

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Levende cellen, Gedachte-experimenten en Menselijke machines

Sanne Dekker, Hanne Kause & Jan van Baren-Nawrocka (redactie)

Hoofdstuk 2: Levende cellen



Colofon

Redactie: dr. Sanne Dekker, drs. Hanne Kause & drs. Jan van Baren-Nawrocka

Opmaak: Jimmy Israël MSc

Druk en afwerking: Tuijtel, Hardinxveld-Giessendam

Coverfoto's: Jimmy Israël MSc, © WKRU

Eerste druk, januari 2021

ISBN: 978-90-830422-2-0

NUR-code: 190

Wilt u een exemplaar bestellen?

Ga naar: www.wkru.nl/boek

Uitgave:

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

FNWI, postvak 77

Postbus 9010

6500 GL Nijmegen

Nederland

E-mail: infowkru@ru.nl

Telefoon: 024 366 72 22

Internet: www.wkru.nl; www.wetenschapdeklasin.nl



2021 Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

Dit werk is gelicenseerd onder de licentie Creative Commons Naamsvermelding-NietCommercieel-GelijkDelen 4.0 Internationaal.

Ga naar <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.nl> voor meer informatie over deze licentie.

Voor afbeeldingen gelden andere licentievoorwaarden; zie foto- en illustratieverantwoording achterin dit boek (p.130).

Hoofdstuk 2 Levende cellen namaken

In dit hoofdstuk beschrijven we een project onderzoekend leren met als thema 'Levende cellen namaken'. Het thema is gebaseerd op het onderzoek van dr. Evan Spruijt en zijn team naar het namaken van levende cellen. Het hoofdstuk bestaat uit twee delen. In paragraaf 2.1 leggen de onderzoekers uit hoe je een cel kunt namaken met zo weinig en eenvoudig mogelijke middelen. Daarnaast beschrijven ze hoe ze ervoor zorgen dat de namaakcellen lang genoeg blijven bestaan om ze te bestuderen. En hoe ze ontdekten dat ze met behulp van eiwitmoleculen de namaakcellen kunnen uittrekken en in tweeën laten delen, net als een echte cel. Leraren kunnen deze paragraaf gebruiken om zichzelf en hun leerlingen inhoudelijk voor te bereiden op het thema. In paragraaf 2.2 beschrijven we diverse activiteiten waardoor leerlingen dit thema in de klas kunnen ervaren en inspiratie kunnen opdoen voor hun eigen onderzoek. Deze activiteiten zijn onderdeel van stap 1 en 2 ('introductie' en 'verkennen') van het onderzoekend leren. We raden leraren aan om de 'Leidraad onderzoekend leren' (Van Baren-Nawrocka & Dekker, 2019)  als uitgangspunt te nemen bij de uitvoering van dit project in de klas. Hierin staat een uitgebreide beschrijving van de zeven stappen van onderzoekend leren.

Kerdoelen voor dit thema

Natuur en techniek

41. De leerlingen leren over de bouw van planten, dieren en mensen en over de vorm en functie van hun onderdelen.
42. De leerlingen leren onderzoek doen aan materialen en natuurkundige verschijnselen, zoals licht, geluid, elektriciteit, kracht, magnetisme en temperatuur.

Radboud Science Team 'Levende cellen namaken'

Het project 'Levende cellen namaken' is in het schooljaar 2019-2020 ontwikkeld door een team van onderzoekers van de Radboud Universiteit, basisschoolleraren en het WKRU. Het Radboud Science Team 'Levende cellen namaken' bestond uit de volgende personen:

Onderzoekers Radboud Universiteit

Dr. Evan Spruijt (universitair docent), Alain André MSc (promovendus), Merlijn van Haren MSc (promovendus). Alle drie zijn werkzaam bij de onderzoeksgroep Fysisch Organische Chemie binnen het Institute for Molecules and Materials van de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica.

School

Basisschool de Geldershof in Lent: Judith Offermans, Anello van Ekeren en Sasja Willems (leraren).

WKRU

Miriam de Boer en Hanne Kause (projectleiders).



Dr. Evan Spruijt

"Ik was lange tijd op school een van de kleinste kinderen van de klas. Inmiddels ben ik helemaal niet meer zo klein, maar toen heb ik vaak gedacht dat ik graag wat harder wilde groeien. Toch dacht ik er niet meteen aan om cellen na te maken die zelf kunnen groeien en delen. Als kind vond ik alles leuk wat met puzzelen of knutselen te maken had. Op school sprak scheikunde me het meest aan, omdat je daarbij leert hoe je met atomen en moleculen uiteindelijk nieuwe stoffen en materialen kunt maken. Tijdens mijn studie moleculaire wetenschappen in Wageningen ontdekte ik dat ik het vakgebied dat precies tussen scheikunde, natuurkunde en biologie in zit het meest fascinerend vind: met simpele formules en de chemische eigenschappen van moleculen voorspellen waarom dingen in de natuur werken zoals ze werken. Ik begon aan een promotieonderzoek over geladen moleculen die aan elkaar plakken en zo een perfecte onderwaterlijm maken voor borstelwormen, mossels en andere waterdieren. Tijdens mijn promotie kwam ik er toevallig achter dat als je de interactie tussen deze moleculen net iets zwakker maakt, er makkelijk kleine druppels (coacervaten) ontstaan die sterk lijken op de binnenkant van een levende cel. Na mijn promotieonderzoek verdiepte ik me verder in het onderzoek met emulsies en eiwitten, eerst in Parijs en later in Oxford. Nu heb ik een eigen onderzoeksgroep aan de Radboud Universiteit waar we coacervaat-druppels gebruiken om de werking en het ontstaan van cellen beter te begrijpen door processen uit levende cellen na te bootsen in kleine druppels." (Foto: Jimmy Israël)

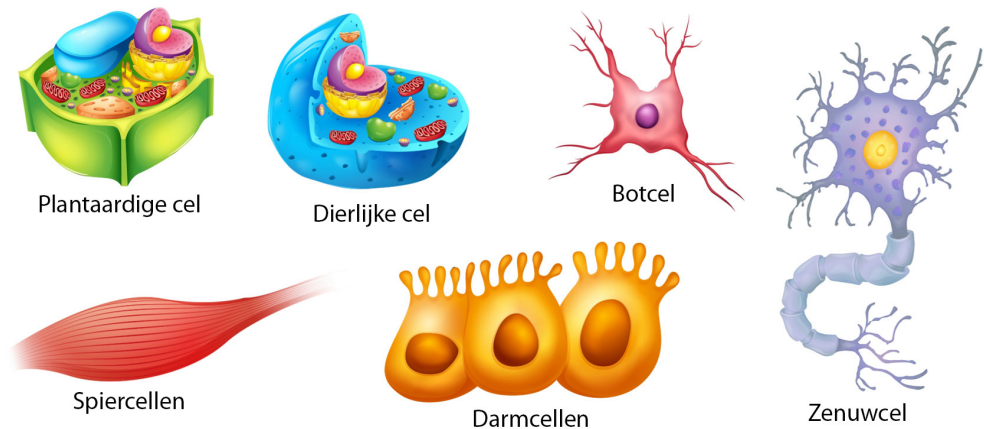
2.1 Onderzoek naar het nabootsen van celdeling van levende cellen

Dr. Evan Spruijt, Alain André MSc en Merlijn van Haren MSc

Cellen zijn de bouwstenen van leven, en vormen het onderscheid tussen levende en niet-levende dingen. Alles wat levend is, bestaat uit één of meerdere cellen. Denk aan jezelf, maar ook aan dieren, vissen, planten en bacteriën. Ook bij sommige voedingsmiddelen, zoals yoghurt, brood of bier, zijn levende cellen betrokken. In yoghurt zitten bacteriën die zorgen dat het zuurder smaakt. En om brood te bakken en bier te maken heb je gistcellen nodig.

Cellen bestaan in veel verschillende soorten. Alleen al in ons lichaam is er een groot aantal verschillende soorten cellen te onderscheiden. Denk bijvoorbeeld aan huidcellen, zenuwcellen, botcellen of darmcellen. Al die soorten cellen verschillen in vorm, functie en structuur. Een belangrijke overeenkomst is dat de meeste cellen heel klein zijn: onze eigen cellen zijn typisch zo'n drie tot vijf keer kleiner dan de dikte van een haar. Bacteriecellen zijn het kleinst: die kunnen wel honderd keer kleiner zijn dan de dikte van een haar. Om cellen goed te kunnen zien heb je dus een microscoop nodig (zie Achtergrondinformatie 'Cellen bekijken met een microscoop').

Toch hebben al die soorten cellen uiteindelijk meer overeenkomsten dan verschillen ten opzichte van elkaar. Zo bevatten bijna alle cellen een kopie van het DNA, de code waarin alle genetische informatie over ons lichaam is opgeslagen. Daarnaast zijn cellen omringd door een celmembraan, een soort zakje dat alle moleculen waaruit een cel is opgebouwd bijeenhoudt (zie Achtergrondinformatie 'Moleculen'). Tot slot kunnen bijna alle cellen zich vermenigvuldigen door te groeien en delen. Celdeling is één van de belangrijkste eigenschappen van cellen.



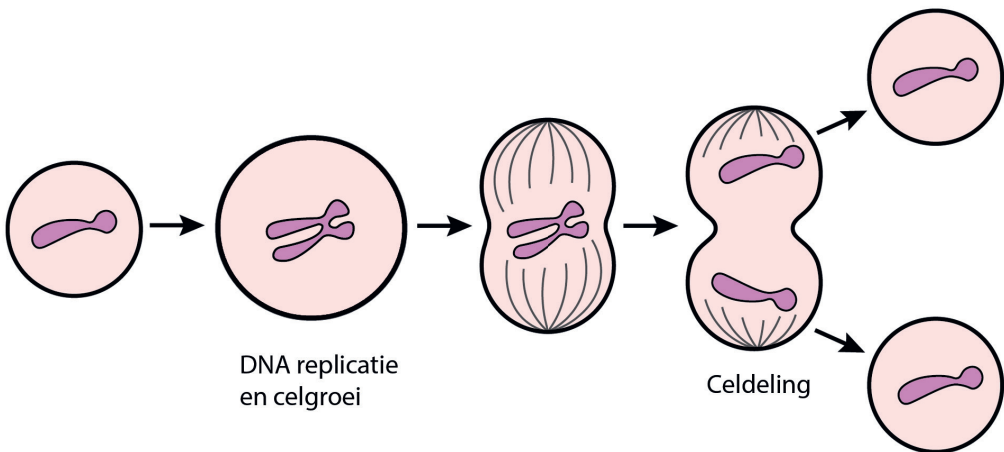
Een aantal voorbeelden van cellen. Plantaire cellen verschillen van dierlijke cellen door hun dikke celwand (groen) die bij dierlijke cellen ontbreekt. Binnen ons lichaam bestaan er verschillende cellen, zoals botcellen, spiercellen, darmcellen en zenuwcellen. (Afbeelding: @brgfx)

Celdeling

Als je wilt groeien, moeten je cellen zich vermenigvuldigen. Dat gebeurt doordat de cellen zelf groeien en in tweeën delen. Uit één cel ontstaan zo twee nieuwe cellen. Een kind van twaalf jaar heeft ongeveer 16 biljoen menselijke cellen. Dat is ongeveer evenveel als het aantal vellen papier dat je nodig hebt om een stapel van hier tot de maan en terug te maken. Daarnaast bevinden zich nog eens 23 biljoen bacteriële cellen in de darmen. Dit aantal cellen is twee keer zo groot als bij een kind van zes jaar oud, en vier keer zo groot als bij een kind van één jaar oud. Als je steeds verder teruggaat, dan zou je uiteindelijk uitkomen bij één enkele cel, van waaruit al je cellen zijn ontstaan.

Deze eerste cel had nog geen specialisatie, zoals een huidcel of botcel. Cellen zonder specialisatie noemen we stamcellen. Door heel vaak te vermenigvuldigen en te specialiseren, is deze eerste stamcel uitgegroeid tot een mens. Het vermenigvuldigen van een cel gebeurt meestal volgens een vast patroon. Eerst groeit de cel. Tijdens het groeien maakt de cel een kopie van het DNA. De twee kopieën van het DNA worden vervolgens zo verdeeld dat er in beide helften precies één volledige kopie aanwezig is. Tot slot splitst de cel zich op in tweeën en kan de celdeling weer van voren af aan beginnen.

Ook als je niet meer groeit, blijven veel cellen zich vermenigvuldigen. Door te vermenigvuldigen, worden nieuwe cellen bijgemaakt die de oude of beschadigde cellen kunnen vervangen. Dit gebeurt vooral veel bij celtypes die snel slijten, zoals je huid- en bloedcellen. Celdeling is dus een belangrijke eigenschap van cellen die nodig is om te groeien en om gezond te blijven. Maar wat je nu precies nodig hebt om een cel te laten groeien en delen, dat weten we niet.



Een schematische weergave van celdeling (Afbeelding: Alain André)

Namaken is begrijpen

De beroemde natuurkundige Richard Feynman zei ooit: “als ik iets niet kan (na)maken, dan begrijp ik niet goed hoe het werkt.” Door iets na te maken of na te bouwen, begrijp je beter hoe iets werkt en in elkaar zit. Denk bijvoorbeeld aan een klok met wijzers: als je wilt weten hoe een klok werkt,

moet je deze eerst uit elkaar halen om de radertjes te zien en te voelen, en weer in elkaar zetten. Scheikundigen doen hetzelfde met cellen. Door de cellen waaruit wij zelf bestaan te proberen na te maken, proberen onderzoekers beter te begrijpen hoe levende cellen werken en hoe deze mogelijk zijn ontstaan.

