

## Barometrische Höhenformel

**Molare Masse  $M$ :**  $M \cdot n = m$

Es gilt:  $\frac{dp}{dh} = -\rho \cdot g = -\frac{Mg}{RT} \cdot p$

**Barometrische Höhenformel für isotherme Atmosphäre:**

$$p(h) = p_0 \cdot e^{-\frac{Mg}{RT} \cdot h}$$

## Corioliskraft

Bewegung eines Vektors (Bei Rotationsachse  $\Omega$  und Rotation um den Ursprung):  $\frac{d}{dt} \vec{v} = \Omega \times \vec{v}$

Aus der Produktregel folgt  $\vec{a}_C = -2\vec{\Omega} \times \vec{v}$ .

Bei Axialbewegung  $v_A$  mit der Drehachse gibt es keine Beschleunigung.

Bei Radialbewegung  $v_R$  weg von der Drehachse:  $a_{\text{Cor}} = 2 \cdot \omega \cdot v_R$  entgegen der Erdrotation (also nach Westen).

Bei Tangentialbewegung  $v_T$  mit der Drehung (Ost-West):

$a_{\text{Cor}} = 2 \cdot \omega \cdot v_T$ . Bei Bewegung mit der Erdrotation würde die Bewegung des Objekts es dazu bringen, sich von der Rotationsachse zu entfernen - wenn es wieder von der Schwerkraft nach unten bewegt wird, "rutscht" es dabei Richtung Äquator.

Die Tangentialgeschwindigkeit ist bereits identisch zur Geschwindigkeit bei Bewegung nach Westen, also  $v_T = -v_O$ .

Die Radialgeschwindigkeit hängt vom Breitengrad ab - am Breitengrad

$\varphi \in (-\pi, \pi)$  gilt  $v_r = v \sin(\varphi)$ , es folgt:

$$\begin{pmatrix} a_N \\ a_O \end{pmatrix} = 2 \cdot \omega \cdot \sin(\varphi) \cdot \begin{pmatrix} v_N \\ -v_O \end{pmatrix} := f_C \cdot \begin{pmatrix} v_N \\ -v_O \end{pmatrix}$$

Insgesamt folgt auf der Nordhalbkugel ( $\sin(\varphi) > 0$ ):

- Bewegung nach Norden führt zu Beschleunigung nach Osten
- Bewegung nach Süden führt zu Beschleunigung nach Westen
- Bewegung nach Osten führt zu Beschleunigung nach Süden
- Bewegung nach Westen führt zu Beschleunigung nach Norden

In der Südhemisphäre gilt ( $\sin(\varphi) < 0$ ), also wird die Bewegung umgekehrt.

## Wind

Wind wird verursacht durch:

- Druckgradientenkraft
- Zentrifugalkraft
- Corioliskraft
- Reibungskraft

**Geostrophischer Wind:** Annahme: Nord-/Südkomponente der Corioliskraft und Druckgradienten heben sich auf, Reibung wird vernachlässigt. Parallel zu den Isobaren. Erklärt die Passatwinde und erklärt, warum Wind nicht direkt von Hoch nach Tief weht.

$$F_D = -F_C \Leftrightarrow -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} = f_c \cdot v$$

**Zyklostrophischer Wind:** Annahme: Nord-/Südkomponente der Druckgradientenkraft und der Zentrifugalkraft heben sich auf.  $F_C$  und  $F_R$  werden nicht berücksichtigt. Erklärt Tornados.

$$F_D = F_Z \Leftrightarrow -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} = \frac{v^2}{R}$$

**Gradientenwind / Geostrophisch-Zyklostrophischer Wind:**

Berücksichtigt  $F_D$ ,  $F_C$  und  $F_Z$ . Reibung wird weiterhin vernachlässigt. Bestes Windmodell, welches trotzdem noch relativ genau rein durch Wetterkarten und Höhenwindmessungen vorhergesagt werden kann.

