

**A.1 Transport door de bloedbaan****Opgave 1**

- a De weerstand is recht evenredig met het drukverschil.  
In figuur A.4 zie je dat het drukverschil het grootst is bij de slagadertjes.  
Dus de slagadertjes hebben de grootste weerstand.
- b Zie tabel A.1.

	elektriciteit	vloeistofstromen
<b>stroomsterkte</b>	$I = \frac{Q}{t}$	$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$
<b>weerstand</b>	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{\Delta p}{Q}$

**Tabel A.1**

Uit de tabel kun je opmaken dat:

- $Q$  bij elektriciteit overeenkomt met  $\Delta V$  bij vloeistofstromen;
- $U$  bij elektriciteit overeenkomt met  $\Delta p$  bij vloeistofstromen.

Invullen in  $U = \frac{\Delta E}{Q}$  levert  $\Delta p = \frac{\Delta E}{\Delta V}$ .

- c Zie BINAS tabel 4.  
 $[\Delta p] \cdot [\Delta V] = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$

**Opgave 2**

- a De eenheid 120 mm Hg reken je om met behulp van de formule voor statische druk.

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

$$h = 120 \text{ mm} = 0,120 \text{ m}$$

$$\rho = 13,5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{Zie BINAS tabel 11})$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

$$p = 0,120 \times 13,5 \cdot 10^3 \times 9,81 = 1,589 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$\text{Afgerond: } p = 1,59 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

- b Wanneer de druk in de manchet hoger is dan de systolische druk, dan zijn de bloedvaten dicht en stroomt er geen bloed.  
Wanneer de druk in de manchet lager is dan de diastolische druk, dan zijn de bloedvaten geheel open en hoor je het pulserende geluid niet meer.
- c De frequentie van de hartslag bereken je met de formule voor frequentie.  
De trillingstijd bepaal je in figuur A.8 van het katern.

Van  $t = 2 \text{ s}$  tot  $t = 20 \text{ s}$  tel je 15 pulsen.

$$15T = 20 - 2 = 18 \text{ s}$$

$$T = 1,2 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{1,2}$$

$$f = 0,8333 \text{ hartslagen per seconde}$$

Dit is  $60 \times 0,8333 = 50$  hartslagen per minuut.

- d De systolische druk is 130 mm Hg.  
De diastolische druk is 80 mm Hg.
- e  $130 \text{ mm Hg} = 130 \times 133 = 1,73 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .  
Deze valt buiten de standaarddeviatie van BINAS diagram 84 E2.  
 $80 \text{ mm Hg} = 80 \times 133 = 1,06 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .  
Deze valt binnen de standaarddeviatie van BINAS diagram 84 E2.
- f De meetplaats ligt boven het hart. De gemeten bloeddruk is dus kleiner dan de bloeddruk in de aorta.

- g Het drukverschil bereken je met de formule voor de statische druk.

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

$$h = \text{hoogteverschil tussen oor en hart} = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

$$\rho = 1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p = 0,35 \times 1,03 \cdot 10^3 \times 9,81 = 3,5365 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$\text{Dit is } \frac{3,5365 \cdot 10^3}{133} = 26,59 \text{ mm Hg.}$$

$$\text{Afgerond: } 27 \text{ mm Hg}$$

### Opgave 3

- a De diameter bereken je met de formule voor de oppervlakte van de dwarsdoorsnede. De oppervlakte van de dwarsdoorsnede bereken je uit de stroomsnelheid en het debiet. Het debiet bereken je uit de gemiddelde bloedstroom.

$$Q = 5,5 \text{ L/min} = \frac{5,5 \text{ L}}{1 \text{ min}} = \frac{5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{60 \text{ s}} = 9,166 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \ell}{\Delta t} = A \cdot v$$

$$9,167 \cdot 10^{-5} = A \cdot 0,20$$

$$A = 4,583 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 = 4,583 \cdot 10^{-4}$$

$$d = 0,0241$$

$$\text{Afgerond: } 0,024 \text{ m} (= 2,4 \text{ cm})$$

- b Uit  $\frac{\Delta p}{Q} = \frac{8\eta \cdot \ell}{\pi \cdot r^4}$  volgt  $\Delta p = \frac{8\eta \cdot \ell}{\pi \cdot r^4} \cdot Q$

$$\text{Invullen van } Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ levert } \Delta p = \frac{8\eta \cdot \ell}{\pi \cdot r^4} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\text{Met } \Delta V = A \cdot \ell = \pi r^2 \text{ ontstaat } \Delta p = \frac{8\eta \cdot \ell}{\pi \cdot r^4} \cdot \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \ell}{\Delta t} = \frac{8\eta \cdot \ell}{r^2} \cdot \frac{\ell}{\Delta t} = \frac{8\eta \cdot \ell}{r^2} \cdot v = \frac{8\eta \cdot \ell \cdot v}{r^2}$$

- c Het drukverschil bereken je met de formule die je bij vraag 3b hebt afgeleid. De straal bereken je uit de diameter.

$$d = 2r$$

$$d = 7,5 \text{ } \mu\text{m} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$r = 3,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta p = \frac{8\eta \cdot \ell}{r^2} \cdot v$$

$$v = 1,2 \text{ mm/s} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$r = 3,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\eta = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$$

$$\ell = 2,0 \text{ mm} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta p = \frac{8 \times 3,4 \cdot 10^{-3} \times 2,0 \cdot 10^{-3}}{(3,75 \cdot 10^{-6})^2} \times 1,2 \cdot 10^{-3} = 4,642 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$\text{Afgerond: } 4,6 \cdot 10^3 \text{ Pa} (= 35 \text{ mm Hg})$$

- d Door de toename van de viscositeit neemt de weerstand toe die het bloed ondervindt. Door de toename van de viscositeit is het bloed dikker. Er is dan een verhoogd risico op klontering.