Maar hoe maak je een levende cel eigenlijk na? Daarvoor zouden we moeten weten wat de essentiële onderdelen van een cel zijn, dus de eenvoudigste combinatie van onderdelen die met elkaar een levende cel oplevert. De losse onderdelen waar een cel uit bestaat heten moleculen (zie Achtergrondinformatie 'Moleculen'). De meeste dingen om ons heen bestaan uit een verzameling van verschillende soorten moleculen: zo vormen watermoleculen, suikermoleculen en wat kleur- en smaakmoleculen samen limonade. Een cel bestaat uit een nog veel groter aantal verschillende moleculen, en het is een grote uitdaging om erachter te komen welke soorten moleculen je op zijn minst nodig hebt om een cel na te maken.

Er zijn grofweg twee manieren om daarachter te komen. Aan de ene kant kun je beginnen met een bestaande, levende cel en daar steeds een paar onderdelen uit halen, totdat de cel zich niet meer gedraagt als een levende cel. Aan de andere kant kun je beginnen met de losse moleculen en die in verschillende combinaties bij elkaar doen, totdat je iets gemaakt hebt dat eruitziet en zich gedraagt als een levende cel. In de wetenschap worden beide invalshoeken onderzocht en men verwacht dat de onderzoekers elkaar uiteindelijk in het midden zullen tegenkomen bij een zo eenvoudig mogelijke levende cel met alleen de meest essentiële onderdelen.

In ons laboratorium in Nijmegen hebben we gekozen voor de tweede aanpak, waarbij we een cel proberen na te maken door de juiste onderdelen bij elkaar te brengen. We gaan daarbij stapsgewijs te werk: onze groep onderzoekt voor elk van de eigenschappen van een cel wat er nodig is om die na te bootsen. Een van de meest uitdagende eigenschappen om na te bootsen is dat een cel zich in tweeën kan delen. Wij hebben een combinatie van moleculen gevonden waarmee we dat kunnen nabootsen.

Druppels als cellen

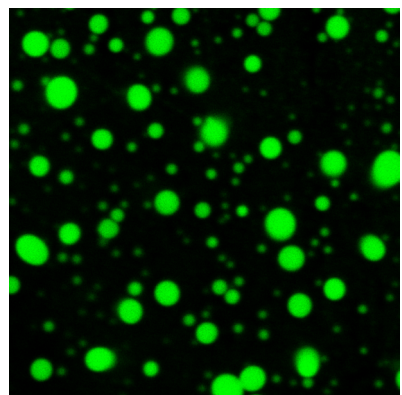
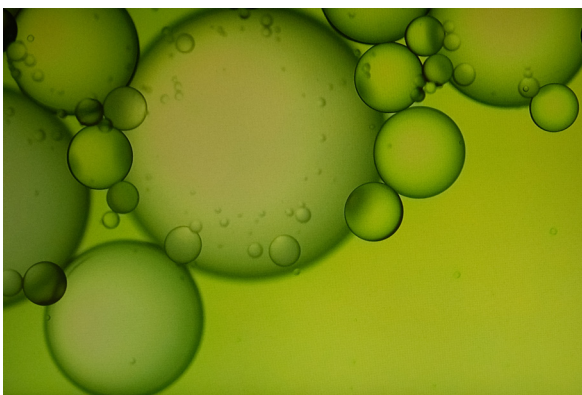
Hoe maken wij cellen precies na? Laten we daarvoor eerst kijken naar hoe een cel er precies uit ziet. Als je goed naar cellen onder een microscoop kijkt (zie Achtergrondinformatie 'Cellen bekijken met een microscoop'), dan zie je dat veel cellen een ronde of ovale vorm hebben (er zijn ook cellen met een veel grilligere vorm). Vaak zie je ook een duidelijke grens tussen wat er binnenin de cel zit en wat zich buiten de cel bevindt. Met fluorescentiemicroscopie, een speciale techniek waarbij je bepaalde moleculen in de cel een kleurtje geeft, zou je bovendien nog kunnen zien dat de meeste moleculen binnenin de cel vrij kunnen bewegen. Dit wijst erop dat een cel binnenin vloeibaar is. Je kunt dit vergelijken met een glas water waar je limonadesiroop aan toevoegt. Door het verspreiden van de kleurstofmoleculen zie je dat het mengsel van water met limonadesiroop vloeibaar is.

Het is heel belangrijk dat de moleculen die binnenin een cel zitten bij elkaar blijven, ondanks dat ze vrij kunnen bewegen, en dat ze niet mengen met de vloeistof buiten de cel. Om de moleculen bij elkaar te houden, zou je een soort beschermend zakje om de moleculen heen kunnen maken, net als het celmembraan dat om levende cellen zit. Maar het is ook mogelijk om de moleculen bij elkaar te houden door te zorgen dat ze een beetje aan elkaar vastplakken. In dat geval vormen de moleculen samen een soort druppeltjes die niet mengen met de vloeistof aan de buitenkant, en die qua vorm

en grootte lijken op levende cellen. Je kunt zulke druppels vergelijken met druppels van olie in water die ontstaan als je olie en water bij elkaar doet en dan schudt. Het troebele, ondoorzichtige “mengsel” dat je krijgt als je olie en water schudt heet een emulsie (zie Achtergrondinformatie ‘Mengen en emulsies’). Die troebelheid ontstaat doordat de vele kleine oliedruppeltjes niet met water mengen: in dit mengsel zijn de moleculen dus eigenlijk helemaal niet gemengd! Een bekend voorbeeld van een emulsie is vinaigrette.

Helaas zijn olie en water alleen niet heel geschikt om levende cellen mee na te maken. Dat komt onder andere doordat de oliedruppels in water vrij snel na schudden alweer verdwijnen en er dus niet genoeg tijd is om de druppels te bestuderen. Doordat de oppervlaktespanning tussen olie en water te hoog is (zie Achtergrondinformatie ‘Oppervlaktespanning’), vloeien de oliedruppels in water vrij snel samen tot steeds grotere druppels, tot ze uiteindelijk als een dikke laag olie op het water drijven. Een andere reden waarom olie en water alleen niet geschikt zijn om levende cellen na te maken, is dat oliemoleculen helemaal niet lijken op de moleculen die in een cel zitten. Daarom hebben wij onderzocht welke moleculen, die wel voorkomen in een cel, aan elkaar plakken en dus druppels kunnen vormen in water; en welke van deze moleculen bovendien een lage oppervlaktespanning hebben.

Wij hebben ontdekt dat bepaalde moleculen heel geschikt zijn om cellen na te maken, omdat nagmaakte cellen met deze moleculen precies dezelfde concentratie water bevatten en dezelfde dichtheid hebben als veel levende cellen. Hiervoor gebruikten we twee langgerekte moleculen met een tegengestelde lading (de ene plus, de ander min). We ontdekten dat deze twee moleculen genoeg aan elkaar plakken om bij elkaar te blijven, en dat ze kleine druppels vormen die wel water bevatten, maar toch niet mengen met water, net als de moleculen in een levende cel. Bovendien blijven deze druppels lang genoeg stabiel om ze te bestuderen. Deze druppels heten coacervaten (zie Achtergrondinformatie ‘Coacervaten’). Het zijn eigenlijk net oliedruppels, omdat ze ook niet met water mengen. Maar in plaats van olie bestaan deze druppels uit een mengsel van water en geladen moleculen.



*Met druppels olie in water (links) of coacervaten (rechts) kun je cellen nabootsen. De druppels zijn ongeveer even groot als menselijke cellen.
(Foto's: zie foto- en illustratieverantwoording)*

Uitrekken met eiwitten

In ons onderzoek probeerden we de celdeling van levende cellen na te bootsen. Om het in tweeën delen van de coacervaten (onze namaakcellen) na te bootsen, hebben we een extra soort molecuul toegevoegd. Dit molecuul is een eiwit (zie Achtergrondinformatie 'Eiwitten') dat zich in de juiste omgeving aaneenrijgt tot lange eiwitstaafjes. Omdat onze namaakcellen geen beschermend zakje hebben, maar bij elkaar gehouden werden door plakkende moleculen, konden de eiwitmoleculen zonder probleem de cellen binnenkomen en daar aaneenrijgen tot staafjes.

We hebben onderzocht wat er met de druppels gebeurde als ze steeds verder uitgerekt werden door de eiwitstaafjes. Dat deden we door steeds meer eiwitmoleculen aan de druppels toe te voegen en met een microscoop te bekijken wat er met de cellen gebeurde. We zagen dat druppels die ver genoeg uitgerekt waren, vanzelf in tweeën deelden. Uit één druppel ontstonden zo twee nieuwe druppels, die op hun beurt ook weer opgerekt werden en in tweeën konden delen. Onze synthetische cellen hielden dit een keer of vijf vol, omdat ze niet meer konden groeien tijdens of na het delen, zoals levende cellen vaak wel doen. Dat betekent dat ze door te delen steeds een beetje kleiner werden totdat ze te klein waren om nog in tweeën te kunnen delen. Ondanks dat de synthetische cellen slechts een aantal keer konden delen, hebben we ruim voldoende verschillende delende synthetische cellen kunnen zien en opmeten. Daar hebben we veel van geleerd, zoals hoeveel er precies nodig is van alle moleculen om de cellen te laten delen, en hoe ver de cel precies moet uitrekken voordat er deling plaatsvindt.

Resultaat van het onderzoek

Wij hebben dus een unieke combinatie van moleculen gevonden waarmee we delende cellen kunnen namaken. Dit is een belangrijke stap op weg naar het namaken van een complete cel. Op dit moment kunnen we nog geen complete levende cel namaken in het laboratorium en dat zal waarschijnlijk ook nog wel even duren. Er zijn nog een heleboel eigenschappen van cellen die we nog niet kunnen nabootsen, zoals de groei, de opslag van energie en de aanmaak van een aantal essentiële eiwitmoleculen.

Uiteindelijk denken we dat wetenschappers wel in staat zullen zijn om levende cellen na te maken, als de inzichten vanuit verschillende invalshoeken worden gecombineerd. Begrijpen we dan eindelijk echt hoe een cel werkt? Dat zal ervan afhangen in hoeverre deze synthetische cel lijkt op een levende cel. Maar het begrijpen van cellen is niet het enige voordeel van cellen namaken. Synthetische cellen die zichzelf kunnen vermenigvuldigen kun je ook gebruiken om bijvoorbeeld patiënten te behandelen. In ons lichaam delen cellen bijvoorbeeld om wondjes te helen en ons gezond te houden. Met goed ontworpen synthetische cellen kun je mensen helpen genezen die ernstig gewond zijn geraakt, of die ergens pijn hebben. Wat dacht je bijvoorbeeld van een vanzelf groeiend been, een nieuwe heup, of misschien wel een nieuw hart van synthetische cellen? Daarnaast zouden de synthetische cellen een mogelijke rol kunnen spelen bij het schoonmaken van ons afvalwater, het verminderen van onze luchtvervuiling, of het bestrijden van ziekmakende bacteriën. Al deze toepassingen zijn nog ver weg, maar om daar te komen, moeten we nu leren hoe je de verschillende eigenschappen van cellen het beste kunt nabootsen.

Onderzoek naar het maken van een zelfdelende synthetische cel

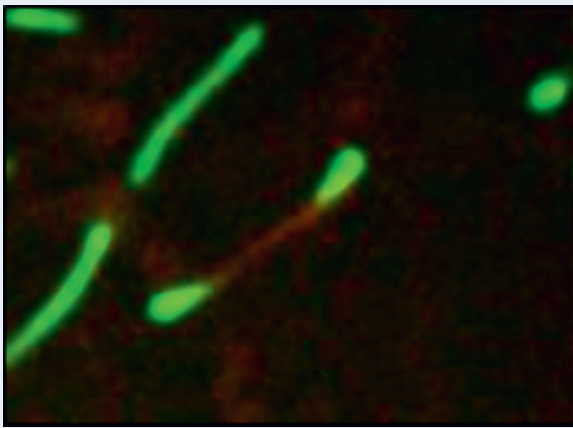
In onderstaand kader geven dr. Evan Spruijt en zijn team een voorbeeld van hoe zij onderzoek hebben gedaan naar het maken van een zelfdelende synthetische cel. Ze beschrijven hun onderzoeksvraag, de manier waarop ze deze vraag probeerden te beantwoorden, de resultaten die het onderzoek opleverde en de vervolgvragen die het onderzoek opriep. Hiermee willen we het verband laten zien tussen de aanpak van een onderzoeker en die van de leerlingen.

Onderzoeksvraag	Hoe maak je een zelfdelende synthetische cel? Om beter te begrijpen hoe levende cellen werken en wat de meest essentiële onderdelen zijn die nodig zijn voor een levende cel, proberen wetenschappers cellen na te maken die een of meerdere eigenschappen van levende cellen bezitten. In ons onderzoek richten we ons op de eigenschap dat cellen zichzelf kunnen vermenigvuldigen door te delen.
Hypothese	Door de juiste moleculen bij elkaar te brengen, kun je druppels laten ontstaan die qua grootte en samenstelling sterk lijken op levende cellen. Als je zulke druppels zou kunnen oprekken door er een molecuul aan toe te voegen dat in de druppels wordt opgenomen en dat zelf steeds langer wordende vezels maakt, dan zullen de druppels uiteindelijk in tweeën splitsen.
Hoe doen we dit onderzoek?	We kiezen twee moleculen met tegengestelde lading, en observeren hoe deze moleculen samenkomen in kleine druppels onder de microscoop. Daarna zochten we uit wanneer de druppels het meest stabiel en het langst te observeren zijn. Dat deden we door de oplossing waarin de druppels zaten langzaam te veranderen door zout of magnesium toe te voegen en de zuurgraad en temperatuur te verhogen of verlagen. Vervolgens voegden we het FtsZ-eiwit toe, waarvan bekend was dat het zelf vezels kan vormen, en bekeken we onder de fluorescentiemicroscoop of het eiwit in de druppels werd opgenomen, en wat er gebeurde met de druppels als het eiwit vezels begon te vormen. We maten van alle zichtbare druppels op hoe groot ze waren en hoe ver ze waren opgerekt. Om onszelf ervan te overtuigen dat het oprekken van druppels tot deling kan leiden, maakten we ook een computermodel van onze oprekende druppels.
Resultaten	We ontdekten dat de druppels die we gebruikten het meest stabiel zijn bij weinig zout en magnesium en neutrale zuurgraad. Het FtsZ-eiwit werd heel gemakkelijk opgenomen in de druppels en de vorming van vezels was duidelijk zichtbaar onder de microscoop. We zagen dat druppels die ver genoeg waren opgerekt vanzelf in tweeën opsplitten, en dat de twee helften weer verder konden oprekken tot ze ver genoeg waren opgerekt om vervolgens weer te delen.
Conclusie	Het is mogelijk om een zelfdelende druppel te maken die veel overeenkomsten heeft met een levende cel. Hiervoor heb je een beperkt aantal moleculaire ingrediënten nodig. Belangrijk is dat de moleculen sterk genoeg aan elkaar plakken om stabiele druppels te maken, en om een eiwit op te nemen.
Wat betekenen deze resultaten voor het dagelijks leven van kinderen?	Doordat we nu een zelfdelende synthetische cel kunnen maken, zijn we een klein stapje dichterbij het maken van een complete synthetische cel. Als het ooit lukt om een complete synthetische cel te maken, dan zou je die bijvoorbeeld kunnen gebruiken om een hele diepe wond sneller te genezen, of om kinderen waarvan hun hart of nieren niet helemaal goed werken te helpen met een op maat gemaakte nieuwe nier of hart. Daarnaast kun je mogelijk de synthetische cellen zo ontwerpen dat ze ons afvalwater helpen schoonmaken, onze luchtvervuiling verminderen, of ziekmakende bacteriën helpen bestrijden.
Wat willen we nog meer onderzoeken?	Er zijn nog een heleboel eigenschappen van cellen die we nog niet kunnen nabootsen, zoals de groei, de opslag van energie en de aanmaak van een aantal essentiële eiwitmoleculen. Hoe kunnen we ook deze eigenschappen namaken in een druppeltje dat zoveel mogelijk lijkt op een levende cel?

ACHTERGRONDINFORMATIE

Cellen bekijken met een microscoop

Om de synthetische cellen te bestuderen, gebruiken we vaak een microscoop. Met een lichtmicroscoop kun je voorwerpen zo klein als een paar honderd nanometer zichtbaar maken, dat is ruim honderd keer kleiner dan de dikte van een haar. In ons laboratorium gebruiken we behalve gewone lichtmicroscopen ook fluorescentiemicroscopen waarmee we kunnen zien waar moleculen die we van tevoren een kleurtje hebben gegeven zich bevinden: bijvoorbeeld binnen in een (synthetische) cel of daarbuiten. Let wel, we kunnen de moleculen zelf niet zien, maar door de kleur kunnen we wel zien waar ze zich bevinden. We hebben de synthetische cellen met een lichtgevoelige camera gefilmd nadat we de eiwitmoleculen hebben toegevoegd, waardoor we konden vastleggen dat de namaakcellen uittrekken en in tweeën delen.



*Een synthetische cel is bezig in tweeën te delen
(zie filmpje [📺](#)) (Afbeelding: Esra te Brinke)*

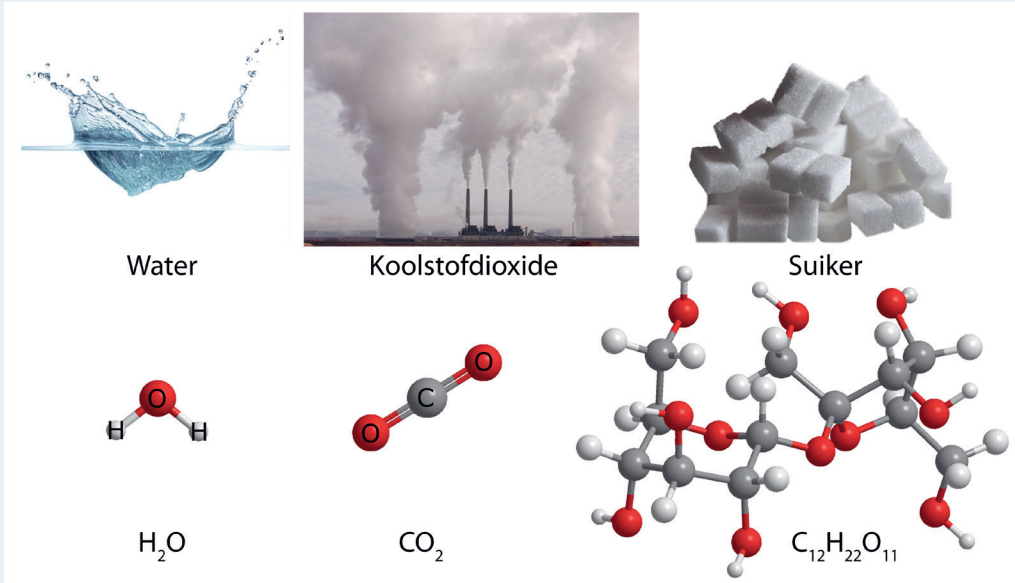
Moleculen

Moleculen zijn de bouwstenen waaruit alles om ons heen is opgebouwd. Zo bestaat het water dat je drinkt uit watermoleculen, de lucht die je inademt uit een mengsel van zuurstof- en stikstofmoleculen, en een suikerklontje uit suikermoleculen. De meeste moleculen zijn zo klein dat je ze zelfs met een microscoop niet kunt zien. In één waterdruppel zitten ongeveer anderhalf triljard watermoleculen, dat zijn er meer dan alle zandkorrels op Texel bij elkaar.

Al deze moleculen zijn zelf ook weer opgebouwd uit nog kleinere onderdelen, die atomen heten. Een atoom kun je je voorstellen als een klein bolletje, en een molecuul dus uit een bouwwerk van deze kleine bolletjes. Neem bijvoorbeeld het molecuul CO_2 , ook wel koolstofdioxide genoemd. Dit molecuul bestaat uit een koolstofatoom (C) en twee zuurstofatomen (O). Een groter molecuul zoals suiker is opgebouwd uit 12 koolstofatomen (C), 22 waterstofatomen (H) en 11 zuurstofatomen (O). Nog grotere moleculen zoals eiwitten kunnen zelfs uit een combinatie van meer dan tienduizend atomen bestaan.

Moleculen verschillen dus van elkaar door de bouwstenen waaruit ze zijn opgebouwd. Ook hun eigenschappen verschillen. Een van deze eigenschappen is de oplosbaarheid van een molecuul in water. Dat wil zeggen dat de moleculen van de betreffende stof zich gelijkmatig verdelen tussen de watermoleculen. Een suikermolecuul kan bijvoorbeeld goed oplossen in warm water, wat

je gemakkelijk kan testen door een suikerklontje in je thee te doen. Na een paar minuten is het suikerklontje helemaal verdwenen en zullen alle suikermoleculen gelijk verdeeld zijn door je hele kopje thee. Als je een krijtje in je kopje thee doet, zal je het nooit zien verdwijnen. Dit komt omdat calciumcarbonaat, de moleculen waaruit krijt is opgebouwd, heel slecht oplossen in zuiver water of thee. In citroenthee of azijn lost een krijtje beter op.

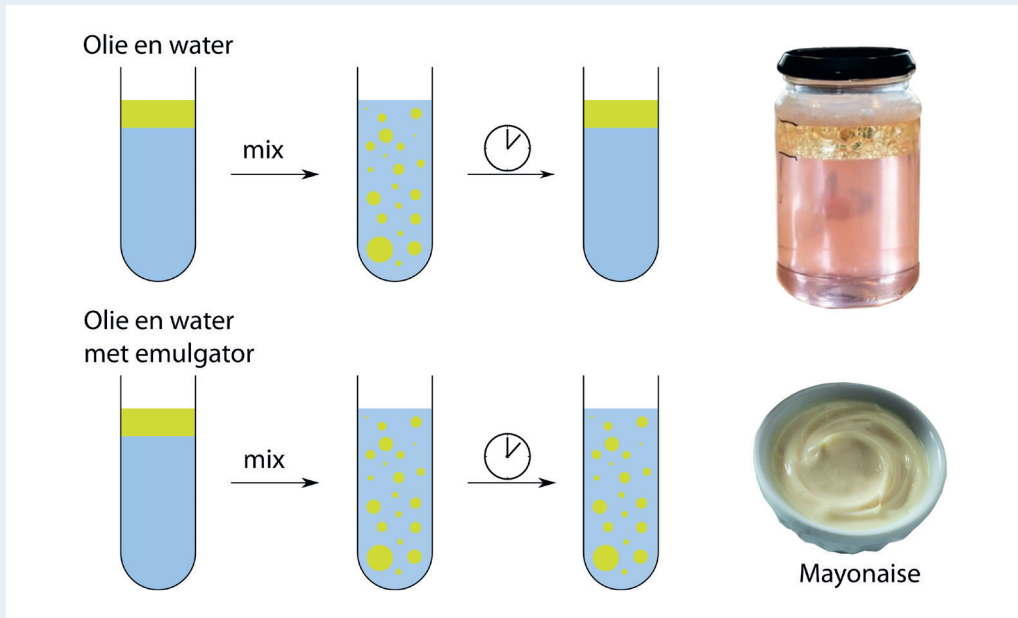


Enkele moleculen en hun verschijningsvormen (Afbeelding door auteurs)

Mengen en emulsies

Je hebt vast wel eens rode en gele limonade gemengd om oranje limonade te krijgen. De verschillende soorten limonade zijn allebei waterige oplossingen, dus ze kunnen goed met elkaar mengen en vormen samen één oplossing waarin alle verschillende moleculen gelijk zijn verdeeld over het glas. Niet alle vloeistoffen kunnen goed met elkaar mengen: olie en water vormen bijvoorbeeld twee lagen. De lichte olie drijft bovenop en het zwaardere water zinkt naar beneden. De moleculen van beide vloeistoffen zijn dan niet gelijkmatig over het glas verdeeld. Als je hard roert of schudt in een beker met olie en water zullen er allemaal kleine oliedruppeltjes ontstaan die door het water 'zweven'. Als je dan even wacht zullen al die druppeltjes weer samenvloeien tot er weer een laag olie boven op het water gevormd is.

Een 'mengsel' van twee vloeistoffen die eigenlijk niet goed mengen noemen we een emulsie. Een emulsie is niet stabiel als de twee vloeistoffen snel weer ontmengen in twee aparte lagen. Om te zorgen dat de druppeltjes in een emulsie (van bijvoorbeeld olie in water) zo lang mogelijk blijven bestaan, en de emulsie zo lang mogelijk stabiel is, wordt er vaak gebruik gemaakt van een emulgator. Die emulgator mengt met zowel olie als water en zorgt ervoor dat de oliedruppeltjes gestabiliseerd worden en niet meer samenvloeien. Een voorbeeld van een emulsie die je vast wel kent is mayonaise. Mayonaise bestaat uit olie, water en eigeel als emulgator. Dankzij het eigeel blijft de mayonaise dus mooi gemengd in plaats van dat er een laag water en olie ontstaat.



Een emulsie zonder emulgator blijft niet lang stabiel. Een emulsie met een goede emulgator, zoals in mayonaise, kan heel lang stabiel blijven. (Afbeelding door auteurs)

Oppervlaktetension

Als je een sloot of vijver van heel dichtbij bekijkt, dan zal je zien dat er van alles op het water blijft drijven. Een stuk hout blijft bijvoorbeeld op het water drijven, omdat het lichter is dan water. Als je het helemaal onder water duwt, komt het vanzelf weer naar boven. Er zijn echter ook dingen die blijven drijven, terwijl ze eigenlijk zwaarder zijn dan water, zoals paperclips of punaises. Dit komt door de oppervlaktetension van water. Krachten tussen watermoleculen zorgen ervoor dat het wateroppervlak zich gedraagt als een veerkrachtige laag. Bepaalde insecten, zoals schaatsenrijders, maken hier gebruik van, waardoor ze over water heen kunnen lopen zonder te zinken. Wanneer zo'n insect op het water staat kun je goed zien dat het oppervlak van het water lijkt op een strakgetrokken deken.

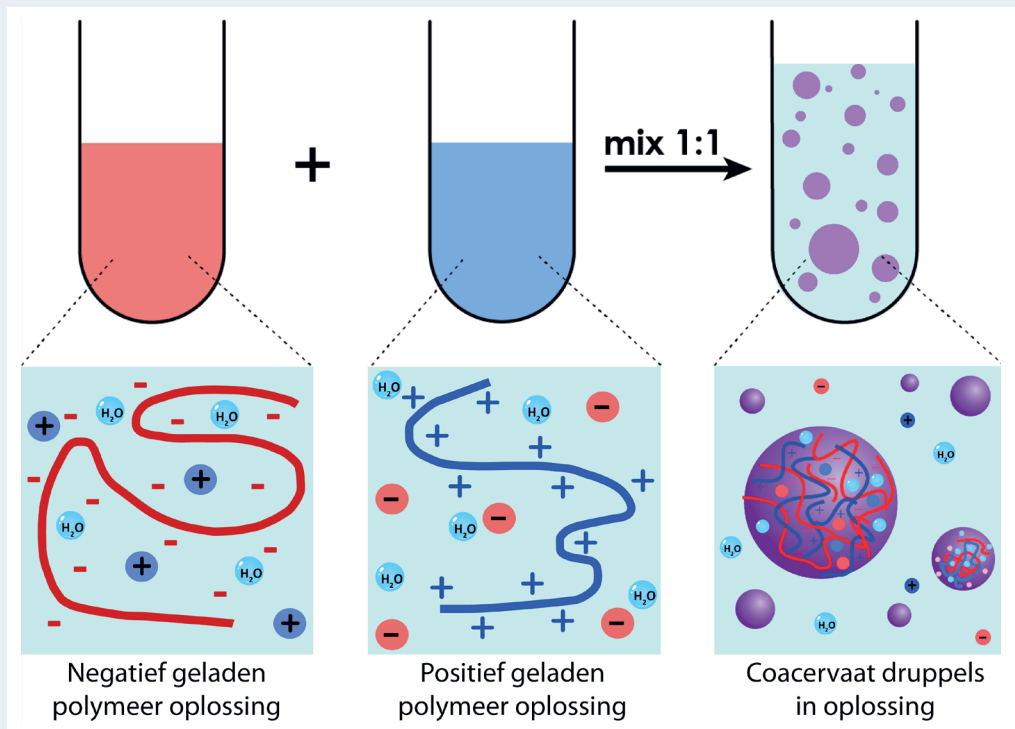


Een schaatsenrijder kan over water lopen (Foto: Jasmin990)

Net als water hebben alle oppervlakken een oppervlaktespanning vanwege de krachten tussen de moleculen in de stof. Ook het oppervlak tussen twee vloeistoffen, zoals olie en water (zie 'Mengen en emulsies'), heeft een oppervlaktespanning. Van de meeste vloeistoffen is de oppervlaktespanning lager dan die van water. Olie is daar een voorbeeld van, vandaar dat een paperclip niet op olie kan drijven. Sommige moleculen kunnen de oppervlaktespanning van water verlagen, doordat ze zich aan het oppervlak ophopen. Dezelfde moleculen kunnen meestal ook de oppervlaktespanning tussen water en olie verlagen, en dat zijn vaak goede emulgatoren.

Coacervaten

Coacervaten zijn druppels die bestaan uit een opgelost molecuul (bijvoorbeeld een eiwit of een groot suikermolecuul) en een oplosmiddel (vaak water) dat hetzelfde is als de vloeistof aan de buitenkant van de druppels. Coacervaten zijn goed te vergelijken met oliedruppels in water, omdat er zowel aan de binnen- als aan de buitenkant een vloeistof zit. Deze vloeistoffen mengen niet met elkaar: beide fasen zijn gescheiden. Daarom is er in beide gevallen sprake van een emulsie (zie Achtergrondinformatie 'Mengen en emulsies'). Zowel bij coacervaten als bij oliedruppels in water zorgen de druppels ervoor dat het mengsel troebel lijkt. Toch verschillen coacervaten van oliedruppels in water omdat in een coacervaat hetzelfde oplosmiddel aanwezig is als aan de buitenkant van de druppels (vaak water), terwijl dit in het geval van olie in water niet zo is. Dat een coacervaat toch niet met het water aan de buitenkant mengt komt door de opgeloste moleculen. Vaak worden hiervoor twee langgerekte moleculen met een tegengestelde lading (de ene plus, de ander min) gebruikt (zie de afbeelding hieronder).

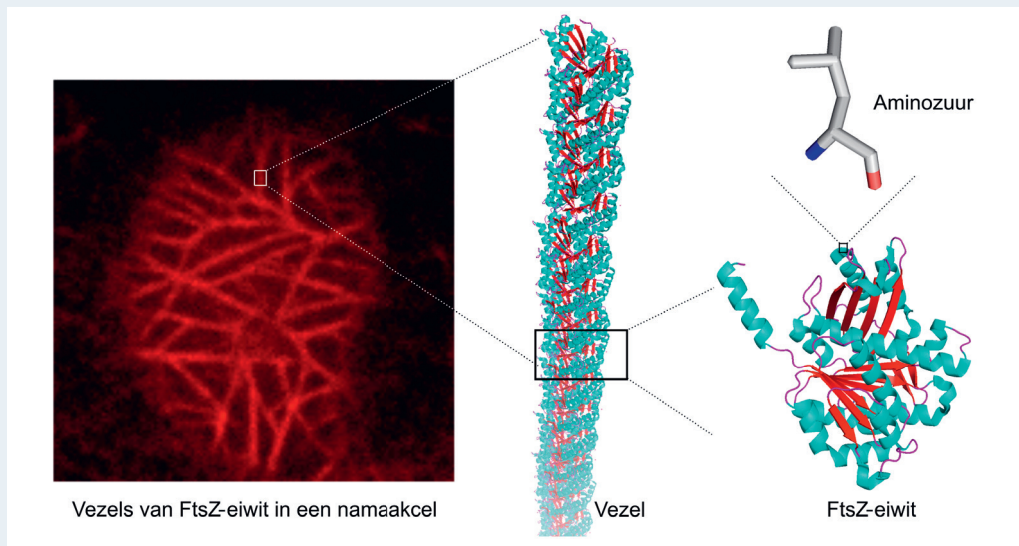


Twee in water opgeloste polymeren met tegengestelde ladingen worden met elkaar gemengd. Hierdoor ontstaan druppels die rijk zijn aan polymeren, maar nog steeds water als oplosmiddel hebben. Deze druppels noemen we coacervaten.

De Nederlandse scheikundige Hendrik Bungenberg-de Jong (1867-1938) beschreef voor het eerst dat wanneer je twee van zulke langgerekte moleculen (eiwitten of polymeren) met tegengestelde lading met elkaar mengt in water, er een troebele vloeistof ontstaat. Met behulp van een microscoop observeerde hij talloze kleine druppeltjes in de troebele vloeistof: de coacervaten. Om coacervaten te maken heb je moleculen met precies de juiste hoeveelheid lading nodig. De ladingen werken als een soort magneten die elkaar aantrekken. Wanneer de ladingen te sterk zijn, dan klontert het geheel tot één massa, wat een vaste stof wordt. Eiwitten of polymeren met precies de juiste lading vormen een netwerk, waarbij continu verbindingen worden gemaakt en verbroken. Dit resulteert in een druppel die nog steeds veel water bevat, net als een cel, en ongeveer dezelfde dichtheid heeft als veel levende cellen.

Eiwitten

Een eiwit (of proteïne) is een heel groot molecuul waarvan de basiseenheden aminozuren heten, die weer uit verschillende atomen bestaan. In de natuur komen twintig verschillende soorten aminozuren voor. Omdat een eiwit typisch uit zo'n driehonderd aminozuren bestaat, en er voor elk aminozuur keuze is uit twintig soorten, kun je nagaan dat er heel veel combinaties mogelijk zijn. Daarmee is gedeeltelijk te verklaren dat eiwitten hele complexe functies kunnen hebben, zoals het reguleren van de celhuishouding. Er is bijna geen proces in de cel te vinden waar geen eiwit bij betrokken is. Eiwitten kunnen dienen als bouwstoffen, afweerstoffen of signaalmoleculen, maar ze kunnen ook het transport binnen de cel reguleren en celprocessen/stofwisseling regelen.



Het eiwit FtsZ kan aaneenrijgen tot lange vezels, die duidelijk te zien zijn in onze namaakcellen (Afbeelding: Esra te Brinke en Evan Spruijt)

Cellen hebben een inventieve manier om precies te reguleren welke eiwitten geproduceerd moeten worden. In de celkern zit namelijk alle genetische informatie, het DNA, en de cel geeft aan welk gedeelte afgelezen moet worden om een specifiek eiwit te bouwen. De genetische code geeft vervolgens de volgorde van de aminozuren aan die samen het eiwit vormen. In ons onderzoek keken we naar het eiwit FtsZ, dat uit 383 aminozuren bestaat. Een speciale eigenschap van dit eiwit is dat het lange vezels kan vormen door aaneenrijging. Deze vezels spelen een rol bij het delen van bacteriecellen.

Verder lezen, kijken en luisteren

Onderstaande links staan ook op de website www.wetenschapdeklasin.nl bij dit thema. ●

Video's WKRU

- Videoportret Evan Spruijt bij uitreiking Radboud Science Awards 2019 ●
- Lezing voor kinderen door Evan Spruijt bij uitreiking Radboud Science Awards 2019 ●

Over het onderzoek van Evan en zijn team

- Een filmpje van een synthetische cel die zich in tweeën deelt ●

Over cellen

- Filmpje van SchoolTV over celdeling, soorten cellen en celdeling, van 0:46 tot 2:23 ●
- Filmpje van SchoolTV over wat cellen zijn, waar je ze in het lichaam vindt en waarom ze delen, tot 1:13 ●
- Filmpje van SchoolTV waarin verschillende soorten cellen te zien zijn van planten, bacteriën en dieren vanaf 2:47 ●
- Filmpje van Klokhuis over wat leven is en wat cellen zijn ●

Over mengsels

- SchoolTV over mengsels (middelbare school) ●
- Filmpje van SchoolTV over het scheiden van een mengsel van verschillende vloeistoffen ●

Proefjes

- Proefje scheiden en mengen (in het Engels) ●
- Proefje oppervlaktespanning (proef 6) ●
- Proefje emulsies stabiliseren ●
- Proefje emulsies stabiliseren (in het Engels) ●
- Proefje over de dichtheid van vloeistoffen (in het Engels) ●
- Proefje over een emulgator (in het Engels) ●
- Proefje om een lavalamp te maken door bubbels water die bewegen in olie (in het Engels) ●

Boeken van de bibliotheek voor kinderen

- Arnold, Nick (2005). Waanzinnig om te weten: Mega mooie minimonsters
- Biskup, Agnieszka (2015). Een veranderlijke wereld
- Bommer, Annerose (2002). Aan de slag met de microscoop
- Boulard, Denis (2009). Het wonder van de zwangerschap
- Owen, Ruth (2019). Leeft het of niet?
- Schutten, Jan Paul (2015). Het wonder van jou en je biljoenen bewoners
- Spilsbury, Louise & Spilsbury, Richard (2016). Cellen
- Verweij, Arno (2015). Proefjesboek
- Zeitoun, Charline (2009). Kijk eens door de microscoop

Prijswinnend wetenschappelijk artikel waarop het project is geïnspireerd:

Te Brinke, E., Groen, J., Herrmann, A., Heus, H.A., Rivas, G., **Spruijt, E.** & Huck, W.T.S. (2018). Dissipative adaptation in driven self-assembly leading to self-dividing fibrils. *Nature Nanotechnology*, 13, 849-855.

2.2 Onderzoek naar levende cellen namaken de klas in!

Radboud Science Team 'Levende cellen namaken'

Deze paragraaf beschrijft hoe je in de klas een project onderzoekend leren kunt opzetten bij het thema 'Levende cellen namaken'. Je vindt hier diverse activiteiten voor de introductie en verkenning van het project. Deze activiteiten zijn als eerste uitgevoerd bij basisschool de Geldershof in Lent.

Alle activiteiten samen vormen een beeld van het onderzoek naar levende cellen namaken dat in de voorgaande paragraaf staat beschreven. De relatie tussen de activiteiten en het onderwerp staat steeds expliciet uitgeschreven onder het kopje 'Verbinding met het thema'.

De online bijlagen waar bij verschillende activiteiten naar wordt verwezen, zijn te vinden op onze website www.wetenschapdeklasin.nl. Dit symbool  verwijst naar deze website.

Deze activiteiten zijn onderdeel van stap 1 en 2 ('introductie' en 'verkennen') van het onderzoekend leren. We raden leraren aan om de 'Leidraad onderzoekend leren' (Van Baren-Nawrocka & Dekker, 2019)  als uitgangspunt te nemen bij de uitvoering van dit project in de klas. Hierin staat een uitgebreide beschrijving van de zeven stappen van onderzoekend leren.



Leerlingen van de Geldershof onderzoeken samen met een leerkracht cellen van diverse organismen onder een 'digitale microscoop' (Foto: Jimmy Israël)



Stap 1. Introductie

Tijdens de introductiefase komen leerlingen voor het eerst in aanraking met een onderwerp. Het doel is hen te prikkelen en nieuwsgierig te maken naar het onderwerp.

INTRODUCTIEACTIVITEIT: **BROCCOLI-EFFECT**

De leerlingen verdelen een broccoli in steeds kleinere stukken, tot ze het niet kleiner kunnen maken.

Doel

Leerlingen weten dat cellen microscopisch klein zijn.

Duur

15 minuten

Werkvorm

Individueel of in tweetallen

Benodigheden

Per leerling of tweetal

- Kleine stronk broccoli
- Schilmesje

Activiteit

Iedere leerling of tweetal krijgt 1 stronk broccoli. De leerlingen verdelen de broccoli met de hand in stukken. Hoe vaak kunnen ze een stuk van de broccoli af halen, terwijl het nog steeds op een stronk lijkt? De leerlingen leggen de stukken neer van groot naar klein. Sta stil bij hoe klein het kleinste stuk is. Vraag de leerlingen om te proberen of ze het kleinste stukje nog kleiner kunnen snijden met het mesje. Zonder de broccoli vast te houden natuurlijk!

Afronding

Laat de leerlingen vertellen hoe het ging. Hoe klein konden ze de broccoli maken, zodat het nog steeds herkenbaar was als een stronkje? Geef aan wat de verbinding is tussen het kleiner maken van de broccoli en het thema 'Levende cellen namaken'. Vertel dat cellen nog veel kleiner zijn dan het allerkleinste stukje dat ze van de broccoli kunnen snijden. Cellen zijn zelfs zo klein dat je ze niet met het blote oog kunt zien. En toch zijn alle levende dingen die we om ons heen zien, ook jijzelf, helemaal van cellen gemaakt.

Verbinding met het thema

Eén van de eigenschappen van cellen is dat ze heel klein zijn. Zeker bij het onderzoek naar cellen is dat een belangrijk gegeven, omdat het veel invloed heeft op hoe je cellen kunt onderzoeken.



Stap 2. Verkenning

In de verkenningfase gaan de leerlingen het thema breed verkennen. Dit is het moment waarop de inhoudelijke basis voor het project wordt gelegd. Het gaat er in deze fase om dat leerlingen op verschillende manieren kennis opdoen over het thema. De kern van de verkenning bestaat uit het doen van activiteiten, die leerlingen soms in groepjes en soms klassikaal uitvoeren. Het is belangrijk dat je als leraar telkens de verbinding legt tussen de activiteit en wat daaruit te leren valt over het thema. Bij iedere activiteit is deze verbinding beschreven.

Zorg daarnaast dat je het thema ook overkoepelend goed toelicht en uitlegt aan de leerlingen. Je kunt daarvoor de lezing voor kinderen gebruiken die de onderzoeker eerder heeft gegeven  en de informatie die in paragraaf 2.1 beschreven staat.

Subthema's

Het onderverdelen van het hoofdthema in subthema's kan leerlingen helpen om bij stap 3 een onderzoeksvraag te formuleren. Subthema's geven meer houvast, omdat ze vaak minder abstract zijn dan het hoofdthema. Bovendien zorgt het uitvoeren van activiteiten van verschillende subthema's voor meer diversiteit tussen de eigen onderzoeksvragen van de leerlingen. We hebben daarom ook binnen dit thema een aantal subthema's aangebracht. Per activiteit is aangegeven bij welk subthema ze passen:

- Eigenschappen van cellen
- Eigenschappen van vloeistoffen
- Levende cellen namaken



Een leerling van de Geldershof snijdt geconcentreerd een stukje broccoli zo klein mogelijk (Foto: Jimmy Israël)

ACTIVITEIT 1: HOE ZIET EEN CEL ERUIT?

Leerlingen ontdekken hoe cellen eruitzien door verschillende cellen van verschillende organismen te bekijken.

Subthema

Eigenschappen van cellen

Doel

De leerlingen ontdekken een aantal verschillen (kleuren, vormen) tussen cellen.

Duur

45 minuten

Werkvorm

In tweetallen

Benodigheden

Per tweetal:

- Computer met daarop een browser met Adobe Flash Player. Open in de browser de digitale microscoop en afbeeldingen van cellen van een vinger, bloed en huid ②.
- Afbeeldingen van cellen (geprint in kleur of digitaal via zip-bestand) ②
- Werkblad 'Hoe ziet een cel eruit?' ②

Vorbereiding

Probeer van tevoren uit of de digitale microscoop goed werkt op de computers en de beschikbare browser. Als het niet werkt, probeer een andere browser en check of Adobe Flash Player geïnstalleerd is. Zet vast drie tabbladen klaar met de afbeeldingen voor de digitale microscoop.

Activiteit

Vertel de leerlingen dat ze in gaan zoomen op bepaald weefsel en organismen, waardoor ze cellen kunnen zien die met het blote oog niet zichtbaar zijn. Zorg ervoor dat de leerlingen bij alle afbeeldingen van cellen weten naar wat voor cellen van wat voor organisme ze aan het kijken zijn. Dit is vooral belangrijk bij de afbeeldingen die ze met de digitale microscoop bekijken, omdat het daar niet boven staat. Vertel de leerlingen dat ze in tweetallen naar de cellen mogen kijken. Laat de leerlingen ondertussen het werkblad invullen.

Afronding

Vraag wat de leerlingen opviel aan de cellen, hoe zagen ze eruit? Was het hoe ze verwachtten dat het eruit zou zien? Welke verschillen hebben ze gezien tussen de cellen?

Verbinding met het thema

Cellen zijn de bouwstenen van organismen. In deze activiteit bekijken leerlingen verschillende cellen door een microscoop. Ze leren dat cellen zo klein zijn dat ze niet met het blote oog waarneembaar zijn. Cellen zien er verschillend uit, maar al deze cellen leven: ze kunnen groeien en delen.

Tips

- Als je beschikking hebt over echte microscopen, kun je de activiteit ook daar mee uitvoeren. Zorg dan voor organische materialen voor onder de microscoop, zoals uien, planten, wortels, slootwater, algen, preparaten van bloed of dierlijke weefsels.
- In plaats van de door ons uitgezochte plaatjes voor de digitale microscoop, kun je via een website [ook zelf ander menselijk weefsel uitzoeken](#) om onder de digitale microscoop te leggen.



Leerlingen van de Geldershof ontdekken dat cellen er heel verschillend uit kunnen zien (Foto: Jimmy Israël)

ACTIVITEIT 2: BOUWEN MET CELLEN

Leerlingen simuleren het proces van celdeling en -groei met klei en bouwen hun eigen organisme.

Subthema

Eigenschappen van cellen

Doelen

- Leerlingen leren dat cellen de bouwstenen zijn van levende organismen.
- Leerlingen leren hoe celdeling en -groei werkt.
- Leerlingen krijgen een beeld van de schaalgrootte van cellen.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In tweetallen

Benodigdheden

- Filmpje over cellen voor op het digibord 

Per tweetal:

- Een stuk (modelleer)klei ter grootte van een flinke vuist (bij de meeste verpakkingen drie pakjes of staafjes)
- Meetlint
- Plastic mesje

Activiteit

Deel 1: Celdeling en -groei

Vertel de leerlingen dat ze het delen en groeien van cellen gaan nabootsen. Geef ieder tweetal het stuk klei en vraag ze het te verdelen in negen gelijke delen en daar acht delen van opzij te leggen voor straks (deel 3) en er één te gebruiken voor dit deel van de activiteit.

Vraag de leerlingen nu om een balletje te maken zo groot als een boon. Dit balletje stelt een cel voor. Een cel kan zich in twee delen, er ontstaan dan twee nieuwe cellen. Laat de leerlingen dit nabootsen door hun balletje in twee gelijke delen te splitsen (die zullen ongeveer het formaat hebben van een erwten). Voordat ze deze 'cellen' opnieuw delen laten leerlingen deze 'groeien', door zoveel klei toe te voegen dat beide balletjes weer net zo groot zijn als een boon. Laat ze het groeien en delen herhalen, net zolang totdat hun klei op is en elk tweetal een stapel balletjes heeft. De laatste handeling voor alle cellen is delen, zodat de uiteindelijke 'cellen' dus het formaat van een erwten zijn.

Deel 2: Organisme bouwen

Met de stapel balletjes (cellen) kunnen de leerlingen vervolgens in tweetallen hun eigen levende organisme bouwen. Ze mogen zelf bedenken hoe hun organisme er uitziet, ze kunnen bijvoorbeeld een dier, plant of fantasiewezen maken. Belangrijk is dat de balletjes min of meer hun vorm behouden (een beetje vervormen is niet erg, maar ze moeten als balletjes herkenbaar blijven). Het is de bedoeling dat ze alle balletjes gebruiken.

Deel 3: Organisme vergroten

Vraag de leerlingen vervolgens de rest van de klei te pakken en geef ze een meetlint. Laat ze hun organisme nu nog een keer maken, maar dan twee keer zo groot. Kijk na afloop met de leerlingen naar hun twee bouwwerken en bespreek of ze denken dat het gelukt is om het twee keer zo groot te maken. Het zou dan in alle richtingen (lengte, breedte, hoogte) twee keer zo groot moeten zijn.

Leg uit dat voor een organisme dat in alle richtingen twee keer zo groot wordt, acht keer zo veel cellen nodig zijn. Het organisme moet namelijk in de hoogte twee keer, in de breedte twee keer en in de lengte twee keer zo groot worden, dat is dus $2 \times 2 \times 2 = 8$. Als ze voor het kleine organisme alle klei hebben opgebruikt, dan zou voor het grote organisme dus de rest van de klei ook ongeveer op moeten zijn (dat was namelijk acht keer zoveel). Als dit niet zo is, waar zou dat dan door kunnen komen?

Afronding

Bespreek de activiteit klassikaal na. Vertel daarna dat iedereen ooit is begonnen als één cel. Die cel heeft zich gesplitst, en de nieuwe cellen hebben zich weer gesplitst.

Dit is precies wat de leerlingen in het eerste deel van de activiteit zelf ook hebben gedaan met de balletjes klei. Bij de geboorte hadden de cellen zich al zo vaak gesplitst dat het lichaam uit 2 biljoen (2.000.000.000.000) cellen bestaat. Naarmate je ouder wordt en groeit, groeit ook het aantal cellen: een kind van 12 jaar heeft zo'n 18 biljoen (18.000.000.000.000) menselijke cellen en nog eens 23 biljoen (23.000.000.000.000) bacteriële cellen in de darmen. Een gemiddelde volwassene heeft zo'n 30 biljoen (30.000.000.000.000) menselijke cellen en 38 biljoen (38.000.000.000.000) bacteriële cellen.¹ Groeien is dus alleen maar mogelijk als je cellen zich delen. Om dit te illustreren kun je het filmpje over cellen gebruiken. ●

Verbinding met het thema

Tijdens deze activiteit leren leerlingen over verschillende eigenschappen van cellen: dat ze groeien, dat ze zich delen, dat ze de bouwstenen van organismen zijn, dat ze heel klein zijn en dat een mens uit heel veel cellen bestaat. In het onderzoek moesten de onderzoekers kiezen welke eigenschappen van cellen ze het belangrijkste vonden om goed na te maken. Het is ze toen gelukt om 'cellen' te maken die zich kunnen delen. Dit was een enorme wetenschappelijke doorbraak!



Dit organisme van 'klei-cellen' wordt zorgvuldig gemeten door een leerling van de Geldershof (Foto: Jimmy Israël)

¹ Bron: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27541692>

ACTIVITEIT 3: WELKE VLOEISTOFFEN MENGEN?

Leerlingen experimenteren met vloeistoffen en onderzoeken of ze wel of niet met elkaar mengen.

Subthema's

- Eigenschappen van vloeistoffen
- Levende cellen namaken

Doelen

- Leerlingen ontdekken welke vloeistoffen mengen en welke niet
- Leerlingen maken kennis met druppeltjes als cellen

Duur

15 minuten

Werkvorm

In twee- of drietallen

Benodigdheden

Per tweetal	Voor gedeeld gebruik
• Glazen potje of doorzichtig plastic bekertje • Plat schaalpje • Pipetje of roerstaafje om een druppel vloeistof te maken • Satéprikker • Optioneel: 2 schorten (olie geeft vlekken bij knoeien)	• Fles water • Limonade • Thee • Cola • Zonnebloemolie • Olijfolie • Siliconenolie (verfwinkel, bouwmarkt) • Optioneel: grote lekbak of teil om alles in te zetten

Activiteit

Vertel dat cellen niet uit vaste stof bestaan (zoals de klei in activiteit 2) maar uit vloeistof. Ons lichaam bestaat uit cellen en ons lichaam bestaat voor 70% uit water, het is dus niet raar dat cellen ook voor een groot deel uit vloeistof bestaan en zich in vloeistof bewegen. Vraag de leerlingen welke vloeistoffen ze kennen, en vraag of ze denken dat deze mengen. Leg uit dat niet alle vloeistoffen mengen.

Deel 1: Wat mengt wel en wat mengt niet?

Laat leerlingen zelf onderzoeken welke vloeistoffen wel en niet mengen. Leg uit dat ze eerst een laagje van ongeveer twee vingers van de ene vloeistof in het potje moeten doen en dan eenzelfde hoeveelheid van de tweede moeten toevoegen. Daarna roeren met een roerstaafje of deksel erop en een paar keer omdraaien. Wat zien de leerlingen dat er gebeurt? Hoe kun je zien dat vloeistoffen niet mengen? Vraag ze op te schrijven welke vloeistoffen wel en welke niet met elkaar mengen. Bespreek ter afronding van deel 1 kort klassikaal na welke vloeistoffen wel en niet met elkaar mengen.

Deel 2: Druppeltjes maken in een vloeistof

Vervolgens maken de leerlingen druppeltjes van de ene vloeistof in de andere. Ze kiezen twee vloeistoffen waarvan ze nu weten dat ze niet mengen. Vraag ze in het platte schaaltje te experimenteren welke vloeistof ze het beste in de andere vloeistof kunnen druppelen (met pipetje/roerstaafje) om mooie druppeltjes te krijgen (olie drijft op water, dus dat zal niet werken, maar water in olie geeft een heel mooi druppel effect). Als ze een goede combinatie hebben gevonden, vraag ze dan om te kijken of het lukt de druppeltjes (cellen) te delen met een satéprikkerkje.



Een leerling van de Geldershof deelt haar namaakcellen voorzichtig in tweeën. Deze bestaan uit druppeltjes olie die op water drijven. (Foto: Hanne Kause)

Afronding

Besprek met de leerlingen na hoe het maken en delen van de druppeltjes ging.

Verbinding met het thema

Cellen bestaan voor een groot deel uit vloeistof en bewegen zich in vloeistof. Om cellen na te maken gebruiken we daarom ook vloeistoffen voor de cel zelf (druppels) en voor de omgeving van de cel. We maken kleine druppeltjes in water. Daarvoor heb je twee vloeistoffen nodig die niet met elkaar mengen. In deze activiteit hebben leerlingen onderzocht welke vloeistoffen dat kunnen zijn en hebben ze een eerste proefje gedaan met druppeltjes als namaakcellen.

Tips

- Siliconenolie is verkrijgbaar bij de meeste verf- en hobbywinkels (wordt gebruikt bij acryl pouring), of als smeermiddel bij de bouwmarkt (Griffon Siliconen spray). Let op dat er in de siliconenspray ook nog een vluchtige draagvloeistof zit. Laat deze een half uur uitdampen voor je begint.
- Deze activiteit leent zich er goed voor om aan te bieden als circuit in combinatie met activiteit 4 en 5.

ACTIVITEIT 4: KLEUR BEKENNEN

Leerlingen doen onderzoek met verschillende soorten kleurstoffen en verschillende soorten vloeistoffen. Ze voegen kleurstof toe aan twee vloeistoffen die niet mengen, en ontdekken dat de kleurstof in slechts één van beide vloeistoffen oplost.

Subthema

Eigenschappen van vloeistoffen

Doelen

- Leerlingen ontdekken dat kleurstof in slechts één van beide vloeistoffen oplost.
- Leerlingen ontdekken dat de 'voorkeur' van een kleurstof afhankelijk is van welke vloeistoffen ze gebruiken.

Duur

20 minuten

Werkvorm

In drie- of viertallen

Benodigheden

Per groepje:

- 3-4 glazen potjes met deksel (om vloeistoffen in te mengen)
- Een aantal (plastic) bekertjes (om kleurstoffen in te maken)
- Stift (om op de bekertjes te schrijven)
- Water
- Wasbenzine of terpentine (verkrijgbaar bij de supermarkt)
- Olie zonder sterke kleur, zoals zonnebloemolie of baby-olie
- Diverse soorten kleurstoffen, bijvoorbeeld:
 - o Kleurstoffen voor in voedsel (verkrijgbaar bij de bakspullen)
 - o Natuurlijke kleurstoffen zoals bietensap en kookvocht van spinazie
 - o Kleurstoffen uit whiteboard viltstiften
 - o Jodium (Betadine)
 - o Ecoline
- Ethanol (verkrijgbaar bij drogist)
- Pipetjes of theelepels
- Werkblad 'Kleur bekenen' 

Vorbereiding

Veiligheidswaarschuwingen:

- Laat de experimenten met terpentine of wasbenzine uitvoeren onder begeleiding van een volwassene: wasbenzine is een giftige stof die ook gas vormt, het is belangrijk daar goed toezicht op te houden als leerlingen ermee werken.
- Pas op met losdraaien van de deksel van de potjes als je terpentine of wasbenzine en water hard geschud hebt, er kan een beetje gas gevormd worden en de vloeistof kan een beetje opspatten als je de deksel losdraait.

- Laat de mengsels met terpentine of wasbenzine nooit in een pot met gesloten deksel in de volle zon staan.
- Gebruik geen plastic bekertjes voor wasbenzine, wasbenzine kan sommige plastic bekertjes langzaam oplossen.

Activiteit

Deel 1: Kleurstoffen maken

Laat de leerlingen verschillende soorten kleurstoffen klaarzetten. Sommige kunnen ze zo gebruiken (jodium, bietensap), andere moeten ze zelf maken. Laat ze iedere kleurstof in een apart bekertje doen en op de bekertjes schrijven welke kleurstof het is. Levensmiddelenkleurstoffen en ecoline verdunnen ze met water. Kleurstof uit de whiteboard viltstiften kunnen leerlingen extraheren door een beetje ethanol in een bekertje te doen, en de viltstift er een paar seconden in te dopen, even omzwenken, en eventueel nog een keer herhalen. Let op: nadat ze in ethanol gedoopt zijn, zijn de whiteboard stiften niet meer te gebruiken als stift.

Deel 2: Experimenteren met verdelingsevenwicht

Leerlingen vullen verschillende potjes met gelijke delen van water en olie. Ook maken ze een potje met gelijke delen water en wasbenzine/terpentine. Beide combinaties mengen niet. Het water zinkt; olie en wasbenzine blijven drijven.

Vervolgens voegen leerlingen aan elk van de potjes met een theelepel of pipetje een paar druppels van een van de kleurstofoplossingen toe. Dop er goed opschroeven, schudden en kijken maar: waar gaat de kleurstof heen? Laat ze met behulp van het werkblad experimenteren met verschillende vloeistoffen en verschillende kleurstoffen.



Een leerling van de Geldershof onderzoekt met welke vloeistof de kleurstof mengt (Foto: Hanne Kause)

Afronding

Bespreek wat de leerlingen hebben ontdekt. Waar ging de kleurstof naartoe? Maakte het uit welke vloeistof ze hebben gebruikt?

Verbinding met het thema

In deze activiteit leren leerlingen over het verdelingsevenwicht: hoe verdeelt een kleurstof zich over twee verschillende stoffen? Ze ontdekken dat sommige kleurstoffen een voorkeur hebben voor de ene stof en andere voor de ander.

In het onderzoek wilden de onderzoekers eiwitten in een cel brengen. Om dat te kunnen doen, was het nodig om te weten voor welke vloeistof de eiwitten een voorkeur hadden. In deze activiteit staan de kleurstoffen symbool voor de eiwitten in het onderzoek van Evan Spruijt. Stel de kleurstof heeft een voorkeur voor water ten opzichte van olie, dan moet je druppels van water maken in een omgeving van olie.

Tips

- Kleurstof komt niet altijd goed door de olie heen, dus het is handig om te schudden om te zien waar de kleurstof uiteindelijk heen gaat.
- De hoeveelheid kleurstof maakt niet uit, zolang het niet meer is dan er aan andere vloeistoffen in het potje zit.

ACTIVITEIT 5: OPPERVLAKTESPANNING

Leerlingen proberen een paperclip te laten drijven op water en onderzoeken met welke vloeistoffen ze de paperclip kunnen laten zinken.

Subthema

Eigenschappen van vloeistoffen

Doelen

- Leerlingen maken kennis met oppervlaktespanning.
- Leerlingen experimenteren met het doorbreken van oppervlaktespanning.
- Leerlingen oefenen met het observeren en noteren van waarnemingen.
- Leerlingen ontdekken dat zeepachtige stoffen de oppervlaktespanning doorbreken.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In drietallen

Benodigheden

Per groepje:

- Bakjes gevuld met water (diameter minimaal 15 cm)
- Paperclips
- Gemalen peper (geen korrels)
- Satéprikkers
- Werkblad 'Oppervlaktespanning' 

Voor gedeeld gebruik:

- Vloeistoffen die de oppervlaktespanning niet doorbreken: ecoline, thee, limonade
- Vloeistoffen die de oppervlaktespanning wel doorbreken: zeepachtigen (shampoo, scheerschuim, afwasmiddel, handcrème, etc.)

Vorbereiding

Oefen hoe je een paperclip kunt laten drijven op het wateroppervlak.

Activiteit**Deel 1: Oppervlaktespanning demonstreren**

Geef leerlingen de opdracht om een paperclip te laten drijven in een bakje water. Als je de paperclip heel voorzichtig precies op het wateroppervlak legt zal deze niet zinken. Als er groepjes zijn waar het niet lukt, laat ze dan kijken bij een ander groepje. Leg uit hoe het komt dat de paperclip blijft drijven: water en lucht zijn twee dingen die niet mengen. Lucht is dus niet 'niks'. Waar het wateroppervlak in contact staat met lucht, zit een veerkrachtige laag. Deze oppervlaktespanning zorgt ervoor dat sommige voorwerpen, die eigenlijk zwaarder zijn dan water, kunnen drijven. Als je meerdere paperclips gebruikt, zal je zien dat deze dicht bij elkaar komen te liggen.

Deel 2: Oppervlaktespanning doorbreken

Laat de leerlingen nu zelf experimenteren met (het doorbreken van) oppervlaktespanning. Geef de leerlingen een aantal bakjes met water en verschillende vloeistoffen om te testen. Laat ze zelf uitzoeken welke vloeistoffen de oppervlaktespanning verlagen, door een satéprikker in één van de vloeistoffen te dopen en deze vervolgens voorzichtig in het bakje water te steken. Wat gebeurt er met de paperclip? Ze noteren hun bevindingen op het werkblad. Zorg dat ze bij een nieuwe vloeistof weer een schone satéprikker gebruiken.

Omdat het wat lastig kan zijn om telkens weer een paperclip te laten drijven, kunnen de leerlingen op een gegeven moment ook gemalen peper op het water strooien in plaats van de paperclip te gebruiken. De peper springt weg van de plek waar de oppervlaktespanning verlaagd wordt.

Afronding

Bespreek de bevindingen van de leerlingen na. Welke vloeistoffen konden de oppervlaktespanning doorbreken? Wat hebben deze vloeistoffen gemeenschappelijk?

Verbinding met het thema

In deze activiteit maken leerlingen kennis met wat oppervlaktespanning is en hoe je het kunt doorbreken. Ze ontdekken dat zeepachtige stoffen de oppervlaktespanning doorbreken. In het onderzoek van Evan Spruijt wordt ook gebruik gemaakt van oppervlaktespanning: de druppels (de namaakcellen) in de vloeistof blijven veel langer stabiel als de oppervlaktespanning tussen deze twee naar beneden gaat.



Peperkorrels zinken naar de bodem als je voorzichtig wat zeep aan het water toevoegt (Foto: Hanne Kause)

ACTIVITEIT 6: MAAK JE EIGEN NAMAAKCEL

Leerlingen onderzoeken hoe je de druppeltjes in een emulsie zo lang mogelijk kan laten bestaan.

Subthema's

- Eigenschappen van cellen
- Eigenschappen van vloeistoffen
- Levende cellen namaken

Doelen

- Leerlingen ontdekken dat je twee niet-mengbare vloeistoffen tijdelijk kunt mengen door ze te schudden, maar dat ze al snel weer ontmengen.
- Leerlingen leren dat je met zogenaamde emulgatoren twee niet-mengbare vloeistoffen langer kunt laten mengen.
- Leerlingen leren dat dit komt omdat emulgatoren de oppervlaktespanning tussen twee niet-mengbare vloeistoffen verlagen.
- Leerlingen leren dat het verlagen van oppervlaktespanning ten grondslag ligt aan de manier waarop de onderzoekers namaakcellen hebben gemaakt.

Duur

30 minuten uitvoeren; na het laatste experiment is er een wachttijd, dit houden de leerlingen gedurende de dag in de gaten

Werkvorm

In drietallen

Benodigdheden

Per groepje:

- Water
- Olie, bijvoorbeeld zonnebloemolie
- Vier doorzichtig plastic of glazen flesjes met dop, om vloeistoffen in te mengen (flesjes moeten per groepje hetzelfde zijn, tussen groepjes kunnen ze wel verschillen)
- Trechter
- Werkblad 'Maak je eigen namaakcel' 
- Afbeelding 'Mengen en ontmengen' 
- Horloge of iets anders om te weten hoe laat het is
- Watervaste stift
- Voedingskleurstof (donkere kleur, niet geel) of bietensap

Voor gedeeld gebruik:

- Een kleine hoeveelheid van de volgende stoffen:
 - Allesreiniger
 - Zout
 - Suiker
 - Shampoo (doorzichtig)
 - Lenzenvloeistof (voor harde lenzen)
 - Balsamicoazijn
- Eventueel: Een emmer om flesjes in leeg te gooien

Vorbereiding

De activiteit zelf duurt ongeveer 30 minuten. Voor de laatste experimenten moet een flesje meerdere uren blijven staan. Het is dus belangrijk om deze activiteit aan het begin van een lange dag te plannen, waarbij leerlingen gedurende de hele dag hun opstelling regelmatig kunnen controleren (dus bijvoorbeeld geen dag dat ze gym hebben). Bedenk in de voorbereiding hoe je dat wilt organiseren.

Ter indicatie: dit is hoe lang de verschillende stoffen bij een test door ons ongeveer nodig hadden om te onderzoeken:

- Zout: 5 seconden
- Suiker: 30 seconden
- Niks: 1 minuut
- Lenzenvloeistof: 2-3 minuten
- Balsamicoazijn: 2-3 minuten
- Allesreiniger: 2-3 uur
- Shampoo: 3-4 uur

Activiteit

Deel 1: Aanrommelfase

Laat de leerlingen met behulp van de trechter een flesje voor ongeveer twee derde met water vullen, daar een beetje kleurstof of bietensap bij doen en goed mengen. Vervolgens gieten ze een klein laagje olie (ongeveer dikte van twee van hun vingers) op het water en draaien ze de dop er stevig op. Vervolgens schudden ze het flesje en kijken ze naar de vloeistof. Hoe ziet het er nu uit? Kunnen ze door het mengsel heen kijken? Zien ze dat er druppels van de ene stof in de andere zitten? Vraag ze goed te observeren wat er met de vloeistof gebeurt als ze het flesje even laten staan.

Leg uit dat de leerlingen door het schudden een emulsie maken: een troebel mengsel dat uit heel veel druppels olie in water bestaat. Omdat deze stoffen niet mengbaar zijn gaan ze snel weer uit elkaar. Beide stoffen blijven nog wel een beetje troebel, maar je ziet duidelijk dat olie en water snel weer in twee aparte delen scheidt.

Vraag de leerlingen vervolgens te onderzoeken hoe je ervoor kunt zorgen dat de druppels zo lang mogelijk blijven bestaan. Geef ze daarvoor de allesreiniger, zout, suiker, shampoo, balsamicoazijn en lenzenvloeistof en laat ze zelf ontdekken wat er gebeurt als ze een kleine hoeveelheid van deze stoffen toevoegen (één of enkele druppels, van de vaste stoffen een halve theelepel). Het is belangrijk telkens eerst deze stof aan het water toe te voegen en goed te mengen, voor ze de olie toevoegen. Als de leerlingen een andere stof willen uitproberen, moeten ze hun flesje eerst even omspoelen. Als het lang duurt voordat olie en water zich scheiden kunnen de leerlingen met een ander flesje de volgende stof proberen.

Help de leerlingen zo nodig op weg met de volgende vragen:

- Bij welke stof blijven de druppels het langste bestaan?
- Wat gebeurt er als je langer of korter schudt?
- Wat gebeurt er als je harder of zachter schudt?
- Wat gebeurt er als je meer of minder van de stof toevoegt?

Bespreek na wat er gebeurde. Als het goed is, zorgt zowel zout als suiker ervoor dat het water en de olie extra snel weer ontmengen. De andere stoffen zorgen dat het langer duurt dan normaal om te ontmengen. Deze stoffen heten emulgatoren. Met balsamicoazijn en lenzenvloeistof duurt het iets langer dan normaal, dit zijn lichte emulgatoren. Allesreiniger en shampoo zijn sterke emulgatoren, daarmee blijven de druppels dus het langst bestaan. Het duurt zelfs enkele uren, ze zullen zich dus niet scheiden tijdens de les.

Deel 2: Onderzoek naar emulgatoren

Na de aanrømmelfase gaat de klas verder onderzoek doen met de stoffen die zorgden dat olie en water zo lang mogelijk gemengd blijven (als het goed is, zijn dat shampoo en allesreiniger). Geef de helft van de groepjes de shampoo en de andere helft de allesreiniger en geef ieder groepje het werkblad. Je kunt de afbeelding die op het werkblad staat ook op het bord presenteren.

Verdeel de rollen in de drietallen: de eerste leerling doet alle stoffen in het flesje, zet een streepje op de fles waar de vloeistoffen elkaar raken, en schudt. De tweede leerling houdt de tijd bij van het schudden en meet na het schudden hoe lang het duurt voordat water en olie weer ontmengd zijn. De derde leerling schrijft de voorspellingen en observaties op. Omdat deze activiteit langer duurt dan de les, houden de leerlingen gedurende de dag in de gaten hoe lang het duurt voor water en olie weer ontmengd zijn. Het is handig om de flesjes bijvoorbeeld op de tafel van de leerlingen te laten staan zodat ze regelmatig kunnen kijken.



Om te zien waar de overgang van olie naar water zit, zetten de leerlingen een streepje op het glas (Foto: Jimmy Israël)

Afronding

Bespreek aan het eind van de dag, of in een volgende les, de activiteit klassikaal na door de resultaten van de groepjes te vergelijken. Welke stoffen hielpen goed bij het laten mengen van de emulsie van water en olie? Maakte het uit hoe hard je schudde, of hoe lang? Hoe denken de leerlingen dat dit komt? Leg uit dat deze emulgatoren de oppervlaktespanning verlagen. Hierbij kun je ook terugverwijzen naar activiteit 5. Trek samen de conclusie wat volgens de bevindingen van de leerlingen de beste emulgator is om 'cellen' van olie in water zo lang mogelijk te laten bestaan. En maakt het dan uit of je kort of lang, hard of zacht schudt? Maak ook de verbinding naar de wetenschappelijke doorbraak door te vertellen dat de leerlingen samen nu een vergelijkbaar onderzoek hebben gedaan als de onderzoekers: zij hebben bij het namaken van cellen ook experimenten hebben gedaan waarin ze de oppervlaktespanning verlaagden om cellen zo lang mogelijk te laten bestaan (zie 'Verbinding met het thema').



Twee leerlingen van de Geldershof onderzoeken in welk potje hun namaakcellen het langst blijven bestaan (Foto: Anello van Ekeren)

Verbinding met het thema

Cellen zijn vloeibaar (mensen bestaan voor 70% uit water) en bevinden zich in een vloeistof waarin ze niet oplossen. Met twee vloeistoffen die niet mengen, kun je druppeltjes maken die op cellen lijken. Door twee vloeistoffen die niet met elkaar mengen flink te schudden maak je heel veel druppels tegelijkertijd (een emulsie). Dit kun je zien aan de troebelheid van het mengsel. Druppeltjes verstrooien licht dat door het mengsel heen schijnt in allerlei richtingen, waardoor er maar weinig licht doorheen kan gaan. De troebelheid in de waterlaag komt door de aanwezigheid van oliedruppels in het water. De troebelheid in de olielaag komt door de aanwezigheid van waterdruppels (en

soms kleine luchtballen) in de olielaag. Als je even wacht, wordt een troebel mengsel al snel weer helder: de twee vloeistoffen scheiden zich weer tot twee met het blote oog zichtbare lagen. De druppeltjes zijn verdwenen!

Voor het onderzoek waarin we cellen proberen na te maken, is het belangrijk dat de namaakcellen stabiel zijn (langer bestaan na het schudden) zodat we ze kunnen bestuderen. Je kunt verschillende stoffen gebruiken om olie en water tijdelijk beter of slechter te laten mengen. Stoffen die het tijdelijk mengen verbeteren zorgen ervoor dat het langer duurt voordat je weer twee gescheiden vloeistoffen ziet. Deze stoffen heten emulgatoren. In deze activiteit kijken leerlingen hoe lang mengsels troebel blijven. Daardoor ontdekken ze welke emulgatoren het meest geschikt zijn om waterdruppels in olie te stabiliseren. Voor deze activiteit konden ze kiezen uit:

- Zout en suiker: hebben een tegenovergestelde werking van een emulgator
- Zeep, shampoo en douchegel: goede emulgatoren
- Lenzenvloeistof: redelijke emulgator vanwege de toegevoegde methylcellulose en polyquaternium
- Balsamicoazijn: redelijke emulgator vanwege de oppervlakte-actieve stoffen uit de druivenschillen

Tip

Laat leerlingen zoveel mogelijk zelf flesjes van huis meenemen.



Stap 3 t/m 5. Opzetten onderzoek, uitvoeren en concluderen

Hieronder staan drie voorbeelden van onderzoeksvragen die zijn bedacht door leerlingen van basisschool de Geldershof in Lent. Deze voorbeelden geven een beeld van de soort vragen die leerlingen over het thema 'Levende cellen namaken' zouden kunnen stellen. Als gevolg van de sluiting van scholen door COVID-19 hebben de leerlingen de onderzoekjes niet zelf uitgewerkt en zijn ze niet uitgevoerd.

Verandert de drijfkracht van een bootje als je een emulgator toevoegt aan het water?

Subthema: Eigenschappen van vloeistoffen

De leerlingen hadden geleerd dat paperclips, die met behulp van oppervlaktespanning kunnen drijven op water, naar de bodem zakken als je een stof toevoegt die de oppervlaktespanning verlaagt (emulgator). Het onderzoeksgroepje had met deze kennis voorspeld dat de drijfkracht van een bootje, dat uit zichzelf juist heel goed drijft, ook zal afnemen als je een emulgator aan het water toevoegt. Maar zou het bootje ook beter drijven als je bijvoorbeeld zout toevoegt, wat een tegenovergestelde werking heeft van een emulgator? Het groepje kan deze voorspellingen onderzoeken door een bootje in een bak met water te laten drijven en met een watervaste stift te markeren tot hoe ver het bootje in het water ligt. Vervolgens kunnen ze dit herhalen in verschillende bakken water waar andere stoffen aan toe zijn gevoegd (allesreiniger, zout, suiker, shampoo, lenzenvloeistof en/of balsamicoazijn) en daarbij meten hoeveel dieper, of juist ondieper, het bootje in het water ligt.



Dr. Evan Spruijt helpt de leerlingen van de Geldershof bij het onderzoeken van kleurstoffen (Foto: Anello van Ekeren)

Wanneer verdwijnt het schuim in cola sneller, als je een mentos toevoegt of een kunstgebitsreinigingstablet?

Subthema: Levende cellen namaken

Bij het bedenken van deze vraag maakten de leerlingen een associatie tussen de druppels (namaakcellen) die vormen in een emulsie, en de belletjes die ontstaan in een koolzuurhoudende drank. Het onderzoeksgroepje wist dat cola erg gaat schuimen als je er een mentos aan toevoegt en voorspelde dat dit ook zou gebeuren met een kunstgebitreinigingstablet. Ze vroegen zich vervolgens af bij welke van de twee het schuimen het langst zal doorgaan. De leerlingen kunnen dit onderzoeken door een opstelling te maken met twee even volle colaflessen op een plek waar knoeien geen probleem is. Vervolgens laten ze tegelijk een mentos en reinigingstablet in de flessen vallen en meten ze bij welke fles de cola als eerste stopt met schuimen. Eventueel kunnen ze ook vergelijken welke van de twee flessen het hoogst spuit of hoeveel cola er na het experiment over is gebleven in iedere fles.

Heeft temperatuur invloed op hoe lang namaakcellen blijven bestaan?

Subthema: Levende cellen namaken

Bij het uitvoeren van activiteit 6 hadden de leerlingen ontdekt dat langer schudden ervoor zorgt dat de druppels (namaakcellen) in een potje langer blijven bestaan. Bij een emulsie gemaakt van olie, water en allesreiniger zagen ze dat het zelfs een aantal dagen kon duren voordat de druppels helemaal weg waren. Een onderzoeksgroepje wilde ontdekken of de temperatuur ook invloed heeft op de 'levensduur' van namaakcellen. Dit kunnen ze doen door drie potjes half te vullen met gekleurd water en een paar druppels allesreiniger. Na goed mengen zetten ze met watervaste stift een streep tot waar het water komt. Vervolgens voegen ze een laagje olie van twee vingers dik toe en schudden ze elk potje even lang en hard. Daarna plaatsen ze elk potje in een andere temperatuur: één potje bij kamertemperatuur in de klas, één in de koelkast en de laatste in een warme omgeving (bijvoorbeeld op de verwarming). Ze kunnen vervolgens meten hoe het ontmengen verloopt door de afstand te meten tussen de streep en de nieuwe scheidingslijn tussen water en olie. Hiermee kunnen ze ontdekken of er een verschil is in het stadium van ontmengen bij de drie potjes na een half uur, na twee uur en na drie dagen.

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

Dit boek is een uitgave van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit (WKRU). Het WKRU is in 2009 opgericht als eerste Wetenschapsknooppunt van Nederland. Het WKRU heeft als missie de nieuwsgierige en onderzoekende houding van kinderen en (aankomend) leraren te bevorderen. Om dit te bereiken organiseert het WKRU diverse activiteiten waarbij een verbinding wordt gelegd tussen onderzoekers van de Radboud Universiteit en het Radboudumc; het basisonderwijs; en studenten, docenten en onderzoekers van het Onderwijsinstituut Pedagogische Wetenschappen en Onderwijskunde (Radboud Universiteit) en de Faculteit Educatie (Hogeschool van Arnhem en Nijmegen).

Expertise

De expertise van het WKRU ligt in het begeleiden van eigen onderzoek door leerlingen. Het WKRU ontwikkelt voorbeeldprojecten, materialen en hulpmiddelen die leraren kunnen inzetten om wetenschap in de klas te brengen en die als basis dienen voor het eigen onderzoek door leerlingen. Deze materialen zijn beschikbaar via www.wetenschapdeklasin.nl. De kennis en ervaring van het WKRU blijft zich continu ontwikkelen. Dit gebeurt op basis van inzichten uit de literatuur, ervaringen in de klas, eigen onderzoek en uitwisseling met collega-onderzoekers in het vakgebied. Naast deze boekenreeks publiceert het WKRU ook regelmatig in vaktijdschriften en wetenschappelijke tijdschriften. Een overzicht van alle artikelen van het WKRU is te vinden op onze websites.

