

Labjournaal PERR

woensdag 10 september 2025 13:59

Explorational questions

$$n(z) = n_0 e^{-\frac{E}{k_B T}} = n_0 e^{-\frac{(m-m_0)gz}{k_B T}} = n_0 e^{-\frac{\frac{1}{6}\pi d^3(\rho-\rho_0)gz}{k_B T}}$$

With ρ the density of the particle and ρ_0 the density of water.

$$z_0 = \frac{k_B T}{(m - m_0)g} = \frac{6k_B T}{\pi d^3(\rho - \rho_0)g}$$

$\Phi = -D \frac{\delta n}{\delta z}$. We beschouwen maar één dimensie als de deeltjesdichtheid enkel afhangt van de hoogte, wat in ons experiment het geval zal zijn.

The terminal velocity v_t of a particle in a viscous medium is $v_t = \frac{(m-m_0)g}{\alpha} = \frac{\frac{1}{6}\pi d^3(\rho-\rho_0)g}{3\pi d\eta} = \frac{d^2(\rho-\rho_0)g}{18\eta}$.

$\phi_{total} = -D \frac{\delta n}{\delta z} - nv_t$, the first part of the equation is the flux through the diffusion, while the second part is caused by the gravity on the particles.

The integral $\int n dV$ gives the amount of particles, so $\frac{\partial}{\partial t} \int n dV$ gives the amount of particles that enter or leave the volume in a given time. The same is to be said about $-\int \vec{\Phi} \cdot dS$, so they are equal. The volume is conserved.

We know that $\frac{\partial}{\partial t} \int n dV = -\int \vec{\Phi} \cdot dS$. We also know that $-\int \vec{\Phi} \cdot dS = -\int \left(-D \frac{\delta n}{\delta z} - nv_t\right) \cdot dS = \int \left(D \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + v_t \frac{\partial n}{\partial z}\right) \cdot dV$ and $\frac{\partial}{\partial t} \int n dV = \int \frac{\partial}{\partial t} ndV$. This gives $\int \frac{\partial}{\partial t} ndV = \int \left(D \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + v_t \frac{\partial n}{\partial z}\right) \cdot dV$, thus $\frac{\partial}{\partial t} n = D \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + v_t \frac{\partial n}{\partial z}$.

The general solution of the $\frac{\partial}{\partial t} n = 0$ is $n(z) = A + Be^{-\frac{v_t z}{D}}$.

In section 2.2 we found that $n(z) = n_0 e^{-\frac{\frac{1}{6}\pi d^3(\rho-\rho_0)gz}{k_B T}}$. If you compare this with the solution of the differential equation, we find that $A = 0$, $B = n_0$, and $\frac{v_t}{D} = \frac{\frac{1}{6}\pi d^3(\rho-\rho_0)g}{k_B T}$. This gives $D = \frac{6v_t k_B T}{\pi d^3(\rho-\rho_0)g}$. Substituting v_t , we obtain $D = \frac{k_B T}{3\pi d\eta}$. Alternatively, we find $D = z_0 v_t$.

