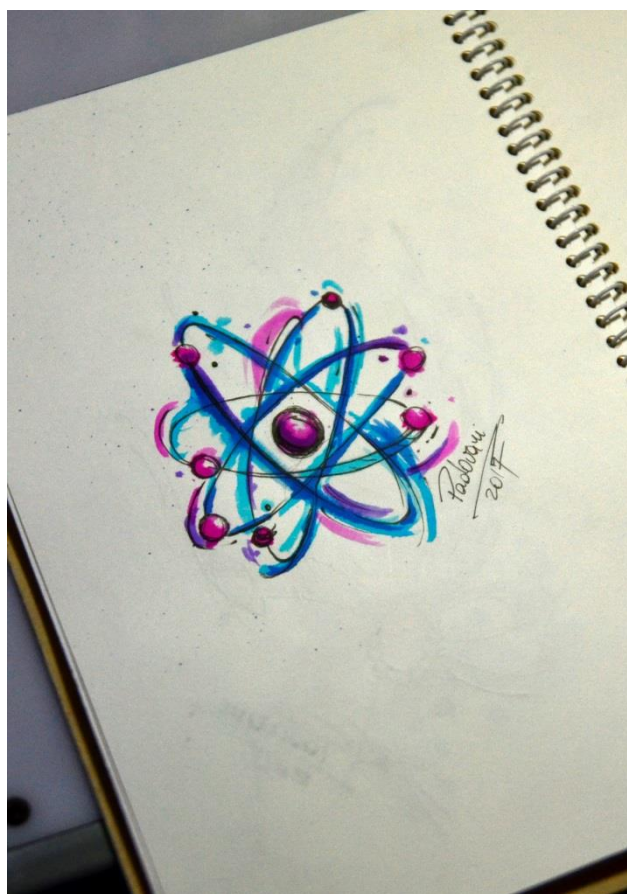


Naam student	Luuk Smets
Studentnummer	2077209
Opleiding	Master scheikunde
Omvang van eventuele vrijstelling:	0
Datum	10 juli 2017

Atoommodellen in 4 havo



Inhoud

Samenvatting.....	3
Verlegenheidssituatie.....	4
Theoretisch kader.....	6
Inleiding	6
Hoe komt het atoommodel voor in de les?	6
Misconcepten	7
Gebruik van modellen in de les	9
Onderzoeksvragen.....	12
Methode van onderzoek.....	14
Verbeteractie.....	17
Resultaten en conclusies	21
Bouw van het atoom	21
Bindingen en krachten	23
Conclusie	29
Discussie en aanbevelingen.....	30
Bibliografie	33

Samenvatting

De aanleiding van dit onderzoek zijn de tegenvallende resultaten in 4 havo. De leerlingen hebben moeite met de overstap naar de bovenbouw, daarnaast blijkt dat de opzet van de nieuwe scheikunde deze overstap bemoeilijkt. Kenmerkend is het verbinden van onderwerpen binnen het context/concept onderwijs. In dit onderzoek wordt er gekeken naar het leggen van deze verbanden. Als onderwerp is gekozen voor het atoommodel van Bohr, dit is het onderwerp waar leerlingen het jaar mee beginnen. Op latere momenten in het jaar komt dit terug in de opvolgende hoofdstukken, omdat dit een concept is dat in veel contexten terug komt. De leerlingen moeten bij dit onderwerp dus veel verschillende verbanden leggen.

In de opzet van dit onderzoek wordt eerst gekeken naar een klas die deze theorie heeft gehad, hiervoor worden proefwerkvragen geanalyseerd. Op deze manier is er een nulmeting over het niveau van de leerlingen met betrekking tot het atoommodel van Bohr. Daarna worden proefwerkvragen van de vervolghoofdstukken geanalyseerd om zo de koppeling tussen verschillende onderwerpen te meten.

Hierna wordt er een verbeteractie ontworpen en uitgevoerd in de 4 havo klas van schooljaar 2015/2016. Op deze manier kan een vergelijking gemaakt worden tussen een klas zonder en een klas met een verbeterde lessenserie. Hiervoor worden dezelfde proefwerkvragen geanalyseerd.

Naast input vanuit de proefwerkanalyse wordt er in de verbeteractie ook rekening gehouden met de bevindingen uit de literatuur. De lessenserie wordt vanuit een historisch oogpunt ingericht. Daarnaast zullen de misconcepten die bij leerlingen uit klas 14/15 bestaan een belangrijk onderdeel vormen van de inrichting van de verbeteractie. Uiteindelijk wordt er ook geprobeerd leerlingen bewuster met het gebruik van modellen om te laten gaan, gezien de moeilijkheden die dit voor leerlingen met zich meebrengt.