Activiteiten

Het WKRU biedt verschillende activiteiten aan voor leraren (in opleiding), scholen en onderzoekers. Elk jaar ontwikkelen drie Radboud Science Teams, bestaande uit onderzoekers, leraren en leraren in opleiding, onder leiding van het WKRU een project over een actueel wetenschappelijk thema. Het uitgangspunt van alle projecten is dat leerlingen zelf onderzoek kunnen doen naar het thema. De opbrengsten van deze teams worden geborgd in de boekenreeks Wetenschappelijke doorbraken de klas in! Daarnaast organiseert het WKRU jaarlijks de Winterschool, een professionaliseringsdag over wetenschap en onderzoekend leren. Gedurende het schooljaar wordt professionalisering voor schoolteams aangeboden in het begeleiden van onderzoekend leren. Radboud-onderzoekers kunnen bij het WKRU terecht voor advies op het gebied van wetenschapseducatie en hulp bij de voorbereiding van een interessante les voor een basisschoolklas. Alle activiteiten van het WKRU zijn te vinden op www.wkru.nl.

Financier

Het werk van het WKRU wordt mogelijk gemaakt door de Radboud Universiteit, met als aanvullende sponsor het Radboudumc.

www.wkru.nl

www.wetenschapdeklasin.nl



@WKRU1



[linkedin.com/company/wkru](https://www.linkedin.com/company/wkru)



@wkrunijmegen



@wkrunijmegen

Over de boekenreeks

De boekenreeks *Wetenschappelijke doorbraken de klas in!* is een uitgave van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit (WKRU). Met deze boeken wil het WKRU (aankomend) leraren en leerlingen uit de bovenbouw van het basisonderwijs kennis laten maken met toponderzoek van de Radboud Universiteit. Het gaat daarbij om wetenschap in de volle breedte, dus alfa-, bèta-, gamma- en medisch-onderzoek. De boeken zijn een bron van inspiratie voor leraren om wetenschap de klas in te brengen en leerlingen eigen onderzoek te laten doen.

Wetenschappelijke thema's de klas in

De Radboud Universiteit reikt elk jaar de Radboud Science Awards uit aan drie topwetenschappers die in het afgelopen jaar een belangrijke doorbraak hebben gehad in hun onderzoeksgebied. Samen met leraren (in opleiding) en het WKRU vormen de winnaars een Radboud Science Team. Met het team ontwikkelen ze een set activiteiten waardoor leerlingen kennis opdoen over de inhoud van het onderzoek en de manier van onderzoek doen. De bedoeling is dat leerlingen enthousiast en nieuwsgierig worden en dat er veel vragen bij hen opkomen. Uiteindelijk formuleren de leerlingen in groepjes één vraag die ze zelf gaan onderzoeken.

Na afloop van het project beschrijven de onderzoekers de inhoudelijke achtergrond van het thema. Deze wordt samen met de ervaringen en activiteiten in de klas gebundeld tot een hoofdstuk in de boekenreeks *Wetenschappelijke doorbraken de klas in!*. Het boek wordt gepresenteerd op de Winterschool van het WKRU. Tijdens deze professionaliseringsdag op het gebied van wetenschap en onderzoekend leren geven de winnende onderzoekers een inhoudelijke lezing over het thema. Daarnaast geven de Radboud Science Teams een workshop aan collega-leraren, leraren in opleiding en pabo-docenten. Met de inzichten uit de Winterschool kunnen zij met de thema's en onderzoekend leren aan de slag in de klas.

Leidraad onderzoekend leren

Bij de boekenreeks hoort een leidraad onderzoekend leren (Van Baren-Nawrocka & Dekker, 2019). Leraren kunnen met behulp van deze leidraad een project onderzoekend leren vormgeven in de klas. In de leidraad staat een uitgebreide beschrijving van de zeven stappen van onderzoekend leren. Het biedt handvatten en suggesties voor de manier waarop de leraar de leerlingen kan begeleiden bij het onderzoeksproces. De leidraad wordt ontwikkeld door het WKRU en regelmatig herzien op basis van nieuwe inzichten uit de literatuur en ervaringen in de klas. De meest recente versie is altijd online beschikbaar op de website www.wetenschapdeklasin.nl.

Website met aanvullend materiaal

Aan de boekenreeks is een website gekoppeld, www.wetenschapdeklasin.nl, waar per thema alle activiteiten en benodigde materialen (zoals werkbladen en filmpjes) te vinden zijn. Daarnaast bevat de website veel informatie over onderzoek door leerlingen, zoals de leidraad onderzoekend leren, alle hulpmiddelen van het WKRU, voorbeelden uit de praktijk, artikelen en links naar verdiepende informatie. Met uitzondering van het laatste boek staan tevens alle thematische hoofdstukken in digitale vorm op deze website.

Thema's per boek

Boek 10	Levende cellen – Wat maakt een cel een cel, en hoe zorg je dat namaakcellen blijven leven? Gedachte-experimenten – Wat gedachte-experimenten ons kunnen leren Menselijke machines – Wat is het verschil tussen menselijke en kunstmatige intelligentie? + een didactisch hoofdstuk: 'Creatief denken stimuleren'
Boek 9	Sport – Wat is het effect van intensief sporten op de gezondheid van ons hart? Slimme computers – Hoe kunstmatige intelligentie dokters kan helpen bij het stellen van een diagnose Automatisch gedrag – Het nut van automatisch gedrag en hoe lastig het is om het te onderdrukken + een didactisch hoofdstuk: 'Dialogische gesprekken voeren: Hoe doe je dat?'
Boek 8	Kleding – Wat zegt kleding over onze identiteit en welke impact heeft kleding op mens en milieu? Magneten – Ontdek hoe magneten werken en welke invloed licht hierop heeft Protest – Staken is besmettelijk: hoe werkt die beïnvloeding door anderen? + een didactisch hoofdstuk: 'Vragen wat je echt wilt weten'
Boek 7	Malaria – Hoe worden muggen door mensen besmet met malaria? Jheronimus Bosch – Wat maakt deze schilder zo bijzonder? Geheugen – Hoe kun je het best dingen onthouden? + een didactisch hoofdstuk: 'Nieuwsgierig door observeren'
Boek 6	Molecuulbotsingen – Eigenschappen van botsende moleculen bij extreem lage temperaturen Stress – Ontdek verschillende manieren waarop je op stress kunt reageren Taal der zintuigen – De invloed van taal en cultuur op zintuiglijke waarnemingen + een didactisch hoofdstuk: 'Begeleiden vanuit een groeimindset'
Boek 5	Typisch Nederlands – Kenmerken en vorming van de Nederlandse identiteit Elkaar begrijpen – Hoe komt het dat we elkaar begrijpen? Het oog – De werking van het oog en wat er mis kan gaan + een didactisch hoofdstuk: 'Het begint met nieuwsgierigheid'
Boek 4	Het Higgsdeeltje – De ontdekking van het deeltje dat zorgt dat dingen gewicht hebben Netwerken in het brein – Hoe werkt ons brein en wat is de relatie met DNA? Het wonderkind David Gorlaeus – Wat voor invloed heeft leeftijd en ervaring op ons denken?
Boek 3	Waarnemen en bewegen – De relatie tussen waarnemingen en het coördineren van bewegingen Onder invloed – De invloed van de omgeving op risicovol gedrag Gevaarlijke ideeën – Het verband tussen ideeën en veranderende regels in de maatschappij
Boek 2	DNA – Erfelijkheid en kopieerfoutjes in je DNA die je leven kunnen bepalen Gedrag – Hoe zorgen je hersenen ervoor dat je verleidingen kunt weerstaan? Infecties onder de loep – De groei en eigenschappen van bacteriën en schimmels
Boek 1	Angst – Wat is angst en hoe kun je het beïnvloeden? Grafeen – Wat zijn de verschillende unieke eigenschappen van grafeen? Denkbeelden over het begin – Hoe tijd, plaats en cultuur onze denkbeelden bepalen

Engelse uitgave

Scientific breakthroughs in the classroom: Language of the senses, DNA, Understanding each other & Higgs boson (2017)

Foto- en illustratieverantwoording

Veel van de foto's en een aantal illustraties in dit boek vallen niet onder de Creative Commons Licentie, hetzij omdat ze onder het copyright van derden vallen, hetzij omdat er kinderen op staan, waardoor geen toestemming voor hergebruik kan worden gegeven. Hieronder volgt een lijst met de foto's en illustraties in dit boek, met bijbehorende licentievorm.

Foto's met kinderen zijn hieronder niet apart vermeld, deze vallen alle onder het copyright van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit © 2021 WKRU. Deze foto's mogen wel worden gebruikt in een integrale kopie van minimaal twee pagina's.

Hoofdstuk 1: Creatief denken stimuleren

• Leerkrachten sorteren rommeltjes tijdens de Winterschool, © 2021 WKRU	10
• Kinderen sorteren jassen, tassen en zichzelf, © 2012 Anouk Wissink	13
• Leraren zoeken categorieën tijdens de Winterschool, © 2020 David van der Kooij	14
• Kinderen bedenken en vertellen verhalen, © 2020 Anouk Wissink	15
• Slaaplepel en gaaplamp, © 2015 David van der Kooij	16
• Leerkrachten passen creatieve denkstrategieën toe, © 2021 WKRU	17

Hoofdstuk 2: Levende cellen namaken

• Dr. Evan Spruijt, © 2019 WKRU	22
• Voorbeelden van cellen, aangepast van: Verschillende biologische cellen op een witte achtergrond, door brgfx, Freepik Licentie (bron: Freepik.com)	23
• Schematische weergave van celdeling, CC BY-NC-SA 4.0 Alain André	24
• Druppels olie in water, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	26
• Coacervaten, CC BY-NC-SA 4.0 Alain André en Merlijn van Haren	26
• Delende synthetische cel, CC BY-NC-SA 4.0 Esra te Brinke	29
• Moleculen, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	30
- Water, CC BY 2.0 Aqua Mechanical, (bron: flickr.com)	
- Koolstofdioxide, door Pixource, Pixabay Licence (bron: pixabay.com)	
- Suiker, door pasja1000, Pixabay Licence (bron: pixabay.com)	
- Moleculen, CC BY-NC-SA 4.0 Merlijn van Haren	
• Emulsies met en zonder emulgatoren, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	31
- Reageerbuisjes, CC BY-NC-SA 4.0 Merlijn van Haren	
- Water en olie, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	
- Mayonaise, CC BY-SA 3.0 Kliek (bron: commons.wikimedia.org)	
• Schaatsenrijder, door Jasmin990, Pixabay License (bron: pixabay.com)	31
• Coacervaten gemaakt met polymeren, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, onderdeel:	32
- Waterdruppel, door OpenClipart-Vectors, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
• Eiwit FtsZ, CC BY-NC-SA 4.0 Esra te Brinke en Evan Spruijt	33

Hoofdstuk 3: Gedachte-experimenten

• Prof. dr. Carla Rita Palmerino, © 2019 WKRU	58
• Het geocentrische wereldbeeld, door Andreas Cellarius, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	62

• Het heliocentrische wereldbeeld, door Andreas Cellarius, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	63
• Portret van Galileo Galilei, geschilderd door Justus Sustermans, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	66
• De schijngestalten van Venus, Galileo Galilei, publiek domein (bron: the-galileogalilei.tumblr.com)	67
• Galileo's Dialoog over de twee voornaamste wereldsystemen, door Giovanni Battista Landini, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	68

Hoofdstuk 4: Menselijke machines

• Prof. dr. Marcel van Gerven, © 2019 WKRU	92
• Speelgoedrobot, door Gerhard Janson, Pixabay License (bron: pixabay.com)	93
• Communicatie tussen neuronen, door Sabar, publiek domein (bron: wikimedia.commons.org)	94
• Neuraal netwerk, aangepast van: CC BY 1.0 Dake en Mysid (bron: wikimedia.commons.org)	95
• Voorspellingen maken op de tennisbaan, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, onderdeel: - Tennisser, door Annalise Batista, Pixabay license (bron: pixabay.com)	95
• Metingen van Van Gerven en zijn team, CC BY 2.0 Nadine Dijkstra	96
• Een robot die voorspellingen maakt, door Pablo Lanillos, publiek domein	97
• Hersenactiviteit zoals gemeten door een MRI-scanner, CC BY-SA 4.0 Ellert Nijenhuis (bron: wikimedia.commons.org)	99
• De schaduwillusie van Alderson, CC BY 4.0 Edward H. Adelson (bron: wikimedia.commons.org)	100
• Illustratie van singulariteit, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	101
• Kunstmatige neuron, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, aangepast van: - Neuron, door Denise van Baalen, publiek domein	112
• Webapplicatie GauGAN, schermafbeelding van http://nvidia-research-mingyuliu.com/gaugan/ , programma gemaakt door NVIDIA, onder MIT license	117
• De beslissing van een zelfrijdende auto, © 2019 Adam Simpson	118

De uitgever heeft uiterste zorgvuldigheid betracht in het achterhalen van de auteursrechten van het illustratiemateriaal in deze uitgave. Mocht u van mening zijn (auteurs)rechten te kunnen doen gelden op illustratiemateriaal in deze uitgave, dan verzoeken wij u om contact op te nemen met de uitgever.

Financiers

Het WKRU wordt mogelijk gemaakt door:

Radboud Universiteit



Aanvullende sponsor:

Radboudumc