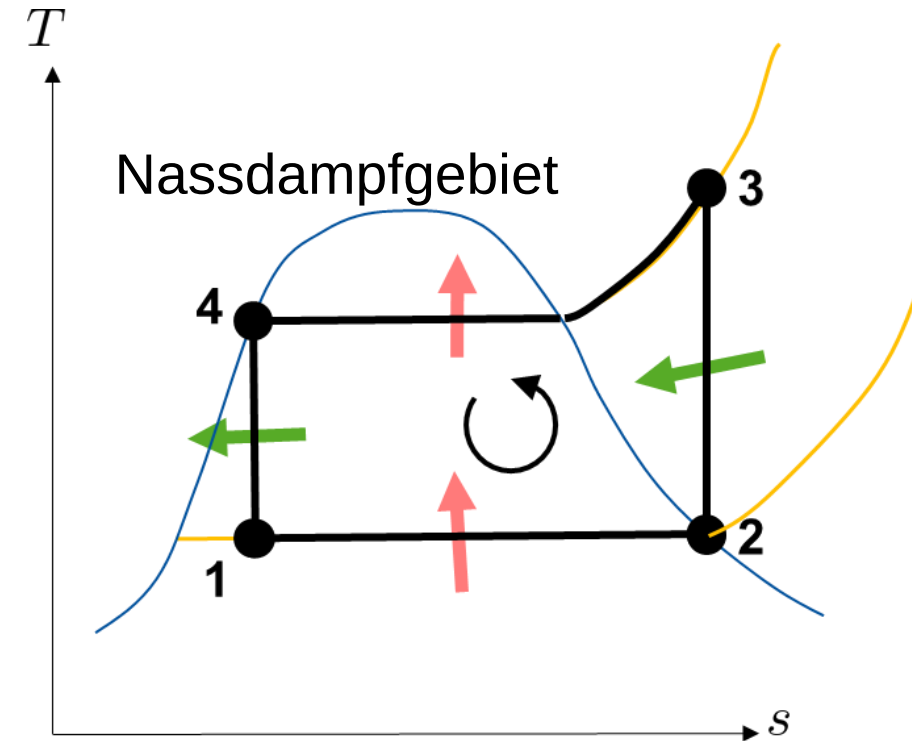
mathematisch stimmt, aber thermodynamisch schreibt man eigentlich nicht so

Reversibler Dampf-Wärmepumpenprozess



Wärme $\dot{Q}$

Arbeit $\dot{W}$



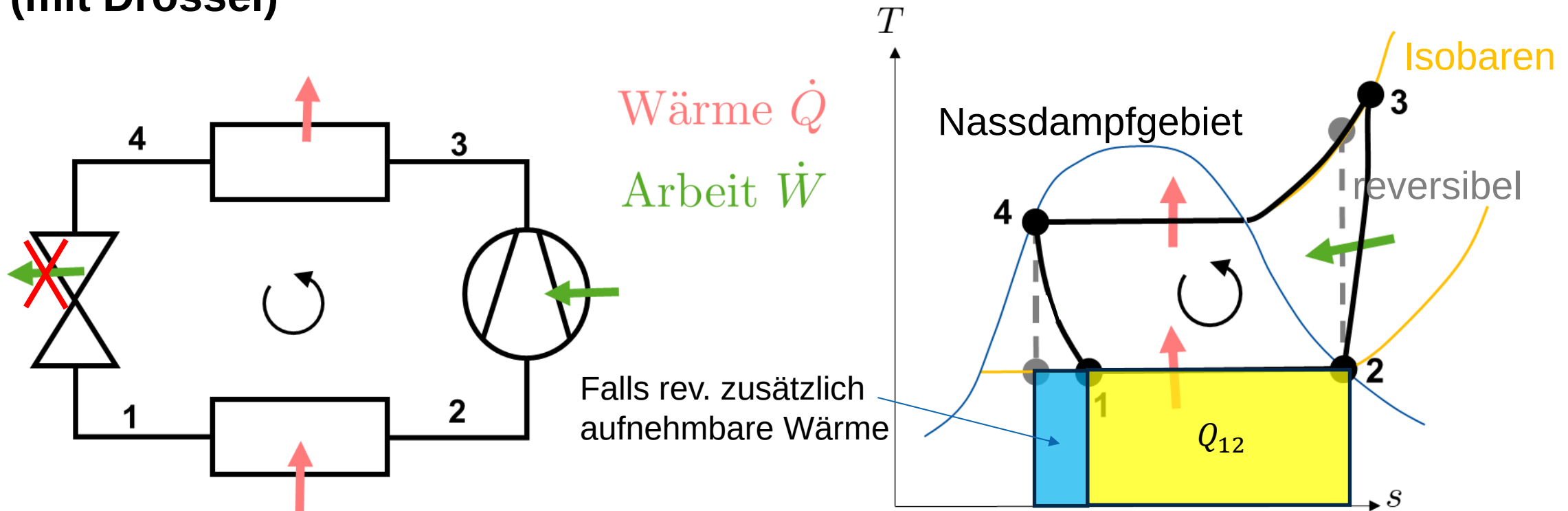
1 → 2: isotherme Wärmeaufnahme **bei niedriger Temperatur**

2 → 3: isentrope Verdichtung von Sattdampf

3 → 4: reversible Wärmeabgabe durch Kondensation **bei hoher Temperatur**

4 → 1: isentrope Entspannung in das Nassdampfgebiet

Irreversibler Dampf-Wärmepumpenprozess (mit Drossel)



1 → 2: isotherme Wärmeaufnahme **bei niedriger Temperatur**

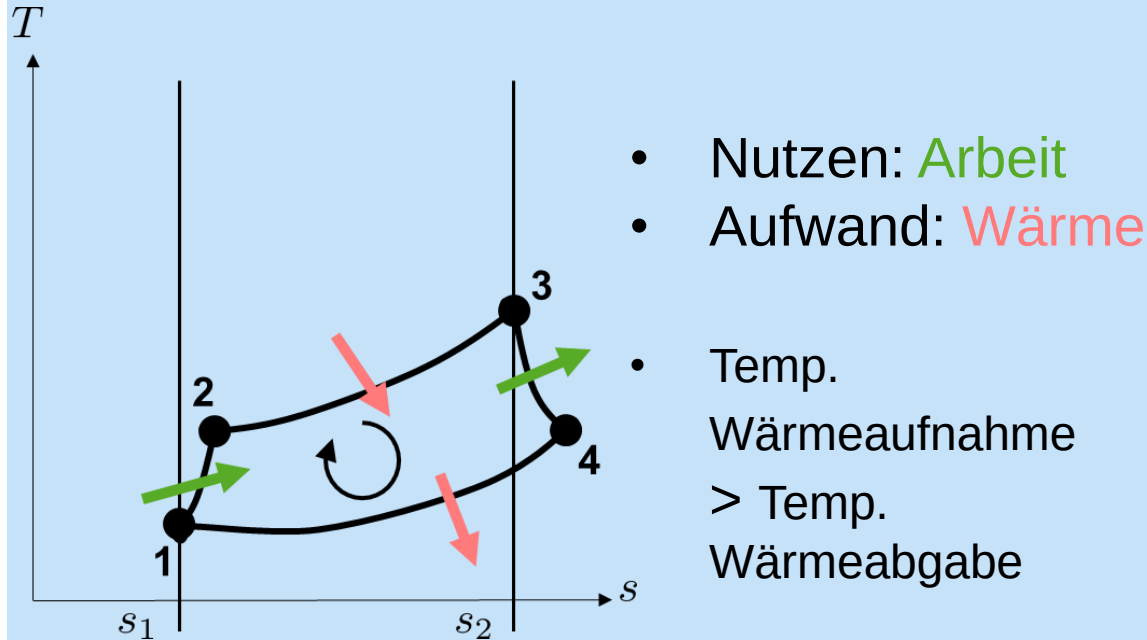
2 → 3: **irreversible** Verdichtung von Sattdampf

