

Modul Biophysik – SS 2021

Teilklausur „Biophysikalische Grundlagen der Zellphysiologie“

am 26.07.2021

Name: Theresa Lötz Matrikel-Nr.: Semester:

Außer einem Taschenrechner und drei DIN A4 Blättern mit Formeln sind keine sonstigen Hilfsmittel erlaubt!

1. Lipide

In wässrigen Lösungen organisieren sich Lipide von selbst in Mizellen, Lipiddoppelschichten oder invertierte Mizellen. Die Organisationsform hängt dabei vom Lipid ab.



- a) Beschreiben Sie, welche Parameter die genannten Organisationsformen bestimmen. (2 Punkte)

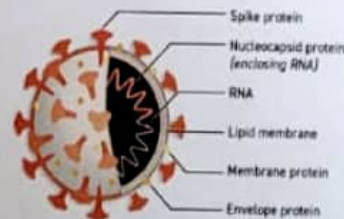
Verhältnis zwischen Kettenlänge der Fettsäuren (Alkylkette), Volumenbedarf der Alkylkette und Flächenbelegung der Kopfgruppe: Formfaktor

- b) Welches der oben skizzierten Lipide kann Lipiddoppelschichten ausbilden? Begründen Sie Ihre Aussage. (1 Punkt)

Formfaktor ergibt zylindrische Form!

würde Mizellen bilden und keine planare Lipiddoppelschicht.

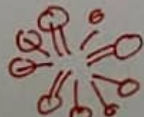
- c) Gründliches Waschen mit Seife oder Waschlotion tötet Coronaviren zuverlässig ab, so zum Beispiel auch das Virus SARS-Cov-2. Erklären Sie biophysikalisch, worauf dies zurückzuführen ist (2 Punkte).



(Credit: L. Donohue, CoVPN)

Detergen = Lipid mit einer Alkylkette →

Bildung von Mizellen, wenn Detergen mit Lipiddoppelschicht des Virus interagiert.



- d) Benennen Sie die „treibende Kraft“, die in wässrigen Lösungen zur Selbstorganisation der Lipide zu höheren Strukturen führt. (1 Punkt)

Hydrophober Effekt
Entropischer Effekt

- e) Gemäß zweitem Hauptsatz der Thermodynamik kann die Gesamtentropie in einem isolierten System nie kleiner werden. Erklären Sie in Worten, wie die Selbstorganisation der Lipide zu geordneten Strukturen damit vereinbar ist. (2 Punkte)

Entropie der Lipide nimmt ab.
Entropie des Wassers nimmt zu und überkompensiert die Entropieabnahme der Lipide bei Bildung von Lipiddoppelschichten. Temperaturabhängigkeit: $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$

2. Konzentrationsbestimmung

Wie können die Konzentrationen der Aminosäuren Tryptophan (Trp) und Phenylalanin (Phe) in einer wässrigen Mischlösung photometrisch bestimmt werden? Gehen Sie davon aus, die Extinktionskoeffizienten (ϵ_{Trp} und ϵ_{Phe}) der beiden Aminosäuren seien jeweils in Abhängigkeit der Wellenlänge λ im Bereich zwischen 200 und 400 nm bekannt.

- a) Beschreiben Sie das Experiment! (3 Punkte)

Messung der Absorption bei zwei unterschiedlichen Wellenlängen im Bereich zwischen 260 - 290 nm.

$$A_{\lambda_1} = [\epsilon_{\lambda_1}^{Trp} \cdot c_{\lambda_1}^{Trp} + \epsilon_{\lambda_1}^{Phe} \cdot c_{\lambda_1}^{Phe}] \cdot d$$

$$A_{\lambda_2} = [\epsilon_{\lambda_2}^{Trp} \cdot c_{\lambda_2}^{Trp} + \epsilon_{\lambda_2}^{Phe} \cdot c_{\lambda_2}^{Phe}] \cdot d$$

A_{λ_1} , A_{λ_2} , $\epsilon_{\lambda_1}^{Trp}$, $\epsilon_{\lambda_1}^{Phe}$, $\epsilon_{\lambda_2}^{Trp}$, $\epsilon_{\lambda_2}^{Phe}$ und d müssen bekannt sein $\Rightarrow$ Gleichung mit zwei Unbekannten ($c_{\lambda_1}^{Trp} = c_{\lambda_2}^{Trp}$; $c_{\lambda_1}^{Phe} = c_{\lambda_2}^{Phe}$) lösbar.