Testmetingen

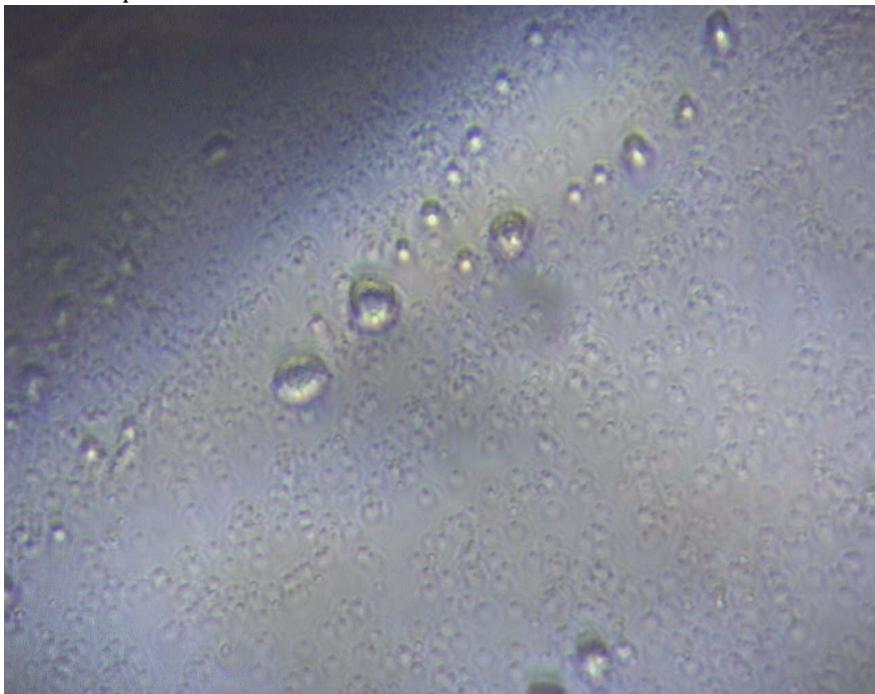
Abeelding 1: Een sample gemaakt met 1% concentratie deeltjes met een deeltjes grote van 500nm





Begonnen met het spelen met de microscoop

Afbeelding 2: Eerste deeltjes gevonden na wat zoekwerk, alles gedaan met de lens N40 x 0,65 van de microscoop.

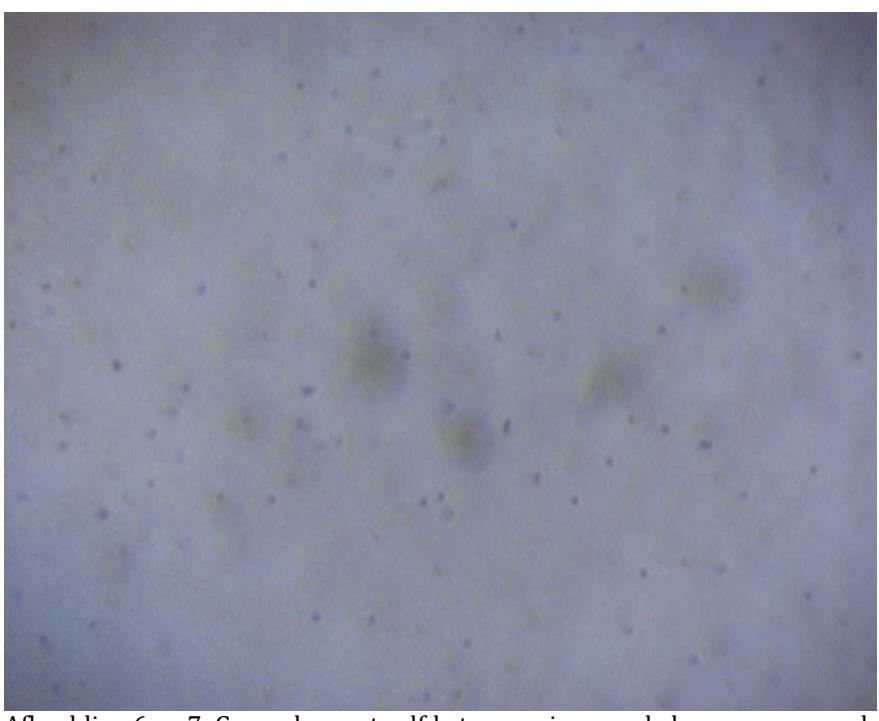
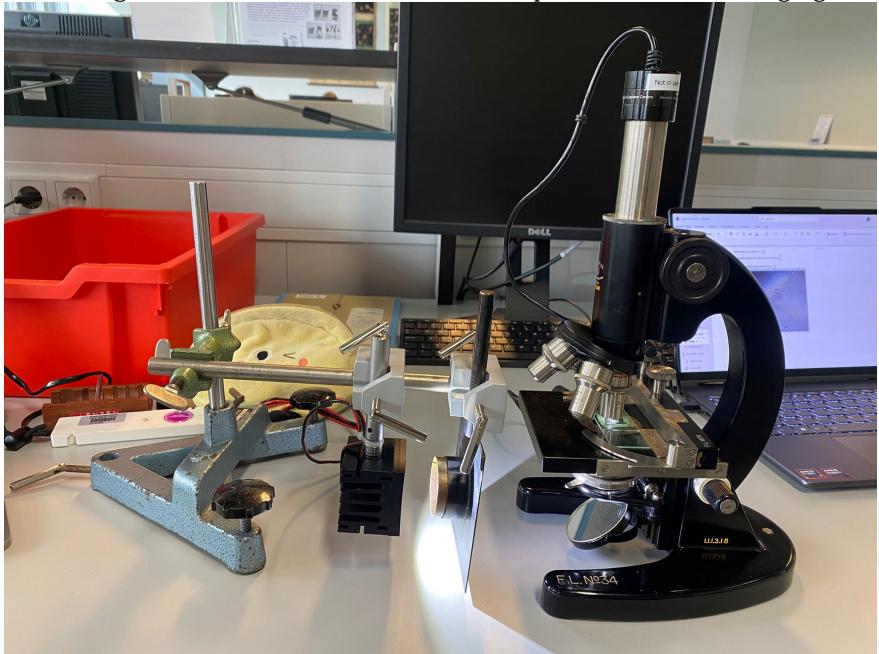