3 → 4: reversible Wärmeabgabe durch Kondensation **bei hoher Temperatur**

4 → 1: **isenthalpe Drosselung** in das Nassdampfgebiet $\Rightarrow \dot{Q}_{12} \downarrow$ Irreversibilität ist schlecht

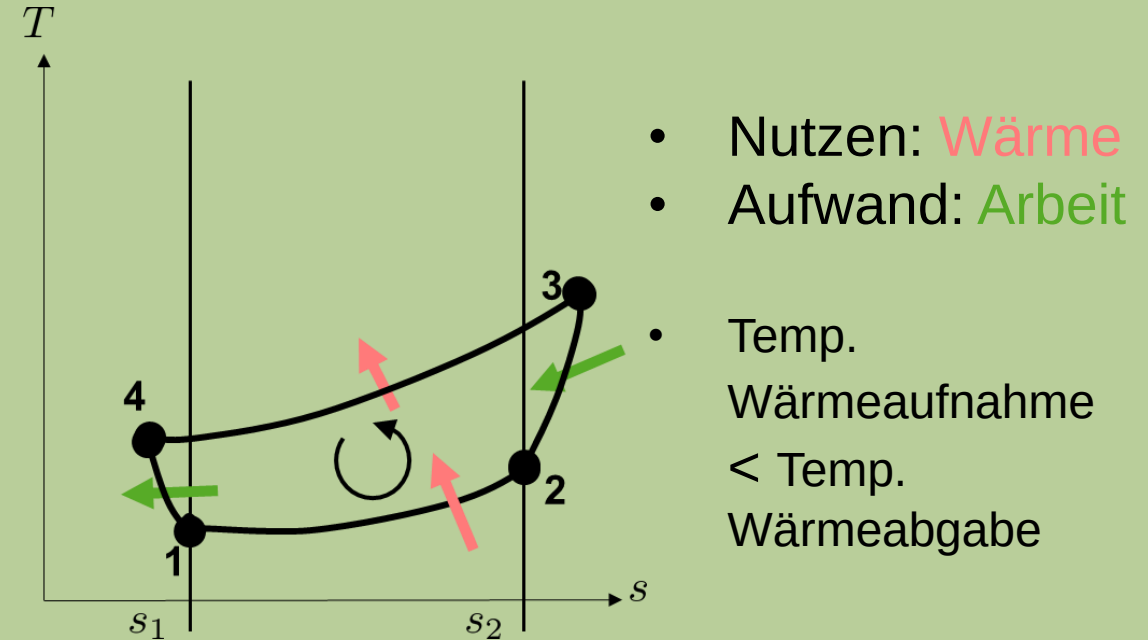
Realer Kreisprozess

Rechtsläufig (z.B. Verbrennungsmotor)



⇒ Entnahme von Arbeit senkt
Temperaturniveau der Wärme

Linksläufig (z.B. Wärmepumpe)



⇒ Einbringen von Arbeit steigert
Temperaturniveau der Wärme

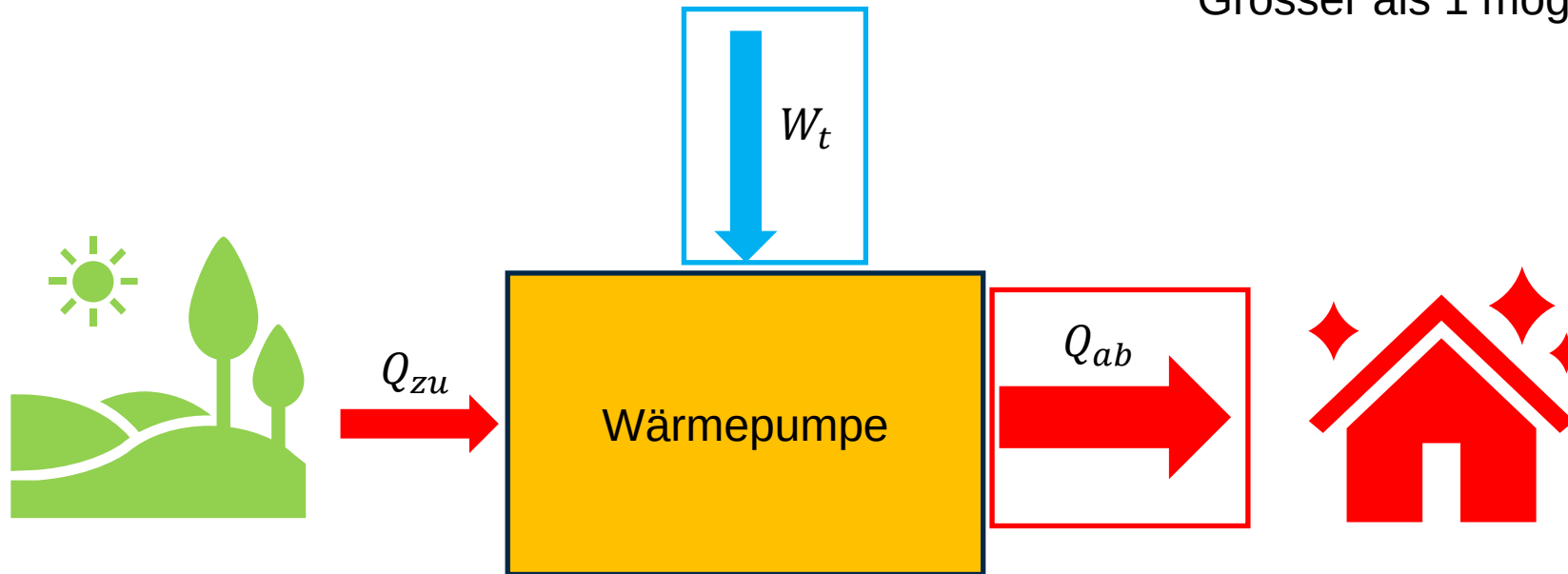
Leistungsziffer

Leistungszahl (Wärmepumpe)

Um zu erhitzen, (Wärme hinzupumpen)

$$\varepsilon_W = \frac{|\dot{Q}_{ab}|}{|\dot{W}_t|} = \frac{|\dot{Q}_{ab}|}{|\dot{Q}_{ab}| - |\dot{Q}_{zu}|}$$

Grösser als 1 möglich



In eine Aufgabe: Verdichter wird teilweiser von Turbine angetrieben. Da berechnet man netto Arbeit-zufuhr

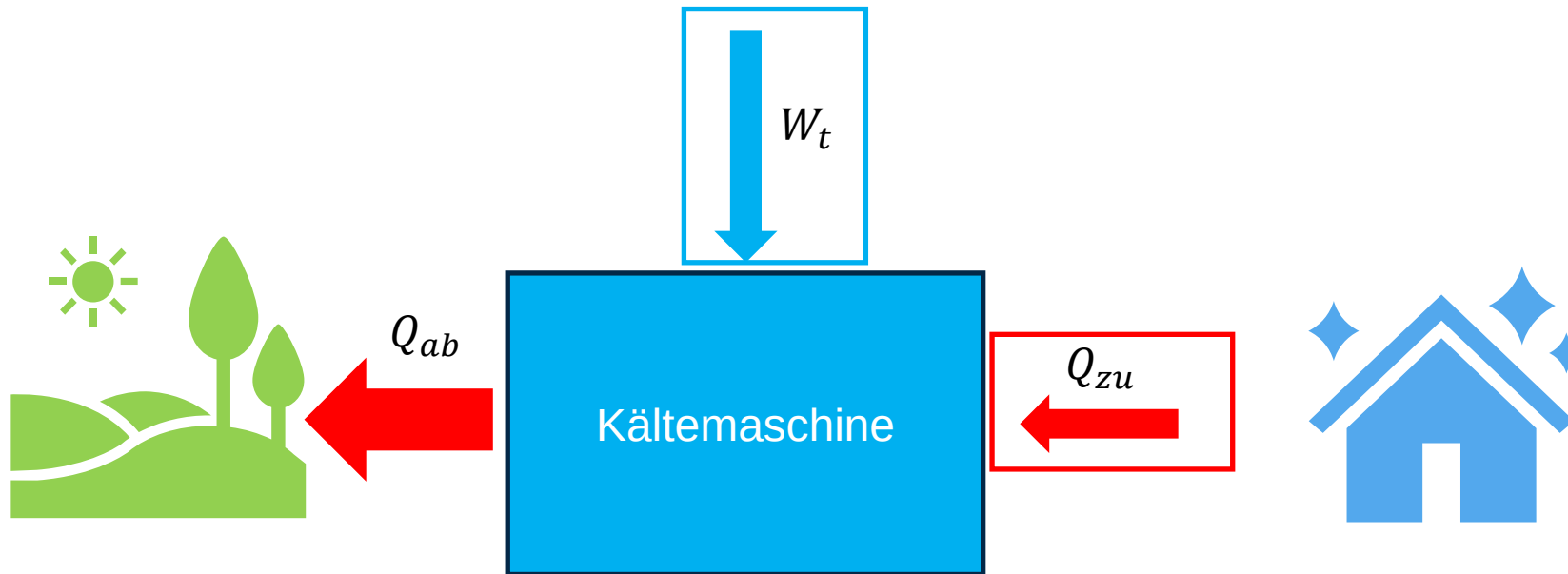
$$\dot{W}_{t,zu} = \dot{W}_{t,V} + \dot{W}_{t,34}$$

