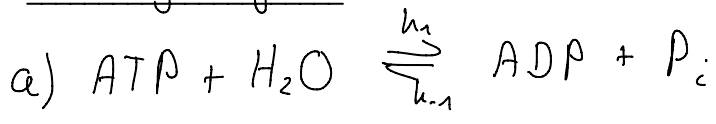


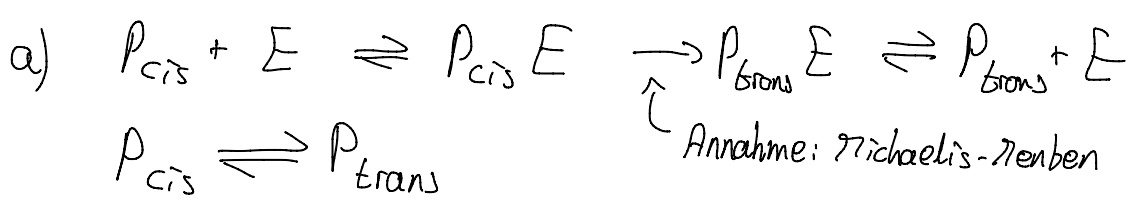
1.1 ATP-Hydrolyse



b)  $\frac{d[ATP]}{dt} = \frac{d[H_2O]}{dt} = -k_1 [ATP][H_2O] + k_{-1} [ADP][P_i]$

$\frac{d[ADP]}{dt} = \frac{d[P_i]}{dt} = k_1 [ATP][H_2O] - k_{-1} [ADP][P_i]$

1.2 Cyclophilin, eine Prolin cis/trans Isomerase

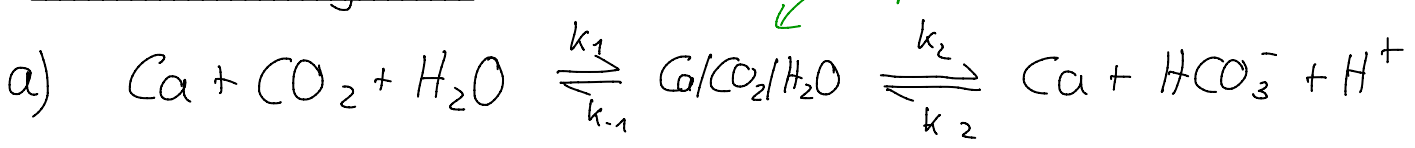


b)  $\frac{d[P_{cis}]}{dt} = -k_1 [P_{cis}] + k_{-1} [P_{trans}] - k_2 [P_{cis}][E] + k_{-2} [E P_{cis}]$

⋮

- c) - Stationaritätsannahme von  $P_{cis}E \rightarrow P_{trans}E$   
 - liegt E in grossem Überschuss vor, kann man mitunter die Selbstisomisierung vernachlässigen

1.3 Carbonic Anhydrase



b) Trimolekulare Reaktionen sind unwahrscheinlich.

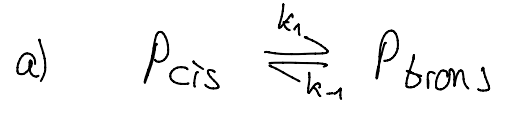
c)  $\frac{d[Ca]}{dt} = -k_1 [Ca][CO_2][H_2O] + (k_{-1} + k_2) [Komplex] - k_{-2} [Ca][HCO_3^-][H^+]$

$\frac{d[CO_2]}{dt} = \frac{d[H_2O]}{dt} = \dots$

⋮

- d) • Michaelis-Menten Annahmen { - Rückreaktion  $k_{-2}$  wird vernachlässigt  
 - stationärer Zustand  
 •  $H_2O$  und  $H^+$  Sättigung

# 1.5 Prolin cis/trans Isomerisierung



b)  $\frac{d[P_{cis}]}{dt} = -\frac{d[P_{trans}]}{dt} = -k_1 [P_{cis}] + k_{-1} [P_{trans}]$

$[P_{tot}] = [P_{cis}] + [P_{trans}]$

c) Reaktionstyp  $A \rightleftharpoons B$  mit  $[B](0) = 0$ . Definiere  $k_f = k_1 + k_{-1}$