**Opgave 4**

De minimale druk bereken je met de formule voor de statische druk.

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

$$h = 2,5 \text{ m}$$

$$\rho = 1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p = 2,5 \times 1,03 \cdot 10^3 \times 9,81 = 2,526 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Afgerond:  $2,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$  (= 188 mm Hg)

**Opgave 5**

a  $f_d = \frac{2 \cdot v_b \cdot f}{v} \cdot \cos \alpha$

$$f_d = 3,7 \text{ kHz} = 3,7 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$f = 7,0 \text{ MHz} = 7,0 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$v = 1,73 \cdot 10^3 \text{ m/s} \quad (\text{Zie BINAS tabel 15A})$$

$$\alpha = 35^\circ$$

$$3,7 \cdot 10^3 = \frac{2 \times v_b \times 7,0 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 10^3} \cdot \cos(35^\circ)$$

$$v_b = 0,558 \text{ m/s}$$

Afgerond: 0,56 m/s

- b De diameter bereken je uit de doorsnede van het bloedvat.  
De doorsnede van het bloedvat bereken je met het debiet en de stroomsnelheid.  
Het debiet is op de twee plaatsen gelijk.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\frac{1}{4} \pi d_1^2 \cdot v_1 = \frac{1}{4} \pi d_2^2 \cdot v_2$$

$$d_1^2 \cdot v_1 = d_2^2 \cdot v_2$$

$$d_1 = 70 \text{ } \mu\text{m} = 70 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$v_1 = 0,56 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 1,5 \text{ m/s}$$

$$(70 \cdot 10^{-6})^2 \times 0,56 = d_2^2 \times 1,5$$

$$d_2^2 = 1,83 \cdot 10^{-9}$$

$$d_2 = 4,277 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 42,77 \text{ } \mu\text{m}$$

Afgerond: 43  $\mu\text{m}$

**A.2 Transport door de celwand****Opgave 6**

- a De diffusiesnelheid bereken je met de formule van Fick.

$$\frac{dn}{dt} = D \cdot A \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

$$D = 4 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$A = 14 \text{ cm}^2 = 14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Delta c = 1,2 - 0,28 = 0,92 \text{ mmol/L} = 0,92 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\Delta x = 0,20 \text{ mm} = 0,20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{dn}{dt} = 4 \cdot 10^{-9} \times 14 \cdot 10^{-4} \times \frac{0,92 \cdot 10^{-3}}{0,20 \cdot 10^{-3}} = 2,576 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{Afgerond: } 2,6 \cdot 10^{-11} \text{ mol/s}$$

- b Voor de diffusiesnelheid geldt  $\frac{dn}{dt} = D \cdot A \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$  met  $D = \frac{k_B \cdot T}{6\pi \cdot \eta \cdot r}$

Moleculen  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  zijn groter dan moleculen  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Dus de (gemiddelde) straal van een molecuul sacharose is groter. Omdat de moleculen groter zijn, is de viscositeit ook groter. Omdat de waarden van  $k_B$  en  $T$  niet veranderen, is dus de diffusieconstante  $D$  kleiner.

De andere waarden in de formule van Fick zijn constanten dus is de diffusiesnelheid kleiner.

**Opgave 7**

- a De krachten tussen moleculen in een gas zijn verwaarloosbaar. Daarom is de viscositeit van een gas veel kleiner dan die van een vloeistof.

$$b \quad \frac{[dn]}{[dt]} = [D] \cdot [A] \cdot \frac{[\Delta c]}{[\Delta x]}$$

$$\frac{\text{mol}}{\text{s}} = [D] \times \text{m}^2 \times \frac{\text{mol m}^{-3}}{\text{m}}$$

$$\frac{1}{\text{s}} = [D] \times \frac{\text{m}^{-1}}{\text{m}} = [D] \times \text{m}^{-2}$$

$$\frac{1}{\text{s}} = [D] \times \text{m}^{-2}$$

$$[D] = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$c \quad [D] = \frac{[k_B] \cdot [T]}{[6\pi] \cdot [\eta] \cdot [r]}$$

$$[k_B] = \text{J K}^{-1} \text{ met } \text{J} = \text{N} \cdot \text{m}$$

$$[\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s} \text{ met } \text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$[D] = \frac{\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1} \times \text{K}}{\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s} \times \text{m}}$$

$$[D] = \frac{\text{m}}{\text{m}^{-1} \cdot \text{s}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