Leistungsziffer

Leistungszahl (Kältemaschine)

Um zu kühlen, (Wärmewegziehen)

$$\varepsilon_K = \frac{|\dot{Q}_{zu}|}{|\dot{W}_t|} = \frac{|\dot{Q}_{zu}|}{|\dot{Q}_{ab}| - |\dot{Q}_{zu}|}$$





LESE

epse
ENERGY & PROCESS SYSTEMS ENGINEERING

Vorrechenübung



Vorrechenübung

Aufgabe 8.1 ●●○ Kondensator eines Kraftwerks

In einem durch Flusswasser gekühlten Kondensator eines Kraftwerks wird ein **Sattdampfstrom** von $\dot{m}_D = 100 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ bei $T_D = 60^\circ\text{C}$ gerade vollständig kondensiert. Der zum Kühlen verwendete Teil des Flusswassers erwärmt sich dabei von $T_{W,1} = 15^\circ\text{C}$ auf $T_{W,2} = 25^\circ\text{C}$. Der **Kondensator** ist nach außen **adiabat**.

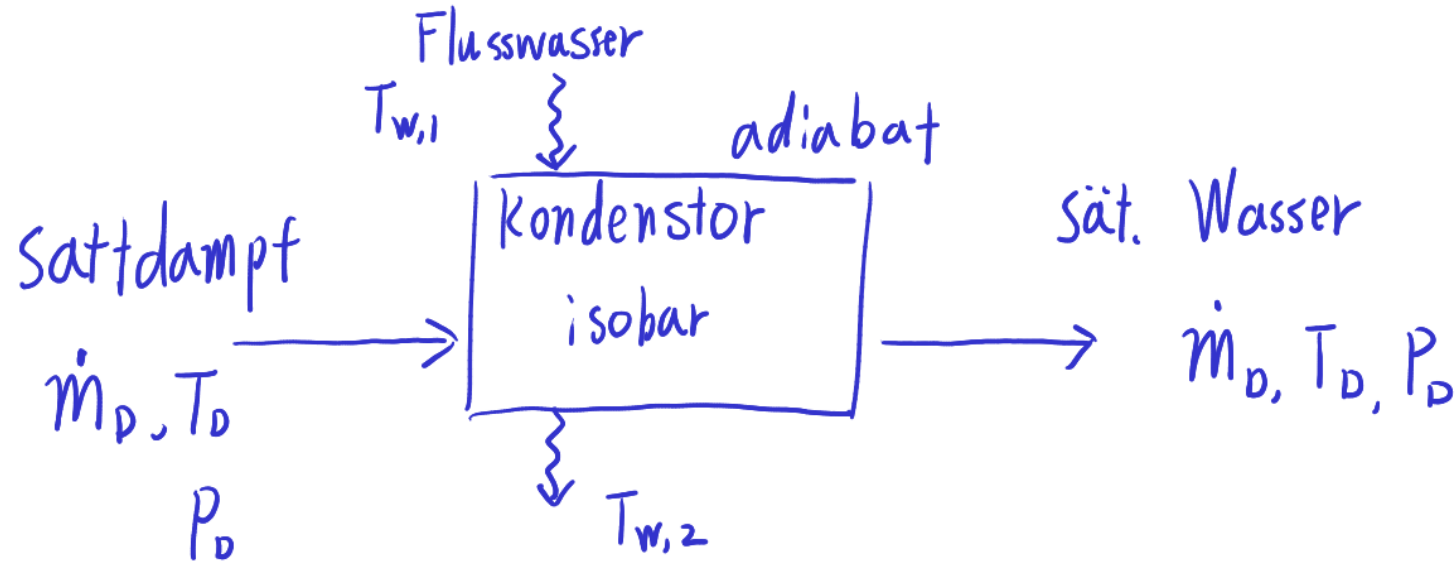
Annahmen:

→ Kondensator isobar

- Im Kondensator treten **keine Druckverluste** auf.
- Änderungen der **potenziellen und kinetischen Energien** sind zu **vernachlässigen**.
- Das **Flusswasser ist als ideale Flüssigkeit** mit einer **konstanten Wärmekapazität** von $c_W^{\text{if}} = 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ anzunehmen.
inkompressibel

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

① Verständnis, wie ist das System aufgebaut? Klassifizierung

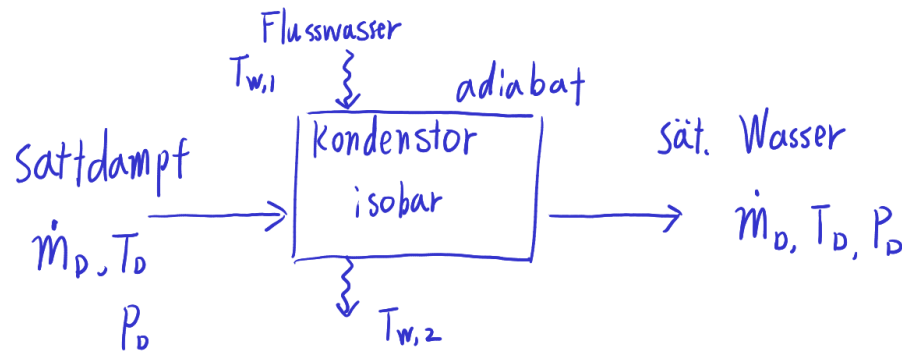


Für Fließprozesse in Thermo I, Nur Stationäre Fälle relevant $\frac{dE}{dt} = 0$

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabat
- stationär
- leistet keine Arbeit
(Kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

- a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

Versuch, Bilanzgleichung für Entropie aufzustellen



Entropiebilanz

$$\frac{dS}{dt} = \sum_i \dot{m}_i(t) s_i(t) + \int_G \frac{\delta \dot{Q}(t)}{T_G(t)} + \dot{S}_{\text{erz}}(t) = \sum_i \dot{m}_i(t) s_i(t) + \sum_j \frac{\dot{Q}_j(t)}{\bar{T}_j(t)} + \dot{S}_{\text{erz}}(t)$$

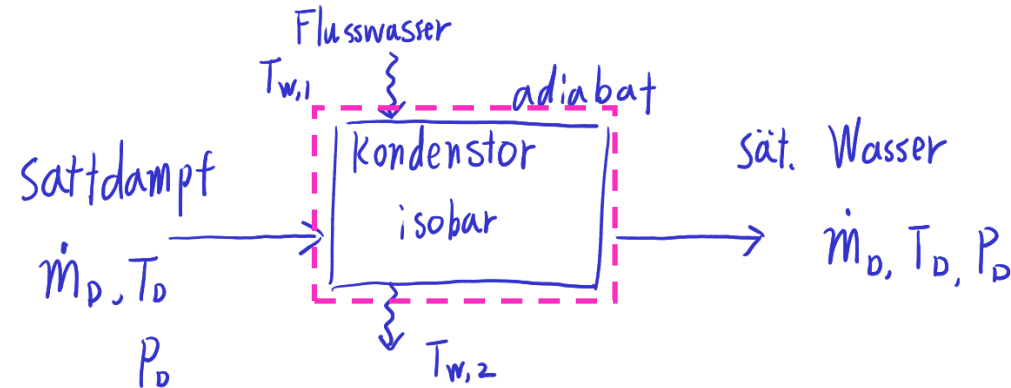
Spezialfälle: mit der thermodynamischen Mitteltemperatur $\bar{T} = \frac{\int_e^a T ds}{s_a - s_e}$

- Stationärer Fließprozess
mit einem Massenstrom:

$$0 = \dot{m} [s_e - s_a] + \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{\bar{T}_j} + \dot{S}_{\text{erz}}$$

- Offenes Sys.
2 Massentluss
- adiabat
- stationär
- leistet keine Arbeit
(Kein Strom Anschluss,
Getriebe, Welle ... kein
Arbeitsfluss)

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.