Afbeelding 3: Gevonden met deze opstelling, zonder toegevoegde dingen bij de lamp





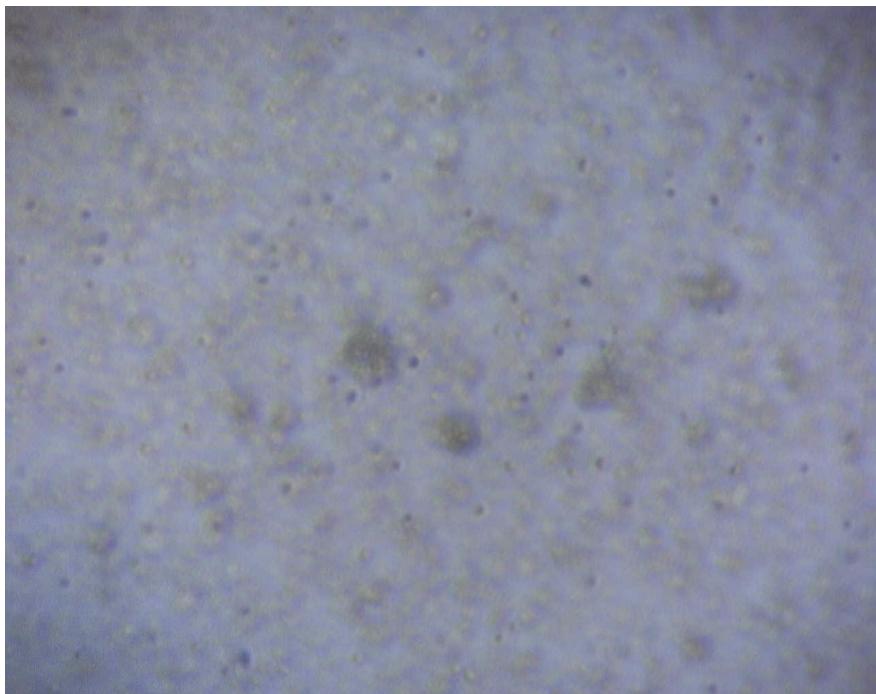
Afbeelding 4 en 5: Gevonden met dezelfde sample, maar licht toevoeging van lens en plaatje



Afbeelding 6 en 7: Gevonden met zeer toevoeging van de lamp maar sample van TA

Conclusie: we hebben een aantal verschillende samples getest. We ontdekten dat we ook met de eerste sample, waarvan wij dachten dat die mislukt was, de bewegende deeltjes konden vinden. Door aan het kleine wiel te draaien kunnen we de hoogte van de tafel aanpassen. Op grotere hoogte vinden we meer deeltjes (we kijken dan dieper, en zwaartekracht trekt de deeltjes naar beneden).