Van de geselecteerde proefwerkvragen zullen de scores geanalyseerd worden op de gemiddelde score van de klas en op het aantal leerlingen met de maximale score. Deze gegevens van beide klassen zijn tegen elkaar uitgezet en verwerkt. Ter verduidelijking is er ook een gesprek aangegaan met enkele leerlingen uit klas 15/16, om nuances te kunnen geven bij de analyse van scores.

Uit de resultaten blijkt dat leerlingen die de proefwerken hebben gemaakt na de verbeteractie over het algemeen beter scoren. Dit geldt voor bijna alle vragen. Zowel de gemiddelde score van de klas als het aantal leerlingen met de maximale score is vooruit gegaan. Leerlingen lijken in staat meer koppelingen te maken tussen het atoommodel van Bohr en de vervolgtheorie. De misconcepten die zijn geconstateerd in de eerste klas zijn nog steeds aanwezig in de tweede klas, maar in beduidend mindere mate.

Uit de resultaten blijkt dus dat de gekozen aanpak heeft gewerkt en dus een positieve invloed heeft op de resultaten van de leerlingen. Echter is dit nog niet het eindstation. De scores zijn vaak nog niet voldoende en er is dus een nieuwe verbeteractie gewenst. Een belangrijk onderdeel blijkt de leesvaardigheid van de leerling in het vak scheikunde.

Concluderend kan gesteld worden dat de verbeteractie een gewenst effect heeft gehad, maar dat dit een voortdurend traject moet zijn.

Verlegenheidssituatie

Op het Xxx College krijgen leerlingen tijdens het 4^e studiejaar voor het eerst te maken met regulier scheikunde onderwijs. In de jaren daarvoor komt scheikunde alleen voor in het periode-onderwijs. Deze onderwijsvorm, een onderdeel van de antroposofie, is kenmerkend voor de vrije scholen. Gedurende een periode van 3 weken achtereen, maken de leerlingen elke dag, gedurende het 1^e en 2^e lesuur, kennis met een vak of thema. Dat betekent dat leerlingen in elk van de eerste drie jaar 1 periode van 3 weken scheikunde krijgen, gedurende de rest van het jaar krijgen ze dit vak niet. Deze periodes zijn vanuit de visie van het antroposofische onderwijs gevuld met veel practicum, een gevolg daarvan is dat er minder tijd is voor theorie. Voor scheikunde heeft dat tot gevolg dat pas vanaf het 4^e jaar wekelijks aan scheikunde wordt gewerkt. Voor de havisten, waar dit onderzoek zich op richt, geldt dat ze 2 uur per week scheikunde hebben, van 4 tot en met 6 havo¹. Hierbij beginnen de leerlingen direct met de uitleg van het atoommodel van Bohr. Dit is een deel van de theorie waar de volgende hoofdstukken zwaar op leunen. De kennis van het atoommodel moet worden toegepast in onderwerpen als metalen, zouten of moleculaire stoffen. Voor de leerlingen is het moeilijk om te wennen aan een nieuwe invulling van het vak, daarbij komt dat het eerste onderwerp, het atoommodel, van groot belang is voor de rest van het jaar. Ook de boer (de Boer, Goris, & Noordink, 2003) beschrijft dat leerlingen veel problemen hebben met de overstap van 3 naar 4 havo. Onder andere door de diepgang en de abstractie. De problemen die de Boer aangeeft lijken door het antroposofische onderwijssysteem te worden versterkt. Naast het wennen aan de diepgang en abstractie moeten de leerlingen ook wennen aan 'reguliere' lessen scheikunde.

