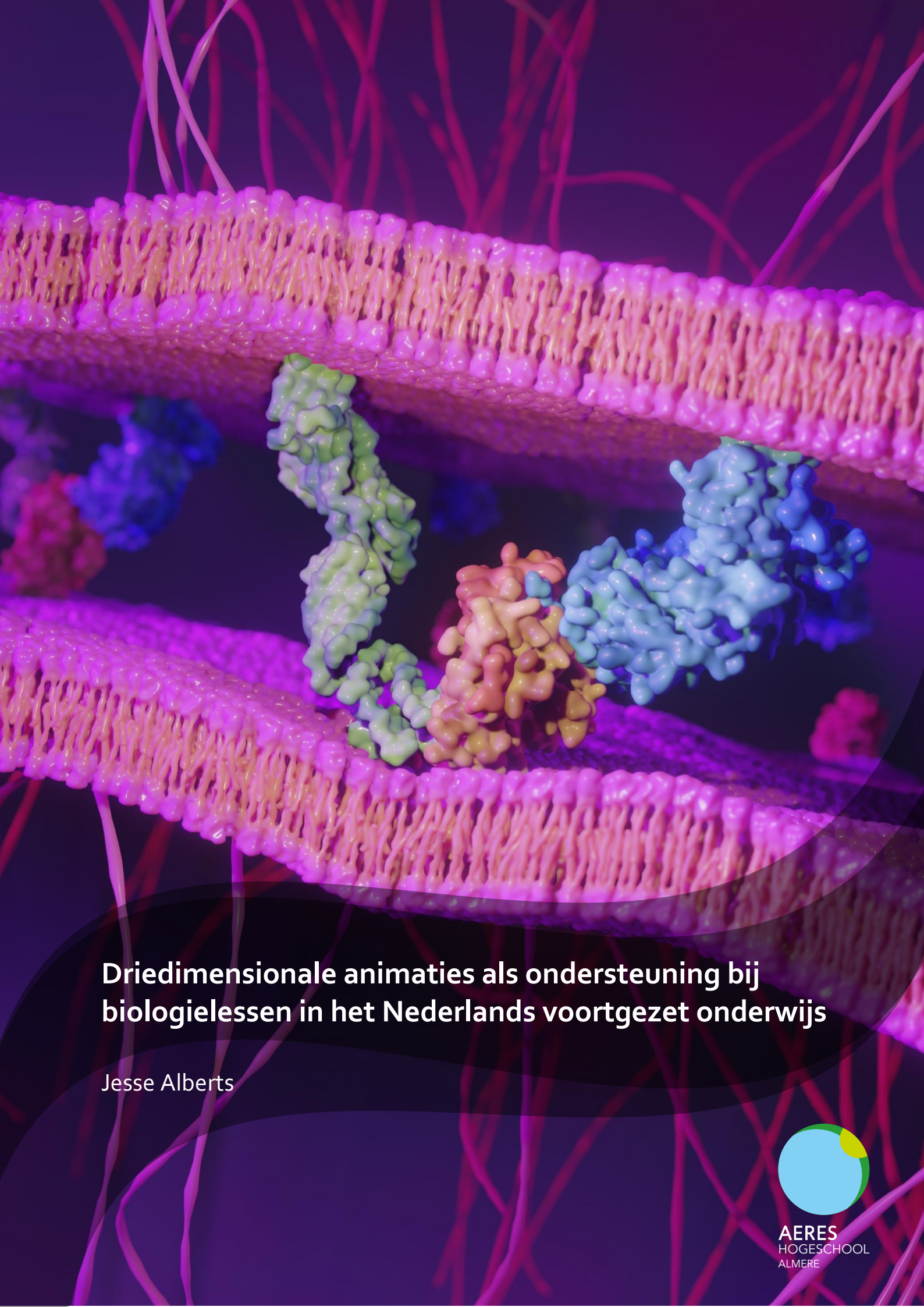


A 3D visualization of a cell membrane, showing a phospholipid bilayer with various proteins embedded within it. The membrane is depicted with a pinkish-orange head group and a yellowish-orange tail group. Several proteins are shown in different colors: green, orange, and blue. The background is dark blue with some red, fibrous structures.

Driedimensionale animaties als ondersteuning bij biologielessen in het Nederlands voortgezet onderwijs

Jesse Alberts

DRIEDIMENSIONALE ANIMATIES ALS ONDERSTEUNING BIJ BIOLOGIELESSEN IN HET NEDERLANDS VOORTGEZET ONDERWIJS

Bachelor scriptie

Naam: Jesse Alberts
Hogeschool: Aeres Hogeschool Almere
Opleiding: Toegepaste Biologie
Plaats en datum: 7 juni, Apeldoorn
Afstudeerdocent: Jeffrey van Lent

Omslag: T-cel receptor en co-receptor CD4 koppeling met MHC II: Jesse Alberts, 2022

Voorwoord

Tijdens een periode van drie en een halve maand heb ik een bedrijfsopdracht uitgevoerd aan het Christelijk Lyceum Apeldoorn. Met behulp van het product heb ik hier onderzoek verricht naar de effecten van driedimensionale animatie binnen biologielessen op kennisoverdracht en motivatie van leerlingen. Deze scriptie is geschreven met het oog op mijn afstuderen aan de opleiding Toegepaste Biologie aan Aeres Hogeschool Almere en is vooral bedoeld voor (biologie)docenten in het Nederlands voortgezet onderwijs die geïnteresseerd zijn in het gebruik van 3D-animatie in hun lessen.

Dankwoord

Mijn oprechte dank aan Jeffrey van Lent die mij als afstudeerdocent ontzettend goed heeft begeleid en met kritische feedback heeft voorzien. Daarnaast was Kyle Vreeman een fijne stagebegeleider waar ik veel van heb mogen leren omtrent zijn expertise binnen de biologie. Ook wil ik Daniëlle van Daalen, Saskia de Witte en Tom Steunenbergh bedanken voor hun hulpvolle meedenken en feedback op het product. Tot slot gaat ook dank uit naar Rozemarijn Moes en Tabitha Moes voor de laatste feedback op dit rapport.

Samenvatting

Het leerrendement bij het vak biologie lijkt laag te liggen op het voortgezet onderwijs, wat opgemerkt wordt op hogere scholen. Veel leerlingen begrijpen context niet of leggen de link niet met het dagelijks leven, waardoor verwarring ontstaat over biologische concepten. Een mogelijke verklaring hiervoor is de schematische manier van visualiseren in tekstboeken. De mogelijkheden in driedimensionale animatie kunnen een realistischer en completer beeld geven van complexe onderwerpen, waardoor het een aantrekkelijkere manier van visualiseren lijkt te zijn, als het gaat om kennisoverdracht. Dit onderzoek vergeleek het gebruik van 3D-animaties met traditionele lessen over het onderwerp immuunsysteem. Er werd onderzocht wat de effecten van 3D-animatie waren op de kennisoverdracht en motivatie van leerlingen in het Nederlands voortgezet onderwijs. Met behulp van een crossover methode is aan 28 leerlingen uit twee VWO4 klassen les gegeven over het onderwerp immuunsysteem, waarbij gedurende de helft van de les uitleg is gegeven aan de hand van een op maat gemaakte 3D-animatie en waarbij tijdens de andere leshelft traditioneel les is gegeven. Drie dagen later is de kennis getoetst en de mening van de leerlingen gevraagd met behulp van een online enquête. Na een analyse van deze resultaten werd aangetoond dat leerlingen de theorie beter begrijpen bij het gebruik van 3D-animatie in vergelijking met traditionele lessen. Er werd geen significante relatie gevonden tussen de motivatie van leerlingen en kennisoverdracht tijdens het gebruik van 3D-animatie. De bevindingen suggereren dat 3D-animatie voor leerlingen over het algemeen een positieve invloed heeft op de kennisoverdracht. Dit maakt 3D-animatie aantrekkelijk en nuttig voor gebruik in het Nederlands voortgezet onderwijs.

English summary

Biology students appears to have a low learning rate at the secondary level, which can be observed in higher education. Many students are confused by biological concepts, because they do not comprehend the context or draw the connection to everyday life. The schematic style of visualizing in textbooks is a possible explanation. Three-dimensional animation's capabilities may create a more realistic and full representation of complex topics, making it a more appealing method of depiction, when it comes to transfer of knowledge. The purpose of this study was to compare the usage of 3D animations to traditional teaching on the immune system. It focused on the impact of 3D animation on the transfer of knowledge and students' motivation in secondary schools in the Netherlands. 28 students from two VWO4 classrooms were taught about the immune system using a crossover method, with half of the lesson delivered using a custom 3D animation and the other half of the lesson being taught traditionally. Three days later, an online survey was used to test knowledge and gather opinions. When these data were analysed, it was shown that students understood theory better when 3D animation was used in the lesson instead of traditional lessons. When using 3D animation, no significant correlation was found between students' motivation and the transfer of knowledge. The findings imply that 3D animation has an equivalent beneficial influence on the students' transfer of knowledge, making it appealing and useful for application in secondary school in the Netherlands.