- Offenes Sys.
2 Massenfluss
- adiabat
- stationär
- leistet keine Arbeit
(Kein Strom Anschluss,
Getriebe, Welle ... kein
Arbeitsfluss)

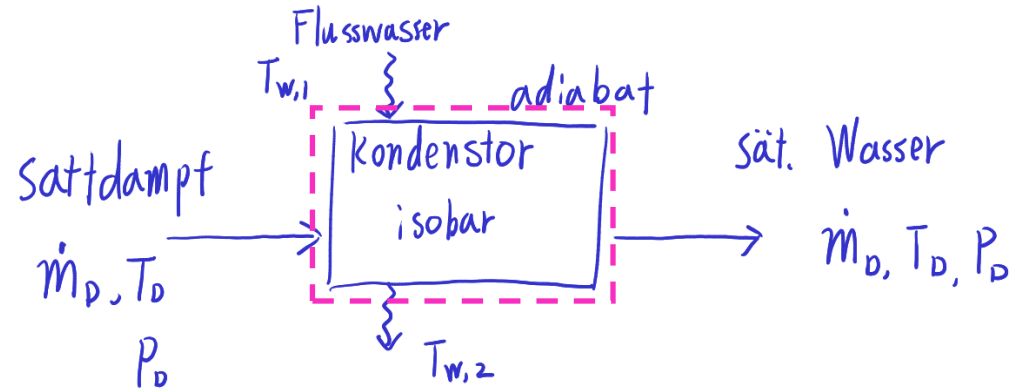
nehmen

- Stationärer Fliessprozess mit einem Massenstrom:

$$0 = \dot{m} [s_e - s_a] + \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{S}_{\text{erz}}$$

und modifizieren es zu 2 Massenstrom.

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.



$$0 = \dot{m} [s_e - s_a] + \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{S}_{\text{erz}}$$

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabat
- stationär
- leistet keine Arbeit
(Kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle ... kein Arbeitsfluss)

Massenbilanz für Dampf, Flusswasser müssen erhalten.

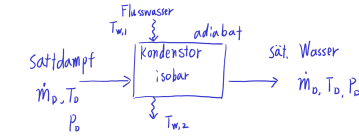
$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{erz}}$$

$\uparrow$ Dampf Fluss $\uparrow$ Eingehende $\uparrow$ Ausgehende $\uparrow$ Flusswasser-Fluss
 massenspezifische
 Dampf Flussentropie

$\searrow$ 0, adiabat

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{Q}{T} + \dot{S}_{\text{erz}}$$



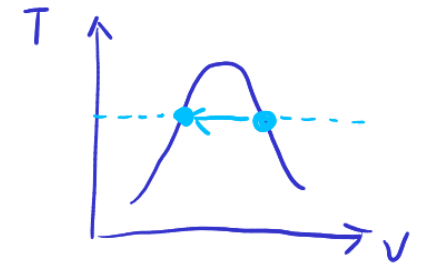
- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabat
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

Welche Größe kann man lösen? Welche braucht weitere Ansätze zu lösen?

In einem durch Flusswasser gekühlten Kondensator eines Kraftwerks wird ein Sattdampfstrom von $\dot{m}_D = 100 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ bei $T_D = 60^\circ\text{C}$ gerade vollständig kondensiert. Der zum Kühlen verwendete Teil des

in ND, sät. Dampf ein, sät. Wasser aus, mit ND TAB $[S_{D,e} - S_{D,a}]$ lösbar
 $\dot{m}_D$ geg. Erster Term lösbar.

$\dot{m}_W$, $S_{W,e}$, $S_{W,a}$ noch unbekannt.



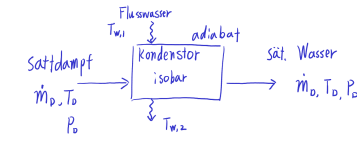
a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{Q}{T} + \dot{S}_{\text{erz}}$$

$\dot{m}_W$, $S_{W,e}$, $S_{W,a}$ noch unbekannt.

Ansatz für $\dot{m}_W$?

Bisschen tiefer denken, 2 ungemischte Massenströmen $\Rightarrow$ 2 sub sys.



- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabat
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

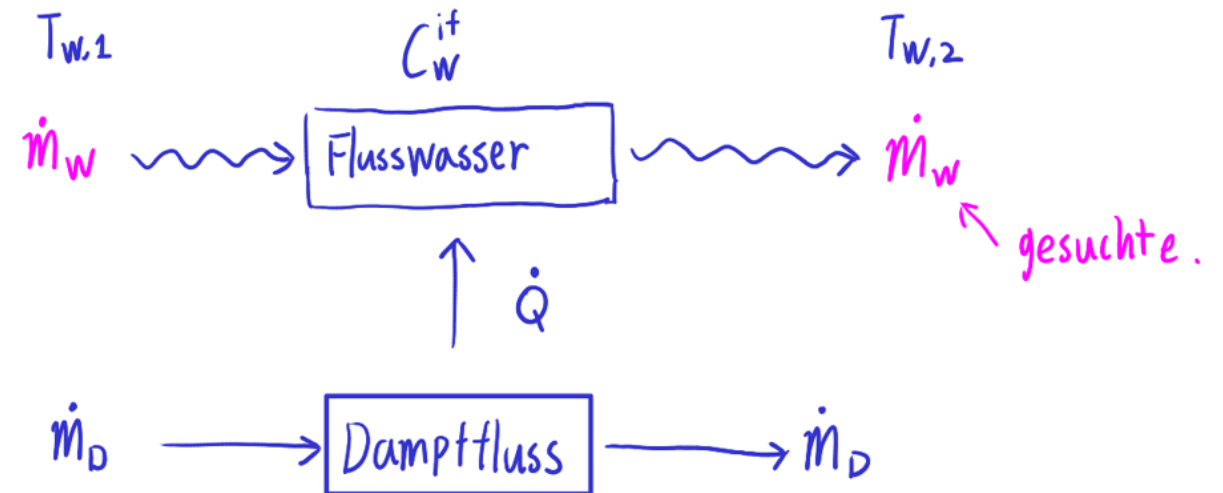
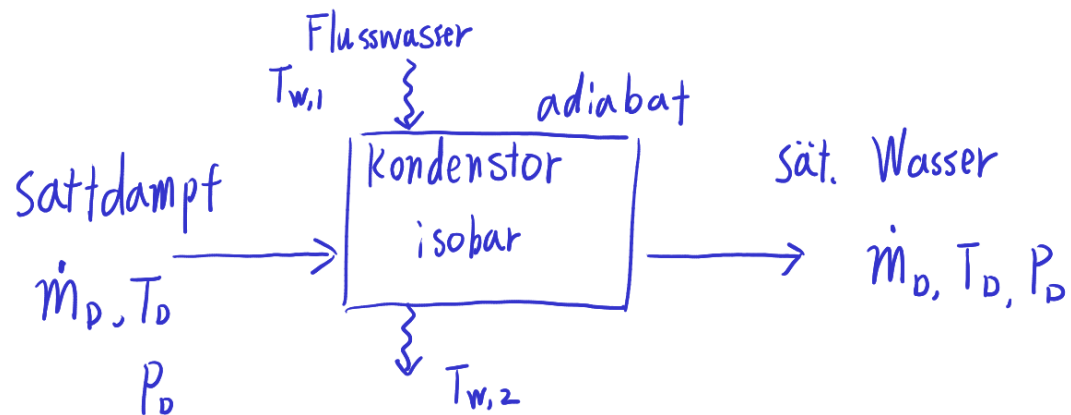
a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{erz}} \quad \dot{m}_W, S_{W,e}, S_{W,a} \text{ noch unbekannt. Ansatz für } \dot{m}_W ?$$

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabatisch

Bisschen tiefer denken, 2 ungemischte Massenströmen $\Rightarrow$ 2 sub sys.

