



UNIVERSITY OF TWENTE.

Faculteit Behavioural, Management
and Social sciences

Moleculaire dynamica simulaties in het voortgezet onderwijs

Femke Hogenberk (s2026910)

Onderzoek van Onderwijs (10EC)

Educatie & Communicatie in de Bètawetenschappen - Scheikunde
Augustus 2020

Begeleiders:

Talitha Visser

Leontine de Graaf

Samenvatting

De afgelopen jaren neemt het gebruik van technologie en digitale hulpmiddelen in het dagelijks leven steeds verder toe. Deze trend is ook te herkennen in het onderwijs, waar nog vaak wordt gezocht hoe deze middelen precies in het onderwijs geïmplementeerd kunnen worden. In dit onderzoek wordt specifiek gekeken naar moleculaire dynamica (MD) simulaties als digitaal hulpmiddel bij scheikunde. Deze simulaties zouden mogelijk een oplossing kunnen bieden voor misconcepties op het gebied van micro-macro denken bij scheikunde zoals de misconceptie dat één enkel rubbermolecuul elastisch is. Het doel van dit onderzoek is om te bepalen in hoeverre MD-simulaties van polymeerborstels geschikt zijn om, in een inquiry learning space (ILS) over de E-nose, het begrip van processen op microniveau te vergroten bij leerlingen in 4 havo. Dit is onderzocht door literatuuronderzoek naar kenmerken van simulaties en misconcepties bij micro-macro denken, door vragenlijsten bij leerlingen en docenten en een interview bij leerlingen. Echter leveren deze methoden niet voldoende bewijs om vast te kunnen stellen dat MD-simulaties daadwerkelijk het begrip van processen op microniveau vergroten. Uit het onderzoek komt wel naar voren aan welke kenmerken een educatieve simulatie zou moeten voldoen en dat zowel leerlingen als docenten overwegend positief zijn over het gebruik van simulaties in het voortgezet onderwijs.

Inhoud

Samenvatting	1
1. Inleiding	4
2. Theoretisch kader	5
2.1 Kenmerken van simulaties	5
2.2 Misconcepties bij micro-macro denken	6
2.3 In het onderzoek gebruikte MD-simulaties	7
3. Onderzoeksvragen	9
4. Methode	10
4.1 Procedure	10
4.2 Respondenten	10
4.3 Instrumenten	11
4.4 Analyse	12
5. Resultaten	13
5.1 Subvraag 1: Wat zijn de kenmerken van een MD-simulatie die geschikt is voor gebruik in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs?	13
Visuele duidelijkheid	13
Interactiviteit	14
Authenticiteit	14
Aanvulling	14
5.2 Subvraag 2: Welke misconcepties zijn veelvoorkomend bij micro-macro denken gerelateerd aan chemische processen?	15
5.3 Subvraag 3: In hoeverre voldoen de ontworpen MD-simulaties in de E-nose ILS aan de kenmerken uit subvraag 1?	15
Visuele duidelijkheid	16
Interactiviteit	16
Authenticiteit	16
Aanvulling	17
5.4 Subvraag 4: Hoe beoordelen leerlingen uit 4 havo de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?	17
Visuele duidelijkheid	17
Interactiviteit	17
Authenticiteit	17
Aanvulling	17
5.5 Subvraag 5: Hoe beoordelen scheikundedocenten de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?	18
Visuele duidelijkheid	18
Interactiviteit	18
Authenticiteit	18
Aanvulling	18
6. Discussie en conclusies	19
7. Aanbevelingen	21

Referenties	22
Bijlagen	24
Bijlage A: Vragenlijst leerlingen	24
Bijlage B: Opzet interview leerlingen	27
Bijlage C: Vragenlijst docenten	28
Bijlage D: Verdeling subvragen bij vragenlijst leerlingen	32
Bijlage E: Transcripties interviews leerlingen	33
5.2.1 Interview leerling 1	33
5.2.2 Interview leerling 2	34
5.2.3 Interview leerling 3	35
5.2.4 Interview leerling 4	37
Bijlage F: Verdeling subvragen bij vragenlijst docenten	40

1. Inleiding

Gedurende de laatste jaren is er een duidelijke toename te zien in het gebruik van technologie en digitale hulpmiddelen in het dagelijks leven (Buckingham & Willett, 2013). Als gevolg hiervan ontstaat er vanuit de samenleving meer vraag naar de digitale vaardigheden die hierbij passen. Om hieraan te voldoen is het noodzakelijk dat ook in het onderwijs de nodige aanpassingen worden doorgevoerd om nieuwe generaties hierop voor te bereiden (Binkley et al., 2014). In Nederland wordt hier ook actief aan gewerkt in de vorm van de curriculumvernieuwing in het voortgezet onderwijs (Curriculum.nu, 2019). Hierbij is het toepassen van “computational thinking” en digitale geletterdheid in het nieuwe curriculum een goed voorbeeld van deze vernieuwde vaardigheden. Ook bij scheikunde spelen deze onderwerpen zeker een rol. Bijvoorbeeld bij het verzamelen van informatie voor praktische opdrachten maar ook steeds vaker bij verschillende werkvormen die in de klas gebruikt worden. Vanuit mijn eigen ervaringen bij de lerarenopleiding heb ik het idee dat sommige docenten zich nog niet een goed beeld kunnen vormen van hoe deze onderwerpen binnen het vak passen.

Scheikundedocenten hebben steeds vaker te maken met lesstof waarbij chemische processen op een steeds kleinere schaal worden bekeken, denk bijvoorbeeld aan de toenemende populariteit van het onderwerp nanotechnologie (Te Kulve, 2006). Daarnaast is er in het scheikunde curriculum steeds meer aandacht voor het micro/macro denken waarbij leerlingen leren om macroscopische eigenschappen te verklaren door processen en structuren op het microniveau. Dit onderwerp blijkt echter door leerlingen vaak als lastig te worden beschouwd (Meijer, 2011). Dit heeft met name ermee te maken dat leerlingen het lastig vinden om eigenschappen op de verschillende niveaus aan elkaar te relateren en daarnaast dat de leerlingen de processen op microschaal niet beleven als iets dat van belang is om hun eigen belevingswereld te begrijpen. Door de moeilijkheden die leerlingen hebben met het micro/macro denken is er een risico dat er bij de leerlingen misconcepties en/of alternatieve concepties ontstaan. Iets wat mogelijk bij zou kunnen dragen aan het tegengaan van deze misconcepties of alternatieve concepties is het zichtbaar maken van de processen en structuren op het microniveau door middel van digitale hulpmiddelen (Supasorn, Suits, Jones, & Vibuljan, 2008).

Een digitaal hulpmiddel waarin ik persoonlijk potentie zie voor het oplossen van dit probleem zijn zogenoemde moleculaire dynamica (MD) simulaties. Met behulp van deze simulaties kan het gedrag van deeltjes op atoom- of molecuulniveau worden weergegeven door middel van afbeeldingen en filmpjes. De hoofdvraag van dit onderzoek is dan ook in hoeverre moleculaire dynamica (MD) simulaties van polymeerborstels geschikt zijn om, in een inquiry learning space (ILS) over de E-nose, het begrip van processen op microniveau te vergroten bij leerlingen in 4 havo. Na afronding van het onderzoek zal geconcludeerd worden in hoeverre MD-simulaties geschikt zijn voor scheikundelessen in het voortgezet onderwijs en zullen enkele aandachtspunten benoemd worden om rekening mee te houden bij het toepassen van MD-simulaties in het VO.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt beschreven aan welke kenmerken een educatieve simulatie volgens de literatuur moet voldoen. Daarnaast wordt beschreven in hoeverre simulaties bijdragen aan het voorkomen van misconcepties op het gebied van micro-macro denken en de mogelijke oorzaken daarvan. In 2.3 wordt een beschrijving gegeven van de specifieke simulaties die binnen het onderzoek gebruikt zijn.

2.1 Kenmerken van simulaties

Bij het literatuuronderzoek naar kenmerken van simulaties valt op dat er in de literatuur veel verschillende definities worden gebruikt wanneer het over simulaties gaat. De term simulaties is zo veelomvattend dat er in sommige literatuur zelfs gebruik is gemaakt van classificaties (R. van Joolingen & de Jong, 1991). Voor dit onderzoek is het echter niet zo van belang tot welke categorie een simulatie zou behoren maar vooral wat wel of niet als simulatie beschouwd zal worden. Om die reden is ervoor gekozen om de definitie van “computer simulations” uit het meest recente “literature review” artikel dat gevonden is tijdens dit literatuuronderzoek aan te houden (Smetana & Bell, 2012). In vertaalde vorm kan dit omschreven worden als de volgende definitie: “Computersimulaties zijn door een computer gegenereerde, dynamische modellen van de echte wereld of de processen die daarin plaatsvinden. Ze representeren theoretische of versimpelde modellen van componenten, fenomenen of processen uit de echte wereld”. De auteurs geven hierbij ook de volgende drie voorbeelden: animaties, visualisaties en interactieve laboratoria. De onder VO-docenten meer bekende simulaties afkomstig van PhET, een online platform van de University of Colorado Boulder met interactieve simulaties vallen hier ook onder (University of Colorado Boulder, 2002). In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van filmpjes van MD-simulaties.

Ongeacht de gebruikte definitie is het uiteraard van belang aan welke eisen de simulaties moeten voldoen om daadwerkelijk een toevoeging te zijn in het onderwijs. Ten eerste komt in het werk van Smetana & Bell (2012) naar voren dat simulaties vooral als een aanvulling moeten worden gezien in plaats van een vervanging voor andere methoden. Daarbij wordt ook aangegeven dat de aanwezigheid van extra instructie geïntegreerd met de simulatie of vanuit de aanwezige docent bijdragen aan de effectiviteit van de simulatie. Ook in het review artikel van Rutten, van Joolingen & van der Veen (2012) wordt het belang van aanpassing van simulaties op het curriculum en andersom benoemd. Op basis hiervan kan een eerste kenmerk benoemd worden, namelijk dat een simulatie aansluiting moet hebben met in de klas gebruikte lesstof en methoden zodat deze als aanvulling kan fungeren.

In het artikel van Rutten et al. (2012) is ook aandacht besteed aan onderzoeken die hebben gekeken naar verschillende visualisatiemethoden. Hieruit komt naar voren dat de toenemende kwaliteit van visualisaties niet per se bijdraagt aan het leren van leerlingen. Dit wijst erop dat de aantrekkelijkheid en visuele kwaliteit van een simulatie mogelijk minder van belang zijn dan verwacht. De visuele kwaliteit is dan ook niet een kenmerk waar een simulatie aan moet voldoen om geschikt te zijn al zal er wel een minimale kwaliteit benodigd zijn om de simulatie begrijpelijk te maken. Hieruit is af te leiden dat een simulatie wel een zekere mate van duidelijkheid moet bevatten om geschikt te zijn voor educatieve doeleinden. De objecten en processen binnen de simulatie moeten dus helder zijn. Anders is er immers het gevaar dat er bij leerlingen juist meer misconcepties of alternatieve concepties ontstaan in plaats van dat een simulatie bijdraagt aan het voorkomen hiervan (Eilks, Witteck, & Pietzner, 2012; Tasker & Dalton, 2008).

Een ander mogelijk kenmerk komt naar voren in het werk van Chang (2017). In dat artikel is onder andere onderzoek gedaan naar de interactiviteit van simulaties en het effect daarvan op het leren van leerlingen. In het onderzoek is onderscheid gemaakt tussen “experimentation interactivity” waarbij leerlingen zelf parameters in de simulatie kunnen aanpassen en “observation interactivity” waar leerlingen enkel vooraf geprogrammeerde video’s kunnen bekijken die ze eventueel kunnen pauzeren of doorspoelen. De resultaten wijzen erop dat beide vormen van interactiviteit even effectief zijn wat betreft de efficiëntie van het leren en begrijpen van concepten door de leerlingen. Daarnaast benoemt het artikel dat er bij “experimentation interactivity” een hogere cognitieve lading optreedt wat het leren zou kunnen belemmeren. Dit komt voort uit de grotere vrijheid die leerlingen hebben bij “experimentation interactivity” waardoor de kans op een grotere “Extraneous” (Irrelevante) cognitieve belasting toeneemt omdat leerlingen taken kunnen uitvoeren die niet direct aan de leerdoelen gerelateerd zijn. Echter blijkt uit het onderzoek dat dit bij het aanpassen van enkele parameters nog niet het geval is. Naast dit alles wordt er in het artikel ook benadrukt dat interactiviteit in het algemeen leidt tot beter leren omdat leerlingen worden aangezet tot actief leren. Er kan dus geconcludeerd worden dat interactiviteit een vereiste is voor een educatieve simulatie, echter is de mate van interactiviteit hierbij niet van belang.

