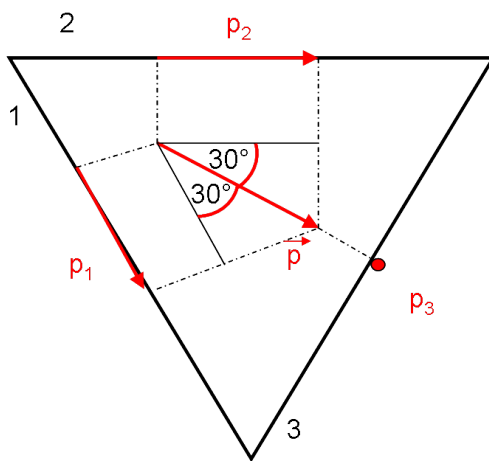


### Thema: Elektrostatik

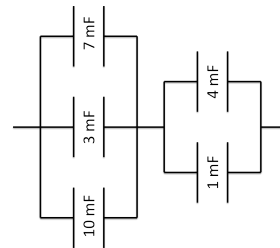
1) Ein Mensch (Kapazität  $C_M = 150 \text{ pF}$ ) lädt sich beim Gehen auf Teppich auf und erreicht dabei eine Spannung von  $1 \text{ kV}$  gegen Erde. Nehmen Sie an, dass sich eine kleine Styroporkugel ( $C_K = 0,01 \text{ pF}$ ) auf die entgegengesetzt gleichgroße Spannung auflädt.

- a) Wie groß ist die jeweilige Ladung und die daraus resultierende Kraft in einem Abstand von  $1 \text{ cm}$ , wenn Sie Mensch und Kugel als Punktladung betrachten?
- b) Welche Masse darf die Kugel maximal haben um senkrecht angehoben zu werden?



2) Zwei Ladungen  $+Q$  und  $-Q$  im Abstand  $l$  bilden einen elektrischen Dipol mit dem Dipolmoment  $p$ . Zur Auswertung eines Elektrokardiogramms (EKG's) nach Einthoven wird dem Herzen zu jedem Zeitpunkt  $t$  ein sog. Herzdipolvektor zugeordnet. Dieser wird anschließend in drei Bestandteile zerlegt (sog. Einthovensches Dreieck). Aus der Lage des Vektors und der Größe der einzelnen Komponenten lässt sich die Aktivität einzelner Herzmuskeln rekonstruieren. Welcher Anteil vom Dipolmoment  $p$  entfällt in dieser hier dargestellten Situation auf die einzelnen Seiten des gleichseitigen Dreiecks?

3) Wie groß ist die Gesamtkapazität  $C_{ges}$  folgender Schaltung von Kondensatoren mit den gegebenen Kapazitäten ?



4) Die Feldstärke zwischen einer  $420 \text{ m}$  über der Erdoberfläche befindlichen Wolke der Flächenausdehnung  $A = 0,1 \text{ km}^2$  und dem Erdboden betrage durchschnittlich  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ V/m}$ . Das System Wolke-Erdboden kann man als geladene Leiterflächen eines Plattenkondensators mit Luft als Dielektrikum auffassen und dessen elektrisches Feld als homogen ansehen.

- a) Wie groß ist die Spannung  $U$  zwischen Wolke und Erdboden?
- b) Welche elektrische Ladung  $Q$  trägt die Wolke?

c) Welche Energie  $W_C$  steckt im elektrischen Feld des Systems Wolke-Erdboden?

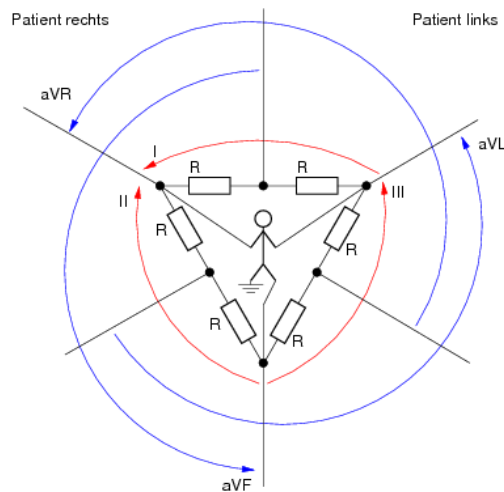
- 5) Die Kapazität  $C$  eines Nervenfaserschnittes kann in guter Näherung als ein zur Röhre aufgerollter Plattenkondensator mit der Länge  $l$ , dem Radius  $r$  und dem "Plattenabstand" (der Membrandicke)  $d$  angesehen werden. (Solange gilt  $d \ll r$ ).



Die Permittivitätskonstante für Zellmembranen ist  $\varepsilon_r = 9$ . Mit  $l = 1 \text{ mm}$ ,  $r = 1 \mu\text{m}$  und einer typischen Membranstärke von  $d = 5 \text{ nm}$ , wie groß ist die Kapazität dieses Nervenabschnittes?