- d De diffusieconstante bereken je met de formule van Fick voor zuurstof.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = D_{\text{zuurstof}} \cdot A \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

$$\Delta p = 13,3 - 5,33 = 7,97 \text{ kPa} = 7,97 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$A = 80 \text{ m}^2$$

$$\Delta x = 1,0 \text{ mm} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = 0,78 \text{ mmol/s} = 0,78 \cdot 10^{-3} \text{ mol/s}$$

$$0,78 \cdot 10^{-3} = D_{\text{zuurstof}} \cdot 80 \times \frac{7,97 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$D_{\text{zuurstof}} = 1,22 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Afgerond: } 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

- e Mogelijke antwoorden:

- De diffusieconstante wordt kleiner doordat de diffusie deels door het taaiere slijm moet plaatsvinden. Daardoor (is er een lagere diffusiesnelheid en) kan minder zuurstof opgenomen worden.
- De zuurstof moet door de slijmlaag over een langere afstand diffunderen, waardoor er in een bepaalde tijd minder zuurstof in het bloed kan worden opgenomen.
- Het oppervlak dat nog goed functioneert wordt kleiner, waardoor er in een bepaalde tijd minder zuurstof in het bloed kan worden opgenomen.

### Opgave 8

$$\text{a } U_{\text{Cl}} = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln \frac{[\text{Cl}^-]_{\text{buiten}}}{[\text{Cl}^-]_{\text{binnen}}}$$

$$R = 8,314 \text{ 4621 J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$T = 37 \text{ }^\circ\text{C} = 37 + 273 = 310 \text{ K}$$

$$n = -1$$

$$F = 964853365 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$$

$$U_{\text{K}} = \frac{8,3144621 \times 310}{-1 \times 9,64853365 \cdot 10^4} \ln \frac{120}{10} = -6,638 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

$$\text{Afgerond: } -6,6 \cdot 10^{-2} \text{ V} = -66 \text{ mV}$$

- b De kaliumionen zorgen voor de negatieve membraanspanning. Omdat  $z = +1$  moet de ln-term kleiner dan 1 zijn om een negatieve uitkomst te krijgen. Dus de concentratie buiten moet kleiner zijn dan de concentratie binnen. Dat is het geval bij kalium.

### Opgave 9

- a Voor een wortelverband geldt:

Als je de ene grootheid  $n^2$  keer zo groot maakt en de andere grootheid  $n$  keer zo groot wordt, dan vormen die grootheden een wortelverband.

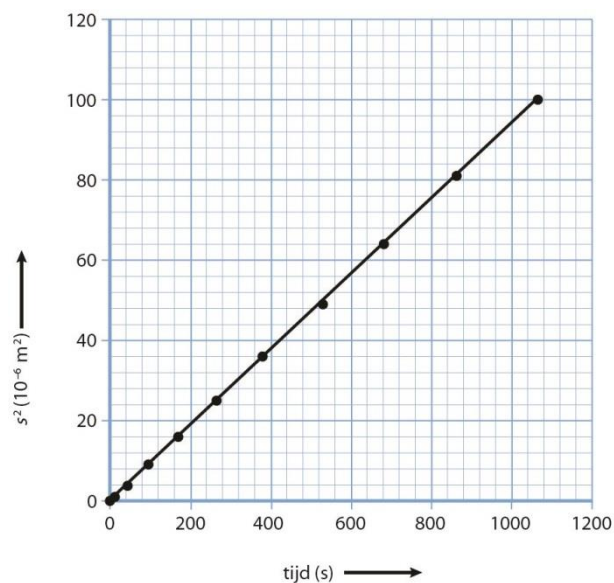
Vergelijk de waarden bij  $s = 0,001 \text{ m}$  met die bij  $0,002 \text{ m}$  en  $0,004 \text{ m}$ , dan zie je dat de tijd 4x zo groot wordt als de afstand 2x zo groot wordt.

Dus de tijd en de afstand vormen een wortelverband.

b In tabel A.1 is een kolom toegevoegd met de waarde van  $s^2$ . In figuur A.1 staat het  $(s^2, t)$ -diagram.

s (m)	t (s)	$s^2$ ( $10^{-6} \text{ m}^2$ )
0	0	0
0,001	11	1
0,002	43	4
0,003	96	9
0,004	170	16
0,005	266	25
0,006	383	36
0,007	521	49
0,008	681	64
0,009	862	81
0,010	1064	100

Tabel A.1



Figuur A.1

c De diffusieconstante volgt uit de steilheid van de grafieklijn.

$$\text{steilheid} = \frac{\Delta s^2}{\Delta t} = 2D$$

$$\text{steilheid} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{1060} = 9,433 \cdot 10^{-8}$$

$$2D = 9,4 \cdot 10^{-8}$$

$$D = 4,716 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Afgerond: } 4,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

- d De gemiddelde grootte van de moleculen in het bloed bereken je met de formule voor de diffusieconstante.

$$D = \frac{k_b \cdot T}{6\pi \cdot \eta \cdot r}$$

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$t = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$\eta = 3,2 \text{ mPas} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$$

$$D = 4,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$4,7 \cdot 10^{-8} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \times 293}{6\pi \times 3,2 \cdot 10^{-3} \times r}$$

$$r = 1,426 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } r = 1,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