Een laatste punt dat uit literatuur naar voren komt is het belang van authenticiteit (de mate waarin een simulatie de realiteit weergeeft). Volgens de literatuur zou een hogere mate van authenticiteit bijdragen aan het betekenisvol maken van de lesstof wat vervolgens leidt tot een verbeterde intrinsieke motivatie bij leerlingen (Davies, 2002). De mate van authenticiteit kan dus een rol spelen in de effectiviteit van het leren door meer intrinsieke motivatie te creëren bij leerlingen. Echter is de vraag in hoeverre dit toepasbaar is op simulaties waarin het microniveau wordt weergegeven aangezien deze processen in het dagelijks leven überhaupt niet te observeren zijn. Vermoedelijk kan er wel gesteld worden dat simulaties in ieder geval in zekere mate realistisch moeten zijn om misconcepties en alternatieve concepties bij leerlingen te voorkomen. In die zin is een zekere mate van authenticiteit dus een vereiste voor educatieve simulaties.

Samengevat komt uit het literatuuronderzoek naar voren dat een educatieve simulatie in ieder geval aan 4 kenmerken moet voldoen. Ten eerste moet de simulatie een aanvulling zijn op de lesstof en hier dus ook op aansluiten. Ten tweede moet de simulatie een zekere mate van duidelijkheid bevatten zodat belangrijke componenten, fenomenen en processen te herkennen zijn. Ook moet de simulatie interactief zijn, dit kan zowel observerende interactiviteit of experimenterende interactiviteit zijn. Het laatste kenmerk waar een simulatie aan moet voldoen is dat deze een zekere mate van authenticiteit moet bevatten om misconcepties en alternatieve concepties te voorkomen.

2.2 Misconcepties bij micro-macro denken

Binnen het literatuuronderzoek naar misconcepties bij micro-macro denken zijn twee aspecten van belang. Ten eerste welke misconcepties veelvoorkomend zijn binnen dit onderwerp en ten tweede wat mogelijke oorzaken zijn van deze misconcepties.

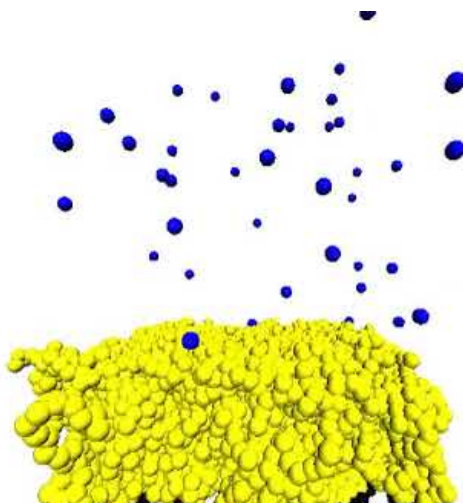
Het micro-macro denken is een denkwijze die veel wordt gebruikt om de direct waarneembare eigenschappen op het macroniveau te verklaren aan de hand van microscopische modellen die structuren op atomaire of moleculaire schaal weergeven (Meijer & Dolfing, 2016). Volgens de literatuur is het leggen van deze verbanden één van de aspecten die bij scheikunde leerproblemen kunnen veroorzaken (Meijer & Dolfing, 2016). Daarnaast zou het ook een rol spelen dat leerlingen de modellen op microniveau als niet relevant ervaren voor hun eigen leefwereld. In het werk van Meijer & Dolfing (2016) zijn ook drie voorbeelden aangeleverd van bij leerlingen gesignaleerde misconcepties die deze

leerproblemen laten zien. Zo denken sommige leerlingen dat watermoleculen blauw zijn omdat ze deze kleureigenschap van het macroniveau ook toepassen op het microniveau. Hetzelfde geldt voor de gedachte dat rubbermoleculen elastisch zouden zijn terwijl deze eigenschap voortkomt uit de combinatie van meerdere ketens. Ook wordt er door leerlingen gedacht dat deeltjes zich gedragen als biljartballen, hierdoor passen zij het botsende deeltjes model toe in situaties waarin dit niet passend is omdat de interacties van deeltjes bijvoorbeeld belangrijker zijn. Dit komt met name omdat het voor leerlingen niet duidelijk is wanneer een bepaald model wel of niet toepasbaar is.

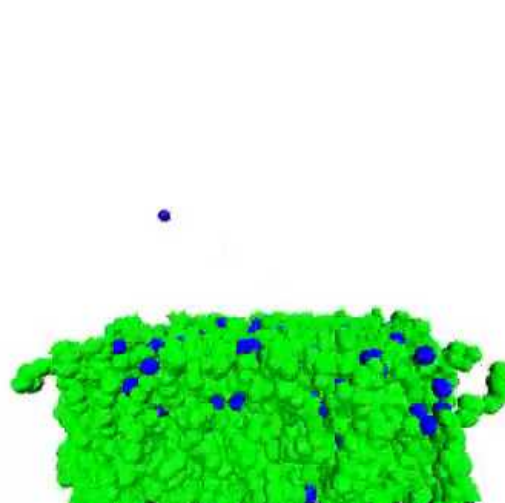
Naast het bovenstaande zijn er in de gevonden literatuur geen aanwijzingen naar specifieke misconcepties die veelvoorkomend zijn bij het micro-macro denken. Wel zijn er in de literatuur meer oorzaken te vinden die tot misconcepties zouden kunnen leiden. Een genoemde oorzaak die voornamelijk voor dit onderzoek erg interessant is, is het feit dat leerlingen tegen leerproblemen aanlopen omdat zij niet in staat zijn structuren en processen op het microniveau te visualiseren (Tasker & Dalton, 2008). Simulaties zouden hier dus een uitkomst kunnen bieden al is het wel van belang te benoemen dat hier ook de nodige risico's aan verbonden zijn. Zo zouden, zoals benoemd in hoofdstuk 2.1, onduidelijke simulaties die niet goed doordacht zijn of zelfs misleidend zijn juist kunnen leiden tot het ontstaan van nieuwe misconcepties (Eilks et al., 2012; Tasker & Dalton, 2008). Zo zou een simulatie waarin watermoleculen toevallig blauw zijn gekleurd de misconceptie dat watermoleculen blauw zijn alleen maar kunnen versterken.

2.3 In het onderzoek gebruikte MD-simulaties

De MD-simulaties die zijn gebruikt in dit onderzoek zijn geproduceerd met behulp van de Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator, beter bekend als LAMMPS (Plimpton, 1995). Deze simulaties zijn gebaseerd op een script voor een systeem van polymeerborstels en gasdeeltjes dat al beschikbaar was vanuit de Materials Science and Technology of Polymers (MTP) groep op de Universiteit Twente (University of Twente, n.d.). In het script zijn de variabelen voor de gas-gas, polymeer-gas en polymeer-polymeer interacties gevarieerd om verschillende combinaties van polaire en apolaire polymeerborstels en polaire en apolaire gasdeeltjes na te bootsen. Vervolgens is gebruik gemaakt van Visual Molecular Dynamics (VMD) om de output van de simulaties om te zetten naar een video (Humphrey, Dalke, & Schulten, 1996). Deze video's zijn te vinden via YouTube ("Simulaties polymeerborstels - YouTube," n.d.). Screenshots van enkele video's zijn te vinden in figuur 1 en 2.



Figuur 1: Screenshot apolaire polymeerborstel met polair gas



Figuur 2: Screenshot polaire polymeerborstel met polair gas

De video's van de simulaties zijn vervolgens verwerkt in de context van een inquiry learning space (ILS) over de E-nose (elektronische neus) ("ILS - E-nose," 2020). Dit is een online omgeving bestaande uit labs, apps en andere digitale middelen waar leerlingen op een onderzoekende manier kunnen leren over een onderwerp. In [de ILS](#) wordt het onderwerp van de E-nose ingeleid aan de hand van het probleem van voedselverspilling. Vervolgens wordt de voorkennis van leerlingen over bindingssoorten en de menselijke neus geactiveerd door het herhalen van theorie met bijbehorende opdrachten. Daarna leren leerlingen over de Lennard-Jones potentiaal, polymeerborstels en de E-nose. Vervolgens krijgen de leerlingen een korte gastles over moleculaire dynamica simulaties te zien. Daarna volgen de video's van simulaties die de basis vormen van dit onderzoek. Leerlingen worden voorafgaande aan de simulaties gevraagd een hypothese op te stellen, achteraf volgt een conclusie die al dan niet op deze hypothese aansluit. De ILS wordt afgesloten aan de hand van een practicum.

3. Onderzoeksvragen

Dit onderzoek is gericht op het beantwoorden van de volgende hoofdvraag:

In hoeverre zijn moleculaire dynamica (MD) simulaties van polymeerborstels geschikt om, in een inquiry learning space (ILS) over de E-nose, het begrip van processen op microniveau te vergroten bij leerlingen in 4 havo?

Om het onderzoek een duidelijke richting te geven is er een vijftal subvragen opgesteld. Deze vragen zijn met behulp van verschillende methoden onderzocht en dragen daarmee bij aan het beantwoorden van de hoofdvraag. De opgestelde subvragen zijn als volgt:

1. Wat zijn de kenmerken van een MD-simulatie die geschikt is voor gebruik in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs?
2. Welke misconcepties zijn veelvoorkomend bij micro-macro denken gerelateerd aan chemische processen?
3. In hoeverre voldoen de ontworpen MD-simulaties in de E-nose ILS aan de kenmerken uit subvraag 1?
4. Hoe beoordelen leerlingen uit 4 havo de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?
5. Hoe beoordelen scheikundedocenten de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?

4. Methode

Dit onderzoek is een evaluerend onderzoek naar de geschiktheid van MD-simulaties voor gebruik in het vierde leerjaar van de havo. Er is dan ook sprake van een kwalitatief onderzoek. Om de betrouwbaarheid en validiteit van het onderzoek te vergroten is gebruik gemaakt van een combinatie van methoden om de vijf subvragen uit hoofdstuk 3 te beantwoorden.

4.1 Procedure

Het onderzoek is uitgevoerd in verschillende fasen gespreid over de periode van april 2020 tot en met juni 2020. In de eerste fase van het onderzoek zijn de simulaties voor het gebruik in de ILS geproduceerd. Meer informatie over de productie hiervan is terug te vinden in hoofdstuk 2.3. De keuze om deze fase vooraf te laten gaan aan het literatuuronderzoek is gebaseerd op de termijn waarbinnen de ILS afgerond moest worden. De tweede fase, het literatuuronderzoek, is enigszins in parallel met de productie van de simulaties verlopen. Na afronding van de simulaties is er volledig gefocust op het literatuuronderzoek. Er is onderzocht aan welke kenmerken simulaties zouden moeten voldoen om geschikt te zijn voor gebruik in het onderwijs en wat veelvoorkomende misconcepties zijn met betrekking tot micro-macro denken en welke oorzaken hieraan gerelateerd zijn. De verzamelde informatie uit deze fase vormt de basis voor de onderzoeksmethoden in de latere fasen van het onderzoek.

In de derde fase is gebruik gemaakt van de ILS met de in fase 1 ontwikkelde simulaties. Deze ILS is toegepast in een 4 havoklas van het Pius X college in Almelo onder begeleiding van de scheikundedocent waar deze klas gewoonlijk ook les van heeft. De klas heeft dan ook geen directe connectie met de auteur van dit onderzoek. Na het gebruiken van de ILS is de leerlingen gevraagd een vragenlijst over de simulaties in te vullen. Ook zijn enkele leerlingen geselecteerd voor een interview dat later op de dag heeft plaatsgevonden. Deze interviews waren met name bedoeld als verdieping op de eerder afgenomen vragenlijsten. Aangezien er in deze fase data is verzameld van respondenten is er voorafgaand aan de derde fase een ethiekaanvraag (200852) ingediend bij de ethiek commissie van de faculteit Behavioural, Management and Social sciences (BMS).