Inhoud

Introductie	6
Methodologie	9
<i>Deelnemers</i>	9
<i>Experimentele opzet</i>	9
<i>Animatie</i>	10
<i>Enquêteresultaten verwerking</i>	10
Resultaten	12
<i>Deelvraag 1</i>	12
<i>Deelvraag 2</i>	13
Discussie	14
<i>Effecten van 3D-animatie op kennisoverdracht</i>	14
<i>Relatie tussen 3D-animatie en motivatie</i>	14
<i>Methodereflexie</i>	15
<i>Toepassing van 3D-animatie in het Nederlands voortgezet onderwijs</i>	15
Conclusie	17
Literatuur	18
Bijlagen	20
<i>Bijlage 1. Screenshots uit de animatie</i>	20
<i>Bijlage 2. Leerlingen enquête (L)</i>	22
<i>Bijlage 3. Docenten enquête (D)</i>	23
<i>Bijlage 4. Ruwe data – Leerlingen enquête (L)</i>	24
<i>Bijlage 5. Ruwe data – Docenten enquête (D)</i>	25

Introductie

“Onze wereld is gebouwd op biologie en zodra we het beginnen te begrijpen, wordt het een technologie.” (*Ryan Bethencourt Quotes, z.d.*). Er is een enorm belang waarom we biologie op school leren. De rol van de biologie heeft de mensheid, het milieu, de dieren en planten meer geholpen dan welke andere wetenschap dan ook (*Curry, 2021*). Iemand met een diploma in de biologie kan binnen veel sectoren en gebieden aan het werk. Denk bijvoorbeeld aan de landbouw, onderwijs, gezondheidszorg, biotechnologie, milieubehoud, onderzoek, forensische wetenschap en vele andere gebieden (*Rogers, 2019*). Veel studenten vinden biologie moeilijk omdat het een breed perspectief en diepgaande kennis vereist over een enorme hoeveelheid aan gecompliceerde interacties tussen verschillende levende systemen, waarbij ook nog eens veel onbekende termen en concepten aan te pas komen (*Williams, 2021*). Dat het vak biologie over het algemeen als lastig wordt ervaren door leerlingen blijkt ook uit de laatste cijfers van het centraal examen in Nederland. Neem bijvoorbeeld de gemiddelde cijfers van de bètavakken uit de HAVO: een 6,3 voor natuurkunde, 6,4 voor scheikunde, 6,4 voor wiskunde A, 6,7 voor wiskunde B en een 6,1 voor biologie. (*Examenoverzicht, 2022*). Op biologie wordt het laagst gescoord in vergelijking tot andere bètavakken.

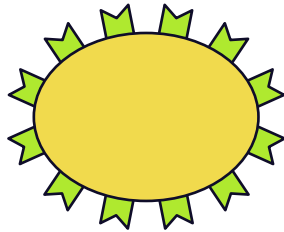
Waarom deze score relatief laag is en waar de moeilijkheid precies zit, komt in meerdere onderzoeken naar voren. Bijvoorbeeld in een onderzoek door de Karadeniz Technische Universiteit in Turkije, waarbij de studenten aangaven dat er te veel verschillende biologische interacties bestaan die niet met het blote oog gezien kunnen worden. Concepten voelen daardoor te abstract aan, waardoor ‘memoriseren’ de meest gebruikte leerstrategie is, oftewel ‘stampen en onthouden’. Dit is dan ook niet zo gek, want wanneer leerstof niet relevant lijkt voor het dagelijks leven en geen praktisch werk omvat, kunnen leerlingen het vak biologie beschouwen als een wetenschap waarbij alleen feitelijke kennis uit het hoofd geleerd moet worden. Dit leidt ertoe dat studenten hun motivatie verliezen (*Çimer, 2012*). Aan studenten van de Tel-Aviv Universiteit, de grootste openbare onderzoeksuniversiteit in Israël, is gevraagd wat hun verwachtingen waren van het leren voor hun studie ‘Life Science’. De meerderheid verwachtte meer wetenschappelijke kennis op te doen, wetenschappelijk te leren denken en wetenschappelijk inzicht te verwerven. Uit de antwoorden op de tweede gestelde vraag bleek dat deze positieve houding lastig is om te behouden; docenten nemen aan dat leerlingen de achtergrond- of contextkennis al beheersen, terwijl dat vaak niet zo is. Studenten gaven namelijk aan niks meer te weten van de lessen op hun middelbare school (*Marbach-Ad, 2004*).

Het leerrendement lijkt dus laag te liggen op de middelbare school, wat opgemerkt wordt op hogere scholen. Veel leerlingen begrijpen de context niet of leggen de link niet met het dagelijks leven, waardoor ze op een inefficiënte manier de wetenschap tot zich nemen (*Çimer, 2012*). De oorzaak hiervan ligt grotendeels bij de manier waarop nieuwe informatie over onzichtbare wetenschappelijke verschijnselen weergegeven wordt. Het is hierbij belangrijk dat er representatieve visualisaties van de realiteit beschikbaar zijn (*Manches & Ainsworth, 2022*). Wanneer dit niet het geval is, hebben jongeren de neiging om onzichtbare biologische concepten vanuit een antropocentrisch perspectief te zien (*Byrne et al., 2009*). Er worden menselijke eigenschappen gegeven aan concepten die dit niet hebben. Een concept waarbij dit goed valt uit te leggen is die van de ‘virus’. In plaats van hun neutrale rol als micro-organisme binnen een ecosysteem, wordt een virus vaak toegeschreven als ‘iets’ met een kwaadaardige wil om zich te verspreiden en mensen te infecteren. Ook begrijpen weinig mensen, waaronder ook volwassenen, dat virussen niet als levend worden beschouwd vanwege het missen van reproductieve autonomie en andere kenmerken van het leven (*Jones & Rua, 2006*). Studenten weten zelden waaruit virussen bestaan, waardoor de structuur verward wordt met andere microscopische organismen. In een onderzoek over de impact van het gebruik van

afstandsmicroscopie door studenten op concepten van virussen, schaal en microscopie begreep slechts 12% van de Amerikaanse middelbare scholieren dat virussen driedimensionaal zijn (Jones *et al.*, 2003).

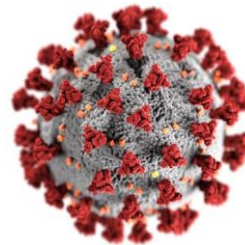
Figuur 1

Ziekteverwekker zoals in de 6^e editie 'biologie voor jou 5 HAVO leeropdrachtenboek' staat.



Figuur 2

Coronavirus illustratie van het CDC (Eckert & Higgins, 2020).



Een mogelijke verklaring voor deze verwarring ligt bij de manier waarop biologische concepten weergegeven worden in leerboeken op bijvoorbeeld de middelbare school. Figuur 1 laat een nagetekende versie zien van hoe een ziekteverwekker is geïllustreerd in het HAVO 5 leeropdrachtenboek. De gele cirkel is de ziekteverwekker en de groene vormen eromheen zijn antigeenen. Met behulp van deze tekenstijl wordt in het boek uitgelegd hoe antistoffen werken. Een realistischere afbeelding van een virus zoals te zien is in Figuur 2 is dus enorm gesimplificeerd tot een schematische illustratie. Er wordt een complex proces uitgelegd met behulp van vlakke (symmetrische) geometrie die gelijkenis vertoont met de realiteit, maar bepaalde kenmerken selecteert en overdrijft (Tversky, 2011). Figuur 2 is dus een duidelijkere illustratie van de morfologie van het coronavirus, maar toch zal deze manier van visualiseren niet de verwarring die eerder is beschreven oplossen of voorkomen. Dit komt doordat er maar één virus is weergegeven, zonder omgeving, waardoor de schaal en locatie verloren gaan. Dit zorgt ervoor dat het koppelen van biologische processen met de realiteit erg lastig is voor leerlingen die nieuw zijn binnen dit onderwerp (Manches & Ainsworth, 2022).

Om de koppeling met de realiteit makkelijker te maken, moet de visualisatie zo veel mogelijk eigenschappen en kenmerken weergeven; zoals morfologie aan de buiten- en binnenkant, functie, grootte, omgeving, locatie, et cetera. Het is onmogelijk om al deze aspecten in één afbeelding weer te geven die geschikt zal zijn voor educatie. Een dergelijke illustratie zou simpelweg te complex worden. De oplossing hiervoor is een picturale animatie. Dit is een reeks van beelden die elk maar een paar eigenschappen laten zien, waardoor de informatie verspreid wordt, maar wel compleet wordt weergegeven. Fang *et al.* (2021) onderzochten de effecten van motion graphic (MG) animatie in vergelijking met traditionele animatie. Ze maakten twee animatie video's met dezelfde boodschap over het gevaar van slangen. Op het moment dat in het verhaal de slang verscheen om iemand te bijten, vertelde de MG-video dit met behulp van animatie waarbij te zien was wat de slang deed, terwijl in de traditionele video een wetenschapsarts uitlegde waarom kinderen door slangen gebeten zouden worden. Uit de resultaten bleek dat de MG-animatie een sterkere positieve impact had op de aandachtsbias van de kijkers dan de traditionele verklarende video (Fang *et al.*, 2021). Ook in eerder onderzoek is aangetoond dat de gevoeligheid voor informatie toeneemt wanneer iets zowel auditief als visueel aangeboden wordt (Witton *et al.*, 1998). Dit werd ook duidelijk in een recenter onderzoek naar de voorkeuren van VWO4-leerlingen met betrekking tot auditieve en visuele informatie in instructievideo's voor biologie. Er kwam naar voren dat leerlingen over het algemeen zochten naar verduidelijking bij het lezen van tekst zonder plaatjes en dat tekst snel saai wordt zonder visualisaties (Los, 2014). In een onderzoek naar de effecten van virtuele leersimulaties op middelbare scholen in Denemarken werd gekeken of binnen het onderwerp 'evolutie' een simulatie voor betere resultaten zou kunnen zorgen in vergelijking met de traditionele lessen. Geen van beide methoden had een significant effect op de motivatie van leerlingen. Wel

bleek dat de kennis van evolutie aanzienlijk hoger lag na het gebruik van virtuele simulaties en dat de interesse in biologie gerelateerde taken verhoogde (*Thisgaard & Makransky, 2017*). Dit suggereert dat virtuele leersimulaties minstens zo effectief zijn in de effectiviteit van leren als traditionele lessen en dat het een nuttig hulpmiddel kan zijn bij het verhogen van kennis en interesse van studenten in carrières die technologie en wetenschap stimuleren (*Xbeurs, 2021*).

