

## 2.3 Molekulare Maschinen

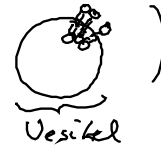
- Bildung von Zellstrukturen? Zellaktivitäten?  $\leftrightarrow$  molekulare Maschinen
- starke Übereinstimmung aller Zellen auf molekularer Ebene

### 2.3.1 Plasmamembran

- eine Hülle für Zellen } Doppelschichtmembran aus Phospholipiden  
 Organellen }  
 Vesikel }
  - Dichte: 4nm
  - Fläche:  $\rightarrow 10^3 \text{ nm}^2$
  - reißfest!
  - flüssig  $\rightarrow$  Zellkriechen, Endocytose, Teilung, ...
  - Bildung durch Selbstorganisation

( $\phi$  in  $\text{H}_2\text{O}$ )

[Analogie:  
Mikrotubuli, F-Aktin]



- Membranproteine:

Klassifikation:  $\left. \begin{array}{l} \text{-(TM)} \\ \text{- Transmembranproteine} \\ \text{- über Lipide verankert} \end{array} \right\} \text{ integrale Membranproteine}$

- an TM-Proteine gebunden: periphere

Aufgaben: - Kanäle für Moleküle / Ionen

- Ionnpumpen

- chemische Signalweitergabe von außen nach innen

Rezeptoren: binden an periphere MP

- Verankerung: Zellmembran  $\leftrightarrow$  Aktinlattice

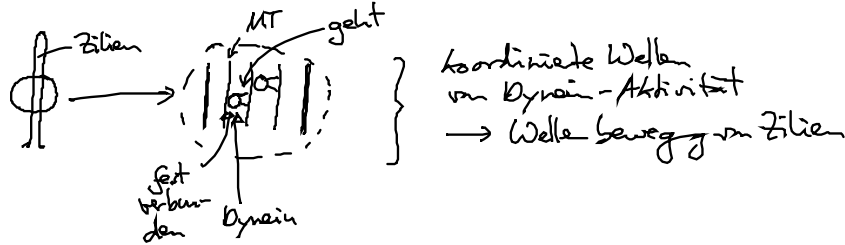
- rotes Blutkörperchen: elastische Proteinstütze (Spektin)

$\rightarrow$  erlauben starke reversible

Verformungen bei Pflß durch Kapillare

### 2.3.2 Molekulare Motoren

- Muskelkontraktion = F-Aktin + „gehobene“ Motoren (Myosin)
- Mikrotubulus + Kinesin → Transport
  - a) Proteine, Neurotransmitter → Axonende
  - b) von Chromosomen in 2 Zellhälften



- Rotationsmotoren:
  - a) bakterielle Flagellen
  - b) Synthese von ATP in Mitochondrien
 } Brennstoff: chem. Ungleichgewicht (z.B.  $H^+$ -Gradient)

### 2.3.3 Enzyme & Regulator-Proteine

- Enzyme (Art von Proteine) katalysieren chem. Veränderungen
  - ↳ (...ase)
  - ↳ „beschleunigen“, Enzym wird nicht verbraucht
  - ↳ verlast große Moleküle
  - ↳ Molekülaufbau

Amplifizierte, charakteristische Gestalt

- „Schalten“ von Genen → aktive, inaktive Gene
  - spezifische Funktion von Zellen

Regulatorproteine erkennen und binden sich an spezifische Gene

- ↳ Repressor: verhindern Gen-Kopie
- ↳ Aktivatoren: unterstützen „

- Kanäle, Pumpen

### 2.3.4 Informationsfluß in der Zelle

- Zellen-Genom: enthält Algorithmen zur Schaffung und Erhaltung eines Organismus
- Zentraler Mechanismus des Informationsflusses

### 3. Thermische Bewegung

- Biolog. Frage: Unterschied Nanowelt (Zellen etc.)  $\leftrightarrow$  Makrowelt  
Physikal. Idee: ungeordnete thermische Bewegung
- Lit. E. Schrödinger, „Was ist Leben?“ Piper Verlag