**A.3 Geleiding in een zenuwcel****Opgave 10**

- a
- 1 dendrieten
  - 2 celkern
  - 3 cellichaam
  - 4 eindknopje
  - 5 axonuiteinde
- b
- Motorische zenuwen ontvangen een prikkel vanuit het ruggenmerg of de hersenen en sturen de spieren aan.  
Gevoelszenuwen ontvangen een prikkel en sturen deze naar het ruggenmerg of direct naar de hersenen.  
Schakelzenuwen verwerken signalen en geven deze door naar de hersenen of naar de motorische zenuwcellen.
- c
- Overeenkomst: er is sprake van diffusie.  
Verschil: - bij geleiding is er diffusie van ionen ( $\text{Na}^+$  en  $\text{K}^+$ ); bij transport zijn het allerlei soorten deeltjes  
- bij geleiding verandert de membraanspanning; bij transport hoeft dat niet

**Opgave 11**

Doortrekken van de wc	Actiepotentiaal
Op de knop drukken	De prikkel komt bij het axon en de membraanspanning wordt groter dan de drempelspanning.
Leeglopen van de stortbak totdat deze leeg is	Er gaan steeds meer natriumkanalen open en de membraanspanning stijgt (tot ongeveer 30 mV).
Het weer vollopen van de stortbak	De kaliumkanalen gaan ook open en de natriumkanalen dicht (en de spanning daalt weer tot onder de drempelspanning). De Na/K-pompen zorgen ervoor dat de rustspanning weerkeert.

**Opgave 12**

$$a \quad U = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_K [K^+]_{\text{buiten}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{buiten}} + P_{Cl} [Cl^-]_{\text{binnen}}}{P_K [K^+]_{\text{binnen}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{binnen}} + P_{Cl} [Cl^-]_{\text{buiten}}} \right)$$

Als de kanalen gesloten zijn, dan zijn de  $P$ -waarden 0.

$$\text{Er blijft dan over: } U = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_{Na} [Na^+]_{\text{buiten}}}{P_{Na} [Na^+]_{\text{binnen}}} \right).$$

$$\text{Na wegdelen van } P_{Na} \text{ ontstaat } U = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{[Na^+]_{\text{buiten}}}{[Na^+]_{\text{binnen}}} \right).$$

Dit komt overeen met  $U = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln \left( \frac{[Na^+]_{\text{buiten}}}{[Na^+]_{\text{binnen}}} \right)$  als  $n = +1$ . En dat is het geval voor natrium.

- b
- De lading van een chloorion is -1. Voor kalium en natrium is deze +1.

$$\text{Er geldt } U_K = \frac{R \cdot T}{-1 \times F} \ln \frac{[Cl^-]_{\text{buiten}}}{[Cl^-]_{\text{binnen}}} = \frac{R \cdot T}{+1 \times F} \ln \frac{[Cl^-]_{\text{binnen}}}{[Cl^-]_{\text{buiten}}}$$



$$c \quad U = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_K [K^+]_{\text{buiten}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{buiten}} + P_{Cl} [Cl^-]_{\text{binnen}}}{P_K [K^+]_{\text{binnen}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{binnen}} + P_{Cl} [Cl^-]_{\text{buiten}}} \right)$$

$$U = \frac{8,31446 \times 310}{9,64853 \cdot 10^4} \ln \left( \frac{100 \times 5 + 3 \times 145 + 45 \times 10}{100 \times 140 + 3 \times 10 + 45 \times 120} \right) = -7,05 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

Dit komt afgerond overeen met  $-71 \text{ mV}$

**Opgave 13**

- Als de membraanspanning van  $-70 \text{ mV}$  naar  $-40 \text{ mV}$  gaat, stijgt de membraanspanning ten opzichte van de rustspanning. Dan zijn er natriumionen de cel ingestroomd.
- Hier is sprake van hyperpolarisatie, omdat de spanning daalt onder de rustspanning van de staafjes.
- Door de aanwezigheid van cGMP gaan natriumkanalen open. Er stroomt  $Na^+$  de cel in waardoor de membraanspanning stijgt. Dus als de membraanspanning daalt, zijn de natriumkanalen niet meer open. Dus is er minder cGMP in de celmembran aanwezig.

**Opgave 14**

- Volgens figuur A.27 neemt het aantal actiepotentialen per seconde het meest toe als de spanningsverandering het grootst is. De spanningsverandering is volgens figuur A.26 het grootst bij een lage prikkelsterkte. Dus in situatie 1 neemt het aantal actiepotentialen per seconde het meest toe.
- Volgens figuur A.29 is bij  $t = 0,25$  en  $0,5 \text{ s}$  de membraanpermeabiliteit van  $Na^+$  gelijk aan die van  $K^+$ . Dan is ratio  $Na^+/K^+$  precies gelijk aan 1. Dus diagram A.30b geeft dit juist weer.

**A.4 Natuurkundig model bij passieve geleiding****Opgave 15**

- a De hoeveelheid lading bereken je met de formule voor de capaciteit van een condensator.