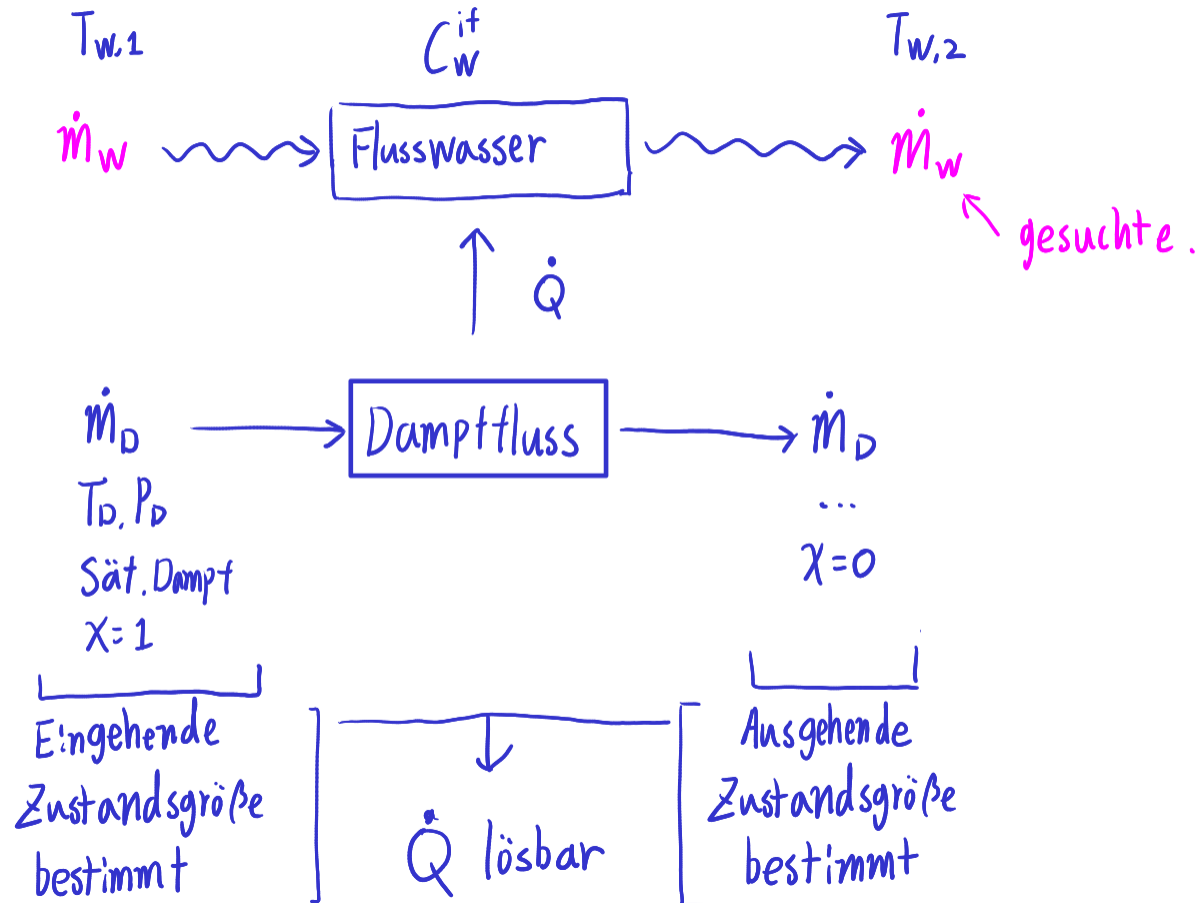
(Flussfluss)



a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{erz}} \quad \dot{m}_W, S_{W,e}, S_{W,a} \text{ noch unbekannt. Ansatz für } \dot{m}_W ?$$

Bisschen tiefer denken, 2 ungemischte Massenströme $\Rightarrow$ 2 sub sys.

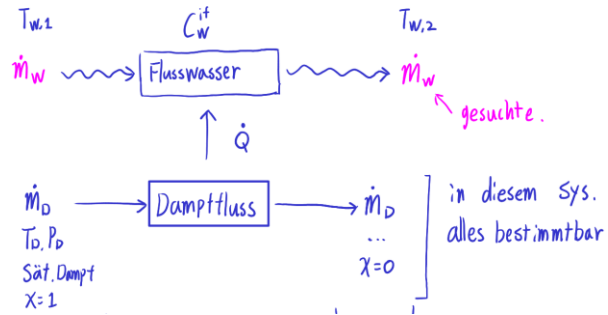


- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabatisch
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{erz}} \quad \dot{m}_W, S_{W,e}, S_{W,a} \text{ noch unbekannt. Ansatz für } \dot{m}_W ?$$

Bilanzgleichungen aufstellen für $\dot{Q}$, für $\dot{m}_W$



Energiebilanz

$$0 = \dot{m}_D [h_{D,e} - h_{D,a}] + \dot{Q}_D \quad \dots \text{ Dampf}$$

TAB A-2

$$h_{D,e} = 2609,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \dots h_g 60^\circ\text{C}, \text{ Satttdampf}$$

$$h_{D,a} = 251,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \dots h_f 60^\circ\text{C}, \text{ gerade Vollständig kondensiertes Wasser}$$

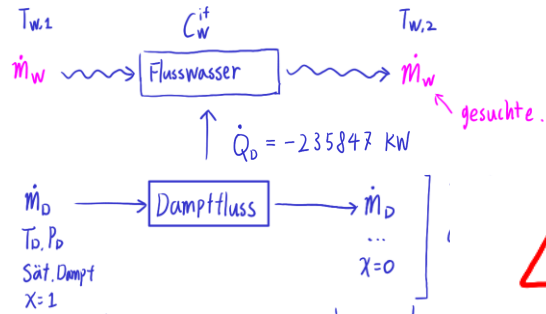
$$\dot{Q}_D = -235847 \text{ kW} \quad \dot{m}_D = 100 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabatisch
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Stromanschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{erz}} \quad \dot{m}_W, S_{W,e}, S_{W,a} \text{ noch unbekannt. Ansatz für } \dot{m}_W?$$

Bilanzgleichungen aufstellen für $\dot{Q}$, für $\dot{m}_W$



$$0 = \dot{m}_W [h_{W,e} - h_{W,a}] + \dot{Q}_W \quad \dots \text{Flusswasser}$$

⚠ Wärmekapazität für Flusswasser ist als const. geg.

- Das Flusswasser ist als ideale Flüssigkeit mit einer konstanten Wärmekapazität von $c_W^{\text{if}} = 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ anzunehmen. *inkompressibel*

Mit Hilfe von ideale Flüssigkeit Formeln aus ZF.