Combineer de driedimensionale factor en realistische structuren met de MG-animatiestijl en je krijgt een representatief wetenschappelijke video die ook mogelijkheid biedt om ruimtelijke eigenschappen toe te voegen. Een animatie zoals dit slaat geen stappen over, maar laat een continu proces zien waarin steeds verschillende stukken informatie of kenmerken belicht worden. Animatieovergangen helpen bij het herkennen van veranderingen, terwijl dit bij een illustratiereeks in een leerboek ontbreekt (*Manches & Ainsworth, 2022*). Volgens *Fisk (2008)* zijn dit soort animaties vooral effectief bij studenten die geen tot weinig voorkennis hebben.

Het is duidelijk wat de voordelen zijn van deze driedimensionale animaties binnen de educatie. Er zitten helaas nog wel een aantal nadelen aan de productie van deze beelden. Het belangrijkste nadeel is dat het proces moeilijk en tijdrovend is, wat het uiteindelijk duur maakt. Een driedimensionaal beeld bevat veel meer visuele kenmerken en eigenschappen die uitgezocht moeten worden dan een tweedimensionale tekening, wat meer expertise eist. Voordat een animatie geschikt is voor het onderwijs, moeten de leerdoelen die versterkt worden in de video matchen met het tekstboek (*Fisk, 2008*). Gelukkig ontwikkelt de moderne software en apparatuur exponentieel en is het mogelijk om steeds sneller en gemakkelijker dit soort beelden te maken.

Dit rapport onderzoekt of ondersteunende animaties die volledig aansluiten op het tekstboek inderdaad beter helpen bij het overbrengen van leerstof, dan de (gedateerde) educatieve websites en PowerPoints die nu vooral nog gebruikt worden in het Nederlands voortgezet onderwijs. Hierbij ligt de focus op kennisoverdracht en motivatie tijdens de les. De onderzoeksvraag is daarom als volgt:

Welk effect heeft het gebruik van driedimensionale animaties als ondersteuning bij biologielessen in vergelijking met traditionele biologielessen op de kennisoverdracht en motivatie van leerlingen in het Nederlands voortgezet onderwijs?

In het verlengde van het onderzoeksdoel zijn twee deelvragen opgesteld:

- 1: Begrijpen leerlingen theorie beter bij het gebruik van driedimensionale animatie in vergelijking met traditionele lessen?*
- 2: Is er een verband tussen motivatie voor het vak biologie en het begrip van theorie uitgelegd met behulp van een animatie?*

Vanwege de voordelen die beschreven zijn, wordt verwacht dat driedimensionale animatie een positief effect heeft op de motivatie van leerlingen. De verwachting is dat de verhoogde motivatie een positief effect heeft op de kennisoverdracht.

De antwoorden op deze deelvragen zullen de effecten van driedimensionale animatie binnen een biologieles naar boven brengen en daarmee het antwoord op de hoofdvraag ondersteunen. Hiermee zal bewijs geleverd worden of driedimensionale animatie wel of niet aantrekkelijk is om te gebruiken in het Nederlands voortgezet onderwijs.

Methodologie

Om te onderzoeken wat het effect is van 3D-animatie op de kennisoverdracht en motivatie van leerlingen in vergelijking met traditionele lessen is het volgende experiment uitgevoerd: Het experiment bestond uit twee verschillende biologielessen over het immuunsysteem waarin twee VWO4 klassen deelnamen. Een cross-over methode zorgde ervoor dat de klassen de helft van de leerstof toegediend kregen zoals dat in een traditionele les zou verlopen. De andere helft van de les werd ondersteund door een animatievideo waarbij de docent de scènes kon besturen. De verdeling van deze twee leshelften waren tegengesteld bij de twee klassen. Aan het eind van de lessen is een enquête uitgedeeld aan de leerlingen om resultaten te verzamelen (deze staat in Bijlage 2). Daarnaast is aan de betreffende docent en een aantal collega biologiedocenten een andere enquête uitgedeeld om professionele meningen en feedback te verzamelen (deze staat in Bijlage 3).

Deelnemers

De steekproef bestond uit twee VWO4 klassen van 12 en 16 leerlingen en één biologiedocent. Deze leerlingen hebben allemaal biologie in hun vakkenpakket gekozen om op bovenbouwniveau te volgen. De expertise van de biologiedocent was het immuunsysteem.

Om extra resultaten te krijgen over de ervaring van docenten, is een tweede enquête uitgedeeld aan vijf biologiedocenten.

Deelname aan het experiment was vrijwillig. Alle deelnemers is informatie gegeven over het experiment en de onderzoeksdoelen. Hierbij is expres niet gegeven waar precies op gemeten gaat worden, om zo natuurlijk mogelijke antwoorden te krijgen op de enquête die achteraf uitgedeeld werd.

Experimentele opzet

Het experiment gebruikte een crossover methode waarbij beide klassen werden gebruikt als controlegroep voor de andere klas. Doordat de leerlingen hun eigen controlegroep waren, konden er dubbel zoveel replica's verzameld worden. Daarnaast minimaliseert deze methode de invloed van ongewenste co-variabelen (*Mills et al., 2009*). Beide klassen kregen 40 minuten lang les die in twee delen opgesplitst was. 20 Minuten lang gaf de docent les met behulp van de animatie geprojecteerd op het digibord. Een andere 20 minuten gaf de docent een traditionele les die hij zelf voorbereid had. De eigen voorbereiding zorgde ervoor dat het controle deel zo vergelijkbaar mogelijk was met de lessen die gewoonlijk gegeven worden. De totale 40 minuten vormden samen een compleet verhaal over het immuunsysteem. Beide klassen kregen dus dezelfde informatie te horen, maar op een andere manier. Klas A kreeg het eerste deel les met behulp van animatie en het tweede deel traditioneel. Bij klas B was dit andersom.

Om te testen hoeveel kennis er nog is blijven hangen, werd drie dagen later bij beide klassen enquête L afgenomen (deze staat in Bijlage 2). De onderzoeker zelf (ook maker van de animatie) is niet fysiek aanwezig geweest tijdens het invullen van de enquête om eerlijke antwoorden zonder vooroordeel te verzamelen. Deze enquête bestond uit twee delen. Het eerste deel was een kennistest waarbij de leerlingen een aantal processen in de juiste volgorde moesten zetten. Deze processen zijn in beide leshelften benoemd en vormen dus een overzicht van de leerstof. Daarna volgde er nog twee specifieke vragen over het eerste deel van de les en twee specifieke vragen over het tweede deel van de les. Op deze manier werd er onderscheid gemaakt tussen de vragen over de kennis die in beide leshelften is opgedaan. Om een zo representatief mogelijke toetsing te krijgen, mochten de leerlingen gebruik maken van een Binas informatieboek dat ook bij het examen is toegestaan. Het tweede deel van de enquête vroeg om de mening van de leerling over het vak

‘biologie’ zelf en naar het verschil in het ervaren van de twee lesdelen. Met deze resultaten kon een analyse uitgevoerd worden die het verband tussen motivatie en kennisoverdracht onderzocht.

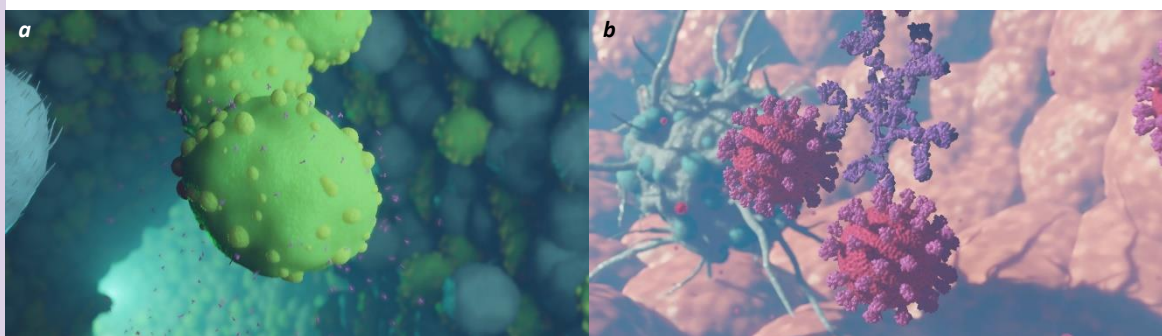
Om meningen en feedback van docenten te krijgen, is de animatie gestuurd naar vijf biologiedocenten (waaronder ook de docent die de twee experimentlessen heeft gegeven) samen met enquête D (deze staat in Bijlage 3). De docenten konden in eigen tijd het bestand bekijken en online de enquête invullen.

Animatie

Er is een driedimensionale animatie gemaakt die het immuunsysteem behandelt als onderdeel van de bedrijfsopdracht. Er is gekozen voor dit onderwerp, omdat er hierover veel schematische tekeningen bestaan in de tekstboeken. Dit is precies wat nodig is om nieuwe animatie te kunnen vergelijken met huidige illustraties.

Figuur 3

Twee screenshots uit de gebruikte animatie in het experiment.



