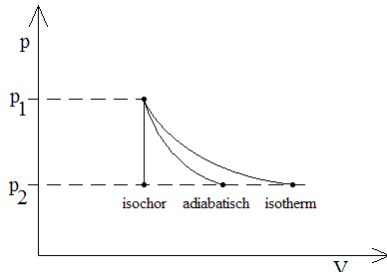


## Kernbeispiele Thermodynamik für 1. Test (Nov. 2015), Teil 2

### 1. Die vier möglichen Zustandsänderungen einzeln betrachtet:

Eine Stickstoffmenge der Masse  $m=200\text{g}$ , ( $1\text{ Mol} = 28\text{g}$ ),  $\kappa=1,41$ ,  $c_V=742\text{ J/(kgK)}$  wird bei  $T_1=300\text{K}$  (etwa  $27^\circ\text{C}$ ) und  $p_1=4,052\text{ bar}$  einem thermodynamischen Prozess unterzogen, bei dem der Druck auf  $p_2=3,039\text{ bar}$  absinkt ( $1\text{ bar}=10^5\text{ Pa}$ ). Man berechne für einen isochoren, einen adiabatischen und einen isothermen Prozess

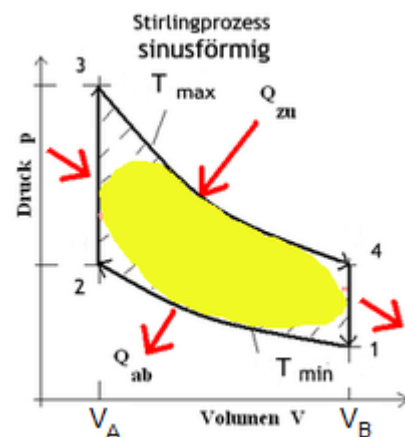
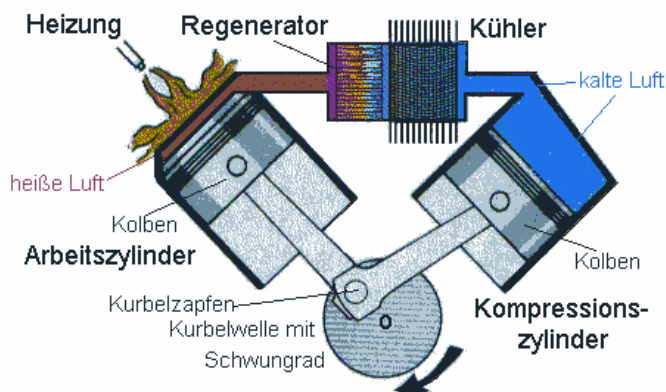


- welche Wärmemenge  $Q$  dabei dem Gas zugeführt wird
- welche Arbeit das Gas dabei verrichtet
- wie sich seine innere Energie  $U$  verändert.

d) Und nun für eine isobare Zustandsänderung:

Welche Arbeit leistet das Gas, wenn es bei Druck  $p_2$  isobar vom Volumen des isochoren Prozesses zum Endvolumen des isothermen Prozesses expandiert? Welche Wärmemenge muss dem Gas zugeführt werden? Wie ändert sich seine innere Energie?

### 2. Stirlingmotor



Im Stirlingmotor wird eine **konstante** Gasmenge (Luft, Helium, etc.) zwischen zwei Zylindern hin- und hergeschoben und gleichzeitig komprimiert und expandiert, indem ein Zylinder von außen gewärmt und der andere gekühlt wird. Die Zylinder sind um  $90^\circ$  versetzt und greifen an einem gemeinsamen Pleuellager an. Dabei wird über ein Schwungrad Arbeit nach außen abgegeben. Im Gegensatz zu Verbrennungsmotor oder Dampfmaschine gibt es keinen Austausch von Gas mit der Außenwelt. Der Prozess lässt sich daher schön als Kreisprozess im  $pV$ -Diagramm darstellen. Der reale Prozess umläuft das gelbe Feld. Der idealisierte Prozess

besteht aus zwei isothermen Prozessen (je einer bei  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ ) und aus zwei isochoren Prozessen (je einer bei  $V_A$ ,  $V_B$ ):

- 1-2: Isotherme Kompression von  $V_B$  zu  $V_A$ . Dabei wird Wärme am kalten Zylinder nach außen abgegeben. Die notwendige Arbeit kommt aus dem Schwungrad.
- 2-3: Isochore Erwärmung von  $T_{\min}$  auf  $T_{\max}$  durch Heizen am heißen Zylinder.
- 3-4: Isotherme Expansion von  $V_A$  zu  $V_B$ . Dabei wird Wärme vom heißen Zylinder aufgenommen und gleichzeitig Arbeit ans Schwungrad abgegeben.
- 4-1: Isochore Abkühlung von  $T_{\max}$  auf  $T_{\min}$  durch Kühlen am kalten Zylinder.

(In der praktischen Ausführung gibt es zusätzliche Wärme vom Regenerator, und die Kühlung erfolgt eher am Kühler als am kalten Zylinder (=Kompressionszylinder). Auch wird der heiße Zylinder permanent geheizt. All dies ändert aber nichts am Prinzip.)

Berechnen Sie allgemein:

- a) Die geleistete oder abgegebene Arbeit bei jedem Prozessschritt.
- b) Die Gesamtarbeit bei einem Umlauf.
- c) Die mittlere Leistung, wenn ein Umlauf eine Zeit  $\Delta t$  benötigt.
- d) Den Wirkungsgrad für 2-atomiges Arbeitsgas (z.B. Luft:  $N_2$  und  $O_2$ )
- e) Den Wirkungsgrad für 1-atomiges Arbeitsgas (z.B. Helium).
- f) Und mit konkreten Zahlen: Die Leistung und den Wirkungsgrad für einen realen Motor mit Helium:  $V_A=0.2$  Liter.  $V_B=1.2$  Liter.  $T_{\max}=600^\circ\text{C}$ .  $T_{\min}=100^\circ\text{C}$ . Druck am Punkt 1:  $p_1=1.5 \times 10^5$  Pa. Umläufe pro Minute: 3000.