Formelblatt  $\Rightarrow [P_{trans}](t) = \frac{[P_{trans}](0)}{k_f} (k_1 e^{-k_f t} + k_{-1})$

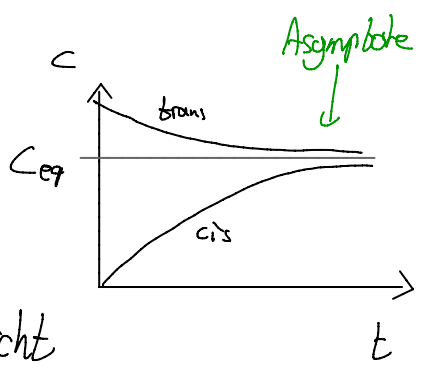
d) Reaktionstyp  $A \rightleftharpoons B$  mit  $[A](0) = 0$ . Definiere  $k_f = k_1 + k_{-1}$

Formelblatt  $\Rightarrow [P_{trans}](t) = \frac{1}{k_1 + k_{-1}} \left[ \underbrace{(k_1 [P_{trans}](0) - k_{-1} [P_{cis}](0))}_{=0} e^{-(k_1 + k_{-1})t} + k_{-1} ([P_{cis}](0) - \cancel{[P_{trans}](0)}) \right]$

$= \frac{k_{-1} [P_{cis}](0)}{k_1 + k_{-1}} (1 - e^{-(k_1 + k_{-1})t})$

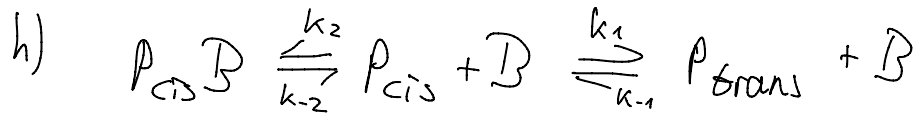
e)  $K_{ge} = \frac{[P_{cis}]}{[P_{trans}]} = \frac{[P_{tot}] - [P_{trans}]}{[P_{trans}]} = \frac{[P_{tot}]}{[P_{trans}]} - 1$

$\Rightarrow \frac{[P_{trans}]}{[P_{tot}]} = \frac{1}{K_{ge} + 1} \approx 74.6\%$



f) Gleichgewichte sind immer bei  $t \rightarrow \infty$  aufgrund der asymptotischen Annäherung an das Gleichgewicht

g)  $K_{ge} = \frac{k_1}{k_{-1}} \Rightarrow k_{-1} = \frac{k_1}{K_{ge}} = 0.0053 s^{-1}$



$\frac{d[B]}{dt} = -k_2 [P_{cis}][B] + k_{-2} [P_{cis}B]$

---

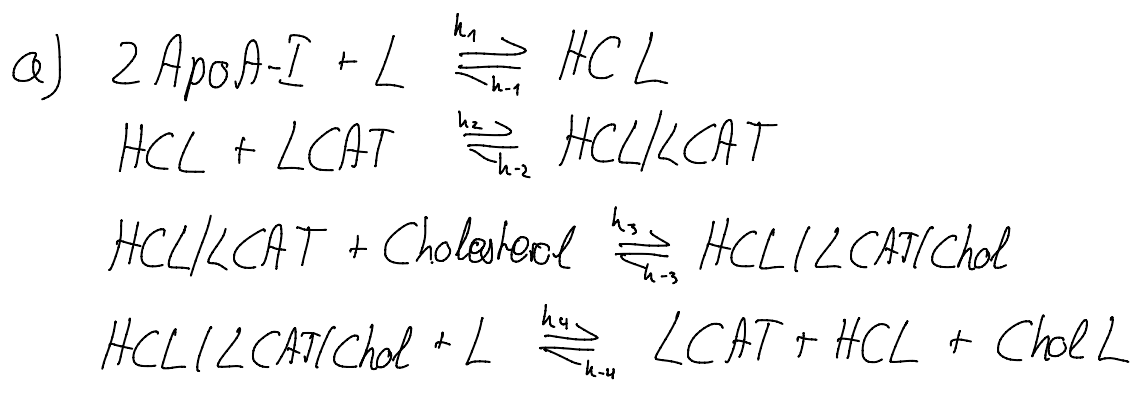
i) stabiler Komplex  $\Rightarrow$  Rückreaktion vernachlässigbar ( $k_{-2} = 0$ )