- 6) Die Extremitätenableitungen eines Standard-EKG bestehen aus den Ableitungen nach Einthoven und Goldberger. Dabei werden jeweils die Spannungen an beiden Armen und dem linken Fuß ausgewertet. Der rechte Fuß wird zur Unterdrückung von Störungen geerdet. Bei den Ableitungen nach Einthoven wird für die Kanäle  $I$ ,  $II$  und  $III$  jeweils die Spannung vom linken zum rechten Arm, vom linken Fuß zum rechten Arm und vom linken Fuß zum linken Arm gemessen. Für die Ableitungen nach Goldberger werden durch eine Reihenschaltung jeweils zweier Widerstände (alle Widerstände haben den gleichen Wert  $R$ ) entlang den Ableitungen nach Einthoven drei zusätzliche Bezugspotentiale gebildet. Die Ableitungen nach Goldberger  $aVR$ ,  $aVL$  und  $aVF$  werden zwischen dem rechten Arm, dem linken Arm bzw. dem linken Fuß zum jeweils gegenüberliegenden Spannungsteiler gemessen.

Ein EKG-Gerät habe drei Eingangsverstärker, die die Ableitungen nach Einthoven (Kanal  $I$ ,  $II$  und  $III$ ) aufnimmt. Die Ableitungen nach Goldberger können daraus berechnet werden. Berechnen Sie mit Hilfe der Maschenregel (Kirchhoff) die Spannung  $aVR$  unter der Bedingung, dass die Spannungen  $U_I$ ,  $U_{II}$  und  $U_{III}$  bekannt sind! (Anmerkung: es gibt zwei Lösungen)



- 7) Eine etwa  $1 \mu\text{m}^2$  großer Abschnitt einer Zellmembran wird als elektrischer Kondensator mit  $10^{-14} \text{ F}$  Kapazität betrachtet. Er soll durch Ladungsverschiebung um  $10 \text{ mV}$  depolarisiert werden, wobei ausschließlich  $\text{Na}^+$ -Ionen transmembranär strömen sollen. Die Elementarladung beträgt etwa  $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$ . Etwa wie vielen  $\text{Na}^+$ -Ionen entspricht die verschobene Ladung?
- (A)  $6 \cdot 10^2$     (B)  $6 \cdot 10^3$     (C)  $2 \cdot 10^4$     (D)  $2 \cdot 10^5$     (E)  $2 \cdot 10^6$
- 8) Bei einer Reizstromtherapie (transkutane elektrische Nervenstimulation) bilden die beiden Hautkontakte und das Gewebe eine elektrische Reihenschaltung mit den Leitwerten  $1 \text{ mS}$ ,  $2 \text{ mS}$  und  $1 \text{ mS}$ . Wie groß ist der Gesamtleitwert dieser Anordnung?
- (A)  $0.3 \text{ mS}$     (B)  $0.4 \text{ mS}$     (C)  $2.5 \text{ mS}$     (D)  $3 \text{ mS}$     (E)  $4 \text{ mS}$
- 9) Bei einem Herzschrittmacher wird eine elektrische Ladung von  $1.2 \mu\text{C}$  innerhalb von  $0.4 \text{ ms}$  einem Kondensator entnommen, wobei die dadurch entstehende elektrische Stromstärke  $I$  nahezu konstant ist. Wie groß ist  $I$ ?
- (A)  $0.48 \mu\text{A}$     (B)  $3 \mu\text{A}$     (C)  $0.48 \text{ mA}$     (D)  $3 \text{ mA}$     (E)  $48 \text{ mA}$
- 10) Hinsichtlich möglicher schädlicher Wirkungen des elektrischen Feldes einer Energieanlage ist unter anderem die in bestimmten Einwirkungsbereichen herrschende elektrische Feldstärke von Bedeutung. Etwa wie groß ist die elektrische Spannung, die über einer quer zur Feldrichtung befindlichen Zellmembran von etwa  $8 \text{ nm}$  Dicke abfällt, wenn die elektrische Feldstärke konstant  $5 \text{ kV/m}$  beträgt?
- (A)  $40 \mu\text{V}$     (B)  $0.4 \text{ mV}$     (C)  $4 \text{ mV}$     (D)  $40 \text{ mV}$     (E)  $0.4 \text{ V}$

- 11) Eine elektrisch isolierende Zellmembran bildet zusammen mit den Elektrolyten des Intra- und Extrazellulärtraums einen Kondensator. Bei einem isolierten Axonabschnitt mit der Kapazität  $8 \text{ pF}$  strömen nun  $100\,000 \text{ Na}^+$ -Ionen pro Sekunde in die Zelle hinein. Etwa wie rasch würde sich dadurch die Potentialdifferenz (dem Betrage nach) über die Membran ändern, wenn dabei keine anderen Ionen transmembranär strömen?

(A)  $2 \text{ mV/s}$     (B)  $6 \text{ mV/s}$     (C)  $16 \text{ mV/s}$     (D)  $20 \text{ mV/s}$     (E)  $60 \text{ mV/s}$