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = 0,47 \text{ nF} = 0,47 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$U = 15 \text{ V}$$

$$0,47 \cdot 10^{-9} = \frac{Q}{15}$$

$$Q = 7,05 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 7,1 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

- b Voor de capaciteit geldt ook  $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$

Voor lucht is  $\epsilon_r$  gelijk aan 1. Met het perspex is de waarde groter dan 1. Omdat de andere grootheden dezelfde waarden behouden, is de capaciteit dus groter. De spanning blijft gelijk dus is de lading op de platen groter geworden.

- c Door de afstand groter te maken wordt de capaciteit kleiner. En omdat alle andere grootheden dezelfde waarde houden, wordt de lading op de platen kleiner.

**Opgave 16**

- a Dit is de axiale weerstand. Dat zie je aan de eenheid  $\text{M}\Omega/\text{m} = 10^6 \Omega \text{ m}^{-1}$ .

- b Voor de membraanweerstand geldt  $R_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a \cdot \ell}$ .

$$\text{Voor de axiale weerstand geldt } R_a = \frac{\rho_a \cdot \ell}{\pi \cdot a^2}.$$

Bij het vergroten van de diameter  $a$  neemt de axiale weerstand het sterkst af, omdat de axiale weerstand omgekeerd kwadratisch evenredig is met de diameter. De membraanweerstand is omgekeerd evenredig met de diameter.

- c Bij het vergroten van de lengte van het segment neemt de axiale weerstand toe, omdat deze recht evenredig is met de lengte van het segment.  
De membraanweerstand neemt af, omdat deze omgekeerd evenredig is met de lengte van het segment.

**Opgave 17**

- a Voor de membraanweerstand geldt  $R_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a \cdot \ell}$ .

Bij het halveren van de oppervlakte wordt de waarde van  $2\pi \cdot a \cdot \ell$  gehalveerd. Dus wordt de membraanweerstand verdubbeld.

- b De weerstand  $r_m$  bereken je met de formule  $R_m = \frac{r_m}{\ell}$ .

De lengte bereken je met de manteloppervlakte en de diameter.

$$A = 2\pi \cdot a \cdot \ell$$

$$A = 1,0 \text{ mm}^2 = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a = 250 \text{ }\mu\text{m} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$1,0 \cdot 10^{-6} = 2\pi \times 250 \cdot 10^{-6} \cdot \ell$$

$$\ell = 6,366 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_m = \frac{r_m}{\ell}$$

$$R_m = 70 \text{ k}\Omega = 70 \cdot 10^3 \Omega$$

$$70 \cdot 10^3 = \frac{r_m}{6,366 \cdot 10^{-4}}$$

$$r_m = 44,56 \Omega \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } r_m = 45 \Omega \text{ m}$$

- c Uit  $R_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a \cdot \ell} = \frac{r_m}{\ell}$  volgt dat je de soortelijke membraanweerstand berekent met de formule  $r_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a}$ .

$$r_m = 45 \, \Omega \text{ m}$$

$$a = 250 \, \mu\text{m} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$d_m = 8,0 \text{ nm} = 8,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$45 = \frac{\rho_m \times 8,0 \cdot 10^{-9}}{2\pi \times 250 \cdot 10^{-6}}$$

$$\rho_m = 8,8357 \cdot 10^6 \, \Omega \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } 8,8 \cdot 10^6 \, \Omega \text{ m}$$

- d Het aantal ionenkanalen per oppervlakte-eenheid bij de celmembraan van een krab is groter dan bij een kreeft.

### Opgave 18

- a De relatieve permittiviteit is de factor waarmee de lading op de platen toeneemt in vergelijking met als er geen tussenstof tussen de platen is.
- b De dikte van de membraan bereken je met de formule voor de membraan capaciteit.

$$C_m = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot 2\pi \cdot a \cdot \ell}{d_m}$$

$$C_m = 1,0 \, \mu\text{F} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$2\pi \cdot a \cdot \ell = 1,0 \text{ cm}^2 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$$

$$\varepsilon_r = 2,0$$

$$1,0 \cdot 10^{-6} = \frac{8,854187817 \cdot 10^{-12} \times 2,0 \times 1,0 \cdot 10^{-4}}{d_m}$$

$$d_m = 1,77 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

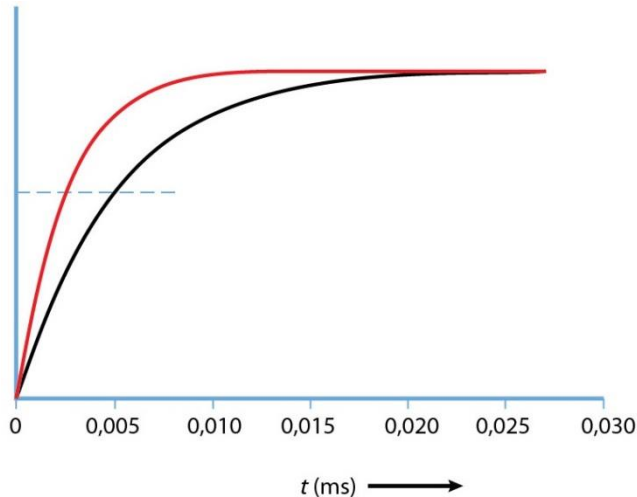
$$\text{Afgerond; } 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

- c Fosfolipiden bestaan uit een polaire kop en een apolaire staart. Uit BINAS tabel 16A blijkt dat polaire stoffen een grotere relatieve permittiviteit hebben dan apolaire stoffen. De waarde van  $\varepsilon_r$  voor een fosfolipide is dus groter dan 2,0.