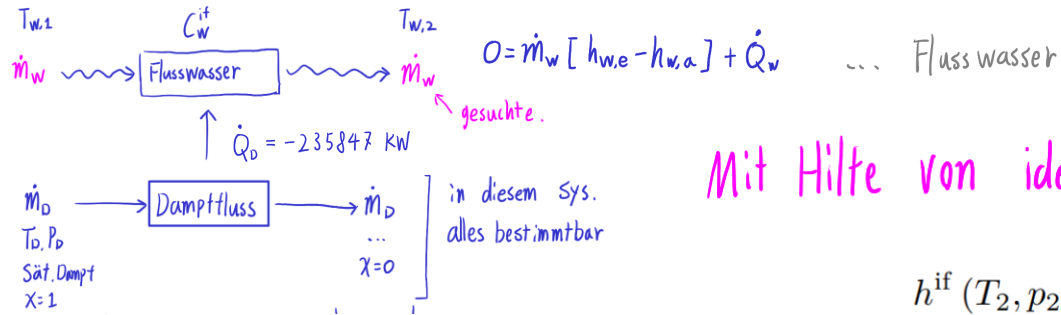
$$h^{\text{if}}(T_2, p_2) - h^{\text{if}}(T_1, p_1) = \int_{T_1}^{T_2} c^{\text{if}}(T) dT + v^{\text{if}}(p_2 - p_1)$$

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiab
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{erz}} \quad \dot{m}_W, S_{W,e}, S_{W,a} \text{ noch unbekannt. Ansatz für } \dot{m}_W?$$

Bilanzgleichungen aufstellen für $\dot{Q}$, für $\dot{m}_W$



Mit Hilfe von ideale Flüssigkeit Formeln aus ZF.

$$h^{\text{if}}(T_2, p_2) - h^{\text{if}}(T_1, p_1) = \int_{T_1}^{T_2} c^{\text{if}}(T) dT + v^{\text{if}}(p_2 - p_1)$$

$$h_{W,e} - h_{W,a} = c_W^{\text{if}} \int_{T_{W,2}}^{T_{W,1}} dT + v^{\text{if}}(p_2 - p_1) \rightarrow 0, \text{ isobar}$$

$$= c_W^{\text{if}} [T_{W,1} - T_{W,2}]$$

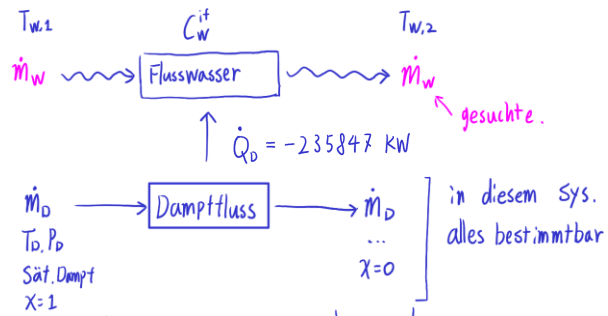
Im Kondensator treten keine Druckverluste auf.

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabatisch
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{erz}} \quad \dot{m}_W, S_{W,e}, S_{W,a} \text{ noch unbekannt. Ansatz für } \dot{m}_W?$$

Bilanzgleichungen aufstellen für $\dot{Q}$, für $\dot{m}_W$



$$0 = \dot{m}_W [h_{W,e} - h_{W,a}] + \dot{Q}_W \quad \dots \text{Flusswasser}$$

$$h_{W,e} - h_{W,a} = C_w^{if} [T_{W,1} - T_{W,2}]$$

$$-\dot{Q}_W = \dot{m}_W C_w^{if} [T_{W,1} - T_{W,2}]$$

Wärme zugabe $\Rightarrow \dot{Q}_W > 0 \quad \dot{Q}_D = -235847 \text{ kW}$

$$\dot{m}_W = \frac{\dot{Q}_W}{C_w^{if} [T_{W,2} - T_{W,1}]} = \frac{235847 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} [25 - 15] \text{K}} = 5642,2727 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiabatisch
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Stromanschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$\dot{m}_w = 5642,2727 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_W [S_{W,e} - S_{W,a}] + \dot{S}_{\text{erz}}$$

$\dot{m}_W, S_{W,e}, S_{W,a}$ noch unbekannt.

$$s^{\text{if}}(T_2) - s^{\text{if}}(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c^{\text{if}}(T)}{T} dT$$

$$S_{W,e} - S_{W,a} = C_W^{\text{if}} \ln\left(\frac{T_{W,1}}{T_{W,2}}\right) = -0,1426 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\uparrow \Delta \ln[\text{K}] : \frac{(15 + 273,15) \text{ K}}{(25 + 273,15) \text{ K}}$$

- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiab
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Strom Anschluss, getriebe, Welle... kein Arbeitfluss)

a) Bestimmen Sie die im Kondensator erzeugte Entropie $\dot{S}_{\text{erz}}$ mit Hilfe der Gesamtbilanz um den Kondensator.

$$\dot{m}_w = 5642,2727 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$0 = \dot{m}_D [S_{D,e} - S_{D,a}] + \dot{m}_w [S_{w,e} - S_{w,a}] + \dot{S}_{\text{erz}}$$

$$-0,1426 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

TAB A-2

$$S_{D,e} = 7,9096 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \dots \quad 60^\circ\text{C}, \text{ Satttdampf}$$

$$S_{D,a} = 0,8312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \dots \quad 60^\circ\text{C}, \text{ gerade Vollständig kondensiertes Wasser}$$

$$\dot{S}_{\text{erz}} = 96,7477 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{s}} > 0$$

$$\text{ML. } 96,73 \frac{\text{kW}}{\text{K}}$$

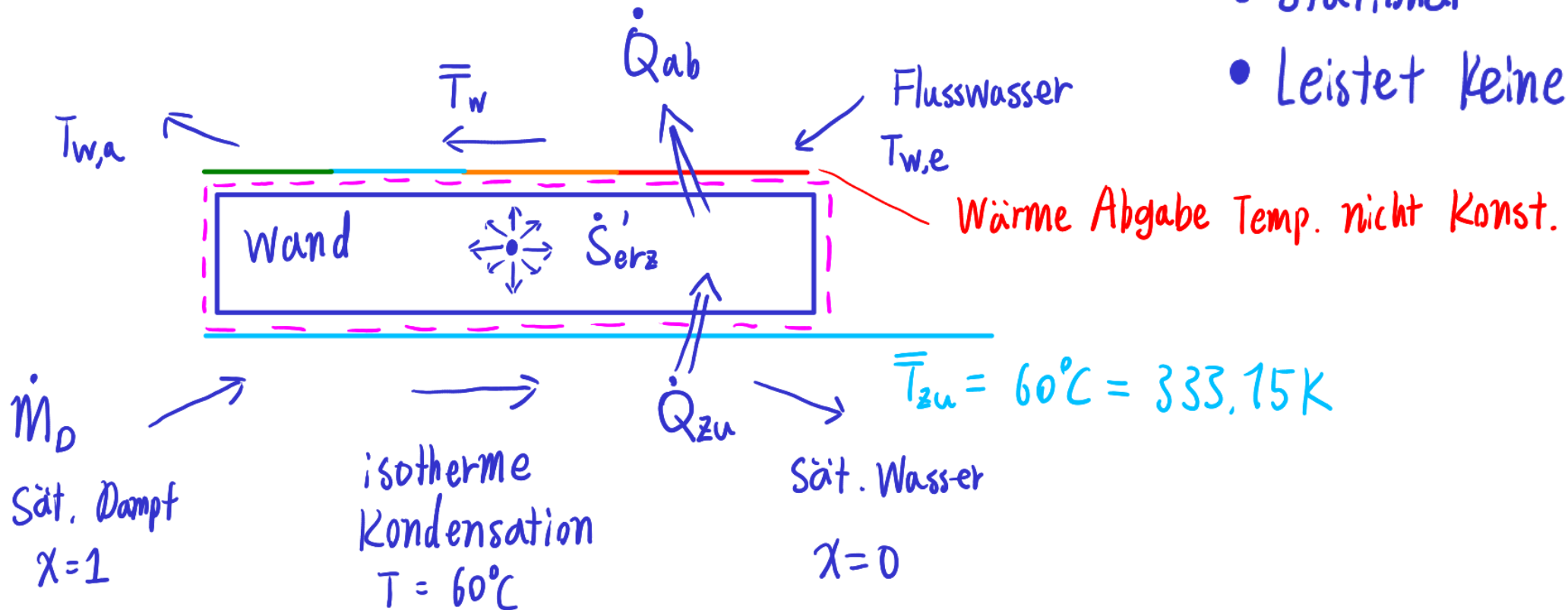
- Offenes Sys.
- 2 Massenfluss
- adiab
- stationär
- leistet keine Arbeit
(kein Strom Anschluss, Getriebe, Welle... kein Arbeitsfluss)

b) Bestimmen Sie durch eine Entropiebilanz um die Wand die aufgrund der Wärmeübertragung entstehende Entropieerzeugung $\dot{S}'_{\text{erz}}$ im Kondensator.

Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem in Aufgabenteil b) bestimmten Wert.

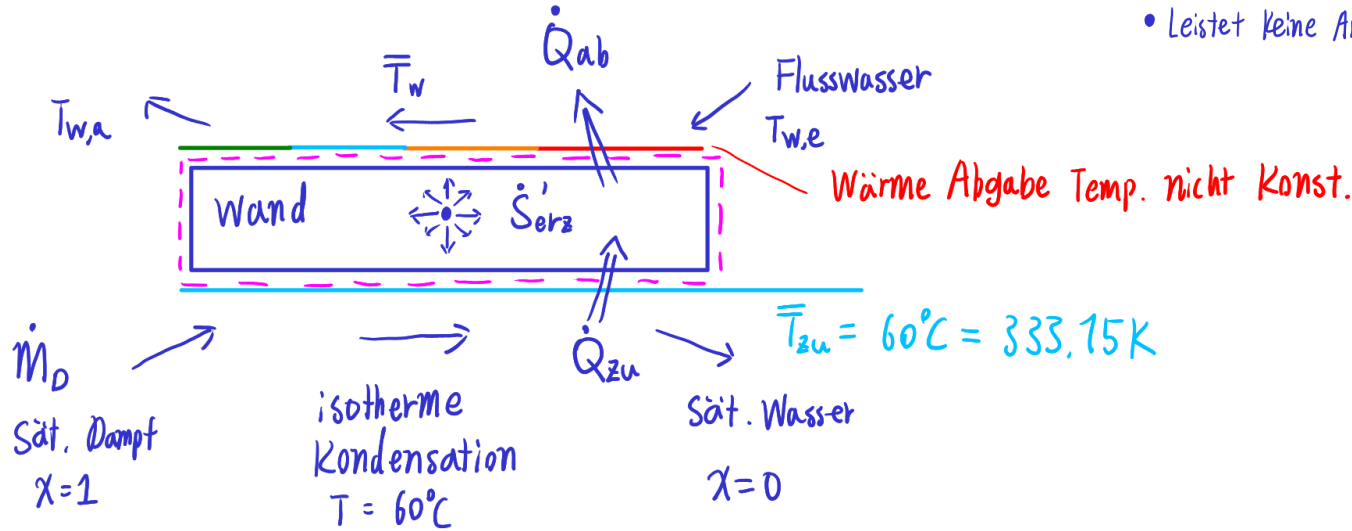
① Verständnis, wie ist das System aufgebaut? Klassifizierung

- Geschlossenes Sys.
- Stationär
- Leistet keine Arbeit



- b) Bestimmen Sie durch eine Entropiebilanz um die Wand die aufgrund der Wärmeübertragung entstehende Entropieerzeugung $\dot{S}'_{\text{erz}}$ im Kondensator. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem in Aufgabenteil b) bestimmten Wert.

- Geschlossenes Sys.
- Stationär
- Leistet keine Arbeit



Welche Bedeutung hat diese Entropie und Entropieerzeugung für uns?

Wo die Entropieerzeugung > 0 ist, ist wo, wir die Arbeit raus holen könnten.

irreversibel Wärmeübertragung entlang eine Temp. Gradient.

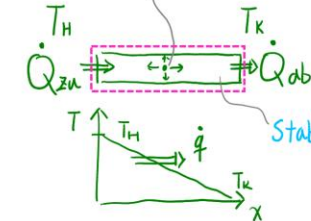
Entropieerzeugung

$S_{\text{erz}} > 0$

Herleitung für Entropieerzeugung

Energie B. $\Rightarrow \dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_{ab}$

$$\text{ZF. } \frac{dS}{dt} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{S}_{\text{erz}}$$



$$\text{Entropie B. } \Rightarrow \frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}_{zu}}{T_H} - \frac{\dot{Q}_{ab}}{T_K} + \dot{S}_{\text{erz}}$$

(Klein - Groß)

0 = Negativ + Positiv

Vgl. Bsp. W.10 Ü.07 Slides

Energie und Entropiebilanz für Wand

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q}_{zu} - \dot{Q}_{ab} \Rightarrow \dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_{ab} = 235847 \text{ kW}$$

$\downarrow$ 0, stationär

$$\underbrace{\frac{dE}{dt}}_{\substack{\downarrow \\ 0, \text{ stationär}}} = \dot{Q}_{zu} - \dot{Q}_{ab} \Rightarrow \dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_{ab} = 235847 \text{ kW}$$

Hier habe ich $\dot{Q}$ als Betrag genommen,

deswegen sind die Vorzeichen in Bilanzgleichung implantiert,

entspricht: $\frac{dE}{dt} = \dot{Q}_{zu} - \dot{Q}_{ab}$ mit $\dot{Q}_{zu}, \dot{Q}_{ab} > 0$

$$\text{Statt } \frac{dE}{dt} = \underbrace{\dot{Q}_{zu}}_{\substack{\downarrow \\ \text{positiv}}} + \underbrace{\dot{Q}_{ab}}_{\substack{\downarrow \\ \text{negativ}}}$$

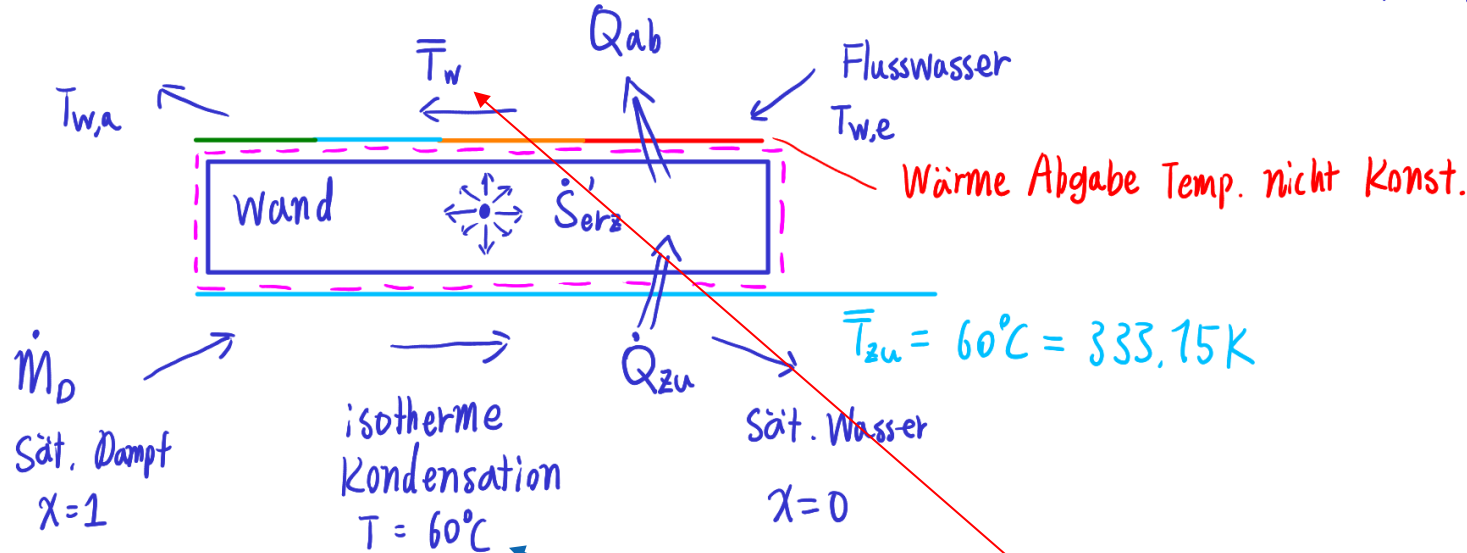
Manchmal ist es schneller so zu schreiben und so zu denken.