- b) Stellen Sie das Gleichungssystem auf, auf dessen Grundlage die Konzentrationen c_{Trp} und c_{Phe} bestimmt werden können (2 Punkte)

Siehe Formel Kfs a)

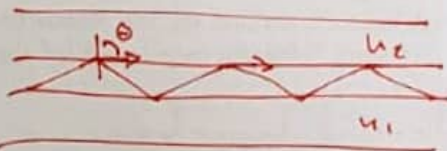
3. Glasfaserbeleuchtung

Die Auflichtmikroskopie wird überall da eingesetzt, wo feine äußere Strukturen untersucht werden müssen, insbesondere bei botanischen und zoologischen Präparationsarbeiten. Als Beleuchtung verwendet man hierfür häufig so genannte Glasfaser-Schwannenhalslampen. Auf welchem optischen Prinzip beruht die Ausbreitung des Lichtes in einer solchen Glasfaser? Begründen Sie Ihre Antwort anhand einer Skizze. (2 Punkte)



totale Reflexion

Snelliuss Brechungsgesetz



$n_2 < n_1$, Brechungsindex
Grenzwinkel $\theta > \theta_c$

4. Phasen- und Amplitudenobjekte

Bei mikroskopischen Untersuchungsobjekten unterscheidet man zwischen „Amplituden-“ und „Phasenobjekten“. Erläutern Sie diese beiden Begriffe anhand zweier zellulärer Beispiele und beschreiben Sie, wie derartige Objekte das Licht beeinflussen. (3 Punkte)

I) Amplitudenobjekte:
 $\vec{E}_1$ (amplitude) $\vec{E}_2$ (amplitude)
 $|\vec{E}_2| < |\vec{E}_1|$, $\lambda = \text{const.}$!

Bsp. Histidin in angefarbte Zellen (Histo)

II) Phasenobjekte

n_1 n_2 n_1 Phase der Lichtwelle
 ändert sich, da $n_2 \neq n_1$
 Unterschied: Ausbreitungsgeschw.
 Bsp. Unifarbe, Eukaryotische Zelle

5. Zentrifugation

- a) Sie sedimentieren zelluläre Organellen in einer Ultrazentrifuge mit 60000 rpm (Umdrehungen pro Minute). Berechnen Sie die Zentrifugalbeschleunigung, die auf die Organellen in einem Abstand von 2,5 cm von der Rotorachse wirkt. Geben Sie das Ergebnis in Vielfachen der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ an. (3 Punkte)

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T}$$

$$a = \omega^2 \cdot r \approx 986960 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \cdot 10^4 \times g$$

- b) Wie würde sich die Zentrifugalbeschleunigung ändern, wenn ein größerer Rotor verwendet und der mittlere Abstand der Organellen von der Rotorachse statt bei 2,5 cm nun bei 5 cm liegen würde? (1 Punkt)

a verdoppelt sich

$$a = \omega^2 \cdot r \rightarrow a \sim r$$

- c) Wie würde sich die Zentrifugalbeschleunigung ändern, wenn die Zahl der Umdrehungen pro Minute halbiert werden würde? (1 Punkt)

$$a \sim \omega^2$$

$\Rightarrow a$ nimmt um Faktor $\frac{1}{4}$ ab

6. Sedimentation

Warum sedimentieren Proteine nicht in einer Zelle? Begründen Sie Ihre Antwort auf Grundlage physikalischer Gesetze! (2 Punkte)

Kommen des Gesetz von Boltzmann

$$p_2 = \dots h_2$$

$$p_1 = \dots h_1$$

$$\frac{p_2}{p_1} = e^{-\Delta u / k_B T} ; \Delta h \approx 10 \mu\text{m}$$

Thermische Energie $k_B T$ ist so groß, dass Proteine von h_1 auf h_2 gehoben werden können.