## A.5 Geleidingssnelheid in zenuwvezels

## Opgave 19

- a De membraanspanning en de ionenstroom door de membraan. Als de condensator wordt opgeladen tot de maximale spanning is bereikt, neemt de spanning over het membraan toe en dus ook de stroomsterkte door de membraan (de ionenkanalen).
- b Zie figuur A.2.



Figuur A.2

## Toelichting

Hoe kleiner de tijdconstante, des te groter is de geleidingssnelheid. De maximale membraanspanning wordt dan in een kleinere tijd bereikt.

Is de tijdconstante gehalveerd, dan is de tijd om 63% van de maximale membraanspanning te bereiken gehalveerd.

## Opgave 20

- a De formule voor  $r_m$  volgt uit  $R_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a \cdot \ell} = \frac{r_m}{\ell}$ . Dus  $r_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a}$

De formule voor  $r_a$  volgt uit  $R_a = \frac{\rho_a \cdot \ell}{\pi \cdot a^2} = r_a \cdot \ell$ . Dus  $r_a = \frac{\rho_a}{\pi \cdot a^2}$

$$\lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_a}} = \sqrt{\frac{\frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a}}{\frac{\rho_a}{\pi \cdot a^2}}} = \sqrt{\frac{\rho_m \cdot d_m \times \pi \cdot a^2}{2\pi \cdot a \cdot \rho_a}} = \sqrt{\frac{\rho_m \cdot d_m \cdot a}{2 \cdot \rho_a}}$$

- b De soortelijke weerstand is groter als er minder ionenkanalen per oppervlakte-eenheid zijn. De membraandikte is groter met een myelineschede om het axon. De straal van het axon is groter bij een dikkere zenuw.
- c Voor de lengteconstante geldt  $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_m \cdot d_m \cdot a}{2 \cdot \rho_a}}$  en voor de tijdconstante  $\tau = \rho_m \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ .

$$\text{Dus } v = \frac{\lambda}{\tau} = \frac{\sqrt{\frac{\rho_m \cdot d_m \cdot a}{2 \cdot \rho_a}}}{\rho_m \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} = \sqrt{\frac{\rho_m \cdot d_m \cdot a}{2 \cdot \rho_a} \times \frac{1}{(\rho_m \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r)^2}} = \sqrt{\frac{\rho_m \cdot d_m \cdot a}{2 \cdot \rho_a \cdot \rho_m^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot \varepsilon_r^2}} = \sqrt{\frac{d_m \cdot a}{2 \cdot \rho_a \cdot \rho_m \cdot \varepsilon_0^2 \cdot \varepsilon_r^2}}$$

- d Door de myelineschede wordt het membraan dikker. Hierdoor zijn zowel  $d_m$  als  $a$  groter geworden. Door de vetlaag is er nauwelijks geleiding mogelijk. De soortelijke membraanweerstand is daar kleiner. Hierdoor wordt de teller groter en de noemer kleiner en dus de geleidingssnelheid groter.

## Opgave 21

$$a \quad \lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_a}}$$

$$r_m = 45 \, \Omega \text{ m}$$

$$r_a = 1,5 \text{ M}\Omega/\text{m} = 1,5 \cdot 10^6 \, \Omega \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{45}{1,5 \cdot 10^6}} = 5,477 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } \lambda = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 5,5 \text{ mm}$$

$$b \quad r_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a}$$

$$r_m = 45 \, \Omega \text{ m}$$

$$d_m = 8,0 \text{ nm} = 8,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$a = 250 \, \mu\text{m} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$45 = \frac{\rho_m \times 8,0 \cdot 10^{-9}}{2\pi \cdot 250 \cdot 10^{-6}}$$

$$\rho_m = 8,835 \cdot 10^6 \, \Omega \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } 8,8 \cdot 10^6 \, \Omega \text{ m}$$

- c De geleidingsnelheid bereken je met de lengteconstante en de tijdconstante.  
De tijdconstante bereken je met de weerstand en de capaciteit van de membraan.

$$\tau = R_m \cdot C_m$$

$$R_m = 70 \text{ k}\Omega = 70 \cdot 10^3 \, \Omega$$

$$C_m = 10 \text{ nF} = 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$\tau = 70 \cdot 10^3 \times 10 \cdot 10^{-9} = 0,70 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$v = \frac{\lambda}{\tau}$$

$$\lambda = 5,5 \text{ mm} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$v = \frac{\lambda}{\tau} = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{0,70 \cdot 10^{-3}} = 7,857 \text{ m/s}$$