De animatie (zoals in Figuur 3 twee beelden te zien zijn uit de animatie) bevat dezelfde hoeveelheid details als de afbeeldingen die gebruikt worden in het tekstboek voor de lesstof van het VWO-examen. De video volgt een route door het afweersysteem, waarbij de leerdoelen één voor één in beeld komen. Ze behandelen onder andere een ziekteverwekker die de huidlaag doordringt en vervolgens opgenomen wordt door een macrofaag. De antigenen worden gepresenteerd aan een pre T-helpercel, die op zijn beurt deelt. Een deel van de T-helpercellen zorgt ervoor dat B-cellen in antistof uitscheidende plasmacellen veranderen (Figuur 3a). Deze antistoffen koppelen aan antigenen om de virusdelen aan elkaar te plakken en zo macrofagen te helpen met opruimen (Figuur 3b). Een ander deel van de T-helpercellen activeren cytotoxische T-cellen die vervolgens binden aan geïnfecteerde cellen om ze af te breken. In de Bijlagen staan meer beelden van de animatie met een korte beschrijving per screenshot.

Deze animatie is in delen in een PowerPoint gezet, zodat de docent de videobeelden kan doorklikken of herhalen op eigen tempo. Telkens zijn er pauzes waarbij er op overzichtelijke beelden een aantal begrippen verschijnen. Hier kan de docent even stilstaan en uitleg geven voordat het volgende proces weergegeven is. Er is voor een PowerPoint bestand gekozen, omdat dit door de meeste docenten al wordt gebruikt, waardoor het de meest gebruikersvriendelijke optie was.

Enquêteresultaten verwerking

Er is een puntensysteem toegepast op de scores die behaald zijn op het theoriegedeelte van enquête. Op vraag 1 kon in totaal zes punten behaald worden (één punt per goed geplaatst proces). Vraag 2 tot en met 5 waren open vragen en daarom elk twee punten waard. Bij de open vragen is één punt gegeven wanneer het antwoord voor de helft goed was en er verder geen foute informatie stond. Om de verschillende vragen met elkaar te kunnen vergelijken zijn alle scores omgerekend naar procenten, waarbij 200% gelijk stond aan

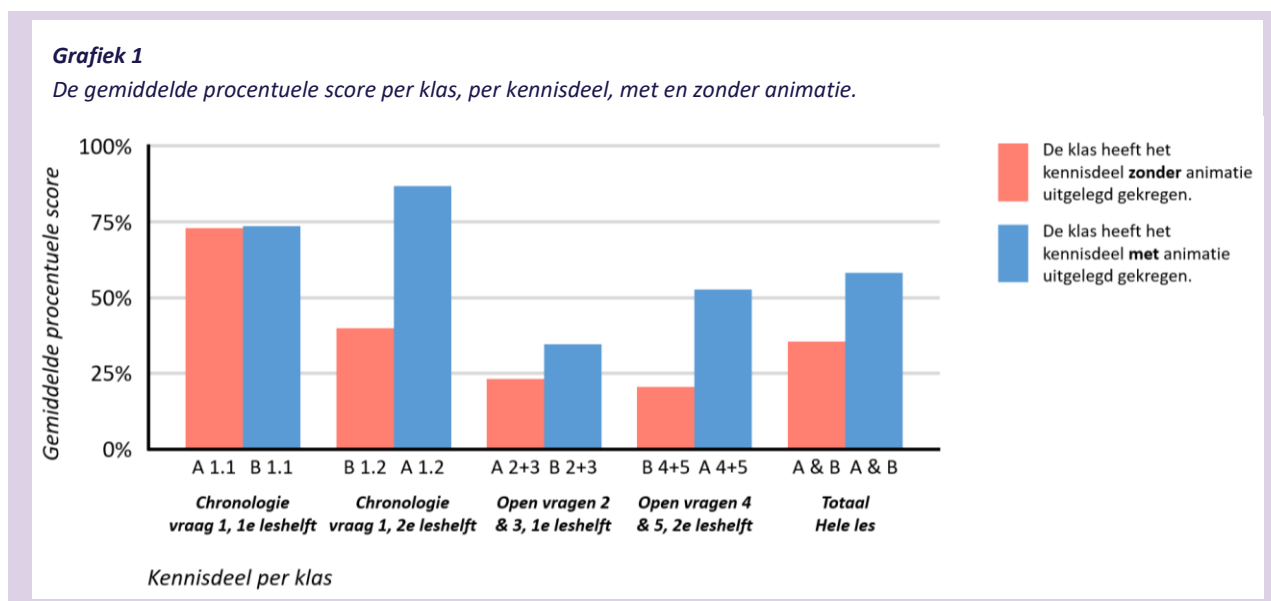
maximale score op de theorie uit beide lesdelen. Met deze resultaten kon een verschil in score tussen de twee lesdelen uitgerekend en geanalyseerd worden.

Voor het analyseren van de resultaten die verkregen zijn op het tweede gedeelte van enquête L is ook een puntensysteem toegepast. De leerlingen hebben bij vijf stellingen aangegeven hoe erg ze het met de stelling eens waren op een schaal van vijf, waarbij 1 gelijk staat aan 'Eens' en 5 aan 'Oneens'. Deze cijfers zijn gebruikt in de analyse.

Resultaten

Deelvraag 1

Begrijpen leerlingen theorie beter bij het gebruik van driedimensionale animatie in vergelijking met traditionele lessen?



De ruwe resultaten waar Grafiek 1 op gebaseerd is (enquête L) staan in Bijlage 4. In Grafiek 1 zijn de gemiddelde scores weergegeven die beide klassen (klas A en klas B) hebben gehaald op de verschillende vragen, welke de stof van de twee verschillende lesdelen toetst. Omdat het maximaal aantal punten verschilt per vraag, zijn de scores in procenten weergegeven, zodat alle vragen in dezelfde grafiek weergegeven en vergeleken konden worden. De kennisdelen zijn opgedeeld in theorievragen waarbij de klas geen animatie heeft gezien (rood) en theorievragen waarbij de klas wel animatie heeft gezien (blauw). Zo is de eerste vraag, waar de volgorde gevraagd werd van zes biologische processen, opgesplitst in twee helften. Drie processen kwamen langs in de eerste leshelft en drie processen kwamen langs in de tweede leshelft. Dit geldt ook voor de open vragen. Vraag 2 en 3 gingen over theorie uit de eerste leshelft. Vraag 4 en 5 gingen over theorie uit de tweede leshelft. De laatste twee balken geven de gemiddelden van klas A en B samen weer, die behaald zijn op de theoridelen waar wel en geen animatie bij de uitleg is gebruikt.

De maximale score dat een leerling kon halen op het theoretische deel van enquête L is 14 punten (200% score), waarvan 7 punten (100% score) voor elke theoriehelft. De gemiddelde behaalde procentuele score op de delen waar geen animatie is gebruikt is 35,20 ($sd = 24,73$, $n = 28$). De gemiddelde behaalde procentuele score op de delen waar wel animatie is gebruikt is 57,65 ($sd = 20,01$, $n = 28$).

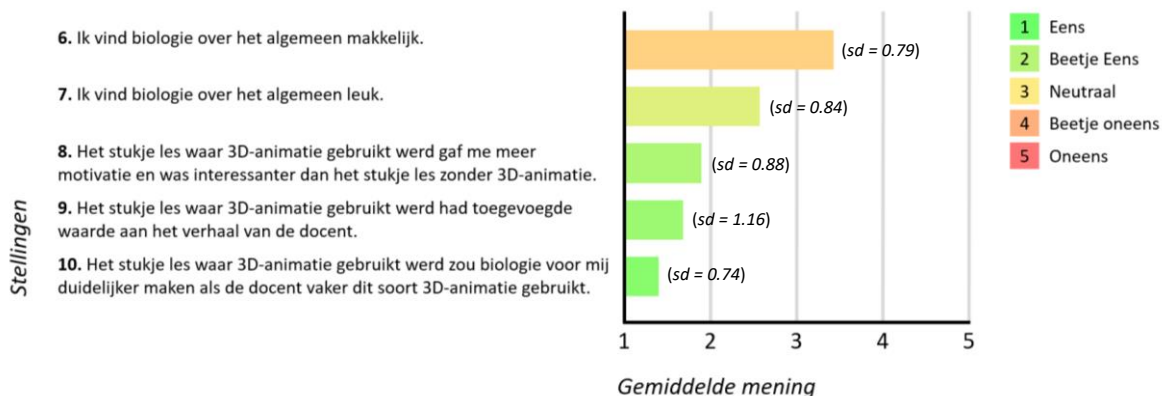
Een gepaarde t-toets is uitgevoerd op de gemiddelde procentuele score om vast te stellen of leerlingen theorie ondersteund door 3D-animatie beter begrijpen dan wanneer er geen animatie gebruikt wordt. Het gemiddelde verschil ($M = 22,75$, $sd = 20,30$, $n = 28$) was significant groter dan nul ($t(27) = 5,94$, $p < 0,001$). Het 95% betrouwbaarheidsinterval over gemiddelde scoretoename op een kennistest bij gebruik van animatie is 14,7-30,8%.

Deelvraag 2

Is er een verband tussen motivatie voor het vak biologie en het begrip van theorie uitgelegd met behulp van een animatie?

Grafiek 2

De gemiddelde mening van leerlingen per stelling.