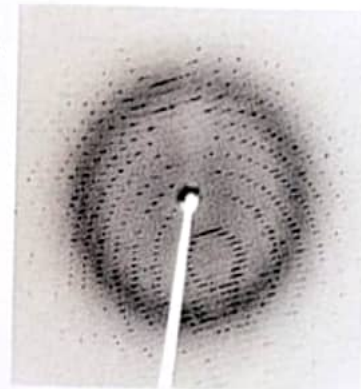
$$\text{hier } \Delta u = m' g \cdot [h_2 - h_1]$$

da m' sehr klein $\Rightarrow \Delta u \leq k_B T$

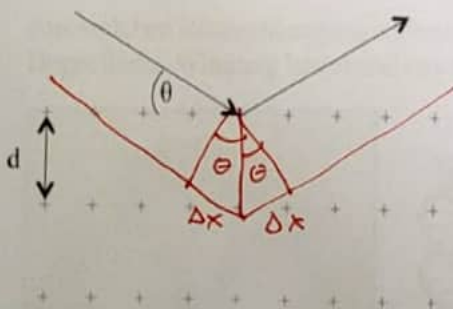
$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} \approx e^{-0} \approx 1 \rightarrow p_2 \approx p_1$$

7. Röntgenbeugung

In der nebenstehenden Abbildung ist ein typisches Röntgenbeugungsbild eines Proteinkristalls gezeigt. Die im Beugungsbild gefundenen Reflexe werden „Bragg-Reflexe“ bezeichnet.



- a) Unter welchen Streuwinkeln θ sind Bragg-Reflexe zu beobachten? Entwickeln Sie unter Verwendung der unten stehenden Skizze einen Zusammenhang zwischen θ , d und λ . d bezeichnet den Abstand zweier Gitterebenen im Kristall; λ ist die Wellenlänge der Röntgenstrahlung. (4 Punkte)



$$\sin \theta = \frac{\Delta x}{d}$$

$$\Delta x = d \cdot \sin \theta$$

$$2 \Delta x = \lambda$$

$$\Rightarrow 2 \sin \theta \cdot d = \lambda$$

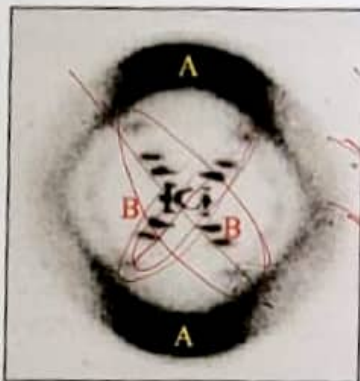
- b) Warum sieht man so viele konstruktive Beugungsreflexe im Beugungsbild eines Proteinkristalls? (1 Punkt)

viele Ebenen h, k, l aus welchen Reflexe des Röntgens entstehen

- c) Interpretieren Sie unter Verwendung des Bragg-Röntgenbeugungsgesetzes das unten stehende Röntgenbeugungsbild eines „DNA-Kristalls“ der B-Form von DNA, aufgenommen von Rosalind Franklin 1952. Begründen Sie Ihre Antworten.

Hinweis: Typisch für das Beugungsbild von DNA sind die beiden weit auseinander liegenden Beugungsreflexe A sowie die auf den Diagonalen liegenden Reflexe B.

Woran erkennt man, dass die DNA eine helikale Struktur hat? (1 Punkt)

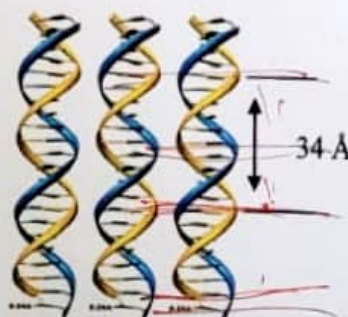
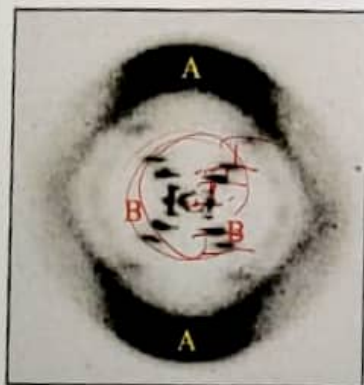


