



Thermodynamik I - Übung 1

Nicolas Lanzetti

Hinweise zu der Übung

- Name: Nicolas Lanzetti;
- 5. Semester Maschinenbau;
- Mail:

`lnicolas@student.ethz.ch;`

- Raum: CHN C14;
- Zeit: Freitag, 8:15-10:00;
- Alle Unterlagen:

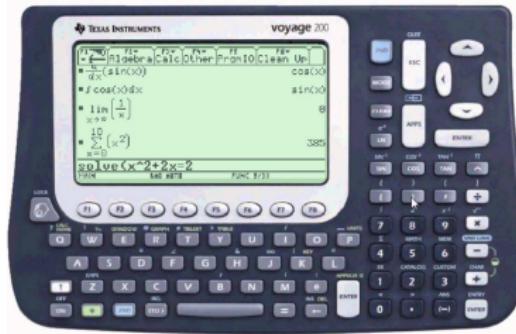
`n.ethz.ch/student/lnicolas.`

Informationen zur Vorlesung

- **Obligatorische** Zwischenprüfung am 20. November 2015;
- Die Zwischenprüfung zählt 20% der Endnote (in alle Fälle!);
- Für Repetenten: Es zählt die letzte geschriebene Zwischenprüfung;
- Es ist nicht möglich, die Zwischenprüfung als unbenotete Übung zu schreiben;
- Erlaubte Hilfsmitteln:
 - Tabellen;
 - Institutformelsammlung;
 - 4 Blätter eigene Zusammenfassung (keine Musterlösungen);
 - Taschenrechner gemäss Einschränkungen.
- Sprechstunde: Freitag 12:15-13:00 im ML J34.1.

Taschenrechner

- Lange Ausdücke;
- Lösung von Gleichungen;
- Ableitungen und Integralen;
- Variablen;
- Einheiten;
- Graphen;
- Programmbarkeit;
- Nicht nur für Thermo.



Liste der erlaubten Taschenrechner: Vorlesungsinformationen
(Webseite der Vorlesung).

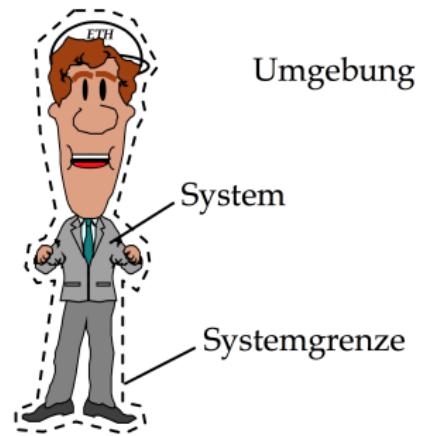
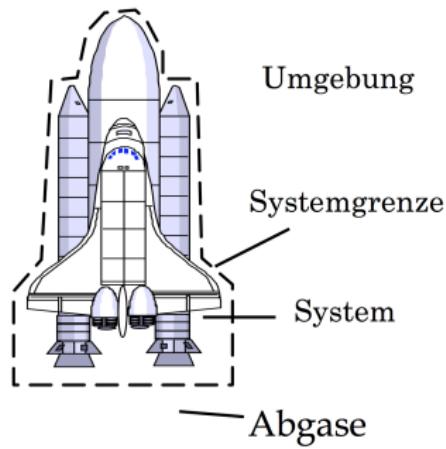
Heutige Themen

- Systemen
- Systemeigenschaften
- Einheiten
- Zustand und Zustandsgrössen
- $p - v - T$ Beziehung
- Tabellen
- Lineare Interpolation

Systeme

- Ein thermodynamisches System ist ein Teilgebiet des Raum mit der zu einem bestimmten Zeitpunkt darin enthaltenen Materie.
- Ausserhalb des System: Umgebung.
- Trennung System-Umgebung: Systemgrenzen.
- Systemgrenzen müssen nicht unbedingt konstant sein.
- Bilanzen im System:
 - Massenbilanz;
 - Energiebilanz.
- System gut wählen, einfache Bilanzierungen/Berechnungen.

Beispiele von Systemen



Eigenschaften von Systemen

- Massenstrom über die Systemgrenze?
 - Ja: offenes System;
 - Nein: geschlossenes System.
- Wärmestrom über die Systemgrenze?
 - Ja: nicht isoliertes/diathermes System;
 - Nein: adiabates/isoliertes System.
- Physikalische und chemische Eigenschaften:
 - homogenes System: physikalische Eigenschaften überall gleich;
 - inhomogene System: sonst.

Einheiten

Grösse	Einheit
Länge	m
Volumen	$\text{m}^3 = 10^3 \text{ L}$
Masse	kg
Zeit	s
Geschwindigkeit	$\text{m/s} = 3.6 \text{ km/h}$
Druck	$\text{Pa} = \text{N/m}^2$ $\text{bar} = 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$
Temperatur	K $[T]_K = [T]_{^\circ\text{C}} + 273$

Zustand und Zustandsgrößen

- Das Wort thermodynamischer Zustand bezieht sich auf den Zustand eines Systems, welcher durch seine thermodynamischen Eigenschaften (Zustandsgrößen) vollständig definiert ist.
- Die Zustandsgrößen sind thermodynamische Eigenschaften, die den thermodynamischen Zustand definieren.
- Ähnlichkeit mit einer Karte:
 - Zustand = Position auf der Karte;
 - Zustandsgrößen = Koordinaten.
- Beide sind von den Prozessen, die das System durchführt, unabhängig.
- Zustandsgrößen sind voneinander nicht unabhängig (z.B. Idealgasgleichung, $p - v - T$ Beziehung).