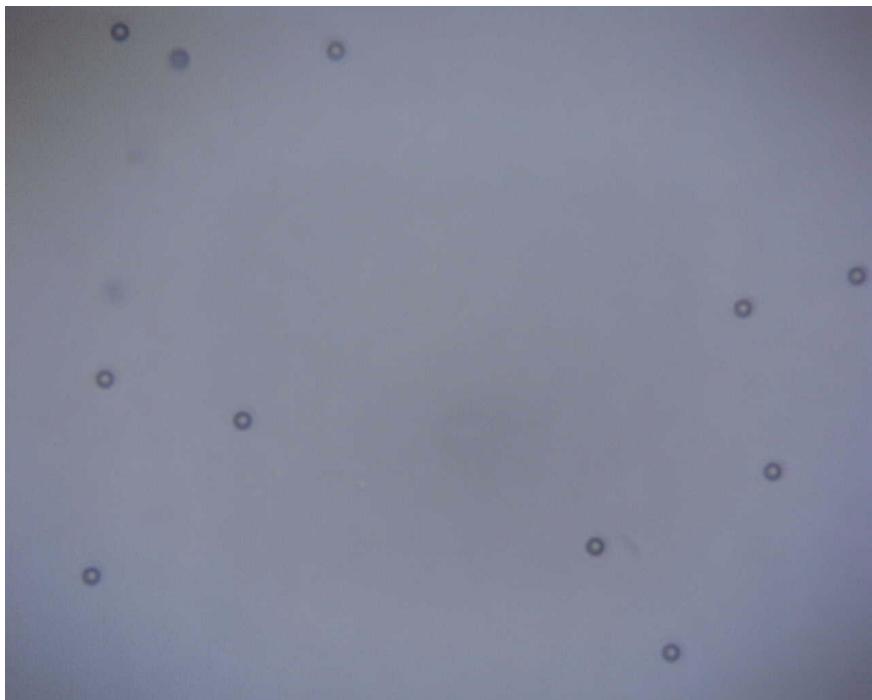
→ Tafel omhoog draaien



Afbeelding 8: Gevonden met toevoeging van lens maar niet plaatje, sample TA



Afbeelding 9: Foto van sample 500 nm met 1% deeltjes dichtheid, deeltjes overlappen elkaar bijna, dus daarom er voor kiezen om de concentratie deeltjes te verlagen



Afbeelding 10: Foto van 2 micrometer met 0,1%

Hierbij is opgevallen dat we maar op 1 a 2 hoogtes iets van deeltjes zien en op de andere hoogtes helemaal niets. Hierdoor is het niet goed mogelijk om z_0 te bepalen en hebben we er voor gekozen om dus niet de relatie tussen D en de deeltjesgrootte te onderzoeken.

Kalibratie

Door vettvlekken te creëren kan je de bovenkant en onderkant van het preparaat vinden met de microscoop. We hebben vervolgens van de bovenkant van het preparaat de hoeveelheid draaiingen van de focussing draaiknop geteld. Doordat we de afstand van de bovenkant van de preparaat tot de onderkant van het kuiltje weten, kunnen we achter de werkelijke hoogteverschil van een hele draaiing komen.

Het zijn $(10 \pm 0,1)$ draaiingen om van de bovenkant tot de onderkant te komen, dit komt overeen met een afstand van $750 \mu\text{m}$. 1 draaiing is op de focussing draaiknop 50 mm. 500 mm op de draaiknop komt dus met $750 \mu\text{m}$ overeen. 1 hele draaiing komt dus overeen met $(75 \pm 6) \mu\text{m}$.

Verder is het voor het werkplan handig om in overweging te nemen dat tijdens de eerste twee draaiingen nog geen deeltjes zichtbaar zijn, dit is voornamelijk doordat je nog kijkt in de laag tussen het dekplaatje en het begin van het kuiltje.

Ook houden we er hier geen rekening mee dat de brekingsindex van het glasplaatjes anders is dan de brekingsindex van het vloeistof, wat wel invloed kan hebben op hoeveel draaiingen we er over doen om van de vettvlek naar het begin van het kuiltje te komen. Hierdoor kan de kalibratie beïnvloedt worden.