Naast de stap die leerlingen op het Xxx maken van periode-onderwijs naar vaklessen is enkele jaren geleden de 'nieuwe scheikunde' geïntroduceerd, een nieuw curriculum voor scheikunde op het voortgezet onderwijs. In de nieuwe scheikunde ligt de nadruk meer op het toepassen van kennis. Leerlingen moeten de kennis van verschillende onderdelen aan elkaar koppelen, om zo door te redeneren tot een antwoord te komen (Apotheker, et al., 2010). Waar in de oude vorm van het scheikunde onderwijs de nadruk vooral lag op overdragen van kennis binnen verschillende onderwerpen, wordt nu gewerkt van uit een concept/context benadering. Dat wil zeggen dat in een bepaalde context meerdere onderwerpen bij elkaar kunnen komen. Dit heeft tot gevolg dat de leerlingen meer moeten schakelen en meer verbindingen moeten leggen tussen de verschillende onderwerpen. Een voorbeeld waar dit niet goed gaat is de context van mijnbouw, hierin wordt het atoommodel van Bohr geïntroduceerd. In dezelfde paragraaf moet deze kennis van het atoommodel al toegepast worden om de eigenschappen van zouten en metalen te voorspellen. Een ander voorbeeld hiervan is dat leerlingen de theorie over de elektronenschillen niet toepassen in de bepaling van de covalentie van een atoom. Deze koppeling wordt niet of nauwelijks gemaakt in het boek, terwijl de theorie in hetzelfde hoofdstuk wordt aangeboden. Voor de leerlingen is het erg moeilijk om de nieuwe theorie over het atoommodel direct toe te passen bij een volgend onderwerp. In de praktijk resulteert dit erin dat de leerling een slecht of verkeerd verband legt met het atoommodel en dus de verkeerde eigenschappen voorspelt bij een volgend onderwerp. Binnen het context/concept onderwijs worden deze onderwerpen binnen een context door elkaar gebruikt. In de oude scheikunde stonden de verschillende hoofdstukken meer los van elkaar en was het eenvoudiger om het atoommodel als los onderwerp te behandelen. De ervaring leert dat vooral havo leerlingen moeite hebben met het houden van overzicht. Leerlingen in deze klas hebben moeite me

¹ In de huidige situatie is havo een 6 jarig traject op het Xxx college.

het verband uitleggen tussen de bouw van een stof en het kookpunt, iets waarvoor ze het atoommodel nodig hebben. Dit laatste is een voorwaarde voor het kunnen verbinden van de deelonderwerpen. Het is in de les te merken dat kennis uit een voorgaand hoofdstuk snel vergeten wordt, waardoor veel onderwerpen herhaald moeten worden. Een voorbeeld hiervan is dat een leerling bij het chemisch rekenen niet doorheeft dat de massa van een ion gelijk is aan de massa van een atoom, omdat de elektronenmassa verwaarloosbaar is. In de proefwerken is te zien dat ze de theorie uit het behandelde hoofdstuk redelijk tot goed kunnen maken. Theorie die eerder aan bod is gekomen leidt meestal tot vragen en verontwaardiging. Doordat in de nieuwe scheikunde veel in contexten wordt gewerkt is het voor de leerlingen vaak erg lastig. Het gebruik van een context houdt in dat er verschillende onderwerpen aan elkaar worden gekoppeld, waardoor onderwerpen uit voorgaande hoofdstukken regelmatig terugkomen. Leerlingen worden geacht deze stof toe te kunnen passen in de vervolghoofdstukken.

Dit onderzoek is van groot belang voor de school en de leerlingen. Hoewel er maar één 4 havo klas is, en ik dus de enige docent ben, onderschrijft mijn collega scheikunde de problematiek. Volgens hem speelde dit al toen hij les gaf in 4 havo. Bij bovenstaand probleem gaat het om de basis van de scheikunde, daar waar de rest van de bovenbouw op wordt voort geborduurd.

Hoe kan ik de basis van atoommodellen in scheikunde zo verankeren bij de leerlingen dat dit in de vervolgtheorie een hulpmiddel wordt in plaats van een valkuil?

Theoretisch kader

Inleiding

Op het Xxx college komen leerlingen van 4 havo voor het eerst in een reguliere scheikundeles terecht. Deze stap is, ook gezien de resultaten, erg groot. Er wordt meteen begonnen met het inzoomen tot op microniveau. Voor veel leerlingen levert dit problemen op; Een vak dat begint met een onderwerp, het atoommodel, dat volledig onvoorstelbaar is voor de meeste kinderen. Het is iets wat ze nooit daadwerkelijk zullen zien. Dit heeft ertoe geleid dat in dit onderzoek dit onderwerp centraal komt te staan. Hoe starten de leerlingen de scheikundelessen in 4 havo, en hoe gebruiken ze deze kennis in de rest van het jaar in de lessen. Hierbij zal het atoommodel centraal staan, maar dit zal gekoppeld worden aan andere onderwerpen binnen de scheikunde op 4 havo. In dit kader zal gekeken worden naar manieren om het atoommodel in de scheikundelessen aan te bieden.