### 1.4 Theoriefragen Kapitel 1

a)  $A \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} B \Rightarrow \frac{d[A]}{dt} = -k_1[A] + k_{-1}[B] \stackrel{GGW}{=} 0 \Rightarrow K = \frac{[B]}{[A]} = \frac{k_1}{k_{-1}}$

b) Bei  $A+A \rightleftharpoons P$  führt jeder Stoß zu einer Reaktion, aber bei  $A+B \rightleftharpoons P$  nur jeder Stoß von A mit B (d.h. Stößen von A mit A oder B mit B führen nicht zu einer Reaktion)

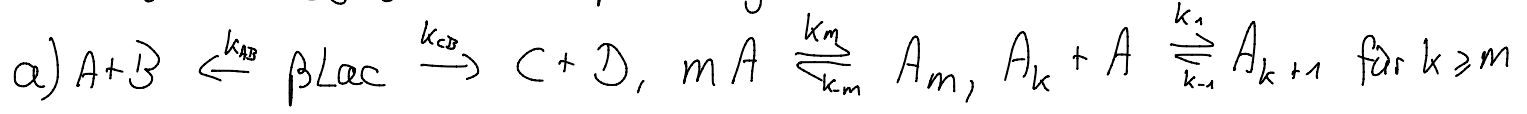
### 1.6 HDL Particles



- b)  $k_{-1}, k_{-2}, k_{-3} : s^{-1}$   
 $k_1, k_2, k_3, k_4 : M^{-1}s^{-1}$   
 $k_{-4} : M^{-2}s^{-1}$

c) Überschuss Lipide  $\Rightarrow$  definiere  $k_1' = k_1[L], k_4' = k_4[L]$

### 1.7 Amyloid Aggregation von $\beta$ -Lactoglobulin



b) Eine Hydrolyse kann nur schwer umgekehrt werden

c)  $\frac{d[A]}{dt} = k_{AB}[\beta\text{Lac}] - k_m m [A]^m - \sum_{k \geq m} k_1 [A][A_k]$

d) z.B.  $A_5 \rightarrow A_4 + A_1, A_5 \rightarrow A_3 + A_2$  (gleich sind  $A_5 \rightarrow A_2 + A_3, A_5 \rightarrow A_1 + A_4$ )

$\frac{d[A_i]}{dt} = -k_f \underbrace{[A_{i-1}]}_{\text{...}} [A_i] + k_f \sum_{p > i} [A_p]$

die Klammer bedeutet aufbrunden, also  $[A_{5-1}] = 2, [A_{6-1}] = 3$

kann zu  $[A_{i-1}]$  verschiedenen Teilchen zerfallen

kann aus allen Teilchen entstehen, die größer sind

Anmerkung: meine Lösung unterscheidet sich von der "Zustandsgleichung". Fragt am besten mal bei Jason nach, was genau stimmt.

## 2.1 Theoriefragen Kapitel 2

a) Def: Geschwindigkeitsbestimmender Schritt ist der langsamste Schritt einer Reaktion  $\Rightarrow k_2$

### b) Reaktionsordnung

allgemein für eine Reaktion  $\frac{d[X]}{dt} = k_x \prod_{i=1}^n [Y_i]^{m_i}$  ist die Ordnung =  $\sum_{i=1}^n m_i$

es existiert nicht für alle Reaktionen eine Reaktionsordnung, z.B. für

Michaelis-Menten-Reaktionen  $\frac{d[P]}{dt} = \frac{v_{max}[S]}{K_m + [S]}$  kann man keine Ordnung bestimmen

### Molekularität

Anzahl Moleküle im geschwindigkeitsbestimmenden Schritt, die zusammenstoßen müssen, um die Reaktion zu initiieren.

c) Ein Reaktionspartner liegt in so großem Überschuss vor, dass er vernachlässigt werden kann (z.B. Wasser als Lösungsmittel). Die pseudo-Reaktionsordnung ist dann etwas kleiner als die eigentliche Reaktionsordnung.

d)  $\tau = \frac{1}{k} \rightarrow$  Maß für die Stabilität eines Reaktionspartners

## 2.2 Molekularitäten und Reaktionsordnungen

Wenn ihr Fragen zu einer Molekularität oder Reaktionsordnung habt, schreibt mir 1 Zeile.

## 2.3 ATP Hydrolyse

a) stabil heißt langlebig, Lebenszeit  $\tau = \frac{1}{k} \sim 8$  Jahre  $\rightarrow$  ja, langlebig

b) Konzentration von Wasser  $c = \frac{n}{V} = \frac{n \rho}{M} = \frac{\rho}{M} = 55,5 = \text{const}$

c)  $k_2 = \frac{k_2^{\text{pseudo}}}{[H_2O]}$

2.4) Verallgemeinerte Halbwertszeiten

Interpretation: Konzentration zum Zeitpunkt  $t_x$  ist um  $\gamma$  im Vergleich zur Anfangskonzentration abgesunken

a)  $t_x$  erfüllt die Gleichung  $\gamma = \frac{C_x(t_x)}{C_x(0)}$

b)  $C_x(t) = \frac{C_x(0)}{1 + C_x(0)kt}$  ← siehe Formelsammlung

aus a) folgt  $\gamma = \frac{1}{1 + C_x(0)kt_x} \Rightarrow t_x = \frac{1-\gamma}{C_x(0)\gamma k}$

c)  $C_x(t) = C_x(0) e^{-k't}$  mit  $k' = k[A]$ , da  $[A] \approx \text{const.}$

mit a) folgt  $\gamma = e^{-k't_x} \Rightarrow t_x = -\frac{\log \gamma}{k'} = -\frac{\log \gamma}{k[A]}$

d) Für Reaktionen (pseudo) 1. Ordnung ist  $t_x$  unabhängig von  $C_x(0)$

e)  $\gamma = 0.2$ , mit  $t_x$  aus b) folgt  $t_{0.2} = \frac{0.8}{0.2} \cdot \frac{1}{5.97 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}} \cdot \frac{1}{5.97} = 4 \text{ s}$

2.5) Protein Cis/trans Isomerisierung

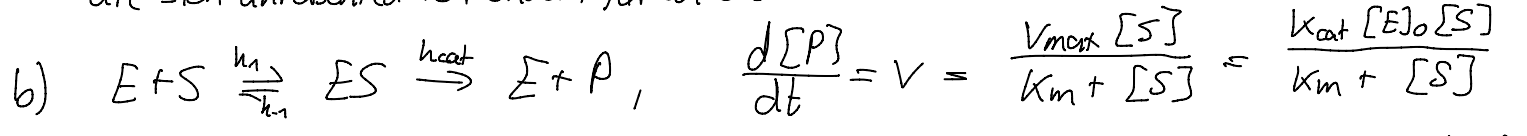
a) 20%  $P_{cis} \hat{=} 80\% P_{trans}$ ,  $\gamma = 0.8$   
 $\Rightarrow 0.8 = \frac{[P_{trans}](t_{0.8})}{[P_{trans}](0)} = \frac{k_1 e^{-k_f t_{0.8}} + k_{-1}}{k_f}$

$\Rightarrow t_{0.8} = -\frac{1}{k_f} \ln\left(\frac{0.8 k_1 - 0.2 k_{-1}}{k_1}\right) = 219 \text{ s}$

b) Das wird nie passieren, da das Gleichgewicht bei 75%  $P_{trans}$  angenommen wird.

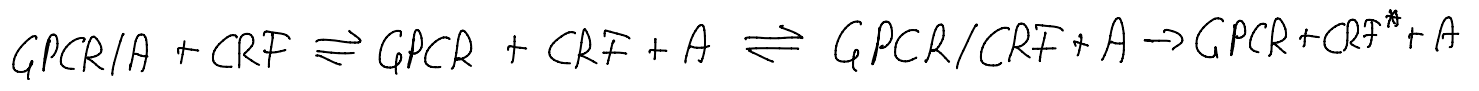
### 3.1 Theoriefragen

a) In einem Lineweaver-Burk-Diagramm können  $V_{max}$  und  $K_m$  abgelesen werden, die sich unterschiedlich ändern für unterschiedliche Inhibitionen. (siehe spätere Aufgaben)



- Stationärer Zustand: ES kommt nur in geringen Mengen vor und zerfällt sofort
- $ES \rightarrow EP$  kann zusammengefasst werden
- Weit weg vom GGW: Rückreaktion  $E + P \rightarrow ES$  wird vernachlässigt