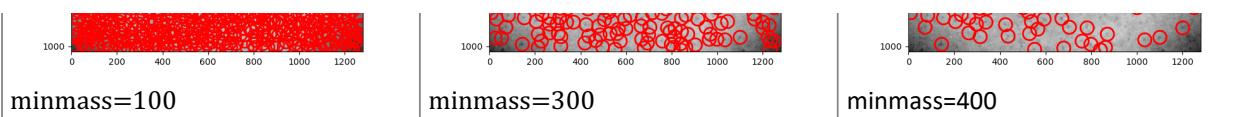
Dekplaatje is $150 \mu\text{m}$, kuiltje is $600 \mu\text{m}$ en glasplaatje is $1000 \mu\text{m}$.

Analys

Tijdens het analyseren van de testmetingen kwamen we tot de volgende bevindingen.

Afbeeldingen 11-13:





We zien dat we bij minmass=100 veel te veel rondjes zien, terwijl dit bij minmass=400 beter lijkt. We zien dat minmass=300 een goede waarde lijkt te zijn. Met minmass=100 vinden we deeltjes die ook net op een andere hoogte plaatsvinden.

Werkplan

Onderzoeksdoel

We willen het verband tussen de diffusiecoefficient en de concentratie van verschillende oplossingen bepalen.

Hypothese

We denken dat de diffusiecoefficient D onafhankelijk is van de concentratie C, aangezien deze niet in de formule $D = \frac{k_B T}{3\pi d\eta}$ voorkomt.

We denken dat de concentratie een verwaarloosbaar kleine invloed zal hebben op de viscositeit.

We verwachten een D-waarde van $(8,64 \pm 0,27) \cdot 10^{-13} m^2/s$ te vinden, gebaseerd op de formule $D = \frac{k_B T}{3\pi d\eta}$

Met $T = 20,9 \pm 0,1^\circ C$ en de overige waardes zoals hieronder beschreven.

Theorie

We gebruiken de theorie uit Explorational Questions. Het getal v_t berekenen we met de hierboven gevonden formule $v_t = \frac{d^2(\rho - \rho_0)g}{18\eta}$. Hier is d de diameter van de deeltjes, ρ de dichtheid van de deeltjes en ρ_0 de dichtheid van het water. Verder is g de gravitatieconstante en η de viscositeit van het water. Het getal d hangt af van het sample dat we gebruiken, de rest beschouwen we als constanten en zullen we opzoeken.

Zij $N(z)$ het aantal deeltjes op hoogte z , dan geldt het verband $N(z) = n(z)V$ met V het volume van het zichtbare gebied. Hiermee en met de formule $n(z) = n_0 e^{-z/z_0}$ vinden we $\log(N) = \log(n_0 V) - \frac{1}{z_0}z$. Omdat we uit ons experiment $N(z)$ per hoogte z vinden, kunnen we zo met een lineaire fit het getal z_0 berekenen.

Met de zo berekende v_t en gevonden z_0 kunnen we de diffusieconstante $D = v_t z_0$ bepalen. Door dit voor verschillende concentraties te doen, kunnen we zo het verband tussen de diffusieconstante D en de concentratie bepalen.

Setup

Opstelling:

Afbeelding 14



In afbeelding 14 is een foto te zien van de opstelling die wij gebruiken. Rechts in de afbeelding is de microscoop zichtbaar en links de lamp. In de tube wordt de DinoEye 3.0 camera bevestigd en verbonden aan de laptop om de deeltjes te zien en de foto's te maken. Verder gebruiken we de objective lens van N40 x 0,65 omdat hier de deeltjes het duidelijkst zichtbaar mee zijn. Om het licht goed te kunnen reguleren en een gelijke bundel licht op de sample te krijgen hebben we voor de microscoop een statief geplaatst met daar aan een lamp gevestigd. Voor de lamp hangt een houder met daarin een lens en diffusieelement. De lichtbundel gaat

dus eerst door de lenzen en dan via de spiegel naar de sample. Verder zit in het programma ook al een lichtverwerking die het licht zo goed mogelijk automatiseerd.

