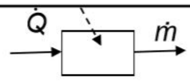
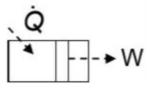
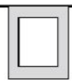
Aufgabe 1.1 – Lösung

a) Ein thermodynamisches System ist ein von der Umgebung abgetrennter Bereich, der betrachtet wird. Es werden *offene*, *geschlossene* und *abgeschlossene* Systeme unterschieden. Diese unterscheiden sich hinsichtlich möglichem Energie- und oder Stoffaustausch mit der Umgebung. Dabei gilt:

i) offenes System: Stoff- und Energieaustausch

ii) geschlossenes System: Energieaustausch

iii) abgschlossenes System: Weder Energie- noch Stoffaustausch

System	**Wirkung der Systemgrenze**		**Beispiel**
	für Materie	**für Energie**	
offen	durchlässig	durchlässig	Heizungskessel 
geschlossen	undurchlässig	durchlässig	Zylinder mit Kolben 
abgeschlossen	undurchlässig	undurchlässig	Thermoskanne, ideal isolierter Behälter 

b)

i) 

Ideale Thermoskanne:
- geschlossener Behälter → keine Massenströme über die Systemgrenze
- ideale Isolation, keine Volumenänderung → keine Energieströme über die Systemgrenze
⇒ System ist abgeschlossen

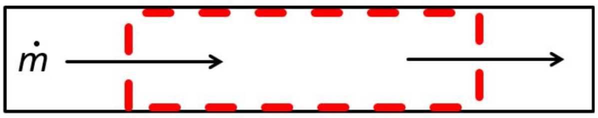
ii) **Sauerstoffflasche ohne Gasentnahme:**
- keine ideale Isolation → Wärmeströme können über die Systemgrenze auftreten
- Sauerstoffflasche besitzt keine Gasentnahme → keine Massenströme
⇒ System ist geschlossen

iii) **Kochtopf mit dichtem Deckel, gefüllt mit kaltem Wasser:**
- dichter Deckel → keine Massenströme
- Wärmeströme über Systemgrenze möglich
⇒ System ist geschlossen

iv) **Kochtopf mit dichtem Deckel, teilweise gefüllt mit kochendem Wasser:**
- dichter Deckel → keine Massenströme
- Wärmeströme über Systemgrenze möglich
⇒ System ist geschlossen

v) **Kochtopf ohne Deckel mit kochendem Wasser:**
- Wärmeströme über Systemgrenze möglich
- Massenströme über die Systemgrenze nun möglich
⇒ System ist offen

vi) **Ein mit Gas durchflossenes Rohr mit perfekter Isolierung:**



- Art des Systems ist abhängig davon, wo man die Systemgrenzen setzt
- hier: Massen- und damit verbundene Energieströme über die Systemgrenze hinweg
⇒ System ist offen

vii) **Perfekt isolierter Gasbehälter mit ortsfesten Wänden:**
- ideale Isolation → keine Wärmeströme über die Systemgrenze
- keine Massenströme über die Systemgrenze hinweg
- ortsfeste Wände → keine Volumenänderungsarbeit verrichtbar
⇒ System ist abgeschlossen

c) i) Zustandsgröße: Beschreiben den Zustand in dem sich ein System befindet Zustandsgrößen sind wegunabhängig. Der Satz von Schwarz beweist welche

Größen Zustandsgrößen sind. Dieser lautet:

$$dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x dy \tag{1}$$

und

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \tag{2}$$

Wenn die gemischten 2. Ableitungen gleich sind, wird die Wegunabhängigkeit bewiesen.

ii) Prozessgröße: Beschreiben den Weg mit dem ein Zustand erreicht wird.

d) Die nicht stoffgebundene Energieübertragung findet durch *Wärmeübertragung* oder *Arbeit* statt.