### 3.2 CRF und sein Rezeptor



### 3.3 Carbonic Anhydrase

a) für  $C_s$  klein  $v = \frac{k_{cat} C_E(0) C_s(b)}{K_m + C_s(b)} \approx \frac{k_{cat}}{K_m} C_E(0) C_s(b)$

$\frac{k_{cat}}{K_m} = 8.3 \cdot 10^7 s^{-1} \mu M^{-1}$  zugehörige Konstante  
zweiter Ordnung

b)  $V_{max} = k_{cat} C_E(0) = \begin{cases} 1 s^{-1} & \text{für } C_E(0) = 1 \mu M \\ 10 s^{-1} & \text{für } C_E(0) = 10 \mu M \end{cases}$  "Interpretation":  
 $V_{max}$  ist proportional  
zu  $C_E$

### 3.4 Cyclophilin

a) Die Selbstisomerisierung nicht, die andere Teilreaktion schon  $\rightarrow$  Michaelis-Menten-Begründung: Reaktion liegt in der richtigen Form vor und Annahmen sind erfüllt/anwendbar [Annahmen

b)  $V_{max} = k_{cat} (b \rightarrow c) [E](0) = 6.2 \cdot 10^{-4} s^{-1}$

c) Reaktionen gehen immer in beide Richtungen, das Enzym funktioniert aber mitunter besser in eine Richtung als in die andere (e.g. unterschiedliche Bindungsaffinität)  $\Rightarrow$  zwei verschiedene  $K_m$ -Werte möglich

d) Michaelis-Menten ist hier nicht gut anwendbar, da diese Annahme verletzt ist. Es existieren allgemeinere Enzymkinetiken, die die Rückreaktion nicht vernachlässigen.

e)  $k_{cat}(c \rightarrow b) > k_{cat}(b \rightarrow c) \Rightarrow c \rightarrow b$  ist dominant

f) kompetitiv, da Bindung sehr ähnlich

e)  $K_m' = K_m (1 + \frac{CI}{KI}) \Rightarrow \frac{K_m'}{K_m} = 1 + \frac{CI}{KI} = 1 + \frac{100nM}{37nM} = 2.8$

3.5 Adenosin Kinase

- a)  $Kin + Mg^{2+} + ATP + Adenosin \rightleftharpoons Komplex \rightarrow Kin + Mg^{2+} + ADP$
- b) Reaktionen 4. Ordnung kommen nicht vor
- c) Nehmen wir eine Sättigung von  $Mg^{2+}$  und ATP an, sodass Kin z.B. immer  $Mg^{2+}$  und ATP gebunden hat, können wir die Reaktion bimolekular mit Michaelis-Menten beschreiben
- d) /
- e) Nein, da  $Kin + 2 Adenosin \rightleftharpoons Kin(Adenosin + Adenosin) \rightleftharpoons Kin(Adenosin)^2$ , das ist nicht mehr in der Form  $E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons EP \rightleftharpoons E + P$ , also  $K_M$  nicht anwendbar
- f) nicht-kompetitiv, da Adenosin an freie und bindende Kinase binden kann

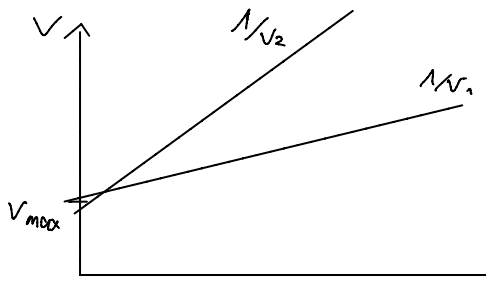
3.6 Leber Alkoholdehydrogenase (LADH)