In de vierde en laatste fase van het onderzoek zijn de simulaties uit de ILS voorgelegd aan een aantal scheikundedocenten waarna ook zij een vragenlijst hebben ingevuld. Omdat ook hier data verzameld is van respondenten is dit onderdeel meegenomen in de hierboven genoemde ethiekaanvraag (200852).

4.2 Respondenten

In het onderzoek is gebruik gemaakt van twee groepen respondenten die aan verschillende inclusiecriteria moesten voldoen. De eerste groep respondenten bestond uit leerlingen die mee hebben gewerkt aan de vragenlijst voor leerlingen en de interviews. Voor deze groep was het uiteraard een vereiste dat de respondenten met de ILS en de daarbij behorende simulaties hadden gewerkt. De respondenten moesten dus afkomstig zijn uit de 4 havoklas waar de ILS is toegepast. Deze klas bestond uit 22 leerlingen (13 jongens, 9 meisjes). Alle leerlingen waren ten tijde van het onderzoek tussen de 15 en 19 jaar oud. Aangezien het ging om een scheikundeklas volgen alle leerlingen een natuurprofiel (Natuur & Gezondheid of Natuur & Techniek). Aan de vragenlijst voor leerlingen hebben 19 van de 22 leerlingen deelgenomen. Aan de interviews hebben 4 leerlingen deelgenomen van de vooraf geplande 5. De aantallen respondenten wijken dan ook niet veel af van de verwachte aantallen waardoor hier in het onderzoek geen gevolgen van zijn ondervonden. Aangezien de data

anoniem is verzameld is de verdeling qua geslacht en leeftijd van de deelnemers aan de vragenlijst en het interview niet bekend. De vier respondenten voor de interviews zijn willekeurig geselecteerd door de lesgevende docent.

De tweede groep respondenten bestond uit docenten die hebben deelgenomen aan de vragenlijst voor docenten. Hier was het belangrijkste criterium dat de docent ervaring had met het geven van scheikunde in het voortgezet onderwijs. In totaal zijn vijf docenten (2 mannen, 3 vrouwen) uitgenodigd om deel te nemen aan de vragenlijst. Deze docenten hebben variërende leeftijden vanaf 23 jaar en een verschillende mate van ervaring met het geven van scheikunde (min. 2 jaar). Uiteindelijk zijn er 3 reacties op de vragenlijst verzameld. Aangezien ook deze data anoniem is verzameld is ook hier niet bekend wat de verdeling is qua geslacht, leeftijd en ervaring onder de respondenten.

4.3 Instrumenten

Zoals hierboven benoemd is er tijdens het onderzoek gebruik gemaakt van literatuur, vragenlijsten en interviews. Alle gebruikte instrumenten staan per subvraag waaraan deze bijdragen weergegeven in tabel 1. De vragenlijst voor leerlingen bestond uit 16 vragen waarbij de leerlingen de keuze hadden uit een vijftal antwoorden: Helemaal oneens, beetje oneens, beetje eens, helemaal eens en ik weet het niet/ik snap de vraag niet. De vragen uit de vragenlijst en de mogelijke antwoorden zijn terug te vinden in bijlage A. Bij de interviews voor leerlingen is gebruik gemaakt van vooraf opgestelde vragen waarbij afhankelijk van de antwoorden van de leerlingen aanvullende vragen gesteld konden worden. De vooraf opgestelde vragen voor het interview zijn te vinden in bijlage B.

De vragenlijst voor docenten bestond uit drie verschillende onderdelen. Het eerste onderdeel had als onderwerp: simulaties in het algemeen. Dit onderdeel bestond uit 2 ja/nee vragen, 10 vragen met de keuze uit de volgende 5 antwoorden: Helemaal oneens, beetje oneens, neutraal/geen mening, beetje eens en helemaal eens en 3 open vragen. Bij het tweede onderdeel kregen de docenten de in het onderzoek gebruikte simulaties te zien waarna hierover 5 vragen werden gesteld met dezelfde 5 mogelijke antwoorden als in de vorige categorie. In het laatste onderdeel lag de focus op misconcepties. In dit onderdeel werden 2 ja/nee vragen, 3 vragen met dezelfde 5 keuzeantwoorden en 1 open vraag gesteld. Alle vragen uit deze vragenlijst en de mogelijke antwoorden zijn terug te vinden in bijlage C.

Instrumenten →	Literatuur	Vragenlijst leerlingen	Interview Leerlingen	Vragenlijst docenten
Onderzoeksvragen ↓				
Wat zijn de kenmerken van een MD-simulatie die geschikt is voor gebruik in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs?	X	X	X	X
Welke misconcepties zijn veelvoorkomend bij micro-macro denken gerelateerd aan chemische processen?	X			X
In hoeverre voldoen de ontworpen MD-simulaties in de E-nose ILS aan de kenmerken uit subvraag 1?	X	X	X	X
Hoe beoordelen leerlingen uit 4 havo de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?		X	X	

Hoe beoordelen scheikundedocenten de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?				X
---	--	--	--	---

Tabel 1: Gebruikte instrumenten per subvraag

4.4 Analyse

De analyse van de resultaten heeft als volgt plaatsgevonden. Voor zowel de vragenlijst voor leerlingen als de vragenlijst voor docenten zijn aan alle meerkeuzevragen en ja/nee-vragen scores toegekend. Welke score is toegekend bij welk antwoord staat weergegeven in tabel 2. Vervolgens is op basis van deze scores een gemiddelde score per vraag berekend. In dit gemiddelde zijn de antwoorden die 0 punten opleveren buiten beschouwing gelaten. Dit betekent dat de hoeveelheid respondenten die dit antwoord hebben gegeven ook niet worden meegenomen in het totale aantal respondenten bij berekening van het gemiddelde.

Vragenlijst	Antwoord	Score
Leerlingen	Helemaal oneens	1
	Beetje oneens	2
	Beetje eens	3
	Helemaal eens	4
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	0
Docenten	Ja	4
	Nee	1
	Helemaal oneens	1
	Beetje oneens	2
	Neutraal/geen mening	0
	Beetje eens	3
	Helemaal eens	4

Tabel 2: Score per antwoord voor berekening gemiddelde scores vragenlijsten

De scores zoals weergegeven in tabel 2, resulteren voor alle vragen in een gemiddelde tussen de 1 en 4. Hierbij geeft een score tussen 2,5 en 4 aan dat het merendeel van de respondenten het met de stelling eens is. Een score tussen 1 en 2,5 geeft aan dat het merendeel van de respondenten het niet met de stelling eens is.

Naast het toekennen van de scores is een verdeling gemaakt van de vragen uit de vragenlijsten bij de verschillende subvragen uit hoofdstuk 3. Deze verdeling is terug te vinden in bijlage D voor de vragenlijst voor leerlingen en bijlage F voor de vragenlijst voor docenten. De antwoorden op open vragen uit de vragenlijst voor docenten zijn niet bewerkt maar wel verdeeld over de subvragen.

De interviews met leerlingen zijn uitgewerkt in een tekstbestand aan de hand van de geluidsopnamen die tijdens de interviews gemaakt zijn. Naast het omzetten van de geluidsopnamen naar tekst zijn er geen bewerkingen uitgevoerd op de inhoud. Wel zijn opvolwoorden in de tekstversie achterwege gelaten om de leesbaarheid te vergroten. Vervolgens is tijdens het beantwoorden van de onderzoeksvragen de juiste informatie, rekening houdend met de betrouwbaarheid, uit de tekstbestanden geselecteerd. Zo zijn de interviewvragen 2, 5 en 7 gebruikt bij het beantwoorden van subvraag 1, de interviewvragen 3, 4 en 6 bij subvraag 3 en interviewvraag 1 bij subvraag 4.

5. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de verzamelde resultaten per subvraag besproken. Een totaaloverzicht van de resultaten van de vragenlijsten en een transcriptie van de interviews met leerlingen is te vinden in de bijlagen.

5.1 Subvraag 1: Wat zijn de kenmerken van een MD-simulatie die geschikt is voor gebruik in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs?

Uit de literatuur komt naar voren dat een simulatie aan 4 kenmerken zou moeten voldoen om geschikt te zijn voor educatieve doeleinden. Dit zijn de volgende kenmerken:

1. Duidelijk
2. Interactief
3. Authentiek/realistisch
4. Aanvulling op de lesstof

Zowel leerlingen als docenten zijn gevraagd naar de kenmerken waarvan zij vinden dat deze aanwezig moeten zijn in een educatieve simulatie. Beiden lijken zich grotendeels aan te sluiten bij de kenmerken die uit de literatuur naar voren komen. Het belangrijkste verschil is echter dat de literatuur aangeeft dat de visuele kwaliteit niet per se van belang is voor de leeropbrengst. Echter komt uit de vragenlijsten en interviews naar voren dat docenten en leerlingen deze kwaliteit beschouwen als een onderdeel dat bijdraagt aan de duidelijkheid van een simulatie. Deze twee factoren zijn dan ook samengevoegd in het kenmerk visuele duidelijkheid. Onderstaand zijn de resultaten van de vragenlijsten en interviews per kenmerk beschreven.

Visuele duidelijkheid

De resultaten uit de vragenlijsten gerelateerd aan dit kenmerk zijn weergegeven in tabel 3. Hierbij betekent een score tussen de 2,5 en 4 dat leerlingen/docenten het met de stelling eens zijn, een score tussen de 1 en 2,5 betekent dat leerlingen/docenten het niet eens zijn met de stelling. Uit deze vragenlijsten is af te leiden dat zowel leerlingen als docenten het belangrijk vinden dat simulaties er aantrekkelijk uitzien. Echter komt er uit de interviews met leerlingen naar voren dat 3 van de 4 leerlingen de aantrekkelijkheid niet per se belangrijk vinden zolang de simulatie maar duidelijk is. De vierde leerling gaf aan het wel belangrijk te vinden dat een simulatie er aantrekkelijk uitziet omdat dit bijdraagt aan de duidelijkheid. De docenten benoemen de visuele aantrekkelijkheid niet wanneer er gevraagd wordt naar kenmerken waar een educatieve simulatie volgens hen aan moet voldoen. De duidelijkheid wordt daarentegen wel benoemd als kenmerk bij deze vraag. Bij de interviews met leerlingen is niet expliciet gevraagd naar het belang van duidelijkheid maar uit de bovenstaand beschreven vraag naar de aantrekkelijkheid kwam al naar voren dat alle vier de leerlingen de duidelijkheid wel een belangrijke factor vinden. Bij de vraag aan docenten om welke redenen zij geen gebruik maken van simulaties geven zij aan dat vooral tijd en hoe ingewikkeld een simulatie is een rol spelen. Dit laatste wijst er ook weer op dat de duidelijkheid van de simulatie een belangrijk kenmerk is.

Vraag	Leerling	Docent
Ik vind het belangrijk dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.	3,37	3,33
Ik denk dat leerlingen het belangrijk vinden dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.		3,67

Tabel 3: Gemiddelde scores op vragenlijsten m.b.t. visuele duidelijkheid

Interactiviteit

De resultaten voor dit kenmerk zijn weergegeven in tabel 4. Uit de vragenlijsten komt naar voren dat leerlingen het leuker vinden om zelf parameters aan te kunnen passen en verwachten hier ook meer van te kunnen leren. Docenten vinden deze mogelijkheid ook meerwaarde hebben en denken dat het de leeropbrengst kan vergroten. Ook geven 2 van de 3 docenten aan dat interactiviteit een factor is waar volgens hen een educatieve simulatie aan zou moeten voldoen. Bij de vraag wat voor docenten de voornaamste reden is om gebruik te maken van simulaties komt onder andere naar voren dat het leerlingen actief aan het werk laat gaan. Hiervoor zal een zekere mate van interactiviteit ook een vereiste zijn. In de interviews geven alle leerlingen aan een voorstander te zijn van de mogelijkheid om zelf dingen aan te passen. Leerlingen zeggen hierdoor beter te weten wat ze doen, er echt mee bezig te zijn en het op die manier makkelijker te vinden om de simulaties te bekijken. Eén leerling geeft aan dit nuttig te vinden omdat sommige leerlingen beter leren door dingen zelf te doen.