Eigenschaften von Zustandsgrößen

- Intensive Zustandsgrößen: Ändern ihre Werte bei einer gedachten Teilung eines homogenen Systems nicht (z.B. Temperatur).
- Extensive Zustandsgrößen: Sind mit der Stoffmenge verbunden (z.B. Masse).
- Extensiv → Intensiv? Massenspezifische Zustandsgrößen:

$$x = \frac{X}{m}, \quad m : \text{Masse}, \quad (1)$$

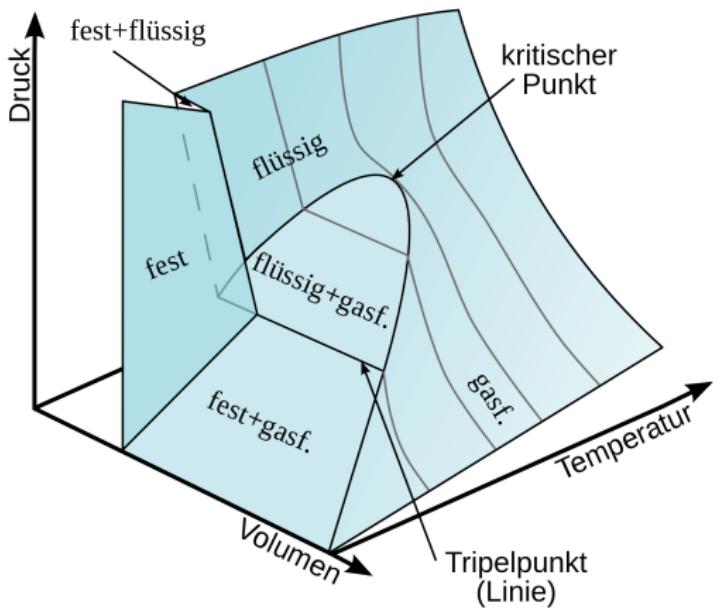
z.B. spezifisches Volumen v mit Einheit m^3/kg .

- Extensiv → Intensiv? Molspezifische Zustandsgrößen:

$$x = \frac{X}{n}, \quad n = \frac{m}{M} : \text{Anzahl Molen}, \quad (2)$$

z.B. spezifisches Volumen v mit Einheit m^3/mol .

Die $p - v - T$ Beziehung



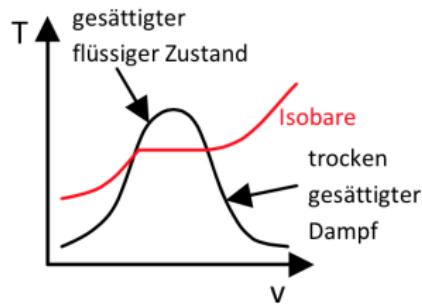
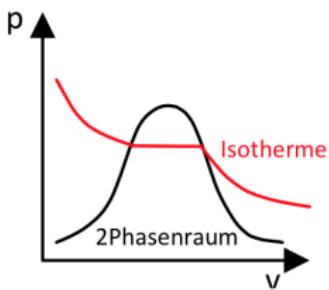
Bemerkungen zu der $p - v - T$ Beziehung

- Das Diagramm zeigt die Funktion

$$p = f(v, T). \quad (3)$$

- Im Nassdampfgebiet ("Dom") existieren gleichzeitig flüssiges Wasser und Dampf.
- Im Eisdampfgebiet existieren gleichzeitig festes Wasser (Eis) und Dampf.
- Für $T > T_{\text{kritisch}}$: Keine Unterscheidung zwischen Gas und Flüssigkeit möglich.
- Tripellinie: alle drei Phasen existieren gleichzeitig.

Die $p - v - T$ Beziehung



Gebiet der unterkühlten Flüssigkeit (A5)

$h(T, p) (\approx h(T))$

Gesättigte Zustände (A2-A3)

h mit T_{satt} oder p_{satt}

Nassdampfgebiet (A2-A3)

h mit T/p und x

Gebiet des überhitzen Dampfes (A4)

$h(T, p)$

Gebiet unterhalb Tripellinie (fest+gas) (A6)

$h(T, p)$

Lineare Interpolation

Wert nicht auf den Tabellen? Lineare Interpolation.

Die lineare Interpolation zwischen (x_1, y_1) und (x_2, y_2) ist

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1). \quad (4)$$

Diese Formel darf in den Tascherrechner programmiert werden, z.B.

$$y = \text{linint}(x, x_1, y_1, x_2, y_2). \quad (5)$$

Beispiel

Berechnung des spezifischen Volumens bei $T = 15 \text{ K}$.

Aus Tabellen (nicht realistische Zahlen!):

$T \text{ [K]}$	$v \text{ [m}^3/\text{kg}]$
10	150
20	200

Lineare Interpolation:

$$\begin{aligned} v &= v_1 + \frac{v_2 - v_1}{T_2 - T_1} \cdot (T - T_1) \\ &= 150 + \frac{200 - 150}{20 - 10} \cdot (15 - 10) \\ &= 175 \text{ m}^3/\text{kg}. \end{aligned}$$

Dampfmassenanteil

“Wie viel Prozent Dampf und flüssiges Wasser hat man im Nassdampfgebiet?”

Lineare Interpolation:

$$x = \frac{m_x - m_{\text{flüssig}}}{m_{\text{dampf}} - m_{\text{flüssig}}} = \frac{v_x - v_{\text{flüssig}}}{v_{\text{dampf}} - v_{\text{flüssig}}}. \quad (6)$$

Daraus folgt (für gegebene x):

$$v = v_{\text{flüssig}} + x \cdot (v_{\text{dampf}} - v_{\text{flüssig}}). \quad (7)$$

Tipp: Formeln in den Taschenrechner programmieren!

Fragen?