$$2d \sin \theta = n\lambda$$

Aus dem
gleichen X-
Struktus der
Röntgenreflexe B

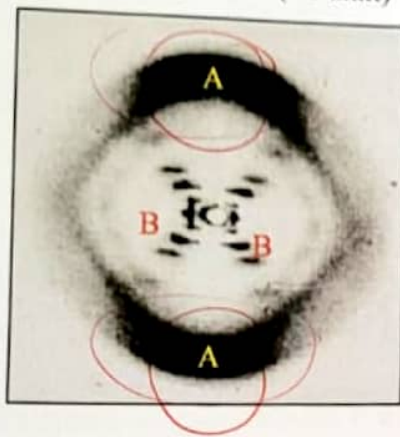
$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Aus welchen Röntgenbeugungsreflexen ergibt sich die Ganghöhe von 34 Å der DNA-Doppelhelix-Windung bestehend aus 10 Basenpaaren? (1 Punkt)



Reflexe B
d g/p =>
Θ klein!

Aus welchen Röntgenbeugungsreflexen ergibt sich der Abstand von 3,4 Å zwischen den DNA-Basenpaaren? (1 Punkt)



3,4 Å

*g-A → 0
Meridional
Reflexe A*

8. Diffusion

Der Signaltransfer von Neuron zu Neuron, d.h. von Pre- zu Post-Synapse erfolgt über den synaptischen Spalt via Diffusion. Der Diffusionskoeffizient der Neurotransmitter liegt bei $D = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

- a) Wie lange braucht ein Neurotransmitter im Mittel um einen Spalt von 200 nm per Diffusion zu überbrücken? (2 Punkte)

$$\langle r^2 \rangle = 2Dt \quad ; t = 20 \mu\text{s}$$

- b) Wie lange bräuchte ein Neurotransmitter im Mittel, wenn der Spalt von 200 nm auf 2 µm verbreitert wäre? (1 Punkt)

$$t = 2 \text{ ms}$$

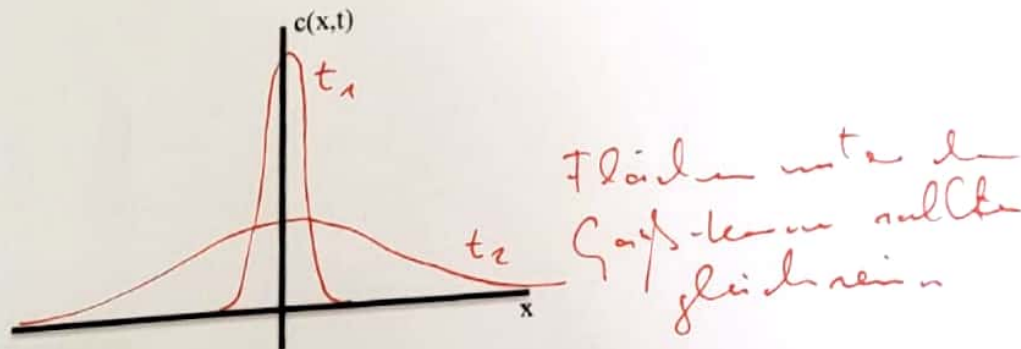
9. Diffusionsfluss

Eine lange Muskelfaser der Querschnittsfläche A wird auf etwa halber Länge mit einer Glaskapillare mit feiner Spitze eingestochen. Zur Zeit $t = 0$ wird durch diese ein Indikatorfarbstoff der Menge Q lokal in die Faser injiziert. Wählt man die x -Richtung längs der Muskelfaser, so kann die Ausbreitung des Farbstoffs als eindimensionaler Diffusionsvorgang nach folgender Formel beschrieben werden:

$$c(x,t) = \frac{Q}{A\sqrt{4\pi Dt}} \cdot e^{-\left(\frac{x^2}{4Dt}\right)}$$

a) Skizzieren Sie *qualitativ* die Konzentrationsverteilung $c(x,t)$ des injizierten Farbstoffs