**Zyklonaler Gradientenwind:**

Die Luft dreht sich um ein Tiefdruckgebiet, es gilt:

$$F_C + F_Z = F_D \Leftrightarrow f_c \cdot v + \frac{v^2}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

**Antizyklonaler Gradientenwind:**

Die Luft dreht sich um ein Hochdruckgebiet, die Richtungen von  $F_C$  und  $F_D$  sind umgekehrt:

$$F_C - F_Z = F_D \Leftrightarrow f_c \cdot v - \frac{v^2}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

## Wärme, Temperatur, Freiheitsgrade

**Stoßrate gegen eine Quaderförmige Wand bei Teilchendichte  $D$ :**

$$\dot{N} = \frac{D}{6} \cdot v$$

**Druck durch**

**Impulsübertragung:**

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\|\vec{p}\|}{A} = m \cdot \frac{\|\vec{v}\|}{A} = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m v^2$$

**Freiheitsgrade:**

Im Allgemeinen  $f = 3n$  für  $n$ -atomiges Molekül

**Effektive Freiheitsgrade** (bei realistischen Temperaturen):

- He: 3
- $\text{CO}_2$ :  $\sim 7$
- $\text{N}_2, \text{O}_2$ : 5
- $\text{H}_2\text{O}$ :  $\sim 7$

**Energie pro Teilchen pro Freiheitsgrad:**

$$E = \frac{1}{2} kT$$

**Ideale Gasgleichung:**

$$pV = nRT = NkT, \text{ mit } n = \frac{N}{N_A}$$

**Energie für  $N$  Teilchen mit jeweils  $f$  Freiheitsgraden:**

$$U = f \cdot N \cdot E = \frac{f}{2} NkT = \frac{f}{2} nRT$$

**Molare Wärmekapazität**

$$[c_V] = 1 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \text{ bei konstantem Volumen:}$$

$$c_V = \frac{f}{2} \cdot R$$

# Klausurblatt Umweltphysik, Emma Marie Bach :3

## Einheiten

**Kraft:**  
[F] = 1N = 1  $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$   
**Druck:**  
[p] = 1Pa = 1  $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  = 1  $\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$   
1bar = 100.000Pa = 1000hPa  
**Arbeit, Energie:**  
[W] = [E] = 1J = 1N · m  
**Leistung:**

[P] = W = 1  $\frac{\text{J}}{\text{s}}$  = 1  $\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}$   
**Wärmekapazität:**  
[c] = 1  $\frac{\text{J}}{\text{K}}$  = 1  $\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{K}}$   
**Teilchenzahl** N, **Stoffmenge**  
n =  $\frac{N}{N_A}$  in Mol!  
**Masse** m, **Molare Masse** M =  $\frac{m}{n}$

## Mathe

**Taylorreihe:**  $f(x) \approx \sum_{k=1}^n f^{(k)} \cdot (x - a)^k$

## Rotierende Systeme

**Zentripetalbeschleunigung:**  
 $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{r} \Rightarrow a_Z = \frac{v^2}{r}$   
**Zentripetalkraft:**  
 $F_Z = m \cdot a_Z = m \cdot \frac{v^2}{r}$

**Umlaufgeschwindigkeit:**  
 $F_Z = F_G \Rightarrow v = \sqrt{\frac{\gamma M}{r}}$   
**Umlaufzeit:**  
 $v = \omega \cdot r \Rightarrow t = 2\pi r \cdot \sqrt{\frac{r}{\gamma M}}$

## Kräfte und Wege

**Grundlagen:**  
 $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$   
 $\vec{F}_{a \rightarrow b} = -\vec{F}_{b \rightarrow a}$   
**Kreisbahn:**  
 $s = \varphi \cdot R = \omega \cdot R \cdot t$   
**Schwerkraft auf der Erde:**  
 $F_G = m \cdot g$   
**Schwerkraft allgemein:**  
 $F_G = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$   
**Auftriebskraft (V = Volumen unter Wasser):**  
 $F_A = F_{G_{\text{Fluid}}} - F_{G_K} = (\rho_{\text{Fluid}} - \rho_K) \cdot g \cdot V$   
**Hangabtriebskraft:**

$F_H = F_G \cdot \sin(\alpha) = F_G \cdot \left\| \vec{\nabla} H \right\|_2$   
**Normalenkraft:**  
 $F_N = F_G \cdot \cos(\alpha)$   
**Reibungskraft:**  
 $F_R = \mu \cdot F_N$   
**Druck:**  
 $p = \frac{F}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$   
**Impuls:**  
 $\vec{p} = m \cdot \vec{v} \Rightarrow \vec{F} = \dot{\vec{p}}$   
 $\dot{\vec{p}}_{\text{ges}} = \vec{F}_{\text{ges}} = 0$   
**Drehmoment (Torque) mit Hebelarm r:**  
 $T = F \cdot r$   
 $T_1 = F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2 = T_2$