De ruwe resultaten waar Grafiek 2 op gebaseerd is (enquête L) staan in Bijlage 4. In Grafiek 2 is de gemiddelde mening weergegeven op de vijf stellingen die de leerlingen hebben ingevuld in het tweede deel van enquête L. Bij stelling 6 'Ik vind biologie over het algemeen makkelijk' kwam een gemiddelde uit van 3,43, wat gelijk staat aan een waarde tussen 'Neutraal' en 'Beetje oneens'. Bij stelling 7 'Ik vind biologie over het algemeen leuk' kwam een gemiddelde uit van 2,57, wat gelijk staat aan een waarde tussen 'Beetje eens' en 'Neutraal'. Bij stelling 8 'Het stukje les waar 3D-animatie gebruikt werd gaf me meer motivatie en was interessanter dan het stukje les zonder 3D-animatie' kwam een gemiddelde uit van 1,89, wat gelijk staat aan een waarde tussen 'Eens' en 'Beetje eens' leunend naar 'Beetje eens'. Bij stelling 9 'Het stukje les waar 3D-animatie gebruikt werd had toegevoegde waarde aan het verhaal van de docent' kwam een gemiddelde uit van 1,68, wat gelijk staat aan een waarde tussen 'Eens' en 'Beetje eens'. Bij stelling 10 'Het stukje les waar 3D-animatie gebruikt werd zou biologie voor mij duidelijker maken als de docent vaker dit soort 3D-animatie gebruikt' kwam een gemiddelde uit van 1,39, wat gelijk staat aan een waarde tussen 'Eens' en 'Beetje eens'. Een regressieanalyse is uitgevoerd om vast te stellen of er een verband is tussen de behaalde score op het theoretische deel en de resultaten van het tweede deel van enquête L. Hieruit bleek dat er geen relevante relatie is tussen de theoriescore en de moeilijkheidsgraad van het vak biologie zoals een leerling die ervaart ($R^2 = 0,030$; $F(1,28) = 0,80$; $p = 0,381$). Ook bleek dat er geen relevante relatie is tussen de theoriescore en hoe leuk een leerling het vak biologie vindt ($R^2 = 2,0 \cdot 10^{-5}$; $F(1,28) = 5,3 \cdot 10^{-4}$; $p = 0,982$). Een belangrijke observatie was dat er over het algemeen was aangegeven dat de animatie voor meer motivatie en interesse zorgde. Toch bleek er geen relevante relatie te zijn tussen de theoriescore en hoe gemotiveerd en geïnteresseerd een leerling was tijdens de animatie ($R^2 = 0,007$; $F(1,28) = 0,18$; $p = 0,678$). Ook was er over het algemeen aangegeven dat de animatie een toegevoegde waarde had aan het verhaal van de docent en dat een dergelijke animatie biologie verduidelijkt. Ondanks dit bleek ook hier geen relevante relatie te zijn tussen de theoriescore en of een leerling de animatie ervaarde als toegevoegde waarde aan het verhaal van de docent ($R^2 = 1,1 \cdot 10^{-5}$; $F(1,28) = 2,8 \cdot 10^{-4}$; $p = 0,987$). Tenslotte bleek dat er ook geen relevante relatie is tussen de theoriescore en of een leerling vond dat een dergelijke animatie biologie verduidelijkt ($R^2 = 0,024$; $F(1,28) = 0,63$; $p = 0,434$).

Discussie

Effecten van 3D-animatie op kennisoverdracht

Uit de resultaten van deelvraag 1 blijkt dat het gemiddelde scoreverschil tussen opgedane kennis met behulp van animatie en opgedane kennis zonder animatie 14,7 tot 30,8% is. Een mogelijke onderbouwing voor dit resultaat biedt het onderzoek van *Los (2014)* dat eerder is genoemd: leerlingen blijken over het algemeen te zoeken naar verduidelijking bij informatie zonder plaatjes. De 3D-animatie heeft op deze manier mogelijk meer duidelijkheid gegeven dan de traditionele uitleg. Ook valt dit verschil in kennisoverdracht met behulp van animatie en traditionele kennisoverdracht te verklaren met het onderzoek van *Fang et al. (2021)*, waaruit bleek dat motion graphic animatie een sterkere positieve impact heeft op de aandachtsbias van kijkers dan een traditionele verklarende video. Een kanttekening hierbij is dat dit huidige experiment de resultaten heeft geanalyseerd van de enquête waarin de leerlingen zelf werden gevraagd hun mening te geven. Dit is niet hetzelfde als de onderzochte aandachtsbias in het onderzoek van *Fang et al. (2021)*, waarbij de aandachtsbias echt is gemeten, maar staat wel in het verlengde ervan.

Wat ook opvalt is dat in Grafiek 1 de chronologievraag van de eerste lesheft bijna geen verschil zichtbaar is tussen de theorie die met en zonder animatie is uitgelegd. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de eerste lesheft de introductie op de theorie bevatte. De docent dook niet direct in de materie, maar begon rustig bij het begin waar een virus het lichaam binnendringt. Dit concept bevat minder ingewikkelde en onbekende concepten en is daardoor makkelijker te begrijpen en minder abstract dan wanneer de verschillende afweercellen geactiveerd worden en allerlei processen ingang zetten. Er zou gezegd kunnen worden dat 3D-animatie tijdens dit soort verkennende besprekingen niet zozeer van meerwaarde is en dat de traditionele manier van uitleggen dan ook voldoet. Dat dit verschil in complexiteit vooral speelt bij het begrijpen van de chronologie en niet bij het begrijpen van functies van concepten, is te zien aan de scoreverschillen tussen de antwoorden op de open vragen. Hierin zijn wel significante verschillen in score te zien tussen beide lesheften, waarbij in het uitlegdeel met animatie duidelijk hoger wordt scoort. Verkennende uitleg op een nieuw onderwerp gaat namelijk niet meteen in op de functies van concepten, terwijl de 3D-animatie dit wel deed.

Relatie tussen 3D-animatie en motivatie

Uit de resultaten van deelvraag 2 blijkt dat geen van de resultaten uit het tweede deel van enquête L een relevante relatie hebben met de score die leerlingen haalden op het theoretische gedeelte van enquête L. Dit kan geïnterpreteerd worden als: hoe moeilijk of leuk een leerling het vak biologie ook vindt, of hoe motiverend, waardevol en verduidelijkend de 3D-animatie ook was voor de leerling, leerlingen hebben onafhankelijk van deze factoren gepresteerd. Er waren bijvoorbeeld leerlingen die aangegeven hadden dat ze biologie makkelijk vonden en leerlingen die biologie moeilijk vonden. Een logische verwachting is dat dit ook relateert aan hoe makkelijk de leerling de animatie begrijpt, maar ongeacht dit verschil was er een verbetering van score bij beide gevallen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er, naast motivatie, nog een andere variabele is die meer invloed heeft op kennisscore. Uit het onderzoek van *De la Fuente & Cardelle-Elawar (2009)* bleek namelijk dat een slimme leeraanpak die gebruik maakt van plan en strategie de beste manier is om theorie op te nemen en dus betere resultaten te halen. Hoe een leerling zich voorneemt de lesstof op te nemen tijdens de les en wat dus hun leerstrategie is, is niet onderzocht in het huidige experiment. Deze ontbrekende factor verklaart mogelijk waarom er geen relevante relatie is gevonden tussen de motivatie en kennisscore. Desalniettemin hebben de leerlingen toch aangegeven dat de

animatie voor meer motivatie, interesse en verduidelijking van de theorie zorgde in vergelijking met de traditionele uitleg. Hiermee voldoen deze resultaten deels aan de verwachting die is gesteld in de inleiding, namelijk dat 3D-animatie een positief effect zou hebben op de motivatie van leerlingen en op de kennisoverdracht, maar niet dat een verhoogde kennisoverdracht de oorzaak zou zijn van een verhoogde motivatie bij leerlingen.

Methodereflexie

De gebruikte crossover methode in het experiment heeft voor- en nadelen. Alhoewel de voordelen al bekend waren, kunnen in een crossover onderzoek overdrachtseffecten voorkomen wanneer er een te korte of geen uitwasperiode is tussen de twee behandelingen (Krogh *et al.*, 2019). In dit geval was er geen pauze tussen de twee lesdelen, waardoor de twee klassen een verschillend motivatieniveau konden hebben tijdens het zien van de animatie als consequentie van het moment waarop ze de animatie te zien kregen in de les. Uit de resultaten bleek echter dat er een onbeduidend verschil was tussen de antwoorden van de twee klassen op de vraag of de 3D-animatie interessanter en motiverender was: het antwoord was in beide gevallen overwegend 'Beetje eens'.

Daarnaast werden de twee experimentlessen gegeven door een biologiedocent die is afgestudeerd in het immuunsysteem, oftewel het onderwerp van de animatie. Daarom werd verwacht dat hij zonder problemen de animatie kon gebruiken in zijn lessen. De animatie was verwerkt in een PowerPoint (het programma dat de docent vaak gebruikt voor lessen), waardoor het voor de docent makkelijk zou moeten zijn om te navigeren door de nieuwe vorm van lesmateriaal. Uit enquête D (de ruwe resultaten van enquête D staan in Bijlage 5) bleek dat biologiedocenten gemiddeld de toegevoegde waarde en potentie wel zien, maar iets terughoudender waren wanneer er gevraagd werd of ze zelf de animatie zouden willen gebruiken. Er werd aangegeven dat de beelden aanspraken, maar dat het wel een goede instructie vraagt van de docent. Dit ligt in lijn met de stelling van Ugur (2020): het niveau van digitale ervaring onder docenten moet volgens haar ingrijpender worden aangepakt om dit soort digitale didactiek te kunnen verbeteren. Hierbij hoort ook de brede uitleg die bij de animatie gegeven moet worden.