Constanten en onzekerheden

Volgens de fabrikant van de polystyreneerdeeltjes hebben de deeltjes een dichtheid van $\rho = 1.05\text{g/cm}^3$. We schatten de onzekerheid op 0.005g/cm^3 . Zo krijgen we $\rho = (1.05 \pm 0.005)\text{g/cm}^3$. Voor water nemen we $\rho_0 = (0.9982 \pm 0.0001)\text{g/cm}^3$, die we uit Binas 6e druk gehaald hebben. De valversnelling is $g = (9.871 \pm 0.001)\text{m/s}^2$, die we hebben van https://en.wikipedia.org/wiki/Gravity_of_Earth#Comparative_values_worldwide. De viscositeit is $\eta = (1.0016 \pm 0.0005)\text{mPa s}$, volgens <https://wiki.anton-paar.com/en/water/>.

De diameters en hun onzekerheden halen we uit onderstaande tabel, die we gekopieerd hebben uit de instructies van het experiment (pagina 7).

Diameter d (μm)	Standard deviation σ_d (μm)	Concentration w/v (%)
0.51	0.01	2.6
0.746	0.022	2.6
0.99	0.03	2.6
1.93	0.054	2.6

Met al deze waarden berekenen we v_t . De onzekerheid van v_t vinden we door de onzekerheden van deze waarden te propageren. De onzekerheid van z_0 volgt uit de ODR-fit die we op onze data willen uitvoeren. Door deze twee te propageren vinden we uiteindelijk de onzekerheid van D.

Systematische afwijkingen

Wanneer we metingen doen, spelen systematische afwijkingen een belangrijke rol. Een van de belangrijkste zit in de hoogte z. De hoogte kunnen we namelijk niet heel precies vaststellen: er zit altijd een foutmarge in de meting en de brekingsindex van het glas. Om hiervoor te compenseren zullen we een relatief grote onzekerheid toedichten aan de waarde z (dit staat bij kalibratie).

Methode

Er zijn vier dingen die we willen bepalen voor onze meting:

- Hoevaak willen we elk preparaat op een hoogte meten?
- Hoeveel en op welke hoogtes willen we elk preparaat meten?
- Welke deeltjesgroottes willen we gebruiken?
- Welke concentraties willen we gebruiken?

Aangezien we een verband tussen D en de concentratie deeltjes willen aantonen, willen we zoveel mogelijk deeltjesconcentraties gebruiken. Er zijn er vijf beschikbaar, waarvan we er 4 willen gaan gebruiken. Uit testmetingen zijn namelijk gekomen dat je bij de concentratie van 0,01% nogenoeg geen deeltjes ziet waaruit we goed de z_0 kunnen berekenen. Omdat D afhangt van de deeltjesgrootte, doen we de metingen maar met 1 deeltjesgrootte. We hebben gekozen voor 500 nm, omdat uit testmetingen gebleken is dat deze goed werken en er minder kans is op botsingen tussen deeltjes.

We willen 3 uur besteden aan het uitvoeren van de metingen. Er zijn 4 concentraties die we willen onderzoeken. Om de deeltjes zo goed mogelijk te kunnen tracken met trackpy en zo precies mogelijk hoeveelheid deeltjes per hoogte te kunnen meten, nemen we meerdere foto's per hoogte. Hiermee kan je deeltjes die overlappen of net niet gepakt worden er zo goed mogelijk uitfilteren. In 3 uur kunnen we per concentratie 20 hoogtes onderzoeken en dan 50 foto's maken per hoogte met 1 minuut 40 seconden per foto op een timelaps stand van de DinoEye camera. Per hoogte doen we er dan 2 minuten over en per sample dus iets meer dan 33 minuten. Met het verstellen van de microscoop per hoogte kost het onderzoeken van een sample dus ongeveer 35 minuten. De overige 40 minuten worden besteed aan het wisselen van de samples en het vinden van de bovenkant de sample en andere dingen die tussendoor kunnen komen.