## Energie, Arbeit, Leistung

**Arbeit:**  
Für F und Δs parallel:  
 $W = F \cdot \Delta s$   
**Arbeit gegen die Schwerkraft:**  
 $W = F_G \cdot \Delta s = m \cdot g \cdot \Delta h$   
 $= \gamma \cdot m \cdot M \cdot \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_0 + h} \right)$   
**Potentielle Energie:**  
 $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$   
**Arbeit gegen die Reibungskraft:**  
 $W = F_R \cdot \Delta s = \mu \cdot m \cdot g \cdot \Delta s$   
**Arbeit gegen die Zentripetalkraft:**  
 $W = 0$ , da  $F \perp \Delta s$   
**Kinetische Energie:**  
 $E_{\text{kin}} = W = F \cdot \Delta s = m \cdot a \cdot \Delta s =$

$m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot (\Delta t)^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$   
**Wärme / Thermische Energie:**  
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$   
**Gespannte Feder:**  
 $F = k \cdot \Delta x$   
 $E = \frac{1}{2} \cdot k \cdot s^2$   
**Mechanische Energieerhaltung:**  
 $E_{\text{ges}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + Q = \text{const}$   
inkl. Reibungswärme Q  
**Leistung:**  
 $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \rightarrow \frac{dW}{dt}$   
**Leistung bei Kraftauswirkung:**  
 $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta s}{\Delta t} = F \cdot v$

## Strömungsdynamik

**Staudruck:**  
 $p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$   
**Staukraft (ohne Umströmung):**  
 $F = p \cdot A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$   
**Luftwiderstandskraft:**  
 $F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$   
**Kontinuitätsgesetz für Inkompressible Fluide:**  
 $A \cdot v = \text{const}$   
**Volumenarbeit:**  
 $W_V = - \int F ds = - \int p \cdot A ds = - p \cdot \Delta V$

**Hydrodynamische Energieerhaltung:**  
 $E_{\text{ges}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + W_V = \text{const}$   
 $\Rightarrow$  **Bernoulli-Gleichung**  
**durch Division der Volumen:**  
 $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h + p = \text{const}$   
**Konsequenz:** An Orten mit hoher Strömungsgeschwindigkeit ist der Druck geringer  
(Hydrodynamisches Paradoxon)  
**Gradientenkraft:**  
 $\Delta p = \vec{\nabla} p \cdot \Delta x$   
 $\Rightarrow \Delta F = -\Delta p \cdot A = -\vec{\nabla} p \cdot \Delta x \cdot A$   
 $\Rightarrow a = \frac{\Delta F}{m} = -\frac{\vec{\nabla} p}{\rho}$

**Spezifische Wärmekapazität**  
[C<sub>V</sub>] = 1  $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$  bei konstantem

**Volumen:**

$$C_V = \frac{c_V}{M}$$

**Mittlere freie Weglänge:**

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \frac{N}{V} d^2}$$

**Boltzmann-Verteilung:**

$p(E) \sim e^{-\frac{E}{kT}}$ , wahrscheinlichste  
Energie  $E_{\text{kin},p} = kT$ , aber mittlere

Energie  $E_{\text{kin},m} = \frac{3}{2} kT$   
**Maxwell-Verteilung:**

$p(v) \sim 4\pi v^2 \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$ ,  
wahrscheinlichste Geschwindigkeit

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{RkT}{M}}$$

**Arrheniusgleichung für Reaktionsgeschwindigkeit c:**  
 $c = A \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}}$

## Partialdruck, Dampfdruck

**Partialdruck p / Dampfdruck**

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ : Experimentell bestimmt.

Maximaler Dampfdruck

(Sättigungsdampfdruck) hängt

von der Temperatur ab.

**Absolute Luftfeuchtigkeit:**

$$f = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{V} \quad f = \frac{m_{\text{H}_2\text{O},\text{max}}}{V}$$

**Relative Luftfeuchtigkeit:**

$$\varphi = \frac{f}{f_{\text{max}}}$$

**Zusammenhang Dampfdruck/Luftfeuchtigkeit:**

$$\begin{aligned} p_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{n_{\text{H}_2\text{O}} RT}{V} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} RT}{M_{\text{H}_2\text{O}} V} = f \cdot \frac{RT}{M_{\text{H}_2\text{O}}} \end{aligned}$$

## Erster Hauptsatz der Thermodynamik

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Zustandsänderungen

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Entropie und Enthalpie

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Strahlung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Absorption und Emission

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Atmosphärisches Fenster

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Strahlungsbilanz der Erde

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Treibhauspotential

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.