Tot slot is in dit onderzoek gekozen voor twee VWO4 klassen als steekproef. De vraag is echter wat de meest representatieve steekproef is binnen het Nederlands voortgezet onderwijs. De mening en motivatie van HAVO- en VMBO-leerlingen kunnen natuurlijk afwijken van die van VWO-leerlingen. Desalniettemin is VWO een voor de hand liggende keus, aangezien het dit het meest theoretische niveau op het voortgezet onderwijs is en dit onderzoek juist de overdracht van die theorie wil testen. De keuze voor de twee VWO4 klassen had ook te maken met roostertechnische mogelijkheden, waardoor er minder keuzevrijheid was in potentiële klassen voor de steekproef. Ook heeft het niveau en de leeftijd van de leerlingen de keuze beïnvloed. De theorie die behandeld werd in de animatie is theorie die vooral op het VWO voorkomt. Daarnaast zijn de derde en de vierde klas de twee middelste klassen op het VWO niveau. De vierde klas was hierin meer geschikt voor de steekproef dan de derde klas, vanwege de plek in de bovenbouw en hiermee meer voorbereid op het examen. Ook is in het onderzoek van Los (2014) naar de voorkeur voor auditieve en visuele informatie in biologie instructievideo's gebruik gemaakt van VWO4-leerlingen, wat de twee VWO4 klassen een vergelijkbare steekproef maakte voor het onderzoeken van deze kennisoverdracht bij leerlingen.

Toepassing van 3D-animatie in het Nederlands voortgezet onderwijs

Dit onderzoek is een uitbreiding van de bestaande literatuur over de effectiviteit van film, simulatie en animatie binnen het onderwijs, waarin specifiek is gekeken naar de effecten van driedimensionale animatie in het Nederlands voortgezet onderwijs. Zoals hierboven is besproken, moet er vanzelfsprekend rekening

gehouden worden met het feit dat in dit onderzoek alleen leerlingen uit VWO4 klassen zijn gebruikt. Desalniettemin is deze steekproef wel bruikbaar vanwege het significante scoreverschil tussen opgedane kennis met en zonder hulp van animatie. Uit de desbetreffende analyse kwam namelijk een p-waarde die kleiner was dan 0,001, wat laag genoeg is om de nulhypothese te verwerpen. Dit sluit niet uit dat eenzelfde experiment op andere middelbare school niveaus met andere theorie overbodig is, want hoe vaker dit experiment herhaald wordt, hoe betrouwbaarder en breder de resultaten. Hiermee kan de inhoud van een 3D-animatie aangepast worden, waardoor de effectiviteit zal verbeteren. Toch wordt er weinig verschil in resultaten verwacht met HAVO- en VMBO-klassen, vanwege de kleine p-waarde.

De ondervraagde biologiedocenten waren over het algemeen enthousiast over het idee om met 3D-animatie het leerrendement in biologielessen te verhogen. Uit de opmerkingen van de biologiedocenten in enquête D bleek dat een dergelijke 3D-animatie ook heel fijn zou zijn voor andere onderwerpen in de biologie, waaronder moleculaire theorie. Over het algemeen spraken de beelden aan volgens de biologiedocenten, waarna bijna iedereen gelijk aangaf dat er behoefte was aan meer van dit soort animatie. Volgens de desbetreffende docent zou het de leerlingen helpen om biologische processen beter voor zich te kunnen zien. Ook werd aangegeven dat er behoefte was aan nog meer stap-voor-stap animatiebeelden bij bepaalde delen uit de theorie. Op die manier zou de animatie één op één kunnen aansluiten op de Binas, het informatieboek dat de leerlingen mogen gebruiken tijdens het examen, en zou er volgens de docenten nog meer potentie zijn om zo'n 3D-animatie te gebruiken in biologielessen.

Hier komt ongetwijfeld bij kijken dat het maken van dit soort animatie veel tijd kost en dus niet goedkoop is. Om deze reden zou er eerst gekeken moeten worden naar de behoefte aan 3D-animatie binnen de verschillende onderwerpen in de biologie. Dit zou dan gebaseerd zijn op de complexiteit en abstractheid van een onderwerp. De lijst van meest moeilijke biologieonderwerpen die uit het onderzoek van *Hadiprayitno et al. (2019)* kwam liet zien dat 'bacteriën en virussen' als het meest lastige onderwerp werd ervaren. Daarna volgden: het hormoonstelsel, celstructuur en functie, genetika en het zenuwstelsel. Deze onderwerpen zouden in deze moeilijkheidsvolgorde geanimeerd kunnen worden, zodat de meest nodige animaties op een zo kort mogelijk termijn gemaakt kunnen worden. Er wordt verwacht dat animaties in andere onderwerpen, waarbij minder moeilijkheid wordt ervaren, logischerwijs ook minder positieve invloed hebben op het begrip van leerlingen. Deze krijgen daarom minder voorrang en kunnen altijd nog op lange termijn geproduceerd worden.

Conclusie

Het doel van deze studie was om het effect van het gebruik van driedimensionale animaties als ondersteuning bij biologielessen in vergelijking met traditionele biologielessen op de kennisoverdracht en motivatie van leerlingen in het Nederlands voortgezet onderwijs te onderzoeken.

De bevindingen bevestigen dat leerlingen theorie beter begrijpen bij het gebruik van 3D-animatie in vergelijking met traditionele uitleg. Ook blijkt dat 3D-animatie over het algemeen voor meer motivatie en interesse zorgt bij leerlingen en naar hun mening de theorie verduidelijkt. Echter, dit staat niet in relatie met het begrip van theorie dat uitgelegd wordt door middel van een 3D-animatie. Dit suggereert dat 3D-animatie voor leerlingen over het algemeen een positieve invloed heeft op de kennisoverdracht, ongeacht de motivatie of interesse voor het vak biologie.

Dat het vak biologie in het algemeen hiermee makkelijker is geworden, is niet helemaal te concluderen. Er spelen namelijk nog veel meer factoren die invloed hebben op de prestaties van leerlingen, die niet meegenomen zijn in dit onderzoek, zoals leerstrategieën van leerlingen en de manier van uitleggen van een docent bij een 3D-animatie. Wel kan ervoor gezorgd worden dat 3D-animatie een nog positievere invloed heeft op het leerrendement van leerlingen en het nog aantrekkelijker is voor gebruik in het Nederlands voortgezet onderwijs. Er zou gekeken moeten worden naar hoe andere niveaus op de middelbare school reageren op het gebruik van 3D-animatie in de les. Met deze data zou de inhoud van een 3D-animatie nog beter aangesloten kunnen worden op de Binas, waardoor de effectiviteit zal verbeteren. Het bleek dat de ondervraagde biologiedocenten dan meer bereid zijn om zo'n animatie te gebruiken in hun les, ook al vonden ze de animatie al aantrekkelijk en duidelijk.

Omdat het produceren van dit soort 3D-animaties veel tijd kost en dus duur is, wordt aanbevolen om op de korte termijn eerst de meest moeilijke onderwerpen te animeren. Een goede volgorde hiervoor is: bacteriën en virussen, het hormoonstelsel, celstructuur en functie, genetica, het zenuwstelsel. Op de lange termijn zou gekeken kunnen worden of er nog bij andere onderwerpen behoefte is aan verduidelijkende 3D-animatie.

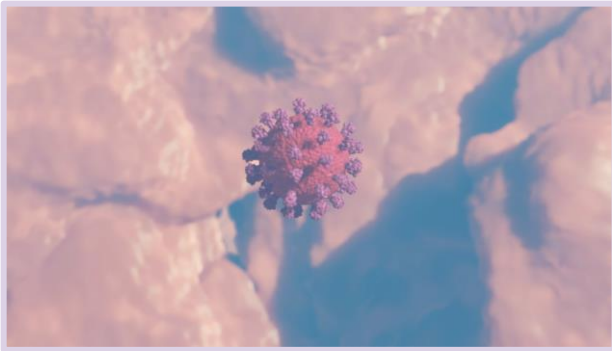
Literatuur

1. Byrne, J., Grace, M., & Hanley, P. (2009). Children's anthropomorphic and anthropocentric ideas about micro-organisms. *Journal of Biological Education*, 44(1), 37–43. Geraadpleegd op 7 april 2022, van <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00219266.2009.9656190>
2. Çimer, A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students views. *Educational Research and Reviews*, 7(3), 61–71. Geraadpleegd op 7 april 2022, van <https://academicjournals.org/journal/ERR/article-abstract/6AD7EA84352>
3. Curry, M. (2021). Why Biology Is the Best Science | What does Biology Study | Importance of Biology. *Ezy Math Tutoring*. Geraadpleegd op 6 april 2022, van <https://www.ezymathtutoring.com.au/blog/why-biology-is-the-best-science/>
4. De la Fuente, J., & Cardelle-Elawar, M. (2009). Research on action–emotion style and study habits: Effects of individual differences on learning and academic performance of undergraduate students. *Learning and Individual Differences*, 19(4), 567–576. Geraadpleegd op 6 juni 2022, van <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.07.009>
5. Eckert, A., & Higgins, D. (2020). Ultrastructural morphology exhibited by coronaviruses [Illustratie]. CDC. Geraadpleegd op 6 april 2022, van <https://phil.cdc.gov/details.aspx?pid=23312>
6. Examenoverzicht. (2022). Statistieken over het Eindexamen: het Ultieme Overzicht (2022). *ExamenOverzicht*. Geraadpleegd op 6 april 2022, van <https://www.examenoverzicht.nl/examen-informatie/algemeen/statistieken>
7. Fang, J., Hu, J., Wang, F., Yan, C., & Zhang, H. (2021). Can Motion Graphic Animation About Snakes Improve Preschoolers' Detection on Snakes? A Study of Inattentive Blindness. *Frontiers in Psychology*, 11. Geraadpleegd op 9 april 2022, van <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.609171/full>
8. Fisk, G. (2008). Using Animation in Forensic Pathology and Science Education. *Laboratory Medicine*, 39(10), 587–592. Geraadpleegd op 21 april 2022, van <https://academic.oup.com/labmed/article/39/10/587/2504636>
9. Hadiprayitno, G., Muhlis, & Kusmiyati. (2019). Problems in learning biology for senior high schools in Lombok Island. *Journal of Physics: Conference Series*, 1241(1), 012054. Geraadpleegd op 6 juni 2022, van <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1241/1/012054>
10. Jones, M. G., Andre, T., Superfine, R., & Taylor, R. (2003). Learning at the nanoscale: The impact of students' use of remote microscopy on concepts of viruses, scale, and microscopy. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 303–322. Geraadpleegd op 7 april 2022, van <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.10078>
11. Jones, M. G., & Rua, M. J. (2006). Conceptions of Germs: Expert to Novice Understandings of Microorganisms. *Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 10(3). Geraadpleegd op 7 april 2022, van <https://ejrsmc.icrsmc.com/article/view/7741>
12. Krogh, H. B., Storebø, O. J., Faltinsen, E., Todorovac, A., Ydedahl-Jensen, E., Magnusson, F. L., Holmskov, M., Gerner, T., Gluud, C., & Simonsen, E. (2019). Methodological advantages and disadvantages of parallel and crossover randomised clinical trials on methylphenidate for attention deficit hyperactivity disorder: a systematic review and meta-analyses. *BMJ Open*, 9(3). Geraadpleegd op 1 juni 2022, van <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2018-026478>

