

11 Doe je een druppel rode kleurstof in water, dan zie je dat de druppel steeds groter wordt. De afstand die de rand van de druppel aflegt noem je de diffusieafstand  $s$ . In tabel 2 staat de diffusieafstand van de kleurstof als functie van de tijd.

a Laat zien dat het verband tussen de diffusieafstand en de tijd een wortelverband is.

Voor het verband geldt  $s^2 = 2D \cdot t$ .

b Maak een diagram waarbij je  $s^2$  uitzet als functie van de tijd.

c Toon met behulp van dit diagram aan dat de diffusieconstante voor de rode kleurstof gelijk is aan  $1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Deze waarde kun je gebruiken om de grootte van het molecuul te berekenen. Je gebruikt daarbij de formule die in opgave 8 is gegeven. De gemiddelde viscositeit van de rode kleurstof is  $1,3 \text{ mPa s}$ . De temperatuur van het water is  $20^\circ\text{C}$ .

d Bereken de gemiddelde grootte van de moleculen in de rode kleurstof.

s (mm)	t (h)
0,9	1,0
1,3	2,0
1,6	3,0
1,9	4,0
2,1	5,0
2,3	6,0
2,5	7,0
2,7	8,0
2,8	9,0
3,0	10,0

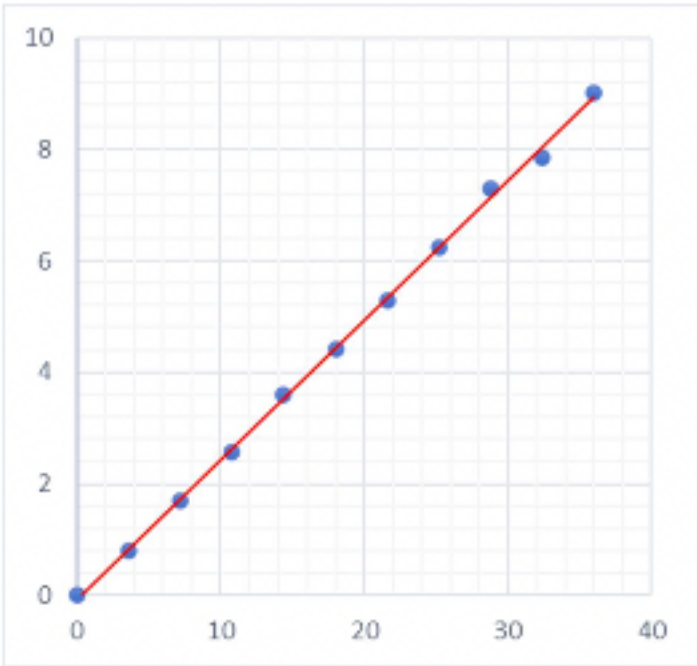
Tabel 2

Opgave 11

- a Voor een wortelverband geldt:  
Als je de  $x$ -waarde  $n^2$  keer zo groot maakt en de  $y$ -waarde wordt  $n$  keer zo groot, dan vormen die grootheden een wortelverband.  
Vergelijk de tijd bij  $s = 0,9 \text{ mm}$  met die bij  $s = 1,9 \text{ mm}$  dan zie je dat de afstand twee keer zo groot is en de tijd vier keer zo groot is  
Hetzelfde zie je als je de tijd bij  $s = 1,3$  vergelijkt met die bij  $s = 2,7$ .  
Dus als de tijd vier keer zo groot wordt, wordt de afstand twee keer zo groot. Dus geldt:  $s \sim \sqrt{t}$ .
- b In tabel 1 is een kolom toegevoegd met de waarden van  $s^2$ .  
In figuur 1 staat het  $(s^2, t)$ -diagram.

s (mm)	t (h)	t (10 <sup>3</sup> s)	s <sup>2</sup> (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> )
0	0,0	0,0	0,0
0,9	1,0	3,6	0,81
1,3	2,0	7,2	1,69
1,6	3,0	10,8	2,56
1,9	4,0	14,4	3,61
2,1	5,0	18,0	4,41
2,3	6,0	21,6	5,29
2,5	7,0	25,2	6,25
2,7	8,0	28,8	7,29
2,8	9,0	32,4	7,84
3,0	10,0	36,0	9,00

Tabel 1



Figuur 1

- c De diffusieconstante volgt uit de steilheid van de grafieklijn.
- steilheid =  $\frac{\Delta s^2}{\Delta t} = 2D$
- steilheid =  $\frac{8,9 \cdot 10^{-6}}{36 \cdot 10^3} = 2,47 \cdot 10^{-10}$
- $2D = 2,47 \cdot 10^{-10}$
- $D = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
- Afgerond:  $1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .
- d De gemiddelde grootte van de moleculen in de rode kleurstof bereken je met de formule voor de diffusieconstante.

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

$k_B = 1,3806488 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$       Zie BINAS tabel 7A.  
 $t = 20^\circ\text{C} = 20 + 273 = 293 \text{ K}$   
 $\eta = 1,3 \text{ mPa s} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$   
 $D = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$   
 $1,2 \cdot 10^{-10} = \frac{1,3806488 \cdot 10^{-23} \times 293}{6\pi \times 1,3 \cdot 10^{-3} \times r}$   
 $r = 1,37 \cdot 10^{-9} \text{ m}$   
Afgerond:  $r = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ .