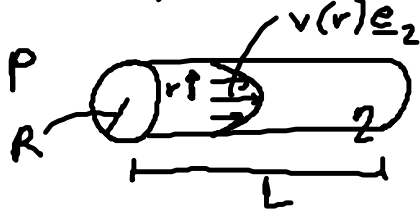


5.3.2 Gefäßnetzwerke

- Gefäß-Netzwerke \leftrightarrow Abfallbeseitigung / Belieferung $\left\{ \begin{array}{l} \text{Blut} \\ \text{Luft} \\ \text{Lympe} \end{array} \right\}$ hierarchische Verzweigungsstruktur

Bsp: Aorta-Arterien...
Kapillargefäße

- Modell: zylindrische Poiseuille-Strömung



$$p=0$$

NS \rightarrow

$$v(r) = \frac{R^2 - r^2}{4L\eta} P \quad (5.29)$$

... parabol. Geschw. profil
(gültig auch für $Re > 1$,
solange wie laminare Strömung
vorliegt: $\underline{v} \cdot \nabla \underline{v} = 0$)

Ausflußrate:
[$\frac{m^3}{s}$]

$$Q = 2\pi \int_0^R v(r) r dr = \frac{\pi R^4}{8L\eta} P \quad (5.30)$$

... Hagen-Poiseuille-Gesetz für laminaren
Fluß \rightarrow alle Gefäße bis auf große
Venen / Arterien

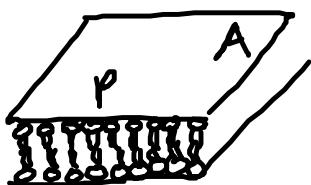
$$(5.30) \rightarrow \underbrace{Q = \frac{1}{2} P}_{\text{Gesetz von Darcy!}} , \underbrace{Z = \frac{8\eta L}{\pi R^4}}_{\text{hydrodynam. Widerstand}} \quad (5.31)$$

ally: Gesetz von Darcy! ... hydrodynam. Widerstand

- $Z \propto \frac{1}{R^4} \rightarrow$ Blutflußregulation durch Dilatation/Kontraktion

$$\text{Bsp: } \frac{P}{Q} = Z \rightarrow Z' = 1.3Z \rightarrow \frac{R'}{R} = 0.94 \hat{=} 6\%$$

- Bsp: für Darcy



$$\Rightarrow Z = \frac{1}{A L \rho} \quad L_p \dots \text{„Filtrationskoeffizient“}$$

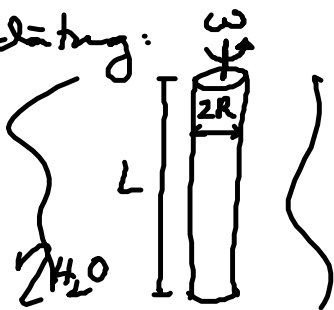
$$p=0$$

5.3.3 DNS-Replikation

- Trennung der DNS-Stränge? \leftrightarrow große viskose Reibung bei Rotation?

\rightarrow Folie

Abschätzung:



\Rightarrow viskoses Drehmoment: (o.B.)

$$T = -4\pi\eta R^2 L \omega \quad (5.32)$$

Reibungsarbeit pro Drehung:

$$W_{\text{frict}} = -T \omega \frac{2\pi}{\omega} = 8\pi^2 \eta R^2 \omega L \quad (5.33)$$

Replikationsrate

(1) E. coli: $\omega = 2\pi \frac{1000 \frac{\text{Basenpaare}}{\text{s}}}{10,5 \frac{\text{Basenpaare}}{\text{Drehung}}} \approx 600 \frac{1}{\text{s}}$

(5.33) $\rightarrow W_{\text{frict}} = 4,7 \cdot 10^{-17} \frac{\text{J}}{\text{Drehung}} L$

(2) DNA-Helicase: $W_{\text{sup}} = \frac{1 \text{ ATP}}{\text{Drehung}} = \frac{20 k_B T_r \approx 8,2 \cdot 10^{-20} \text{ J}}{\text{Drehung}}$

\Rightarrow $W_{\text{sup}} \gg W_{\text{frict}}$ für $L \ll 2 \text{ mm}$ ✓

6. Statistische Mechanik-Thermodynamik

- Bio-Frage: Energieerhaltung \leftrightarrow unterschiedliche Effizienz von Maschinen

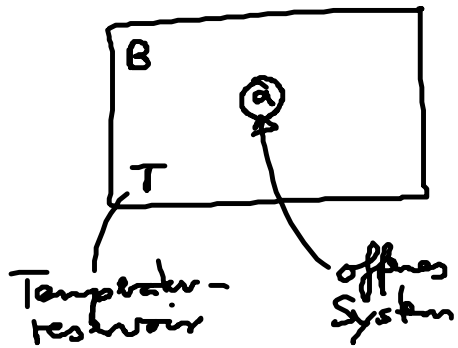
Physikal. Idee: Entropie/Ordnung kontrolliert Arbeitsfähigkeit

6.1 Entropie - Unordnung

6.2 Offene Systeme: makro/mikroskopisch

• freie Energie:

$$F_a = \underbrace{\langle E_a \rangle}_{\text{innere Energie}} - TS_a \quad (6.7)$$



a... makroskop.: $\langle E_a \rangle = E_a \leftrightarrow TD$

a... mikroskop.: z. B. einzelnes Molekül

Fluktuationen: $\delta E_a \approx E_a$

• TD: (1) Beim Lösen von Zwangsbed. wird F_a minimal im thermodyn. GG: $\Delta F \leq 0$ (6.8)

(2) F_a = „Arbeitspotential“: $0 > \Delta W_{\text{mech, dem.}} = \Delta E_a - \Delta Q_a \geq \underbrace{\Delta E_a - T\Delta S_a}_{\Delta F_a}$

→ Arbeitsbitig: $|\Delta W_{\text{mech, dem.}}| \leq |\Delta F_a|$

• Stat. Mechanik:

$$\langle E_a \rangle = \sum_i P_i E_i \quad (6.10)$$

$$S_a = -k_B \sum_i P_i \ln P_i \quad \begin{matrix} (6.2) \\ (6.2a) \end{matrix}$$

„Shannon-Entropie“

} $\Rightarrow F_a$

Boltzmann Verteilung: (alternative Herleitung)

Minimiere F_a nach P_i

$$\Rightarrow \left[\frac{\partial F_a}{\partial P_i} = 0, \quad \sum_i P_i = 1 \iff P_i = \frac{1}{Z} e^{-E_i/k_B T} \right] \quad (6.11)$$

mit $Z = \sum_i e^{-E_i/k_B T}$

Beweis: Übung

... Zustandssumme

• (6.11) \Rightarrow Minimumprinzip (6.8) gilt auch für mikroskop. Systeme
 $P_i \neq$ Boltzmann $\hat{=}$ Nicht GG-Zustand, kann Arbeit verrichten

• (6.7) & (6.11) & Shannon $\Rightarrow F_a = -k_B T \ln Z$ (6.12)

• Enthalpie: $H_a = \langle E_a \rangle + p \langle V_a \rangle$

• Gibbs'sche freie Energie: $G_a = \langle E_a \rangle + p \langle V_a \rangle - TS_a$ (6.14)