Vraag	Leerling	Docent
Ik zou het leuker vinden als ik in de simulaties zelf dingen aan kan passen.	3,16	
Ik vind het van meerwaarde als leerlingen in een simulatie zelf dingen kunnen aanpassen.		4,00
Ik denk dat ik meer kan leren van een simulatie waarin ik zelf dingen aan kan passen.	3,58	
Ik denk dat het zelf dingen kunnen aanpassen in de simulatie voor een grotere leeropbrengst zorgt.		4,00
Ik denk dat leerlingen de geleerde stof beter kunnen onthouden door interactief bezig te zijn met simulaties.		4,00

Tabel 4: Gemiddelde scores op vragenlijsten m.b.t. interactiviteit

Authenticiteit

De resultaten uit de vragenlijst voor docenten die aansluiten bij dit kenmerk zijn gegeven in tabel 5. Hier is te zien dat docenten het belangrijk vinden dat simulaties een realistische weergave zijn van de werkelijkheid en dat zij verwachten dat leerlingen dit ook zullen vinden. Uit de resultaten verkregen bij leerlingen valt niet af te leiden of dit inderdaad het geval is.

Vraag	Docent
Ik vind het belangrijk dat simulaties een realistische weergave zijn van de werkelijkheid.	3,50
Ik denk dat leerlingen het belangrijk vinden dat simulaties een realistische weergave zijn van de werkelijkheid.	3,33

Tabel 5: Gemiddelde scores op vragenlijst docenten m.b.t. authenticiteit

Aanvulling

De resultaten uit de vragenlijsten die aansluiten bij dit kenmerk zijn weergegeven in tabel 6. Hier is te zien dat leerlingen het niet eens zijn met de stelling dat ze geen uitleg meer nodig zullen hebben wanneer ze simulaties kunnen bekijken. Leerlingen denken wel de lesstof beter te kunnen onthouden door het bekijken van simulaties. Docenten geven aan dat simulaties wel een vervanging zouden kunnen zijn maar zijn het sterker eens met de stelling dat simulaties een aanvulling zijn bij de uitleg. Ook geven zij aan te denken dat leerlingen de stof beter kunnen onthouden door simulaties te bekijken en zijn ze het nog sterker eens met de stelling dat leerlingen de stof beter onthouden door interactief bezig te zijn met simulaties. Uit de interviews met leerlingen komt naar voren dat alle vier de leerlingen de simulaties voornamelijk als aanvulling beschouwen. Van de 4 leerlingen zijn er 2 die denken

de stof beter te kunnen begrijpen wanneer simulaties als aanvulling op de uitleg worden gebruikt. Wanneer docenten worden gevraagd naar de voornaamste redenen om wel gebruik te maken van simulaties geven zij aan dat het een extra manier van uitleg is en dat het leerlingen een beeld geeft van een onderwerp. Daaruit valt af te leiden dat de simulatie toch vooral een aanvulling is op de bestaande uitleg.

Vraag	Leerling	Docent
Als ik simulaties kan bekijken heb ik verder geen uitleg meer nodig.	2,17	
Ik denk dat simulaties een vervanging kunnen zijn van stukken uitleg.		3,33
Ik denk dat simulaties een goede aanvulling kunnen zijn bij stukken uitleg.		4,00
Ik denk dat ik wat ik geleerd heb beter kan onthouden door simulaties.	3,33	
Ik denk dat leerlingen de geleerde stof beter kunnen onthouden door het bekijken van simulaties.		3,50
Ik denk dat leerlingen de geleerde stof beter kunnen onthouden door interactief bezig te zijn met simulaties.		4,00

Tabel 6: Gemiddelde scores op vragenlijsten m.b.t. aanvulling op de lesstof

5.2 Subvraag 2: Welke misconcepties zijn veelvoorkomend bij micro-macro denken gerelateerd aan chemische processen?

Aan de hand van de vragenlijst voor docenten zijn een aantal resultaten verzameld die aansluiten bij deze subvraag. Deze resultaten zijn weergegeven in tabel 7. Hieruit is af te leiden dat er in ieder geval bij een deel van de leerlingen sprake is van misconcepties bij micro-macro denken. Het valt docenten ook op dat leerlingen, zoals in de literatuur ook naar voren kwam, moeite hebben met verbanden leggen tussen de verschillende niveaus en dat het leerlingen het lastig vinden dat het microniveau niet direct aansluit op de eigen leefwereld. Bij de vraag welke eigenschappen van simulaties zouden kunnen bijdragen aan misconcepties bij micro-macro denken geven docenten aan dat hier vooral het zichtbaar maken van het onzichtbare microniveau van belang is. Eén docent geeft aan dat het wel van belang is dat er ook vragen worden gesteld bij de simulatie.

Vraag	Docent
Is het u tijdens uw lessen wel eens opgevallen dat er bij (sommige van) uw leerlingen sprake is van misconcepties?	4,00
Is hierbij ook sprake van misconcepties gerelateerd aan micro-macro denken?	4,00
Ik denk dat leerlingen moeite hebben met het begrijpen van stoffen en reacties op microniveau omdat dit niet direct aansluit bij hun eigen leefwereld.	3,33
Ik zie dat leerlingen misconcepties hebben bij het leggen van verbanden tussen modellen van het microniveau en de macroscopische eigenschappen.	3,00
Ik denk dat er minder misconcepties zouden ontstaan als het microniveau zichtbaar gemaakt kan worden met behulp van simulaties.	3,67

Tabel 7: Gemiddelde scores op vragenlijst docenten m.b.t. misconcepties

5.3 Subvraag 3: In hoeverre voldoen de ontworpen MD-simulaties in de E-nose ILS aan de kenmerken uit subvraag 1?

Deze vraag sluit aan bij de resultaten van subvraag 1 (5.1), echter gaat het hier niet om de kenmerken die de literatuur, docenten en leerlingen van belang vinden. In dit geval ligt de focus op de mate waarin de kenmerken die bij subvraag 1 naar voren zijn gekomen als belangrijk ook daadwerkelijk aanwezig zijn in de gebruikte simulaties.

Visuele duidelijkheid

De bij dit kenmerk aansluitende resultaten zijn weergegeven in tabel 8. Uit deze resultaten valt af te leiden dat zowel de leerlingen als de docenten de simulaties uit de ILS er aantrekkelijk uit vinden zien. Daarnaast lijken de simulaties voldoende duidelijk te zijn voor zowel leerlingen als docenten. Echter komt uit de interviews met leerlingen naar voren dat eigenlijk geen van de leerlingen een duidelijke uitleg kan geven wat een polymeerborstel is. Ook lijken effecten zoals het strekken en inklappen van de polymeerborstels niet duidelijk te zijn. Het staat dan ook niet vast dat de simulaties voldoende duidelijk zijn om aan dit kenmerk te voldoen.

Vraag	Leerling	Docent
Ik vind dat de simulaties er aantrekkelijk uitzien.	3,37	4,00
Ik kon in de simulaties goed zien welke deeltjes bij de borstel horen en welke bij het gas.	3,72	
In de simulaties is duidelijk zichtbaar welke deeltjes bij de polymeerborstel horen en welke bij het gas.		3,00
Ik kon het verschil tussen polaire en apolaire deeltjes goed zien.	3,44	
Het verschil tussen polaire en apolaire deeltjes is goed zichtbaar in de simulaties.		3,33
Ik begrijp wat polymeerborstels zijn.	3,28	
De simulaties hebben mij geholpen om beter te begrijpen hoe polymeerborstels zich gedragen in de aanwezigheid van verschillende gassen.	3,47	

Tabel 8: Gemiddelde scores op vragenlijsten m.b.t. visuele duidelijkheid

Interactiviteit

Het kenmerk interactiviteit is in de vragenlijsten en interviews niet meegenomen omdat dit geen subjectieve factor is. De gebruikte simulaties bevatten geen optie om zelf parameters aan te passen en vallen dan ook binnen de categorie van observerende interactiviteit.

Authenticiteit

De resultaten die aansluiten bij dit kenmerk zijn weergegeven in tabel 9. Hieruit is af te leiden dat leerlingen vinden dat de simulaties een goed beeld geven van de werkelijkheid. Leerlingen denken ook zelf een goede voorstelling te kunnen maken van polymeerborstels in het echt. Bij de stelling of polymeerborstels er in het echt net zo uitzien als in de simulaties is er geen eenduidig antwoord gegeven. Docenten zijn ook van mening dat de simulaties een realistisch beeld weergeven. De simulaties voldoen in zo'n mate aan dit kenmerk dat zij wel als realistisch beschouwd worden. Echter lopen sommige leerlingen vast bij het maken van een voorstelling van de realiteit op basis van de simulaties. Dit wijst erop dat de simulaties nog niet in de gewenste mate aan dit kenmerk voldoen.

Vraag	Leerling	Docent
Ik denk dat de simulaties goed laten zien hoe polymeerborstels in het echt werken.	3,61	
Door de simulaties kan ik me voorstellen hoe polymeerborstels er in het echt uitzien.	3,22	
Ik denk dat polymeerborstels er in het echt net zo uitzien als in de simulatie.	2,59	
Ik vind dat de simulaties een realistisch beeld geven van polymeerborstels in de aanwezigheid van gassen.		3,00

Tabel 9: Gemiddelde scores op vragenlijsten m.b.t. authenticiteit

Aanvulling

De resultaten die passen bij dit kenmerk zijn weergegeven in tabel 10. Hieruit komt naar voren dat veel leerlingen hun hypothese niet hebben hoeven bijstellen na het bekijken van de simulaties. Dit kan erop wijzen dat de hypothese vooraf al correct was waardoor de simulaties als aanvulling hier niet meer aan bij konden dragen of dat de simulaties niet voldoende aanvulling waren op de uitleg om een onjuiste hypothese als onjuist te herkennen. Of de simulaties een aanvulling zijn wat betreft het begrip bij leerlingen is dus niet vast te stellen. De docenten geven wel unaniem aan te verwachten dat deze simulaties kunnen bijdragen aan het begrip van het gedrag van polymeerborstels bij leerlingen.

Vraag	Leerling	Docent
Mijn conclusie na de simulaties was hetzelfde als de hypothese die ik vooraf had bedacht.	3,33	
Ik denk dat de simulaties leerlingen kunnen helpen bij het begrijpen van het gedrag van polymeerborstels in de aanwezigheid van gassen.		4,00

Tabel 10: Gemiddelde scores op vragenlijsten m.b.t. aanvulling op de lesstof

5.4 Subvraag 4: Hoe beoordelen leerlingen uit 4 havo de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?

De resultaten van de algemene beoordeling van leerlingen is weergegeven in tabel 11. In de tabel is te zien dat de meeste leerlingen het interessant vonden om het gedrag van een polymeerborstel op beeld te zien. Ook geeft het merendeel van de leerlingen aan het leuk te vinden om in scheikundelessen vaker met simulaties te werken. Uit de interviews komt naar voren dat de leerlingen de simulaties met name interessant vinden omdat dit een afwisseling is van het lezen of luisteren in de reguliere scheikundelessen.

Vraag	Leerling
Ik vond het interessant om het gedrag van een polymeerborstel op beeld te kunnen zien.	3,22
Het lijkt me leuk om in de scheikundelessen vaker met simulaties te werken.	3,58

Tabel 11: Gemiddelde scores op vragenlijst leerlingen m.b.t. algemene beoordeling simulaties

Visuele duidelijkheid

Zie tabel 8 voor de resultaten bij dit kenmerk. In de tabel is zichtbaar dat de meeste leerlingen de simulaties beoordelen als aantrekkelijk en duidelijk.

Interactiviteit

Aangezien de simulaties in de ILS niet meer dan een observerende mate van interactiviteit bevatten is er bij de leerlingen niet gevraagd naar een beoordeling van de interactiviteit.

Authenticiteit

De resultaten voor dit kenmerk zijn te vinden in tabel 9. De leerlingen geven aan dat zij de weergave van het gedrag van de polymeerborstels realistisch vinden.