13. Los, A. (2014). *Willen leerlingen plaatjes en/of tekst? Voorkeuren van leerlingen uit 4VWO met betrekking tot auditieve en visuele informatie in instructievideo's voor biologie*. Utrecht University. Geraadpleegd op 10 mei 2022, van <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/18116>
14. Manches, A., & Ainsworth, S. (2022). *Learning About Viruses: Representing Covid-19*. *Frontiers in Education*, 6. Geraadpleegd op 7 april 2022, van <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feduc.2021.736744>
15. Marbach-Ad, G. (2004). *Expectations and Difficulties of First-Year Biology Students*. *Journal of College Science Teaching*, 33(5), 18–23. Geraadpleegd op 7 april 2022, van <https://www.jstor.org/stable/26491280>
16. Mills, E. J., Chan, A. W., Wu, P., Vail, A., Guyatt, G. H., & Altman, D. G. (2009). *Design, analysis, and presentation of crossover trials*. *Trials*, 10(1). Geraadpleegd op 1 juni 2022, van <https://doi.org/10.1186/1745-6215-10-27>
17. Rogers, K. (2019). *biology | Definition, History, Concepts, Branches, & Facts*. *Encyclopedia Britannica*. Geraadpleegd op 6 april 2022, van <https://www.britannica.com/science/biology>
18. Ryan Bethencourt Quotes. (z.d.). *BrainyQuote.com*. Geraadpleegd op 6 april 2022, van https://www.brainyquote.com/quotes/ryan_bethencourt_798409
19. Thisgaard, M., & Makransky, G. (2017). *Virtual Learning Simulations in High School: Effects on Cognitive and Non-cognitive Outcomes and Implications on the Development of STEM Academic and Career Choice*. *Frontiers in Psychology*, 8. Geraadpleegd op 6 april 2022, van <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2017.00805>
20. Tversky, B. (2011). *Visualizing Thought*. *Topics in Cognitive Science*, 3(3), 499–535. Geraadpleegd op 7 april 2022, van <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1756-8765.2010.01113.x>
21. Ugur, N. G. (2020). *Digitalization in Higher Education: A Qualitative Approach*. *International Journal of Technology in Education and Science*, 4(1), 18–25. Geraadpleegd op 1 juni 2022, van <https://doi.org/10.46328/ijtes.v4i1.24>
22. Williams, R. (2021). *Is Biology a Hard Major? Education Exponent*. Geraadpleegd op 6 april 2022, van <https://educationexponent.com/is-biology-a-hard-major/#:%7E:text=Why%20is%20Biology%20so%20hard,well%20as%20in%20depth%20knowledge>.
23. Witton, C., Talcott, J., Hansen, P., Richardson, A., Griffiths, T., Rees, A., Stein, J., & Green, G. (1998). *Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers*. *Current Biology*, 8(14), 791–797. Geraadpleegd op 9 april 2022, van [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(98\)70320-3?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982298703203%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(98)70320-3?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982298703203%3Fshowall%3Dtrue)
24. Xbeurs. (2021). *STEM-carrièrelijst voor studenten. Geschiedenis, banen en hogescholen*. *XScholarship*. Geraadpleegd op 6 april 2022, van <https://xscholarship.com/nl/stem-careers-list-for-students-history-jobs-and-colleges/>

Bijlagen

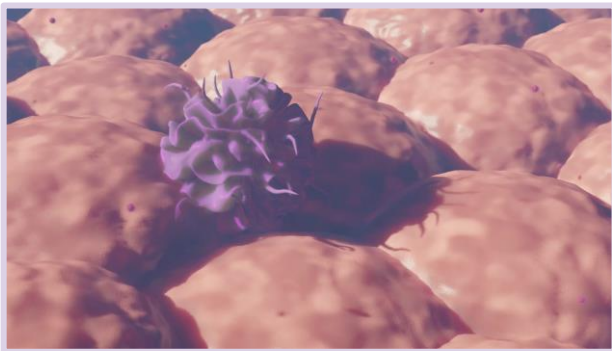
Bijlage 1. Screenshots uit de animatie



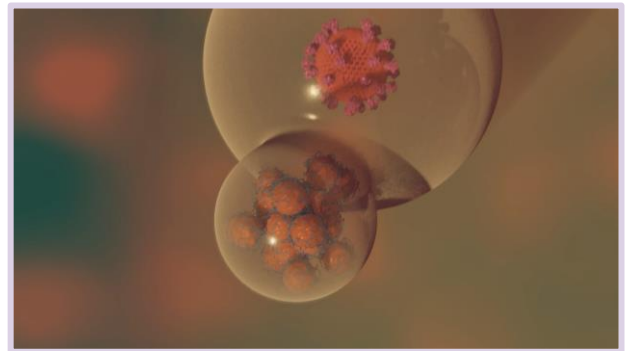
Een virus dringt de opperhuid binnen.



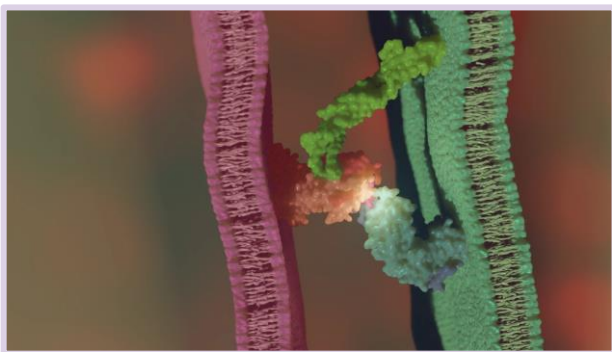
Macrofagen verspreiden interleukines.



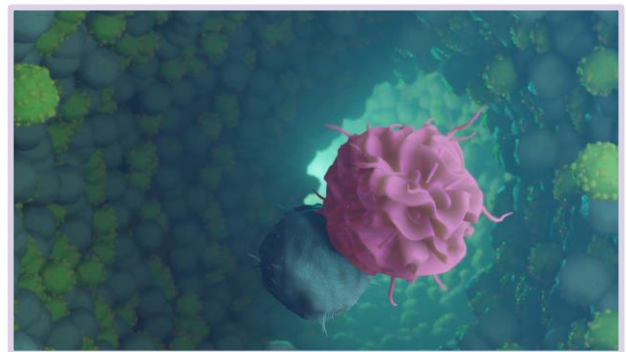
Een dendritische cel zoekt naar virussen.



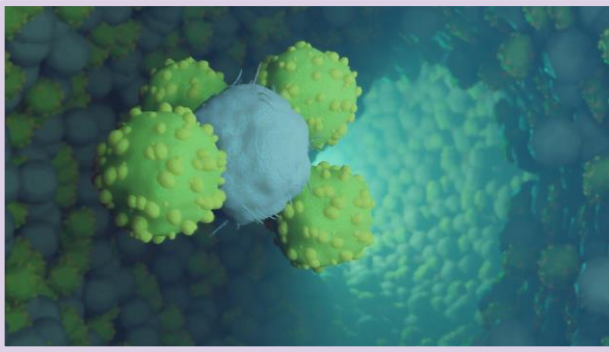
Een lysosoom en een opgenomen virus.



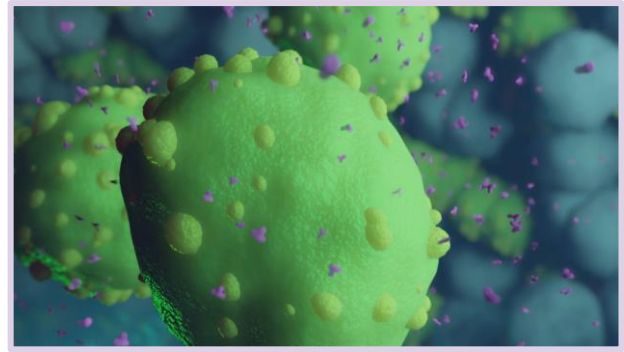
MHC II presenteert een antigeen aan TCR en CD4.