Wenn es für Euch klar ist,
Könnt Ihr auch so "Free-style"
machen, aber es muss klar sein,
und das Ergebnis muss richtig sein!

- b) Bestimmen Sie durch eine Entropiebilanz um die Wand die aufgrund der Wärmeübertragung entstehende Entropieerzeugung $\dot{S}'_{\text{erz}}$ im Kondensator.
Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem in Aufgabenteil b) bestimmten Wert.

Energie und Entropiebilanz für Wand

- Geschlossenes Sys.
- Stationär
- Leistet keine Arbeit



$$\dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_{ab} = 235847 \text{ kW}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}_{zu}}{\bar{T}_0} - \frac{\dot{Q}_{ab}}{\bar{T}_w} + \dot{S}'_{\text{erz}}$$

0.
Stationär



b) Bestimmen Sie durch eine Entropiebilanz um die Wand die aufgrund der Wärmeübertragung entstehende Entropieerzeugung $\dot{S}'_{\text{erz}}$ im Kondensator.

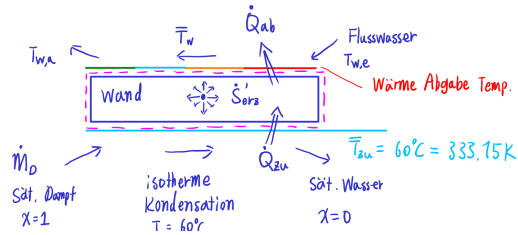
Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem in Aufgabenteil b) bestimmten Wert.

- Geschlossenes Sys.
- Stationär
- Leistet keine Arbeit

$$\dot{Q}_{\text{zu}} = \dot{Q}_{\text{ab}} = 235847 \text{ kW}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}_{\text{zu}}}{T_0} - \frac{\dot{Q}_{\text{ab}}}{T_w} + \dot{S}'_{\text{erz}}$$

↓
Stationär



ges. $\bar{T}_w$

ZF

$$\bar{T} = \frac{\int_e^a T ds}{s_a - s_e}$$

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{rev}} \quad (\text{gelten auch spezifisch})$$

$$\frac{dS}{dt} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{S}'_{\text{erz}}$$

$$\int_e^a T ds = \int_e^a d q = [q]_e^a = q_a - q_e = q_{ea}$$



b) Bestimmen Sie durch eine Entropiebilanz um die Wand die aufgrund der Wärmeübertragung entstehende Entropieerzeugung $\dot{S}'_{\text{erz}}$ im Kondensator.

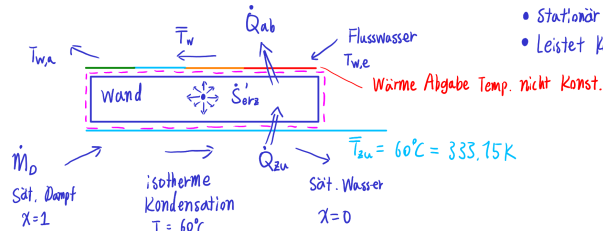
Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem in Aufgabenteil b) bestimmten Wert.

- Geschlossenes Sys.
- Stationär
- Leistet keine Arbeit

$$\dot{Q}_{\text{zu}} = \dot{Q}_{\text{ab}} = 235847 \text{ kW}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}_{\text{zu}}}{\bar{T}_0} - \frac{\dot{Q}_{\text{ab}}}{\bar{T}_w} + \dot{S}'_{\text{erz}}$$

↓
0, stationär



ges. $\bar{T}_w$

$$\bar{T}_w = \frac{q_{w,ea}}{s_{w,a} - s_{w,e}}$$

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w q_{w,ea}$$

$$q_{w,ea} = \frac{\dot{Q}_w}{\dot{m}_w}$$

$\dot{Q}_w, \dot{m}_w$
schon berechnet

Trick

Falls Vorzeichen unklar ist
dann nimm alle Werte in
Betrag, weil $\bar{T}$ mit Einheit [K]
muss positiv sein,

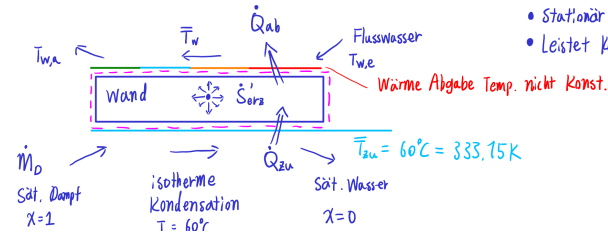
Es ist spezieller Trick, nicht allgemein!!! Hier haben wir Temperatur mit [K]



b) Bestimmen Sie durch eine Entropiebilanz um die Wand die aufgrund der Wärmeübertragung entstehende Entropieerzeugung $\dot{S}'_{\text{erz}}$ im Kondensator.

Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem in Aufgabenteil b) bestimmten Wert.

- Geschlossenes Sys.
- Stationär
- Leistet keine Arbeit



$$\dot{Q}_{\text{zu}} = \dot{Q}_{\text{ab}} = 235847 \text{ kW}$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\dot{Q}_{\text{zu}}}{T_0} - \frac{\dot{Q}_{\text{ab}}}{T_w} + \dot{S}'_{\text{erz}}$$

↓
Stationär

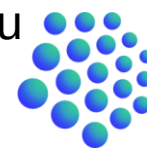
ges. $\bar{T}_w$

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_F q_{w,ea}$$

$$q_{w,ea} = \frac{\dot{Q}_w}{\dot{m}_F}$$

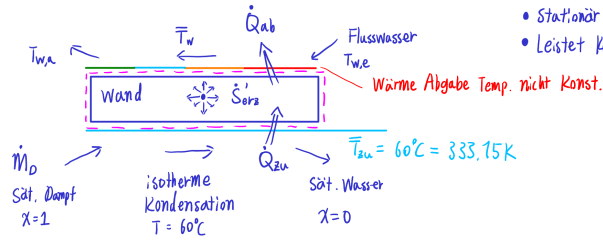
$\dot{Q}_w, \dot{m}_F$
schon berechnet

$$\bar{T}_w = \frac{|q_{w,ea}|}{|s_{w,a} - s_{w,e}|} = \frac{41,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0,1426 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 293,1276 \text{ K}$$



- b) Bestimmen Sie durch eine Entropiebilanz um die Wand die aufgrund der Wärmeübertragung entstehende Entropieerzeugung $\dot{S}'_{\text{erz}}$ im Kondensator.
Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem in Aufgabenteil b) bestimmten Wert.

- Geschlossenes Sys.
- Stationär
- Leistet keine Arbeit



$$\dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_{ab} = 235847 \text{ kW} \quad \bar{T}_w = 293,1276 \text{ K}$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\dot{Q}_{zu}}{\bar{T}_0} - \frac{\dot{Q}_{ab}}{\bar{T}_w} + \dot{S}'_{\text{erz}} \Rightarrow \dot{S}'_{\text{erz}} = \dot{Q} \left(\frac{1}{\bar{T}_w} - \frac{1}{\bar{T}_0} \right) = 96,733 \frac{\text{KW}}{\text{K}} \quad \checkmark$$

Stationär

$$= 235847 \text{ KW} \cdot \left(\frac{1}{293,1 \text{ K}} - \frac{1}{333,15 \text{ K}} \right)$$



SRÜ:

8.2

Entropiebilanz + Energiebilanz. Achten auf: Stoffmodell IG mit konstanter ☺

8.3

Schaltbild Wärmepumpe? T-s Diagramm mit ND? Doppelte lerp.

Energiebilanzen + Isentrope ZÄ bei real Stoff (in TAB, Fokus auf $s_1 = s_2$)

8.4

Energiebilanz IG-Gesetz TAB-A22 s^0 Bezugsentropie (Recap. Stoffmodell mit Entropieberechnung von letzter Übungsstunde)

Braucht keine thermodynamische Mitteltemperatur, mit Gesamtbilanz kann man schon lösen

8.6

Einheiten achten, molare Enthalpie und Entropie

Danke für die Aufmerksamkeit!





Selbstrechenübung

Feedback