Aanvulling

Zie tabel 10 voor de resultaten bij dit kenmerk. Op basis van deze resultaten is niet duidelijk in hoeverre de leerlingen de gebruikte simulaties een aanvulling vinden op de reguliere lesstof.

5.5 Subvraag 5: Hoe beoordelen scheikundedocenten de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties in de E-nose ILS?

Visuele duidelijkheid

De resultaten voor dit kenmerk zijn te vinden in tabel 8. Uit de tabel is af te leiden dat alle ondervraagde docenten de simulaties als aantrekkelijk beschouwen. Daarnaast lijken de docenten de simulaties voldoende duidelijk te vinden.

Interactiviteit

Aangezien de gebruikte simulaties enkel gebruik maken van observerende interactiviteit is er aan docenten niet gevraagd de mate van interactiviteit te beoordelen.

Authenticiteit

De resultaten voor dit kenmerk zijn te vinden in tabel 9. De docenten zijn het redelijk eens met de stelling dat de simulaties een realistisch beeld geven. De simulaties worden dus wel als realistisch beoordeeld maar mogelijk is er nog ruimte voor verbetering.

Aanvulling

De resultaten voor dit kenmerk zijn gegeven in tabel 10. Daaruit komt naar voren dat de docenten de simulaties een goede aanvulling vinden om het begrip van het gedrag van polymeerborstels bij leerlingen te vergroten.

6. Discussie en conclusies

In dit hoofdstuk worden de algemene limitaties en de bijbehorende implicaties tijdens het onderzoek besproken. Vervolgens zijn de discussiepunten en conclusies bij de subvragen weergegeven.

De grootste limitatie waar binnen dit onderzoek tegenaan is gelopen is de omvang van de groepen respondenten. Met name de kleine aantallen respondenten bij de interviews en de vragenlijst voor docenten vormen een belemmering voor de betrouwbaarheid van de resultaten. Gezien de kleine selectie respondenten kan er niet vanuit worden gegaan dat de verkregen resultaten representatief zijn voor alle leerlingen in 4 havo, de bovenbouw van het VO of alle scheikundedocenten.

Daarnaast geven de vragenlijst voor leerlingen en de interviews met leerlingen op sommige vlakken een tegenstrijdig beeld. Met name als het gaat om de duidelijkheid en authenticiteit van de simulaties. Zo geven de leerlingen in de vragenlijsten aan dat de simulaties duidelijk zijn en een goed beeld geven van de werkelijkheid, uit de interviews blijkt vervolgens dat leerlingen niet goed kunnen uitleggen wat een polymeerborstel is en dat zij zich geen goed beeld kunnen vormen van de realiteit. Dit kan er mogelijk op wijzen dat de vraagstelling voor de leerlingen te complex was of dat zij denken een goed beeld van het proces te hebben terwijl dit toch niet het geval is. Dit zou kunnen betekenen dat de simulaties toch te veel onduidelijkheid met zich mee brengen en daarmee misconcepties in de hand werken. Wel is goed om te benoemen dat de docent die de lessen met de ILS heeft gegeven liet weten dat de leerlingen niet erg gemotiveerd met de ILS bezig zijn geweest tijdens de lessen. Mogelijk ook omdat veel leerlingen al met de naderende toetsperiode bezig waren. Deze verminderde motivatie kan ertoe hebben geleid dat de ILS en daarmee de simulaties een mindere leeropbrengst hebben opgeleverd dan bij een andere planning het geval zou zijn.

Subvraag 1: Wat zijn de kenmerken van een MD-simulatie die geschikt is voor gebruik in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs?

Bij deze subvraag komen de resultaten uit de literatuur grotendeels overeen met de resultaten van de vragenlijsten en interviews. Opvallend is dat de docenten en leerlingen op sommige vlakken meer eisen stellen dan op basis van de literatuur verwacht zou worden. Daarnaast is er voor het kenmerk authenticiteit geen data verzameld vanuit de leerlingen. Daardoor is het belang van dit kenmerk enkel gebaseerd op informatie uit de literatuur en de vragenlijst voor docenten. Op basis van de verzamelde resultaten kan geconcludeerd worden dat vooral 4 kenmerken van belang zijn om een simulatie geschikt te maken voor gebruik in het VO. Dit zijn de kenmerken visuele duidelijkheid, experimenterende interactiviteit, authenticiteit en het zijn van een aanvulling op de bestaande lesstof.

Subvraag 2: Welke misconcepties zijn veelvoorkomend bij micro-macro denken gerelateerd aan chemische processen?

De verzamelde informatie bij deze subvraag was geheel afkomstig uit de literatuur. Gezien de kleine hoeveelheid literatuur, is te verwachten dat het gevormde beeld van veelvoorkomende misconcepties niet volledig is. Echter worden de beschreven misconcepties en oorzaken daarvan wel bevestigd door docenten aan de hand van de vragenlijst. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat misconcepties zoals watermoleculen zijn blauw, rubbermoleculen zijn elastisch en deeltjes gedragen zich als biljartballen goede voorbeelden zijn van veelvoorkomende misconcepties op het gebied van micro-macro denken. Mogelijke oorzaken hiervan zijn dat leerlingen moeite hebben met het leggen van verbanden tussen eigenschappen op het macroniveau en modellen van het microniveau. Daarnaast zien leerlingen deze modellen niet als relevant voor hun eigen

leefwereld en lopen leerlingen er tegenaan dat het lastig is om het onzichtbare microniveau te visualiseren.

Subvraag 3: In hoeverre voldoen de in het onderzoek gebruikte simulaties aan de kenmerken uit subvraag 1?

Bij deze subvraag kunnen voor de meeste kenmerken de mate waarin deze wel of niet aanwezig zijn als een subjectieve factor worden beschouwd. Dit geldt met name voor de kenmerken visuele duidelijkheid en authenticiteit aangezien de perceptie hiervan per respondent kan verschillen. Echter liggen de resultaten bij deze subvraag in de meeste gevallen ruim naar één zijde van de schaal wat aangeeft dat er niet al te veel spreiding in de reacties van de respondenten zit. Op basis van de resultaten kan geconcludeerd worden dat de simulaties in ieder geval aan 1 van de 4 kenmerken voldoet, namelijk aan de authenticiteit. Experimenterende interactiviteit is duidelijk niet aanwezig en de mate waarin de simulaties duidelijk zijn en een aanvulling vormen is twijfelachtig.

Subvraag 4: Hoe beoordelen leerlingen uit 4 havo de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties?

Uit de verkregen resultaten blijkt dat de leerlingen overwegend positief zijn over het werken met de simulaties. Dit is voornamelijk het geval omdat dit een afwisseling is van het reguliere lesprogramma. In de vragenlijst zijn leerlingen met name positief over de aantrekkelijkheid, duidelijkheid en authenticiteit van de simulaties.

Subvraag 5: Hoe beoordelen scheikundedocenten de in het onderzoek gebruikte MD-simulaties?

Uit de vragenlijst voor docenten komt naar voren dat de docenten overwegend positief zijn over de simulaties. Dit geldt met name voor de mate waarin de simulaties aantrekkelijk, duidelijk en een aanvulling zijn. Op het gebied van authenticiteit is er nog ruimte voor verbetering.

Hoofdvraag: In hoeverre zijn moleculaire dynamica (MD) simulaties van polymeerborstels geschikt om, in een ILS over de E-nose, het begrip van processen op microniveau te vergroten bij leerlingen in 4 havo?

Op basis van de hierboven beschreven conclusies per subvraag kan worden geconcludeerd dat MD-simulaties een geschikte tool zouden kunnen zijn binnen het onderwijs wanneer deze aan bepaalde kenmerken voldoen. Uit het onderzoek kan echter niet definitief worden gesteld dat het begrip van processen op microniveau bij leerlingen ook daadwerkelijk is vergroot of vergroot zou kunnen worden wanneer een simulatie aan alle kenmerken voldoet.

7. Aanbevelingen

Op basis van de resultaten en conclusies van dit onderzoek kunnen enkele aanbevelingen worden gedaan zowel voor docenten die gebruik willen maken van simulaties tijdens hun lessen als voor toekomstige onderzoeken naar dit onderwerp.

Ten eerste kan docenten worden aanbevolen om bij het gebruik van simulaties te controleren of deze voldoen aan de kenmerken die bij subvraag 1 naar voren zijn gekomen. Belangrijk hierbij is om de simulaties vooral in te zetten als aanvulling op de reguliere lesstof en hierbij niet te verwachten dat de simulaties als vervanging voor (delen van) de uitleg kunnen dienen. Daarnaast is het aan te raden om na het gebruik van de simulaties te testen of de stof op een juiste manier is overgekomen bij de leerlingen. Dit zou eventueel kunnen door methoden voor formatieve toetsing in te zetten.

Voor toekomstig onderzoek is het aan te bevelen om in ieder geval gebruik te maken van grotere groepen respondenten zodat de resultaten meer representatief en betrouwbaarder zijn. Ook is het aan te raden kritisch te kijken naar de vragen die aan de leerlingen gesteld worden en of de mate van complexiteit passend is. Ook hier kan eventueel gebruik gemaakt worden van een vorm van formatieve toetsing om te testen of de leerlingen de simulatie daadwerkelijk begrijpen in de mate die zij zelf aangeven in een vragenlijst.

Referenties

- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., & Rumble, M. (2014). Defining twenty-first century skills. In *Assessment and teaching of 21st century skills* (pp. 17–66). https://doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2
- Buckingham, D., & Willett, R. (2013). Digital generations: Children, young people, and the new media. In *Digital Generations: Children, Young People, and the New Media*. <https://doi.org/10.4324/9780203810668>
- Chang, H. Y. (2017). How to augment the learning impact of computer simulations? The designs and effects of interactivity and scaffolding. *Interactive Learning Environments*, 25(8), 1083–1097. <https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1250222>
- Curriculum.nu. (2019). Curriculum.nu – Wat moeten onze leerlingen kennen en kunnen? Retrieved May 11, 2020, from <https://www.curriculum.nu/>
- Davies, C. H. J. (2002). Student engagement with simulations: A case study. *Computers and Education*, 39(3), 271–282. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(02\)00046-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(02)00046-5)
- Eilks, I., Witteck, T., & Pietzner, V. (2012). The Role and Potential Dangers of Visualisation when Learning about Sub-Microscopic Explanations in Chemistry Education. In *Journal* (Vol. 2).
- Humphrey, W., Dalke, A., & Schulten, K. (1996). VMD: Visual molecular dynamics. *Journal of Molecular Graphics*, 14(1), 33–38. [https://doi.org/10.1016/0263-7855\(96\)00018-5](https://doi.org/10.1016/0263-7855(96)00018-5)
- ILS - E-nose. (2020). Retrieved from <https://graasp.eu/s/39ym8k>
- Meijer, M., & Dolfin, R. (2016). Macro-meso-microdenken in de lerarenopleiding. *Slo*.
- Meijer, M. R. (2011). Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry education (Utrecht University). Retrieved from <http://www.fisme.science.uu.nl/toepassingen/20065/>
- Plimpton, S. (1995). Fast parallel algorithms for short-range molecular dynamics. *Journal of Computational Physics*, 117(1), 1–19. <https://doi.org/10.1006/jcph.1995.1039>
- R. van Joolingen, W., & de Jong, T. (1991). Characteristics of simulations for instructional settings. *Education and Computing*, 6(3–4), 241–262. [https://doi.org/10.1016/0167-9287\(91\)80004-H](https://doi.org/10.1016/0167-9287(91)80004-H)
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Simulaties polymeerborstels - YouTube. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from https://www.youtube.com/playlist?list=PLrG_XBopnvCMumPkX82DqD268zd6MESI0
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>

Supasorn, S., Suits, J. P., Jones, L. L., & Vibuljan, S. (2008). Impact of a pre-laboratory organic-extraction simulation on comprehension and attitudes of undergraduate chemistry students. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(2), 169–181. <https://doi.org/10.1039/b806234j>

Tasker, R., & Dalton, R. (2008). Visualizing the Molecular World – Design, Evaluation, and Use of Animations. In *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp. 103–131). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_6

Te Kulve, H. (2006). Evolving repertoires: Nanotechnology in daily newspapers in the netherlands. *Science as Culture*, 15(4), 367–382. <https://doi.org/10.1080/09505430601022692>