$$\text{Afgerond: } v = 7,9 \text{ m/s}$$

- d Wordt de diameter 4 keer zo groot, dan wordt de straal  $a$  van het axon 4 keer zo groot.  
Voor de membraanweerstand geldt  $R_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a \cdot \ell}$ .  
Wordt de diameter 4 keer zo groot, dan wordt  $R_m$  4 keer zo klein.  
Voor de axiale weerstand geldt  $R_a = \frac{\rho_a \cdot \ell}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$ .  
Wordt de diameter 4 keer zo groot, dan wordt  $R_a$  16 keer zo klein.  
Voor de membraancapaciteit geldt  $C_m = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot 2\pi \cdot a \cdot \ell}{d_m}$ .  
Wordt de diameter 4 keer zo groot, dan wordt membraancapaciteit 4 keer zo groot.  
Voor de geleidingsnelheid geldt  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_m \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0^2}{d_m \cdot a}}$ .  
Wordt de diameter 4 keer zo groot, dan wordt de geleidingsnelheid 2 keer zo groot.

**Opgave 22**

a Voor de geleidingssnelheid geldt  $v = \sqrt{\frac{d_m \cdot a}{2 \cdot \rho_a \cdot \rho_m \cdot \epsilon_0^2 \cdot \epsilon_r^2}}$ .

Als de geleidingssnelheid  $\frac{120}{25} = 4,8$  keer zo groot is, moet de teller  $4,8^2 = 23$  keer zo groot

worden. Dus moet de straal  $a$  23 keer zo groot worden en de diameter dus ook. De diameter moet dan  $23 \text{ mm} = 2,3 \text{ cm}$  zijn.

b Als alle grootheden behalve de diameter en de dikte van de membraan dezelfde zijn, dan geldt

$$\frac{v_{\text{mens}}}{v_{\text{inktvis}}} = \sqrt{\frac{d_{\text{m,mens}} \cdot a_{\text{mens}}}{d_{\text{m,inktvis}} \cdot a_{\text{inktvis}}}}$$

$$\frac{120}{25} = \sqrt{\frac{d_{\text{m,mens}} \times 20 \cdot 10^{-6}}{8,0 \cdot 10^{-9} \times 1,0 \cdot 10^{-3}}}$$

$$d_{\text{m,mens}} = 9,216 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond } d_{\text{m,mens}} = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

## A.6 Afsluiting

## Opgave 23

- a Als de vaatspieren zich ontspannen, dan wordt de diameter van een bloedvat groter en daarmee dus ook de straal. Volgens  $R = \frac{8\eta \cdot \ell}{\pi \cdot r^4}$  wordt de stromingsweerstand dus kleiner.
- b De weerstand van één adertje bereken je met het drukverschil en het debiet van één adertje. Het debiet voor één adertje bereken je met het totale debiet. Het totale debiet bereken je uit het aantal liter bloed dat het hart per minuut rondpompt.

$$Q_{\text{tot}} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\Delta V = 5,5 \text{ L} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 1 \text{ minuut} = 60 \text{ s}$$

$$Q_{10} = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{60} = 9,1667 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dit is het debiet voor 10 adertjes. Omdat deze parallel lopen, is het debiet voor één adertje  $Q_1 = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

$$R = \frac{\Delta p}{Q_1}$$

$$\Delta p = 100 \text{ mm Hg} = 100 \times 1,33 \cdot 10^2 = 1,33 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$Q_1 = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R = \frac{1,33 \cdot 10^4}{9,2 \cdot 10^{-6}} = 1,4456 \cdot 10^9 \text{ Pa s/m}^3$$

$$\text{Afgerond: } R = 1,4 \cdot 10^9 \text{ Pa s/m}^3$$

- c Voor de straal geldt  $R = \frac{8\eta \cdot \ell}{\pi \cdot r^4}$ .

Als de weerstand 2 keer zo klein wordt, wordt  $r^4$  dus 2 keer zo groot.

$$\text{Dus } r = \sqrt[4]{2} = 1,189 \text{ keer zo groot.}$$

$$\text{Afgerond: } 1,2$$

- d  $R_{\text{totaal}} = \frac{\Delta p}{Q}$

Voor de totale geleiding geldt:  $G_{\text{tot}} = G_1 + G_2 + \dots + G_{10}$  met  $G = \frac{1}{R}$

$$\text{Hieruit volgt: } \frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_{10}}$$

$$R_1 = R_2 = \dots = R_9 = R = 1,4 \cdot 10^9 \text{ Pa s/m}^3$$

$R_{10}$  is gehalveerd.

$$R_{10} = 0,7 \cdot 10^9 \text{ Pa s/m}^3$$

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{9}{1,4 \cdot 10^9} + \frac{1}{0,7 \cdot 10^9} = 7,857 \cdot 10^{-9}$$

$$R_{\text{tot}} = 1,2727 \cdot 10^8 \text{ Pa s/m}^3$$

$$Q = 9,1667 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Zie vraag b})$$

$$1,2727 \cdot 10^8 = \frac{\Delta p}{9,1667 \cdot 10^{-5}}$$

$$\Delta p = 1,1667 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$\text{Afgerond: } 1,2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

## Opgave 24

a 
$$U = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_K [K^+]_{\text{buiten}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{buiten}}}{P_K [K^+]_{\text{binnen}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{binnen}}} \right)$$