- a)  $v = \frac{1}{2} v_{max}$  entspricht  $[S] = K_M$  (unabhängig von  $[E]$ )
- b) Ethanol kann ein kompetitiver Inhibitor sein
- c) Ethanol ist der Inhibitor  $[I]$   
 Es soll gelten  $\frac{k_2[E][S]}{[S] + K_M + [I] \frac{K_I}{K_M}} = v' = 0.1v = 0.1 \frac{k_2[E][S]}{K_M + [S]}$   
 $\Rightarrow [I] = 9([S] + K_M) \frac{K_I}{K_M} = 9(25mM + 2.2mM) \left(\frac{0.44mM}{2.2mM}\right) = 49mM$   
 $\Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{n \cdot V}{\rho} = \frac{\rho}{\rho} [I] \cdot V_{Körper} = \frac{46g \cdot mol^{-1}}{789g \cdot l^{-1}} \cdot 49mM \cdot 40l = 0.155l$

Anmerkung: In der Musterlösung nehmen sie an, dass ihr wisst, dass ein durchschnittlicher menschlicher Körper ~40l Wasser hat. Ich weiß nicht, woher man das wissen sollte, ihr müsst einfach einen vernünftigen Wert annehmen

d) Line Weaver Plot  $\frac{1}{v} = \frac{1}{v_{max}} + \frac{K_M}{v_{max}} \frac{1}{C_S}$  unterschiedlich  $\rightarrow$  kompetitiv oder unkompetitiv

$C_S / mM$	$1/C_S / mM^{-1}$	$v_1$	$1/v_1$	$v_2$	$1/v_2$
0.66	1.52	1.35	0.74	0.52	1.92
1	1	1.51	0.66	0.69	1.45
2	1/2	1.81	0.55	1.03	0.97
8	0.125	2.12	0.47	1.69	0.59



$v_{max} \sim 2.2 \mu M/min$  (y-Abschnitt)  
 bzw  $v_{max} = k_2 [E] = 2.5 \cdot 10^6 \mu M/min$   
 $K_M = Steigung \cdot v_{max} \sim 0.44mM$   
 ähnlich  $\rightarrow$  kompetitiv

### 4.1 Theoriefragen

- c) Nein, die Fickschen Gesetze beschreiben Transport, es "passiert also etwas" → kein GGL
- d) Alles Transportphänomene
- e) f)  $\lambda = \frac{1}{n_{00}}$  → damit kürzt sich das  $N_0$  aus den Gleichungen
- g) Nernst-Planck  $\underline{\Phi} = -D \left( \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{q c}{k_B T} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)$  → ist Erweiterung des 1. Fickschen Gesetzes, wenn ein E-Feld anliegt  
 = 1. Fick

### 4.2 CRF und sein Rezeptbar

$$D = \frac{k_B T}{6 \pi \eta r} = 1.26 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} = 1.26 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

### 4.3 Kaliumpermanganat in Wasser

2. Ficksches Gesetz  $\Rightarrow N(x,t) = \frac{z_0}{2A(\pi Dt)^{1/2}} e^{-x^2/4Dt}$

Wir haben  $N$  an zwei Orten  $x_1, x_2$  gegeben

$$4 = \frac{N(x_1,t)}{N(x_2,t)} = \exp\left(\frac{x_2^2 - x_1^2}{4Dt}\right)$$

$$\Rightarrow D = \frac{x_2^2 - x_1^2}{4t \ln 4} \sim 7.5 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

### 4.4 Die einsame Frage...

-- fragt nach dem Hagen-Poiseuille Gesetz  $\frac{dV}{dt} = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{L}$ . Formel, die sowohl Durchmesser (bzw. Radius  $R$ ) und Druck ( $\Delta p$ ) verbindet.



## 5.1 Theoriefragen

a) Reaktion, bei der jeder Stoß zu einer Reaktion führt

d)  $A+B \rightarrow P: k_{diff} = (D_A + D_B) 4\pi (r_A + r_B) N_A$  ← Avogadro Zahl, hat nichts mit Stoff A zu tun  
 $2A \rightarrow P: k_{diff} = 16\pi D_A r_A N_A = 16\pi \frac{k_B T}{6\pi\eta r_A} r_A N_A$

e) Nein, eine Reaktion kann nicht schneller sein als dass jeder Stoß zu einer Reaktion führt.