We meten per preparaat van boven naar beneden.

Terwijl een sample gemeten wordt, kunnen we al beginnen met het analyseren van de metingen van de vorige sample.

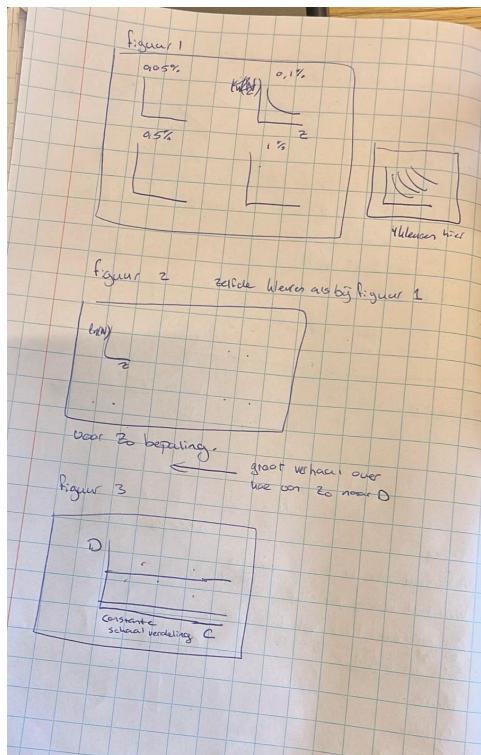
Omdat de deeltjes in een sample wel een paar uur nodig hebben om langzaam naar beneden te verplaatsen, is het handig om de samples minimaal een dag van te voren gemaakt te hebben. Ideaal is twee dagen.

Voor het uitvoeren van de metingen: maak een vetvlek op de bovenkant van je sample zodat deze vindbaar is onder de microscoop en stel het beeld scherp. Draai de focussing draaiknop drie keer helemaal rond, zodat de objecttafel omhoog beweegt en de deeltjes zichtbaar zijn. Vanaf deze hoogte kunnen de metingen, zoals hierboven beschreven staat, uitgevoerd worden. Herhaal dit met alle 4 de samples.

Valse positieve deeltjes filteren we er uit door op een plek waar we geen deeltjes verwachten te kijken hoeveel deeltjes trackpy aanwijst. Deze hoeveelheid trekken we per hoogte van het gemiddelde aantal deeltjes af.

Grafieken

- Met verschillende concentraties z tegen N uitzetten
- z tegen $\log N$
- Diffusieconstante D tegen concentratie C uitzetten



Wat nog te doen voor werkplan/ andere belangrijke dingen:

- Beginnen met analyse programmeren
- Preparaten maken

Discussie

Botsingen deeltjes wel invloed op viscositeit?

Aantekeningen tijdens uitvoeren metingen:

- Hoogte 290mm 1% Jeroen laat telefoon op tafel vallen

Hoogte 330 mm 1% Amber stoot knie tegen tafel

1%:

Begin vet vlek op 30 - 2 draaiingen en dan bij 10 beginnen met maken van foto's.

Na stoppen met foto's maken konden we nog 35 ± 10 mm draaien totdat je helemaal geen deeltjes meer zag.
Van boven tot onder is dat 565 ± 10 mm

0.5%

Begin vet vlek op 0 - 2 draaiingen en dan bij 20 beginnen met foto's maken, oftewel na 120 mm

Na stoppen konden we nog 90 ± 10 mm verder draaien, van boven tot onder is dat dus 590 ± 10 mm

0.1%

Begin vet vlek op 0 - 2 draaiingen en dan bij 30 beginnen met foto's maken, oftewel na 130 mm

Na stoppen konden we nog 40 ± 10 mm verder draaien, van boven tot onder is dat dus 570 ± 10 mm

0.05%

Begin vet vlek op 0 - 2 draaiingen en dan bij 30 beginnen met foto's maken, oftewel 130 mm

Na stoppen konden we nog 35 ± 10 mm verder draaien, van boven tot onder is dat dus 545 ± 10 mm