- unmittelbar nach der Injektion, sowie
- zu einem späteren Zeitpunkt. (2 Punkte)



b) Geben Sie eine Formel an, mit der zum Zeitpunkt t der Diffusionsfluss J_x des Farbstoffs durch die Querschnittsfläche A der Faser im Abstand x von der Eintrittsstelle berechnet werden kann. (1 Punkte)

$$J = -AD \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} = -AD \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q}{A\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\left[\frac{x^2}{4Dt}\right]} \right]$$

Begründung:

$$\Delta V = \frac{\ln 2}{-e} \ln \frac{C_2}{C_1}$$

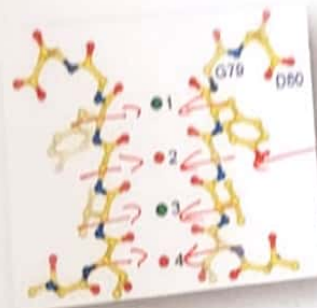
$$= -85,65 \text{ mV}$$

⇒ Gleichgewichtspotential 0
⇒ daher kein Cl-Fluss

12. Ionenselektivität

Erklären Sie genau, warum typische Kaliumkanäle, wie z.B. KcsA, nur K⁺-Ionen, nicht jedoch Na⁺-Ionen passieren lassen.

Begründen Sie Ihre Antwort unter Zuhilfenahme der unten stehenden Abbildungen sowie unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Atomradius von Na⁺-Ionen kleiner ist als der von K⁺-Ionen. Gehen Sie bei Ihrer Begründung auch auf die Proteinstruktur der Filterregion der Kaliumkanäle ein! (4 Punkte)



Dipol-
moment
des
Peptids

Schematische Darstellung eines KcsA Kanals (links) sowie dessen Filterregion (rechts).
Gelb: C-Atome, Rot: O-Atome, Blau: N-Atome, 1, 2, 3, 4: Positionen der K⁺-Ionen im Kanal

Hydratierung von Na⁺ & K⁺
Ionen - Dipol WW Ionen - Wasserd
Abstandsabhängigkeit des WW $1/r^6 - 1/r^4$
Starke Abstandsabhängigkeit
Ionen - Dipol WW in Proteinkanal (Dipol-
moment des Peptidrückgrats)
Hydrathülle von K⁺ wird abgestreift, weil
nicht möglich für Na⁺, da kleiner u
DS system kann nicht durch K⁺ sein.
10
? Lokalisation für anwenden

10. Membranpotential

Jede tierische Zelle besitzt ein Membranpotential, das innen negativ gegenüber dem Außenmedium ist.

Welche Angaben braucht man, um das Membranpotential berechnen zu können? Geben Sie hierfür eine möglichst vollständige Gleichung an und beschreiben Sie die Bedeutung aller Parameter und Variablen. (3 Punkte)

Geldmann gleichung des Membranpotentials!

11. Ionenstrom

γ -Aminobuttersäure (GABA) öffnet in postsynaptischen Nervenzellen so genannte GABA-Kanäle, die für Chlorid-Ionen spezifisch sind. Die extrazelluläre Konzentration von Cl^- ist 123 mM, die intrazelluläre Konzentration 4 mM. Das Membranruhepotential in der Nervenzelle liege bei genau -85,65 mV.

In welche Richtung fließen die Chlorid-Ionen durch einen offenen GABA-Kanal bei einem konstanten Membranpotential von -85,65 mV? Kreuzen Sie die richtige Antwort an und begründen Sie Ihre Antwort biophysikalisch! (4 Punkte)

Hinweis: $k_B T / e = 25 \text{ mV}$

..... Die Chlorid-Ionen fließen durch den GABA-Kanal in die Nervenzelle hinein.

..... Die Chlorid-Ionen fließen durch den GABA-Kanal aus der Nervenzelle heraus.

☒ Die Chlorid-Ionen fließen weder durch den GABA-Kanal in die Nervenzelle hinein noch aus der Nervenzelle heraus.