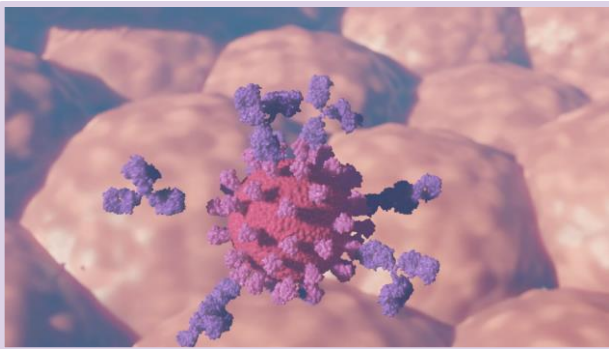
Een dendritische cel activeert een T-helpercel.



Een T-helpercel activeert B-cellen.



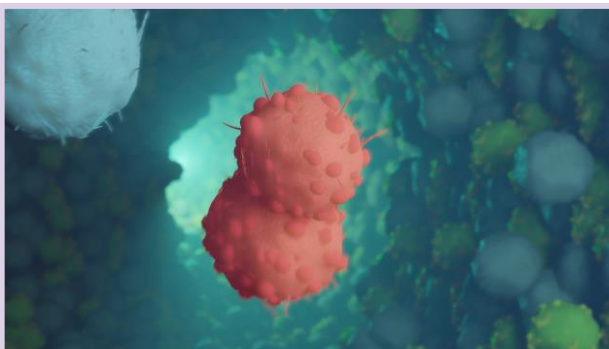
Plasmacellen produceren antistoffen.



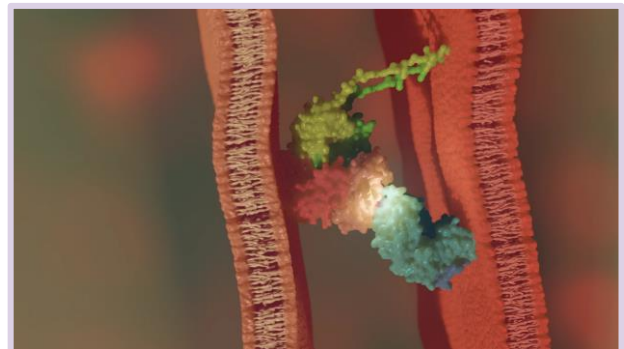
Antistoffen koppelen aan antigenen van een virus.



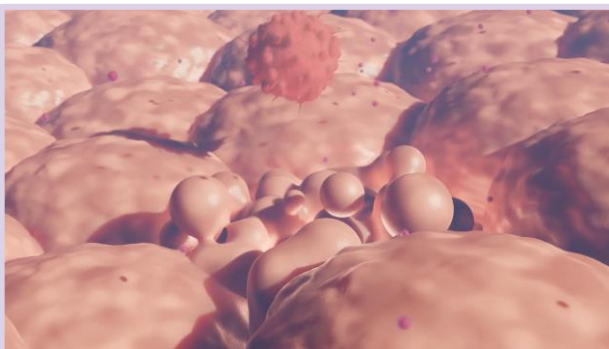
IgM plakt aan virussen voor een macrofaag.



Een delende cytotoxische T-cel na activatie.



MHC I presenteert een antigeen aan TCR en CD8.



Apoptose aangestuurd door een cytotoxische T-cel.

Bijlage 2. Leerlingen enquête (L) *(Deze enquête is online gegeven)*

DRIEDIMENSIONALE ANIMATIES ALS ONDERSTEUNING BIJ BIOLOGIELESSEN IN HET NEDERLANDS ONDERWIJS.

Bachelor scriptie onderzoek – Jesse Alberts

1) Zet de onderstaande processen in chronologische volgorde door ze te nummeren (1 t/m 6):

- _____ Plasmacellen produceren antistoffen.
- _____ Geïnfecteerde cellen worden vernietigt.
- _____ Een dendritische cel gaat naar een lymfeknoop.
- _____ Virussen dringen de opperhuid binnen.
- _____ B-cellen worden geactiveerd.
- _____ T-cellen worden geactiveerd.

2) Wat is de functie van een macrofaag?

3) Wat is de functie van een T-helpercel?

4) Wat is de functie van een cytotoxische T-cel?

5) Wat is de functie van antistoffen?

(Jouw mening) Ik vind biologie over het algemeen makkelijk:

- 6) ☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

(Jouw mening) Ik vind biologie over het algemeen leuk:

- 7) ☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

(Jouw mening) Het stukje les waar 3D-animatie gebruikt werd...

- 8) ... gaf me meer motivatie en was interessanter dan het stukje les zonder 3D-animatie.

- ☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

- 9) ... had toegevoegde waarde aan het verhaal van de docent.

- ☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

- 10) ... zou biologie voor mij duidelijker maken als de docent vaker dit soort 3D-animatie gebruikt.

- ☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

Bijlage 3. Docenten enquête (D) *(Deze enquête is online gegeven)*

DRIEDIMENSIONALE ANIMATIES ALS ONDERSTEUNING BIJ BIOLOGIELESSEN IN HET NEDERLANDS ONDERWIJS.

Bachelor scriptie onderzoek naar de verhoging van kennisoverdracht en motivatie van leerlingen in biologielessen die 3D-animatie als ondersteuning gebruiken – Jesse Alberts

Deze PowerPoint met 3D-animatie...

1) ...heeft toegevoegde waarde aan het verhaal van de docent.

☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

2) ...heeft potentie voor het gebruik in toekomstige biologielessen.

☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

3) ...zou ik zelf willen gebruiken in mijn lessen.

☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

4) ...geeft een goed en duidelijk beeld van de betreffende biologische processen.

☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

5) ...ziet er te ingewikkeld uit qua visualisatie.

☐ Eens ☐ Beetje eens ☐ Neutraal ☐ Beetje oneens ☐ Oneens

Motiveer waarom deze PowerPoint met 3D-animatie wel of niet potentie heeft:

Ruimte voor opmerkingen:

Bijlage 4. Ruwe data – Leerlingen enquête (L)

Vraag	1 1e helft	1 2e helft	2	3	4	5	Totaal sc. -3D	Totaal sc. +3D	Vershil
Max. score	3	3	2	2	2	2			
Leerling	Score -3D	Score +3D	Score -3D	Score +3D					
Klas A 1	3	3	0	1	0	2	4	5	1
Klas A 2	2	2	0	0	0	2	2	4	2
Klas A 3	1	1	0	0	0	2	1	3	2
Klas A 4	1	3	0	1	1	1	2	5	3
Klas A 5	3	3	2	0	0	1	5	4	-1
Klas A 6	3	3	0	0	0	2	3	5	2
Klas A 7	3	3	0	0	2	1	3	6	3
Klas A 8	3	3	0	2	2	1	5	6	1
Klas A 9	2	2	0	1	0	1	3	3	0
Klas A 10	0	3	0	0	2	1	0	6	6
Klas A 11	2	2	2	0	0	2	4	4	0
Klas A 12	3	3	1	1	2	0	5	5	0
Klas B 13	2	1	0	0	0	0	1	2	1
Klas B 14	0	0	1	0	0	0	0	1	1
Klas B 15	2	2	2	0	0	2	4	4	0
Klas B 16	3	1	0	0	0	0	1	3	2
Klas B 17	3	1	0	0	0	0	1	3	2
Klas B 18	2	0	0	0	0	0	0	2	2
Klas B 19	1	0	2	0	0	0	0	3	3
Klas B 20	2	1	1	0	0	1	2	3	1
Klas B 21	2	0	2	0	0	1	1	4	3
Klas B 22	3	3	0	0	0	0	3	3	0
Klas B 23	2	1	2	0	0	0	1	4	3
Klas B 24	3	3	1	1	0	1	4	5	1
Klas B 25	3	1	2	2	2	2	5	7	2
Klas B 26	2	2	2	1	2	0	4	5	1
Klas B 27	2	2	2	1	2	0	4	5	1
Klas B 28	3	1	0	0	0	0	1	3	2

Stelling	Vr.6	Vr.7	Vr.8.1	Vr.8.2	Vr.8.3
Biologie is makkelijk		Biologie is leuk	Animatie: gaf motivatie en was interessanter	Animatie: toegevoegde waarde aan verhaal docent	Animatie: maakt biologie duidelijker
	3	3	2	1	1
	3	3	2	1	1
	3	2	2	1	1
	3	1	1	1	1
	3	2	2	1	1
	2	1	1	2	1
	3	2	2	1	1
	3	2	2	1	1
	3	2	2	1	1
	5	3	3	1	1
	4	2	2	3	4
	4	4	1	2	1
	4	3	3	1	2
	3	3	4	3	3
	3	3	2	2	1
	4	3	2	3	1
	5	4	3	1	2
	3	2	2	1	1
	3	2	2	2	2
	3	4	4	5	2
	3	4	1	2	1
	4	2	1	1	1
	4	3	2	5	1
	2	2	1	1	1
	4	2	1	1	2
	4	3	1	1	1
	5	3	1	1	1
	3	2	1	1	2

Bijlage 5. Ruwe data – Docenten enquête (D)

Animatie:	D1	D2	D3	D4	D5	Gemiddeld
Toegevoegde waarde aan verhaal docent.	1	2	2	3	1	1,8
Potentie voor toekomstige bio lessen.	1	2	2	2	2	1,8
Wil ik zelf gebruiken.	1	2	3	3	4	2,6
Geeft goed/duidelijk beeld van processen.	2	2	1	4	2	2,2
Ziet er te ingewikkeld uit.	2	2	5	1	5	3