Aufgabe 1.2 – Lösung

a) Äußere Zustandsgrößen: geodätische Höhe [m], Koordinaten [m], Gesschwindigkeit $[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$, ...
Innere Zustandsgrößen: m Masse [kg], V Volumen [m^3], T Temperatur [K], p Druck [Pa], U innere Energie [J], ρ Dichte $[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}]$, ...

b) Intensive Zustandsgrößen verändern sich durch eine Systemteilung nicht (z.B. Temperatur oder Druck), extensive Zustandsgrößen tun dies hingegen schon (z.B. Masse, Volumen, innere Energie).

c) Dichte:

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow [\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

spezifisches Volumen:

$$v = \frac{V}{m} \Leftrightarrow [v] = \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Zusammenhang:

$$\rho = \frac{1}{v}$$

Analog dazu ist das molare Volumen das Volumen eines Stoffes pro Mol

$$v_m = \frac{V}{n} \Leftrightarrow [v_m] = \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

.

d) Innere Energie:

$$[U] = \mathrm{J} = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$$

spezifische innere Energie:

$$u = \frac{U}{m} \Leftrightarrow [u] = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} = \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$$

e) ideale Gaskonstante:

$$R_m = 8,314\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol} \cdot \mathrm{K}}$$

Die ideale Gaskonstante ist das Produkt aus der Avogadro Konstante und der Boltzmann Konstante:

$$R_m = N_A \cdot k_b$$

Die spezifische Gaskonstante erhält man aus dem Quotienten der idealen Gaskonstante und der Molmasse:

$$R = \frac{R_m}{M}$$

Aufgabe 1.3 – Lösung

Spezifisches Volumen:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{7,36\ \mathrm{m}^3}{1370\ \mathrm{kg}} = 5,372 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}$$

Dichte:

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{5,372 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}} = 186,1\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

Molares Volumen:

$$v_m = M \cdot v = 30,05\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{kmol}} \cdot 5,372 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}} = 0,1614\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kmol}}$$

Stoffmenge:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1370\ \mathrm{kg}}{30,05\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{kmol}}} = 45,59\ \mathrm{kmol}$$

Aufgabe 1.4 – Lösung

a) $1\ \mathrm{kJ} = 1000\ \frac{\mathrm{kg \cdot m^2}}{\mathrm{s^2}}$
$1\ \mathrm{Pa} = 1\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m \cdot s^2}} \Rightarrow$ richtig
$1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{N \cdot m} = 1\ \mathrm{W \cdot s} \Rightarrow$ richtig
$1\ \mathrm{GJ} = 10^6\ \mathrm{kJ}$
$2100\ \mathrm{mbar} = 2,1 \cdot 10^2\ \mathrm{kPa}$
$1\ \mathrm{K} = -272,15\ °\mathrm{C}$
$\Delta T_{12} = (10\ °\mathrm{C} - 5\ °\mathrm{C}) = 5\ \mathrm{K} \Rightarrow$ richtig
$1\ \mathrm{MPa} = 10\ \mathrm{bar}$
$ln(\frac{15\ °\mathrm{C}}{20\ °\mathrm{C}}) \neq ln(\frac{(15+273{,}15)\ K}{(20+273{,}15)\ K})$
$\Rightarrow$ Der Umrechnungsfaktor von Celsius zu Kelvin wird addiert $15\ °\mathrm{C} = (15 + 273,15)\mathrm{K}$ und kürzt sich damit nicht raus. Dadurch muss die Temperatur zuerst in Kelvin umgerechnet werden, bevor der Logarithmus gezogen werden kann.

$1\ \mathrm{L} = 0,001\ \mathrm{m^3} \Rightarrow$ richtig

b) $1,01325\ \mathrm{bar} = 101325\ \mathrm{Pa}$
$76\ \mathrm{MPa} = 760\ \mathrm{bar}$
$10.000\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{h}} = \frac{1}{360}\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}$
$100.000\ \frac{\ell}{\mathrm{min}} = \frac{5}{3}\ \frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{s}}$
$5\ \mathrm{kWh} = 18 \cdot 10^6\ \mathrm{J}$
$36\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} = 10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$