

Abgabe am Dienstag den 29.4.14 vor Beginn der Vorlesung

AUFGABE 1 - Langer Draht bzw. Starkstromkabel eine Überlandleitung (insgesamt 8 Pkt.)

Wir betrachten einen langen, gerade in der Luft ($\epsilon \approx 1$) hängenden Draht (als Modell eines Starkstromkabels einer Überlandleitung). Die Ladungsdichte auf der Drahtoberfläche sei konstant. (Der Spannungsabfall durch einen eventuellen Stromfluss ist als vernachlässigbar angenommen.)

Leiten Sie die Abstandsabhängigkeit (Abstand r senkrecht zum als 'dünn' angenommenen Kabel gemessen) der folgenden beiden Größen her:

- a) Größe des elektrischen Potentials (Spannung) (2 Pkt.)
- b) Stärke des elektrischen Felds (2 Pkt.)

Berechnen Sie basierend auf der Lösung von b) für eine 110 kV Hochspannungsleitung (also $U_{\text{Draht}} = 110 \text{ kV}$) die elektrische Feldstärke:

- c) in 10 cm Entfernung von dem Draht (1 Pkt.)
- d) in 10 m Entfernung von dem Draht (1 Pkt.)
- e) Was könnte passieren, wenn sie einen spitzen elektrischen Leiter in unmittelbare Nähe des Hochspannungsdrahts bringen? (nur qualitative Diskussion) (2 Pkt.)

AUFGABE 2 – Biophysik/Photosynthese: Membranspannung und Kapazität, Energie des primären Radikalpaar-Dipols (insgesamt 12 Pkt.)

Biophysikalischer Hintergrund: Zahlreiche Prozesse der Bioenergetik finden in Proteinen statt, die in dünnen biologischen Membranen (Lipid-Doppelschichten) eingebaut sind. Diese Membranen separieren zwei wässrige Bereiche, die beiderseits der Membran liegen und in denen sich Ionen frei bewegen können. In diesen Bereichen ist jeweils ein elektrisches Potential definiert. In der Photosynthese separiert die sogenannte Thylakoidmembran den Stromabereich und den Granabereich. Unter Lichteinfluss baut sich eine Spannung über der Thylakoidmembran auf, die negativ an der Stromaseite und positiv an der Granaseite ist.

Wir nehmen nun an, dass die Spannung 100 mV beträgt und der elektrisch nichtleitende Teil der Membran eine Stärke von 35 nm hat. Die relative Dielektrizitätskonstante im nichtleitendem Membran-Innenen habe den Wert 3 ($\epsilon = 3$). Für die folgenden quantitativen Überlegungen modellieren wir das System als ausgedehnten Plattenkondensator mit einem Plattenabstand von 35 nm ($d_{\text{Mem}} = 35 \text{ nm}$) und einem Dielektrikum mit einem ϵ von 3, an dem eine Spannung von 100 mV anliegt.

a) Wie groß ist die elektrische Feldstärke im Inneren der biologischen Membran? (2 Pkt.)

b) Warum gibt es in biologischen Systemen keine Membranspannungen über 500 mV? (qualitative Diskussion) (2 Pkt.)

c) In einem kugelförmigen Chloroplasten mit einem Durchmesser von 2 μm könnte die Oberfläche der vielfach gefalteten Thylakoidmembran 100 Quadratmikrometer (= $100 \times 10^{-12} \text{ m}^2$) betragen. Schätzen Sie unter Nutzung des oben skizzierten Plattenkondensatormodells ab, wie groß die elektrische Kapazität dieser Thylakoidmembran wäre? (2 Pkt.)

d) Wie vergleicht sich die unter c) berechnete Kapazität mit der einer glatten Metallkugel in Fußballgröße (mit einem Durchmesser von 22 cm)? Vergleichen Sie auch die Kapazität pro Volumen von Chloroplastenkugel und Fußballkugel! (2 Pkt.)

Biophysikalischer Hintergrund: Das Photosystem II der Pflanzen, Algen und Cyanobakterien ist in die Thylakoidmembran eingebettet. Hier absorbieren Chlorophyllmoleküle Lichtquanten und es kommt zu einem Elektronentransport vom einem speziellen Chlorophyllpaar (P680) zu einem Pheophytin Molekül (Phe), wodurch P680 einfach positiv geladen (P680⁺) und Phe einfach negativ geladen (Phe⁻) wird. Es entsteht so der [Phe⁻, P680⁺] Radikalpaarzustand. Aus dem Blickwinkel der Protein-Elektrostatik entsteht so ein Dipol innerhalb der Membran, der mit dem elektrischen Feld wechselwirkt, welches aus der Membranspannung resultiert. Die Wechselwirkungsenergie verschiebt bzw. erhöht das Energieniveau des Radikalpaarzustands und begünstigt so unerwünschte Verluste durch Ladungsrekombination. Aus diesem Grund ist die Wechselwirkungsenergie relevant für die Funktion des Photosystems.

e) Berechnen Sie die Wechselwirkungsenergie (in eV) zwischen dem (P680⁺/Phe⁻)-Dipol und dem aus der Membranspannung (100 mV, $d_{\text{Mem}} = 35 \text{ nm}$, wie oben) resultierendem E-Feld für einen auf die Membrannormale projizierter Abstand zwischen P680 und Phe von 1 nm ($d_{\text{P680-Phe}} = 1 \text{ nm}$)!

(Anmerkungen: 1. Bezüglich der Orientierung des Dipols ist es wichtig, dass P680⁺ in der Nähe der positiven Granaseite liegt, während Phe⁻ der negativen Stromaseite näher ist. Hierdurch wird jedoch nur das Vorzeichen des Energiewerts bestimmt. 2. Der Dipol ist fest, rotiert also *nicht* im elektrischen Feld). (2 Pkt.)

f) Warum ist der Wert von ϵ unkritisch für das Ergebnis von e) ? (2 Pkt.)