University of Colorado Boulder. (2002). PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science and math simulations. Retrieved July 1, 2020, from PhET Colorado Simulations website: <https://phet.colorado.edu/>

University of Twente. (n.d.). Materials Science and Technology of Polymers. Retrieved July 5, 2020, from <https://mtpgroup.nl/>

Bijlagen

Bijlage A: Vragenlijst leerlingen

Vraag	Antwoordmogelijkheden	Aantal	Percentage
1. Ik vond het interessant om het gedrag van een polymeerborstel op beeld te kunnen zien.	Helemaal oneens	1	5,26%
	Beetje oneens	1	5,26%
	Beetje eens	9	47,37%
	Helemaal eens	7	36,84%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%
2. Het lijkt me leuk om in de scheikundelessen vaker met simulaties te werken.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Beetje eens	8	42,11%
	Helemaal eens	11	57,89%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	0	0%
3. Ik vind dat de simulaties er aantrekkelijk uitzien.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	1	5,26%
	Beetje eens	10	52,63%
	Helemaal eens	8	42,11%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	0	0%
4. Ik vind het belangrijk dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.	Helemaal oneens	1	5,26%
	Beetje oneens	3	15,79%
	Beetje eens	3	15,79%
	Helemaal eens	12	63,16%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	0	0%
5. Ik kon in de simulaties goed zien welke deeltjes bij de borstel horen en welke bij het gas.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Beetje eens	5	26,32%
	Helemaal eens	13	68,42%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%
6. Ik kon het verschil tussen polaire en apolaire deeltjes goed zien.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Beetje eens	10	52,63%
	Helemaal eens	8	42,11%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%

7. Ik begrijp wat polymeerborstels zijn.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	1	5,26%
	Beetje eens	11	57,89%
	Helemaal eens	6	31,58%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%
8. De simulaties hebben mij geholpen om beter te begrijpen hoe polymeerborstels zich gedragen in de aanwezigheid van verschillende gassen.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	1	5,26%
	Beetje eens	8	42,11%
	Helemaal eens	10	52,63%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	0	0%
9. Ik zou het leuker vinden als ik in de simulaties zelf dingen aan kan passen.	Helemaal oneens	1	5,26%
	Beetje oneens	2	10,53%
	Beetje eens	9	47,37%
	Helemaal eens	7	36,84%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	0	0%
10. Ik denk dat ik meer kan leren van een simulatie waarin ik zelf dingen aan kan passen.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	2	10,53%
	Beetje eens	4	21,05%
	Helemaal eens	13	68,42%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	0	0%
11. Ik denk dat de simulaties goed laten zien hoe polymeerborstels in het echt werken.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Beetje eens	7	36,84%
	Helemaal eens	11	57,89%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%
12. Door de simulaties kan ik me voorstellen hoe polymeerborstels er in het echt uitzien.	Helemaal oneens	1	5,26%
	Beetje oneens	1	5,26%
	Beetje eens	9	47,37%
	Helemaal eens	7	36,84%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%
13. Ik denk dat polymeerborstels er in het	Helemaal oneens	1	5,26%

echt net zo uitzien als in de simulatie.			
	Beetje oneens	5	26,32%
	Beetje eens	11	57,89%
	Helemaal eens	0	0%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	2	10,53%
14. Als ik simulaties kan bekijken heb ik verder geen uitleg meer nodig.	Helemaal oneens	3	15,79%
	Beetje oneens	9	47,37%
	Beetje eens	6	31,58%
	Helemaal eens	0	0%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%
15. Ik denk dat ik wat ik geleerd heb beter kan onthouden door simulaties.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Beetje eens	12	63,16%
	Helemaal eens	6	31,58%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	1	5,26%
16. Mijn conclusie na de simulaties was hetzelfde als de hypothese die ik vooraf had bedacht.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	2	10,53%
	Beetje eens	6	31,58%
	Helemaal eens	7	36,84%
	Ik weet het niet/ik snap de vraag niet	4	21,05%

Tabel 12: Resultaten vragenlijst leerlingen met aantallen en percentages

Bijlage B: Opzet interview leerlingen

1. Vond je het leuk om met simulaties te werken en waarom vond je dat?
2. Is het voor jou belangrijk dat simulaties er aantrekkelijk uitzien? Waarom vind je dat wel of niet belangrijk?
3. Kan je uitleggen wat volgens jou een polymeerborstel is?
4. Wat gebeurt er met een polymeerborstel als deze reageert op de aanwezigheid van een gas?
5. Denk je dat het beter zou zijn als je één simulatie zou hebben waarin je zelf de polariteit kan aanpassen in plaats van 4 aparte filmpjes? Waarom denk je dat?
6. Heb je een idee hoe polymeerborstels er in het echt uitzien? Kan je uitleggen hoe ze er volgens jou uit zullen zien?
7. Denk je dat simulaties de uitleg bij sommige onderwerpen kunnen vervangen? Waarom denk je dat?
8. Hebben jullie het bij scheikunde al gehad over het micro-, meso- en macro-niveau? Kan je uitleggen wat dat betekent? Op welk niveau zou je de polymeerborstels uit de simulaties indelen en waarom?

Bijlage C: Vragenlijst docenten

Vraag	Antwoordmogelijkheden	Aantal	Percentage
<i>Onderdeel 1: Simulaties in het algemeen</i>			
1. Heeft u in uw lessen al eens gebruik gemaakt van simulaties?	Ja	3	100%
	Nee	0	0%
2. Bent u van plan in de toekomst gebruik te gaan maken van simulaties in uw lessen?	Ja	3	100%
	Nee	0	0%
3. Ik vind het belangrijk dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	2	66,67%
	Helemaal eens	1	33,33%
4. Ik denk dat leerlingen het belangrijk vinden dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	1	33,33%
	Helemaal eens	2	66,67%
5. Ik vind het belangrijk dat simulaties een realistische weergave zijn van de werkelijkheid.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	1	33,33%
	Beetje eens	1	33,33%
	Helemaal eens	1	33,33%
6. Ik denk dat leerlingen het belangrijk vinden dat simulaties een realistische weergave zijn van de werkelijkheid.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	2	66,67%
	Helemaal eens	1	33,33%
7. Ik vind het van meerwaarde als leerlingen in een simulatie zelf dingen kunnen aanpassen.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	0	0%
	Helemaal eens	3	100%
8. Ik denk dat het zelf dingen kunnen aanpassen in de simulatie voor een grotere leeropbrengst zorgt.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	0	0%

	Helemaal eens	3	100%
9. Ik denk dat simulaties een vervanging kunnen zijn van stukken uitleg.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	2	66,67%
	Helemaal eens	1	33,33%
10. Ik denk dat simulaties een goede aanvulling kunnen zijn bij stukken uitleg.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	0	0%
	Helemaal eens	3	100%
11. Ik denk dat leerlingen de geleerde stof beter kunnen onthouden door het bekijken van simulaties.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	1	33,33%
	Beetje eens	1	33,33%
	Helemaal eens	1	33,33%
12. Ik denk dat leerlingen de geleerde stof beter kunnen onthouden door interactief bezig te zijn met simulaties.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	0	0%
	Helemaal eens	3	100%
<i>Onderdeel 2: Simulaties polymeerborstels</i>			
16. Ik vind dat de simulaties er aantrekkelijk uitzien.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	1	33,33%
	Beetje eens	0	0%
	Helemaal eens	2	66,67%
17. In de simulaties is duidelijk zichtbaar welke deeltjes bij de polymeerborstel horen en welke bij het gas.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	1	33,33%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	1	33,33%
	Helemaal eens	1	33,33%
18. Het verschil tussen polaire en apolaire deeltjes is goed zichtbaar in de simulaties.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	2	66,67%
	Helemaal eens	1	33,33%

19. Ik denk dat de simulaties leerlingen kunnen helpen bij het begrijpen van het gedrag van polymeerborstels in de aanwezigheid van gassen.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	0	0%
	Helemaal eens	3	100%
20. Ik vind dat de simulaties een realistisch beeld geven van polymeerborstels in de aanwezigheid van gassen.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	1	33,33%
	Beetje eens	2	66,67%
	Helemaal eens	0	0%
<i>Onderdeel 3: Misconcepties</i>			
21. Is het u tijdens uw lessen wel eens opgevallen dat er bij (sommige van) uw leerlingen sprake is van misconcepties?	Ja	3	100%
	Nee	0	0%
22. Is hierbij ook sprake van misconcepties gerelateerd aan micro-macro denken?	Ja	3	100%
	Nee	0	0%
23. Ik denk dat leerlingen moeite hebben met het begrijpen van stoffen en reacties op microniveau omdat dit niet direct aansluit bij hun eigen leefwereld.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	2	66,67%
	Helemaal eens	1	33,33%
24. Ik zie dat leerlingen misconcepties hebben bij het leggen van verbanden tussen modellen van het microniveau en de macroscopische eigenschappen.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	1	33,33%
	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	1	33,33%
	Helemaal eens	1	33,33%
25. Ik denk dat er minder misconcepties zouden ontstaan als het microniveau zichtbaar gemaakt kan worden met behulp van simulaties.	Helemaal oneens	0	0%
	Beetje oneens	0	0%

	Neutraal/geen mening	0	0%
	Beetje eens	1	33,33%
	Helemaal eens	2	66,67%

Tabel 13: Resultaten vragenlijst docenten met aantallen en percentages

Bijlage D: Verdeling subvragen bij vragenlijst leerlingen

In onderstaande tabel staat weergegeven bij welke subvragen uit het onderzoek de vragen in de vragenlijst voor leerlingen aansluiten. Ook is de gemiddelde score bij de vragen gegeven. Hoe dit gemiddelde bepaald is staat beschreven in hoofdstuk 4.4.

Vraag	SV 1	SV 2	SV 3	SV 4	Gem. score
1. Ik vond het interessant om het gedrag van een polymeerborstel op beeld te kunnen zien.				X	3,22
2. Het lijkt me leuk om in de scheikundelessen vaker met simulaties te werken.				X	3,58
3. Ik vind dat de simulaties er aantrekkelijk uitzien.			X	X	3,37
4. Ik vind het belangrijk dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.	X				3,37
5. Ik kon in de simulaties goed zien welke deeltjes bij de borstel horen en welke bij het gas.			X	X	3,72
6. Ik kon het verschil tussen polaire en apolaire deeltjes goed zien.			X	X	3,44
7. Ik begrijp wat polymeerborstels zijn.			X	X	3,28
8. De simulaties hebben mij geholpen om beter te begrijpen hoe polymeerborstels zich gedragen in de aanwezigheid van verschillende gassen.			X	X	3,47
9. Ik zou het leuker vinden als ik in de simulaties zelf dingen aan kan passen.	X				3,16
10. Ik denk dat ik meer kan leren van een simulatie waarin ik zelf dingen aan kan passen.	X				3,58
11. Ik denk dat de simulaties goed laten zien hoe polymeerborstels in het echt werken.			X	X	3,61
12. Door de simulaties kan ik me voorstellen hoe polymeerborstels er in het echt uitzien.			X	X	3,22
13. Ik denk dat polymeerborstels er in het echt net zo uitzien als in de simulatie.				X	2,59
14. Als ik simulaties kan bekijken heb ik verder geen uitleg meer nodig.	X				2,17
15. Ik denk dat ik wat ik geleerd heb beter kan onthouden door simulaties.	X				3,33
16. Mijn conclusie na de simulaties was hetzelfde als de hypothese die ik vooraf had bedacht.			X		3,33

Tabel 14: Indeling vragenlijst leerlingen per subvraag met gemiddelde scores

Bijlage E: Transcripties interviews leerlingen

Onderstaand zijn de transcripties van de interviews met leerlingen weergegeven. De enige aanpassingen ten opzichte van de geluidsopnamen is het achterwege laten van opvolwoorden om de leesbaarheid te vergroten. Voor alle interviews geldt dat de tekst van de interviewer staat gemarkeerd met I en is weergegeven als vetgedrukte tekst. De tekst van de respondent staat gemarkeerd met R en is cursief.

5.2.1 Interview leerling 1

I: Vond je het leuk om met simulaties te werken? En waarom vond je dat wel of niet leuk?