f) Ja

g) siehe vorher

## 5.2 CRF und sein Rezeptor

CRF + Rezeptor  $\rightleftharpoons$  Complex

a)  $r_{\text{Komplex}} = \frac{k_B T}{6\pi\eta D} \sim 1.2 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 120 \text{ \AA}$

b)  $k_{diff} = 4\pi (D_{\text{CRF}} + D_{\text{Rezeptor}}) (r_{\text{CRF}} + r_{\text{Rezeptor}}) N_A$   
 $= 4\pi (D_{\text{CRF}} + D_{\text{Rezeptor}}) r_{\text{CRF/Rezeptor-Komplex}} N_A = 1.32 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$

c)  $K_S = \frac{k_1}{k_{-1}} \Rightarrow k_{-1} = K_S k_1 = 0.29 \text{ s}^{-1}$

## 5.3 ATP Hydrolyse

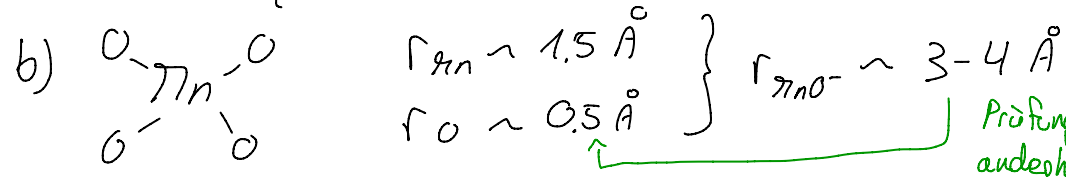
a) höhere Temperatur  $\rightarrow$  schnellere Molekularbewegung  $\rightarrow$  mehr Reaktionen

b) Den Werten nach würde man einen exponentiellen Zusammenhang erwarten  
 $\rightarrow$  Arrhenius-Gesetz  $k(T) = A \exp(-\frac{E_a}{RT})$

c) Linearisierung  $\ln(k) = \ln A - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \rightarrow$  lineare Regression

6.1 Kaliumpermanganat

a)  $r = \frac{kT}{6D\pi\eta} \sim 3.17 \cdot 10^{-10} \text{ m}$



Prüfungsbipp: überlegt euch die Aufgabe andersherum, also  $r_{\pi n O^-} \sim 3-4 \text{ \AA} \Rightarrow r_{\pi n} r_o = \dots$

6.2 ATP-Synthase

a) Kugel förmiges Protein,  $r = \frac{kT}{6\pi\eta D}$ ,  $m = V\rho = \rho \frac{4}{3}\pi \left(\frac{kT}{6\pi\eta D}\right)^3 \sim 6 \cdot 10^{-22} \text{ kg}$

b) zB. A280 bei 6.5 cm und 6.98 cm

$\omega = 2\pi \frac{RPM}{60s}$

Gleichgewichtszenrifugation  $m = \frac{2k_B T \ln\left(\frac{N_2(R_2)}{N_1(R_1)}\right)}{\omega^2(1-\tilde{v}_{pT_k})(R_2^2 - R_1^2)} \sim 5.75 \cdot 10^{-22} \text{ kg}$

c) Protein hat durchschnittliches porbielles Volumen

d) Kugel-Annahme eher schlecht, aber in dem Fall vergleichbare Ergebnisse

6.3 a-Synuclein

a)  $m_{tot} = V\rho = \rho \frac{4}{3}\pi \left(\frac{kT}{6\pi\eta D}\right)^3 = 1.25 \cdot 10^{-22} \text{ kg}$

b)  $m_{single} = 140 \cdot \bar{m}_{AA} = 16100 \text{ kDa} = 0.27 \cdot 10^{-22} \text{ kg}$

c)  $n = \frac{m_{tot}}{m_{single}} = 4.6 \sim 5$

d)  $N(6.45) \sim 0.15$ ,  $N(6.6) \sim 0.9 \Rightarrow m = \frac{2k_B T \ln\left(\frac{N(R_2)}{N(R_1)}\right)}{\omega^2(1-\tilde{v}_{pT_k})(R_2^2 - R_1^2)} = 0.36 \cdot 10^{-22} \text{ kg}$

$n = 3.5 \sim 4$

6.4 Cytochrom C-Oxidase

a)  $m = \frac{5RT}{D(1-\tilde{v}_{Proteinwasser})} \sim 8.5 \cdot 10^{-23} \text{ kg}$

b)  $m_{AA} = 252 \cdot 115 \text{ Da/AA} = 4.8 \cdot 10^{-23} \text{ kg} \rightarrow n \sim 2$

c)  $m = \frac{k_B T \ln\left(\frac{N_2}{N_1}\right)}{\omega^2(1-\tilde{v}_p)(r_2^2 - r_1^2)} \sim 4.8 \cdot 10^{-23} \text{ kg} \rightarrow n \sim 2$