#### 3.1 „Wahrscheinlichkeitsrechnung“

- stochastische Variable  $x \hat{=}$  Wertebereich & Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P(x)$   
(Zufalls-)

diskrete Verteilung:  $x = x_1, \dots, x_N$ ;  $P(x_i)$ ; Normierung:  $\sum_{i=1}^N P(x_i) = 1$  (3.1)  
 kontinuierliche „ :  $x \in [x_1, x_2]$ ;  $P(x) dx$  ... Wahrscheinlichkeit für  $[x, x+dx]$  } (3.2)  
 $\int_{x_1}^{x_2} P(x) dx = 1$

i.f.  $\int \dots dx \leftrightarrow \sum_i$

- Mittel-/Erwartungswert einer Observablen  $f(x)$ :

$$\langle f \rangle = \int f(x) P(x) dx \quad (3.3)$$

- n-tes Moment von  $P(x)$ :

$$\langle x^n \rangle = \int x^n P(x) dx \quad (3.4)$$

Mittelwert:  $\langle x \rangle$

Varianz:  $\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2 = \text{Var}(x)$

(„mittlere quadratische Abweichung“)

$\rightarrow$  Standardabweichung:  $\sqrt{\text{Var}(x)}$  ... „Breite“ von  $P(x)$

- volle Info:  $\langle x^n \rangle \leftrightarrow P(x)$

Beweis: charakt. Funktion:  $G(k) := \langle e^{ikx} \rangle = \int e^{ikx} P(x) dx \quad (3.5)$

$$\rightarrow \langle x^n \rangle = \frac{1}{i^n} \left. \frac{d^n G(k)}{dk^n} \right|_{k=0} \xleftrightarrow{\text{Taylor}} G(k) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(ik)^n}{n!} \langle x^n \rangle \quad (3.5b)$$

qed

• Bsp. 1: Gaußsche Verteilung:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.6)$$

n ungerade:  $\langle (x-x_0)^n \rangle = 0$ , insbes.  $\langle x \rangle = x_0$  } (3.7)

n gerade:  $\langle (x-x_0)^n \rangle = (n-1)!! \sigma^n$ , insbes.  $\langle (x-x_0)^2 \rangle = \sigma^2$

Bsp 2: Rechteckverteilung:

$$P(x) = \begin{cases} \frac{1}{2a}, & |x| \leq a \\ 0, & |x| > a \end{cases} \quad (3.8)$$



Bsp 3: Poisson-Verteilung (diskret):

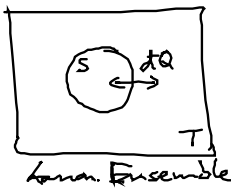
$$P(n) = \frac{a^n}{n!} e^{-a} \quad (3.9)$$

• mehrdim. Verteilung:  $P(x, y)$

insbes:  $x, y \dots$  unabhängige stochast. Variable

$$\Leftrightarrow P(x, y) dx dy = P(x) P(y) dx dy \dots \text{Multiplikations-Regel} \quad (3.10)$$

### 3.2 Boltzmann-Verteilung



freie Energie  $F(T, \dots)$

$S$ : viele mikroskopische Realisierungen mit

$$E_m = E_m(x_1, p_1, \dots, x_n, p_n)$$

$$\Rightarrow P(E_m) = \frac{1}{Z} e^{-E_m/k_B T} \quad (3.11)$$

... Boltzmannverteilung

$$Z = \sum_m e^{-E_m/k_B T} \quad (3.12)$$

... Zustandssumme

• Bsp: ideales Gas:  $E_m = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m v_i^2$

$$\rightarrow \text{Maxwellverteilung: } P(v_1, v_2, \dots, v_N) d^3v_1 \dots d^3v_N = \left(\frac{m}{2\pi k_B T}\right)^{3N/2} e^{-\frac{E_m}{k_B T}} d^3v_1 \dots d^3v_N \quad (3.13)$$

$$\text{ein Teilchen: } P(\underline{v}) d^3v = \int (N-1) \text{ Teilchen} = \left(\frac{m}{2\pi k_B T}\right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}} d^3v \quad (3.14)$$

$$\Rightarrow \text{Gleichverteilungssatz: } \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T \quad (3.15)$$

$$\text{mit } pV = N k_B T \xrightarrow{g = \frac{Nm}{V}} p = g \frac{k_B T}{m} = g \frac{\langle v^2 \rangle}{3} \quad (3.16)$$

... kinet. Interp. des Drucks

• Zahlen:

(i)  $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$  für Luftteilchen?  $m(N_2) = \frac{28g}{1Mol} = 4.7 \cdot 10^{-26} kg$

$$\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} \approx 500 \frac{m}{s} \dots \text{Überschall}$$

$$\langle v \rangle = 0$$