R: Nou ja, ik vond het wel leuk ja. Ik neem het beter in me op, het is makkelijker te leren als je het ziet hoe het eigenlijk gebeurt op zo'n klein niveau.

I: En vind je het dan ook heel belangrijk dat die simulaties er heel mooi en aantrekkelijk uitzien of vind je dat niet zo belangrijk?

R: Nou het moet te begrijpen zijn. Niet per se supermooi maar als ik snap wat een atoom is en wat dit is en wat dat betekent en wat dus het principe is dan vind ik dat al genoeg.

I: Oké dus het moet duidelijk zijn maar niet per se supermooi?

R: Nee

I: Kan je mij ook uitleggen wat volgens jou een polymeerborstel is?

R: Nou, ik heb eigenlijk een beetje door de vragen heen geskipt, ik was bezig met de proefwerkweek maar...

I: Maakt niet uit.

R: ik heb voornamelijk gelet op de vragen die ik ook zelf in de proefwerkweek kreeg over de hoofdstukken.

I: Oké, dus je vindt het lastig om uit te leggen wat het precies is?

R: Ja

I: Je hebt natuurlijk wel naar de simulaties gekeken neem ik aan?

R: Ja

I: Dus daar zaten die polymeerborstels in. Kan je uitleggen wat er met zo'n polymeerborstel gebeurt op moment dat daar een gas bij aanwezig is?

R: Dat gas blijft er of in vast zitten of het blijft er juist niet in vastzitten dat ligt eraan of het polair of apolair was.

I: Ja, en doet de polymeerborstel dan ook nog wat als het gas er wel of niet in gaat zitten of maakt dat verder niet uit. Blijft die hetzelfde?

R: Volgensmij blijft die gewoon hetzelfde, hij houdt alleen het gas vast.

I: Stel nou dat je één simulatie had gekregen waaraan je zelf dingen aan kon passen, dus waarin je zelf de gasdeeltjes en de borstel polair of apolair kon maken. Denk je dat dat beter zou zijn dan dat je vier aparte filmpjes krijgt waar dit al in aangepast is?

R: Ik denk toch wel dat het iets beter is om één simulatie te hebben want dan kan je dus zelf alles aanklikken en dan weet je wat je doet.

I: Oké, dus je bent je bewuster van waar je dan naar aan het kijken bent eigenlijk?

R: Ja

I: Als je nu naar die simulaties hebt gekeken heb je dan ook een beetje een idee hoe polymeerborstels er in het echt uit zouden zien?

R: ja, ik denk dat ik wel weet hoe het eruit ziet maar het is natuurlijk heel erg klein. En het ziet er dus wel anders uit maar ik zou wel begrijpen hoe het werkt.

I: Oké, dus je begrijpt hoe het werkt maar je kunt je nog niet helemaal voorstellen hoe het er nou uitziet als ik jou een polymeerborstel zou geven?

R: Ja

I: Denk je dat je ze überhaupt zou kunnen zien trouwens?

R: Ik heb geen idee ik heb alleen de plaatjes dus gezien van hele kleine niveaus.

I: Nou ze zijn inderdaad heel klein dus eigenlijk zou je ze niet kunnen zien.

R: Ooh, oké.

I: Dus dat was ook een beetje een flauwe vraag maar ook om te testen of jullie je beseffen dat het er in het echt niet zo uitziet als op het plaatje natuurlijk.

I: Denk je dat als je nu simulaties zou hebben bij scheikunde voor meer onderwerpen, dat dat dan je uitleg zou kunnen vervangen of moet je altijd uitleg daar nog bij hebben?

R: Ik denk wel dat we altijd nog uitleg nodig hebben. Maar de simulaties zullen er heel erg bij helpen denk ik. Maar de uitleg is wel essentieel.

I: Oké dus je moet altijd uitleg hebben maar de simulaties zouden dan wel helpen om die uitleg beter te begrijpen?

R: Ja

I: Hebben jullie het bij scheikunde al eens gehad over het micro-, meso- en macroniveau?

R: Nee

I: Oke, dan hoef ik je daar verder ook niet wat over te vragen want dan gaat het voor jou natuurlijk heel lastig worden om dat te beantwoorden. Dus dan waren dit al alle vragen die ik voor je had. Is er misschien nog iets wat je zelf kwijt wil over de simulaties wat misschien nuttig is voor mijn onderzoek?

R: Nou, eigenlijk heb ik gewoon te zeggen dat het inderdaad heel handig is maar voor de rest niet zo heel veel bijzonders.

5.2.2 Interview leerling 2

I: Als eerste, vond je het leuk om met simulaties te werken en waarom vond je dat wel of niet leuk?

R: Ik vond het wel leuk, het was wel interessant. Het was interessant om te bekijken hoe het werkt.

I: En vind je het dan ook belangrijk dat die simulaties er allemaal heel mooi en aantrekkelijk uitzien of vind je dat niet zo heel belangrijk?

R: Nou dan is het wel duidelijker als het er zo mooi uitziet.

I: Oké, dus je vindt het wel belangrijk.

R: Ja

I: En dan puur omdat dat duidelijker is of heb je nog een andere reden waarom je dat belangrijk vindt?

R: Ja vooral omdat het duidelijk is.

I: Kan je mij ook uitleggen wat volgens jou een polymeerborstel is? Want je hebt hem gezien in de simulatie?

R: Het was toch zo'n... iets met moleculen waar dan slierten ofzo aan zitten? Daar viel een gas op ofzo, toch?

I: Horen de gassen die daarin zitten bij de polymeerborstel of is dat een apart iets?

R: Dat zijn iets aparts

I: Oké, dus het zijn eigenlijk een beetje slierten van moleculen die polymeerborstel?

R: Ja, wat ik begreep wel

I: En kan je mij ook vertellen wat er gebeurt als die polymeerborstel dan met een gas in aanraking komt? Reageert hij daarop? En hoe reageert hij daar dan op?

R: Ja, dat had te maken met apolair en polair of zo iets. En dan... Ik weet niet meer precies hoe het ook alweer ging.

I: Oke, je hebt inderdaad te maken met apolair en polair dus het maakt uit welke combinatie je daar maakt. Maar weet je nog wat je ziet gebeuren met de gasdeeltjes die bij de polymeerborstel zaten? Blijven die zitten waar ze zaten?

R: Die bewogen heel erg om dat ding heen.

I: Dan iets anders, stel dat je één simulatie zou krijgen waarin je zelf alles aan kunt passen. Dus waarin je zelf zou kunnen kiezen van ik wil dat het gas polair is of apolair of dat de borstel polair of apolair is. Denk je dat dat beter zou dan dat je zoals nu vier aparte filmpjes hebt of dat het niet per se uitmaakt?

R: Lijkt me wel beter.

I: Waarom?

R: Het is makkelijker om te kijken dan.

I: Makkelijker om te bekijken, denk je ook dat je het daardoor beter kunt begrijpen of maakt dat weer niet zo heel veel uit?

R: Dat denk ik niet per se. Opzich had ik dat met de filmpjes wel maar dat is gewoon omdat het dan makkelijker is.

I: Je hebt dus de polymeerborstels gezien in de simulaties, heb je nu ook een beetje een idee hoe ze er in het echt uit zouden zien?

R: Ja, ongeveer zo iets denk ik maar dan wel veel kleiner.

I: Kleiner zei je?

R: Ja veel kleiner.

I: Zo klein dat je ze nog wel kunt zien of zo klein dat je ze niet meer kunt zien?

R: Dat niet, op molecuulniveau.

I: Dus als ik jou een polymeerborstel geef dan zie je daar eigenlijk niet echt iets aan?

R: Ja

I: En denk je dat de simulaties, zoals je die nu hebt gezien, dat die een vervanging zouden kunnen zijn van een stuk uitleg of moet je daar altijd nog uitleg bij hebben?

R: Ik denk dat uitleg wel makkelijker is dan.

I: Oke, dus je hebt wel altijd een stukje uitleg nodig en dan zouden de simulaties een beetje extra zijn om het beter te kunnen begrijpen?

R: Ja, dat denk ik wel

I: Dan, het laatste stukje, hebben jullie het bij scheikunde al gehad over microniveau en macroniveau?

R: Nee, dat nog niet.

5.2.3 Interview leerling 3

I: Ten eerste, vond je het leuk om met simulaties te werken en waarom vond je dat wel of niet leuk om te doen?

R: Nou, niet per se leuk maar wel handiger. Het maakt de lessen wel interessanter.

I: Oké, en maakt het dan interessant omdat het wat meer afwisseling is of is er een andere reden waarom het interessanter is?

R: Ja afwisseling wel, het is een keer wat anders in plaats van gewoon lezen.

I: Oké, normaal lezen jullie vaak in de lessen?

R: ja, maar met een voorbeeld erbij en als dat dan ook nog eens een simulatie is, dat werkt wel beter vind ik.

I: En vind je het dan ook belangrijk dat zo'n simulatie er mooi en aantrekkelijk uitziet of is dat niet zo heel belangrijk voor je?

R: Nee, niet per se, als hij maar gewoon goed is. Als ik er wat aan heb.

I: Oké, dus het is belangrijk dat hij duidelijk is en dat je er iets van kan leren en het hoeft niet allemaal heel mooi te zijn.

R: Ja

I: In de simulatie heb je een polymeerborstel gezien. Kan je mij uitleggen wat volgens jou een polymeerborstel is?

R: Nee

I: Nee? Oké

R: Ik ben nog niet zo ver met het huiswerk.

I: Dat is niet erg hoor, het hoeft ook niet een correct antwoord te zijn maar dan weet ik in hoeverre jullie uit de simulatie iets leren over wat het is.

R: Nee, ik ben daar nog niet. Ja, mevrouw heeft de simulaties laten zien dus ik weet wel... Ze ging met van die haren en... Als ze apolair waren en er kwam apolair aan dan ging het wel goed en anders werd het afgestoten. Dus ik heb het wel gezien maar kan niet uitleggen wat het is.

I: Je ging al een beetje richting mijn volgende vraag, of je zou kunnen uitleggen wat er met zo'n polymeerborstel gebeurt op moment dat daar een gas bij aanwezig is? Je zei net al iets over apolair en polair? Weet je nog precies wat er gebeurde met dat gas?

R: Ja, volgensmij was het zo dat als de borstels apolair waren en er kwam een apolair gas bij dat het werd opgenomen. Dus het apolaire gas kwam in de borstels terecht. Alleen als je een apolaire borstel had en een polair gas dan werd het afgestoten en dan werd er niks opgenomen in die borstels. En hetzelfde geldt bij polair en polair.

I: En zag je dan ook nog een verschil tussen die borstels of bleven die gewoon hetzelfde en dan met of zonder gasdeeltjes erin?

R: Hoe bedoelt u?

I: Je hebt dus de borstel en afhankelijk van of hij apolair of polair is en wat voor gas je hebt gaan dus de deeltjes erin zitten of niet erin zitten zei je net. Zie je buiten dat die gasdeeltjes erin gaan zitten of niet, zie je dan ook nog een ander verschil aan de borstel of dat niet?

R: Heb ik niet gezien zo, nee, ja, je zag als er twee dezelfde waren dan zag je dat er bolletjes bij in kwamen. Maar volgensmij veranderde er niets aan de borstel zelf.

I: Stel nou dat jullie één simulatie hadden gekregen waarin je zelf dingen kon gaan veranderen, dus zelf dingen polair kon maken en apolair kon maken. Denk je dat dat beter zou werken dan dat je nu... nu had je vier aparte filmpjes, ik weet niet hoeveel jullie er hebben gezien. Maar dat je het dus zelf aan zou kunnen passen in plaats van dat dat van tevoren al voor je gedaan is. Denk je dat dat beter zou werken?

R: Ja, misschien wel. Ik denk dat het wel handig is dat je zelf ook kunt uitproberen. Sommige mensen leren van het zelf doen zegmaar.

I: Oké dus je denkt dat het beter is omdat je daar uiteindelijk meer van kunt leren als je het zelf doet?

R: Ja, dat denk ik wel.

I: Je hebt ze dus gezien die polymeerborstels, heb je nu ook een beetje een idee in je hoofd hoe ze er dan in het echt uit zouden kunnen zien?