7.1  $\alpha$ -Synuclein Membraninteraktion

$$\beta = \frac{N_{mit}(t)}{N_{ohne}(t)} = \frac{1 - \exp(-P_{mit} \frac{A}{V} t)}{1 - \exp(-P_{ohne} \frac{A}{V} t)} \stackrel{\text{Hinweis}}{\approx} \frac{-P_{mit} \frac{A}{V} t}{-P_{ohne} \frac{A}{V} t} = \frac{P_{mit}}{P_{ohne}}$$

7.2 Kaliumpermanganat

a)  $\Phi_{ohne\ Membran} = -D \frac{\partial N}{\partial x} \approx +D \frac{\Delta N}{\Delta x}$   
 (green arrow pointing to the plus sign) wegen der Vorzeichenkonvention von  $\Delta N$

$$\Phi_{mit\ Membran} = P \Delta N = \frac{\partial D}{\partial x} \Delta N$$

$$\Rightarrow \frac{\Phi_{mit}}{\Phi_{ohne}} = \frac{\partial D \frac{\Delta N}{\Delta x}}{D \frac{\Delta N}{\Delta x}} = \gamma = 0.01$$

b)  $\rho = \frac{\gamma D}{\Delta x} \sim 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$  für typische Membrandicken von  $\Delta x \sim 4 \text{ nm}$

8.1 a-Synapselein

a) Goldman-Gleichung 
$$V_m = \frac{k_B T}{z e_0} \ln \frac{P_{K^+} C_{K^+}^a + P_{Na^+} C_{Na^+}^a + P_{Cl^-} C_{Cl^-}^i}{P_{K^+} C_{K^+}^i + P_{Na^+} C_{Na^+}^i + P_{Cl^-} C_{Cl^-}^a}$$

$$= \frac{k_B T}{e_0} \ln \left[ \frac{P_{K^+} (C_{K^+}^a + 0.04 C_{Na^+}^a + 0.45 C_{Cl^-}^i)}{P_{K^+} (C_{K^+}^i + 0.04 C_{Na^+}^i + 0.45 C_{Cl^-}^a)} \right]$$

b) Da sich die Permeabilitätskonstanten verkürzen, verändert sich das Membranpotential nicht.

Intuition: wenn alle Kanäle gleich viel permeabler werden, ändert sich das Potential nicht.

8.2 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase

a) aktiver Transport, Anbiporter

b) Ja, weil Transport entgegen Konzentrationsgradient

c) 
$$3 \Delta \hat{\mu}_{Na} + 2 \Delta \hat{\mu}_{K} + \Delta G_{ATP} < 0$$

d) 
$$V_m = \frac{k_B T}{z e_0} \ln \frac{P_{K^+} C_{K^+}^a + P_{Na^+} C_{Na^+}^a + P_{Cl^-} C_{Cl^-}^i}{P_{K^+} C_{K^+}^i + P_{Na^+} C_{Na^+}^i + P_{Cl^-} C_{Cl^-}^a}$$

$$= \frac{k_B T}{e_0} \ln \frac{D_{K^+} C_{K^+}^a + D_{Na^+} C_{Na^+}^a + D_{Cl^-} C_{Cl^-}^i}{D_{K^+} C_{K^+}^i + D_{Na^+} C_{Na^+}^i + D_{Cl^-} C_{Cl^-}^a} \sim -75.4 \text{ mV}$$

e) 
$$\Delta \hat{\mu} = RT \ln \frac{C^i}{C^a} + z F (\varphi^i - \varphi^a) =$$

$$\Delta \hat{\mu}_{Na^+} = RT \ln \frac{C_{Na^+}^a}{C_{Na^+}^i} - F V_m \sim 11.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta \hat{\mu}_{K^+} = RT \ln \frac{C_{K^+}^i}{C_{K^+}^a} + F V_m \sim 1.95 \text{ kJ mol}^{-1}$$

f) K<sup>+</sup> über Membranpotential transportiert (in Zelle)

Na<sup>+</sup> gegen Membranpotential