$P_K : P_{Na} = 100 : 1$   
 $[K^+]_{\text{binnen}} = 150 \text{ mmol/L}$   
 $[K^+]_{\text{buiten}} = 2,0 \text{ mmol/L}$   
 $[Na^+]_{\text{binnen}} = 15 \text{ mmol/L}$   
 $[Na^+]_{\text{buiten}} = 150 \text{ mmol/L}$   
 $R = 8,31446 \text{ Jmol/K}$   
 $T = 10 \text{ }^\circ\text{C} = 10 + 273 = 283 \text{ K}$   
 $F = 9,6485 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$

$$U = \frac{8,31446 \times 283}{9,6485 \cdot 10^4} \ln \left( \frac{100 \times 2 + 150 \times 1}{100 \times 150 + 15 \times 1} \right) = -9,1668 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

Afgerond:  $U = -92 \text{ mV}$

- b De membraanweerstand bereken je met de formule voor membraanweerstand.

$$R_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a \cdot \ell}$$

$\rho_m = 22,6 \text{ M}\Omega\text{m} = 22,6 \cdot 10^6 \Omega\text{m}$   
 $d_m = 8,0 \text{ nm} = 8,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$   
 $a = 37,5 \text{ }\mu\text{m} = 37,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$   
 $\ell = 8,0 \text{ nm} = 8,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

$$R_m = \frac{22,6 \cdot 10^6 \times 8,0 \cdot 10^{-9}}{2\pi \times 37,5 \cdot 10^{-6} \times 8,0 \cdot 10^{-9}} = 9,6 \cdot 10^{10} \Omega$$

c 
$$R_a = \frac{\rho_a \cdot \ell}{\pi \cdot a^2}$$

$\rho_a < \rho_m$   
 $\ell = d_m$   
 $a > \ell$

Dus  $R_a$  is kleiner dan  $R_m$

- d De tijdconstante bereken je met de membraanweerstand en de membraan­capaciteit. De membraan­capaciteit bereken je met oppervlakte van de membraan en de membraan­capaciteit per oppervlakte­eenheid.

De capaciteit van  $1,0 \text{ m}^2$  membraan is  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ F}$

De oppervlakte die je bekijkt is gelijk aan:

$$2\pi \cdot a \cdot \ell = 2\pi \times 37,5 \cdot 10^{-6} \times 8,0 \cdot 10^{-9} = 1,885 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$$

De capaciteit van deze oppervlakte is gelijk aan  $1,885 \cdot 10^{-12} \times 1,2 \cdot 10^{-2} = 2,261 \cdot 10^{-14} \text{ F}$ .

$$\tau = R_m \cdot C_m$$

$$R_m = 9,6 \cdot 10^{10} \Omega$$

$$\tau = R_m \cdot C_m = 9,6 \cdot 10^{10} \times 2,261 \cdot 10^{-14} = 2,171 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$\text{Afgerond: } \tau = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

e 
$$\tau = R_m \cdot C_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a \cdot \ell} \times \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot 2\pi \cdot a \cdot \ell}{d_m} = \rho_m \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$$\tau = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$\rho_m = 22,6 \cdot 10^6 \Omega\text{m}$$

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F m}$$

$$2,2 \cdot 10^{-3} = 22,6 \cdot 10^6 \times 8,854 \cdot 10^{-12} \times \epsilon_r$$

$$\epsilon_r = 10,99$$

$$\text{Afgerond: } \epsilon_r = 11$$



- f De geleidingsnelheid bereken je met de lengteconstante en de tijdconstante.  
De lengteconstante bereken je met de formule voor membraanweertand en de formule voor axiale weerstand.

$$r_m = \frac{\rho_m \cdot d_m}{2\pi \cdot a}$$

$$\rho_m = 22,6 \text{ M}\Omega\text{m} = 22,6 \cdot 10^6 \text{ }\Omega\text{m}$$

$$d_m = 8,0 \text{ nm} = 8,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$a = 37,5 \text{ }\mu\text{m} = 37,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$r_m = \frac{22,6 \cdot 10^6 \times 8,0 \cdot 10^{-9}}{2\pi \times 37,5 \cdot 10^{-6}} = 7,67 \cdot 10^2 \text{ }\Omega\text{m}$$

$$r_a = \frac{\rho_a}{\pi \cdot a^2}$$

$$\rho_a = 0,54 \text{ }\Omega\text{m}$$

$$r_a = \frac{0,54}{\pi \times (37,5 \cdot 10^{-6})^2} = 1,22 \cdot 10^8 \text{ }\Omega\text{m}^{-1}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_a}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{7,67 \cdot 10^2}{1,22 \cdot 10^8}} = 2,507 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$v = \frac{\lambda}{\tau}$$

$$\tau = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$v = \frac{2,507 \cdot 10^{-3}}{2,2 \cdot 10^{-3}} = 1,1397 \text{ m/s}$$

Afgerond:  $v = 1,1 \text{ m/s}$

- g De lengteconstante heeft de meeste invloed. De grootheid  $\rho_m$  komt bij beide constanten in de teller voor. In de lengteconstante komt de dikte van het membraan en de diameter van het axon voor. Beide grootheden hebben een grote invloed op de geleidingsnelheid.