R: Nee, niet echt. Als ik nu het woord polymeerborstel hoor dan zie ik die simulatie voor me. Dus gewoon bewegende haartjes met bolletjes erin of er omheen. Maar ik heb geen idee hoe het er in het echt uitziet.

I: Stel je nou voor dat ik een polymeerborstel zou hebben, dus in het echt, en dat ik die aan jou zou geven. Denk je dan dat je het überhaupt kan zien zoals het op de simulatie zichtbaar is of dat er eigenlijk niet zo heel veel aan te zien is? Dat het misschien veel te klein is?

R: Volgensmij stond er in de tekst dat dat heel klein was dus ik denk niet dat ik hem met het blote oog kan zien.

I: Oké, heel goed.

I: Die simulaties, denk je nou dat die in sommige gevallen de uitleg die je in de les krijgt zou kunnen vervangen of denk je dat je altijd die uitleg nodig hebt en dat de simulatie meer een soort extraatje is?

R: Ik denk dat het een extraatje is. Ik denk dat de uitleg wel nodig blijft.

I: Oké, dus het is meer iets wat je naast de uitleg nog weer er extra bij zou kunnen doen zodat je het misschien iets beter begrijpt of iets beter zal onthouden.

R: Ja, het helpt om het beter te begrijpen denk ik.

I: Dan, mijn bijna laatste vraag, maar van de anderen had ik hier ook al antwoord op. Hebben jullie het bij scheikunde al eens gehad over het microniveau en het macroniveau?

R: Ja.

I: Ja?

R: Ja, maar volgensmij heb ik dat voor het eerst... ik heb dat volgensmij voor het eerst van gehoord in de tweede ofzo. En sindsdien, iedere keer dat ik het zag staan op de toets had ik geen idee waar ze het over hadden dus ik weet niet wat het is. Maar ik heb het weleens zien staan.

I: Oke, je bent ook de eerste die ja zegt op deze vraag dus jij hebt het blijkbaar nog onthouden en de rest waarschijnlijk niet. Maar aangezien je het niet echt meer precies weet denk ik niet dat het heel veel zin heeft als ik jou daar vragen over ga stellen.

R: Nee, dat denk ik niet.

I: Want je kunt me waarschijnlijk ook niet uitleggen wat het precies betekent. Dus dan waren dat eigenlijk de vragen die ik voor je had. Is er nog iets wat jij graag kwijt wilt over de simulaties waar ik misschien wat aan heb in mijn onderzoek?

R: Nee, niet per se.

5.2.4 Interview leerling 4

I: De eerste vraag die ik voor je heb is, of je het leuk vond om met simulaties te werken en waarom je dat dan wel of niet leuk vond?

R: Nou, ik vond het wel beter zegmaar dan gewoon mond tot mond en gewoon lezen want je ziet wat er gebeurt. Dat is wel leuker eigenlijk.

I: En vind je het dan ook belangrijk om simulaties te bekijken die er mooi en aantrekkelijk uitzien of is dat niet zo heel erg belangrijk voor je?

R: Nee, zolang ze maar functioneel zijn dus duidelijk is wat er gebeurt.

I: Je hebt in die simulaties, heb je dus polymeerborstels bekeken. Kan je mij zo uitleggen wat volgens jou een polymeerborstel is?

R: Nou, je hebt een polymeerborstel en die is dan apolair of polair en dan heb je de deeltjes, die blijven er, als ze dezelfde, als apolair of polair zijn, dan blijven ze eraan zitten, als ze dezelfde dingen hebben. En anders stoten ze elkaar weer af.

I: Oke, daarmee beantwoord je eigenlijk ook al een beetje mijn volgende vraag. Wat er zou gebeuren met de polymeerborstel als hij reageert op de aanwezigheid van een gas. Dus of hij neemt ze op of hij neemt ze niet op zeg je eigenlijk.

R: Klopt.

I: Was er nog iets anders wat je kon zien aan de polymeerborstel op het moment dat die gassen erbij kwamen of gebeurde er verder niets?

R: Sommige lieten los, niet allemaal bleven vastzitten.

I: De polymeerborstel zelf of de deeltjes die erin gingen zitten?

R: De deeltjes, de gassen die erin gingen.

I: Stel je voor dat je nu nog een simulatie zou krijgen maar dan eentje waarin jij zelf kunt aanpassen of de borstel of het gas polair of apolair is. Dus je krijgt één simulatie daarin kun je alles zelf aanpassen. Denk je dat dat beter zou zijn dan de vier aparte filmpjes die jullie nu hadden met de verschillende combinaties?

R: Ja, ik denk het wel. Ik denk dat je iets meer interactief bezig bent, er zelf ook echt mee bezig bent dan dat ik er maar naar kijk.

I: En het is beter om er zelf echt mee bezig te zijn omdat?

R: Omdat je dan echt erover nadenkt wat er gebeurt als iets gebeurt zegmaar. Waarom iets gebeurt of hoe iets gebeurt.

I: Dus uiteindelijk leer je daar dan meer van?

R: Ja.

I: Je hebt ze dus in de simulatie gezien, die polymeerborstels. Heb je daar nu ook een beetje een beeld bij hoe dat nou in het echt eruit zou kunnen zien?

R: Nou ja, wel een beetje. Ik denk, het ziet er niet exact hetzelfde uit maar wel in grote mate.

I: Dus stel dat ik een polymeerborstel zou hebben en die zou ik aan jou geven. Wat zou je dan daaraan zien denk je?

R: Niet heel veel als zijnde zelf polymeerborstel maar wel als je dan er een ander gas bij doet, wat er dan mee gebeurt dat weet je dan.

I: Oké, want denk je dat je die borstels, en als er deeltjes in gaan zitten, dat je dat echt kunt zien? Of zou het misschien überhaupt niet zichtbaar zijn als je er gewoon zelf naar kijkt?

R: Volgens mij niet zichtbaar aangezien het een gas is, dus niet echt zichtbaar in ieder geval.

I: Oké, maar dat komt dus omdat je het gas eigenlijk niet kunt zien. Net als de lucht hier zegmaar.

R: Ja.

I: Denk je ook dat de simulaties zoals je die nu hebt gezien, dat zou je ook voor andere onderwerpen kunnen doen natuurlijk. Denk je dat die uitleg zouden kunnen vervangen in de les of heb je nog altijd dezelfde uitleg nodig en dan is het meer een soort extraatje wat je erbij hebt?

R: Ik denk dat het wel meer een extraatje is om het nog beter te begrijpen hoe het nou eruit ziet, in elkaar zit.

I: Oké, dus zonder de uitleg zou je er niet zo heel erg veel aan hebben?

R: Nouja, ik denk wel dat je er wat aan hebt alleen is het er wat bij, het is niet dat je het volledige verhaal hebt ofzo, bijvoorbeeld, ja zo, denk ik wel.

I: Dan heb ik nog een vraag over wat je tot nu toe geleerd hebt bij scheikunde. Hebben jullie het al eens gehad over het microniveau en het macroniveau?

R: Nee, volgens mij niet.

I: Oke, dat zeiden de anderen inderdaad ook dus dat zal inderdaad kloppen.

Bijlage F: Verdeling subvragen bij vragenlijst docenten

In onderstaande tabel staat aangegeven bij welke subvragen binnen het onderzoek de vragen uit de vragenlijst voor docenten aansluiten en wat de gemiddelde score bij elke vraag is. Hoe deze gemiddelde scores zijn berekend is terug te vinden in hoofdstuk 4.4. De antwoorden gegeven bij de open vragen staan weergegeven in een aparte tabel. Deze antwoorden zijn letterlijk overgenomen zonder enige aanpassingen.

Vraag	SV 1	SV 2	SV 3	SV 5	Gem. Score
<i>Onderdeel 1: Simulaties in het algemeen</i>					
1. Heeft u in uw lessen al eens gebruik gemaakt van simulaties?					4,00
2. Bent u van plan in de toekomst gebruik te gaan maken van simulaties in uw lessen?					4,00
3. Ik vind het belangrijk dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.	X				3,33
4. Ik denk dat leerlingen het belangrijk vinden dat simulaties er aantrekkelijk uitzien.	X				3,67
5. Ik vind het belangrijk dat simulaties een realistische weergave zijn van de werkelijkheid.	X				3,50
6. Ik denk dat leerlingen het belangrijk vinden dat simulaties een realistische weergave zijn van de werkelijkheid.	X				3,33
7. Ik vind het van meerwaarde als leerlingen in een simulatie zelf dingen kunnen aanpassen.	X				4,00
8. Ik denk dat het zelf dingen kunnen aanpassen in de simulatie voor een grotere leeropbrengst zorgt.	X				4,00
9. Ik denk dat simulaties een vervanging kunnen zijn van stukken uitleg.	X				3,33
10. Ik denk dat simulaties een goede aanvulling kunnen zijn bij stukken uitleg.	X				4,00
11. Ik denk dat leerlingen de geleerde stof beter kunnen onthouden door het bekijken van simulaties.	X				3,50
12. Ik denk dat leerlingen de geleerde stof beter kunnen onthouden door interactief bezig te zijn met simulaties.	X				4,00
<i>Onderdeel 2: Simulaties polymeerborstels</i>					
16. Ik vind dat de simulaties er aantrekkelijk uitzien.				X	4,00
17. In de simulaties is duidelijk zichtbaar welke deeltjes bij de polymeerborstel horen en welke bij het gas.			X	X	3,00
18. Het verschil tussen polaire en apolaire deeltjes is goed zichtbaar in de simulaties.			X	X	3,33
19. Ik denk dat de simulaties leerlingen kunnen helpen bij het begrijpen van het gedrag van polymeerborstels in de aanwezigheid van gassen.				X	4,00
20. Ik vind dat de simulaties een realistisch beeld geven van polymeerborstels in de aanwezigheid van gassen.			X	X	3,00
<i>Onderdeel 3: Misconcepties</i>					

21. Is het u tijdens uw lessen wel eens opgevallen dat er bij (sommige van) uw leerlingen sprake is van misconcepties?		X			4,00
22. Is hierbij ook sprake van misconcepties gerelateerd aan micro-macro denken?		X			4,00
23. Ik denk dat leerlingen moeite hebben met het begrijpen van stoffen en reacties op microniveau omdat dit niet direct aansluit bij hun eigen leefwereld.		X			3,33
24. Ik zie dat leerlingen misconcepties hebben bij het leggen van verbanden tussen modellen van het microniveau en de macroscopische eigenschappen.		X			3,00
25. Ik denk dat er minder misconcepties zouden ontstaan als het microniveau zichtbaar gemaakt kan worden met behulp van simulaties.		X			3,67

Tabel 15: Indeling vragenlijst docenten per subvraag met gemiddelde scores

Vraag	Gegeven antwoorden
13. Wat is voor u de voornaamste reden om wel gebruik te maken van simulaties in uw lessen?	Extra manier van uitleg voor de leerlingen
	Dat ze zelf actief kunnen bezig zijn met de leerstof en daarbij kunnen zien wat het precies doet/wat ze precies doen. Hierdoor hebben ze meer zelfreflectie op wat ze weten en kunnen.
	Beter beeld voor de ll
14. Wat is voor u de voornaamste reden om geen gebruik te maken van simulaties in uw lessen?	Tijd
	Sommige simulaties zijn te moeilijk om zelf te laten uitvoeren door de leerlingen/studenten.
	Nvt
15. Aan welke factoren moet een educatieve simulatie volgens u voldoen?	Interactief, meerwaarde, duidelijk beschreven
	1) Niet te ver van de werkelijkheid af. 2) Makkelijk kunnen toepassen door de docent als de leerling/student. 3) Duidelijke simulatie (je ziet wat je doet/het resultaat is). 4) Verbeterde leeropbrengst.
	Eenduidig en aan te passen
26. Welke eigenschappen van simulaties zouden volgens u kunnen bijdragen aan het verminderen van misconcepties op het gebied van micro-macro denken?	Model, maar er moeten ook vragen bij zijn
	Het zichtbaar maken wat op microniveau gebeurt (dus welke fasen zijn er aanwezig, hoeveel moleculen zijn er, zijn er meerdere

	soorten aanwezig, hoe snel of langzaam etc.)
	Beelden opmicroniveau

Tabel 16: Resultaten open vragen bij vragenlijst docenten