Dit onderzoek wordt gedaan op een vrije school. Deze onderwijsvorm, de antroposofie, heeft natuurlijk invloed op het onderzoek. Een aantal van deze invloeden worden in dit onderzoek genoemd. Toch is er voor gekozen om de antroposofie niet als apart onderdeel te onderzoeken. Dit omdat er meer dan één onderzoek nodig is enkel voor dat onderwerp. Maar ook omdat het onderzoek plaatsvindt in de bovenbouw, waar de antroposofische lesstijl plaats maakt voor een aanpak die meer lijkt op regulier onderwijs. Dit omdat de leerlingen op deze school uiteindelijk een regulier examen moeten doen.

Hoe komt het atoommodel voor in de les?

In het scheikundeonderwijs wordt het atoommodel, in de drie meest gebruikte lesmethodes, onderwezen volgens een historisch besef. In de 3^e klas wordt het atoom geïntroduceerd. Eerst wordt het atoommodel van Dalton geïntroduceerd, waar leerlingen leren dat een atoom een bolletje is als een knikker, en dat er verschillende soorten atomen zijn. Het atoommodel wordt vervolgens verfijnd door de verschillende modellen chronologisch te volgen, dus door de historische aanpak te nemen. Hierbij worden niet alle atoommodellen behandeld. Hoewel veel bronnen er op wijzen dat het voor het begrip van de leerlingen gunstig is om een historische tijdlijn aan te houden, wordt dit niet door iedereen onderbouwd. Matthews, een voorstander van de historische benadering geeft aan dat het van belang is dat een docent kan onderbouwen waar de kennis vandaan komt. Om een pedagogisch historische achtergrond te geven bij de vragen van leerlingen (Matthews, 1992).

In het examenprogramma havo (examenprogramma scheikunde, 2015) staat vermeld dat de leerlingen het atoommodel moeten kennen met de verdeling van de elektronen over de k, l en m schil. Oftewel het model van Bohr. Waarom er gekozen is om leerlingen in 4 havo te laten werken met het atoommodel van Bohr wordt niet duidelijk. In het adviesrapport nieuwe scheikunde (Apotheker J. , et al., 2010) staat geen onderbouwing voor deze keuze. Ongeacht de benadering van de stof is er in het examenprogramma scheikunde gekozen om de leerlingen het atoommodel van Bohr als eindpunt te geven.

Een andere insteek op de atoommodellen in de klas komt van Taber, hij geeft drie mogelijke varianten van een atoommodel; het leerlingatoom, het chemisch atoom en het historisch atoom. Iedere vorm is een invulling van een atoommodel en heeft zijn eigen doel. Waarbij een chemisch atoom het dichtst bij de werkelijkheid staat. Het leerlingatoom is een atoom dat is versimpeld voor educatieve doeleinden. Hierbij is het leerlingatoom niet enkel een versimpelde versie van een atoom, maar een compleet andere voorstelling dan chemisch gezien de waarheid is. Het historisch atoom is vaak een middel om bij een leerlingatoom uit te komen. Het huidige wetenschappelijke model, wat

de basis in de kwantumchemie heeft, is te moeilijk, waardoor er voor leerlingen een ander model moet komen. Dit probleem wordt opgelost door terug te gaan op de tijdlijn van atoommodellen. Op deze manier komt de leraar uit bij een verouderd atoommodel wat bruikbaar is voor de lesstof van de havo, maar wat leerlingen een verkeerd beeld geeft van de werkelijkheid (Taber, 2003). Het onderwezen atoommodel is ingehaald door nieuwe ontwikkelingen in de wereld van de wetenschap.

Op het Xxx college is er voor gekozen om een duidelijk historische benadering te nemen bij het onderwijs naar het atoom. De school probeert de lessen als een beleving in te vullen, waarbij niet alleen het hoofd, maar ook hart en handen aan te pas komen. Dit betekent dat er naast kennis ook getracht wordt de leerling te laten voelen en bezig te laten zijn. De historische benadering is een goede manier om leerlingen de boeien voor het onderwerp, door ze mee te nemen op een reis van ontwikkelingen en personen. Wij hopen hierdoor het hart van de leerling meer aan te spreken.

(Werkdocument vrijeschoolonderwijs in Nederland, 2015)

Omdat de leerlingen uiteindelijk examen moeten doen houdt het Xxx het vastgestelde examenprogramma aan. Waarom wordt er niet verder gekeken op de tijdlijn naar atoommodellen van de Broglie of Schrödinger? Er is onderzoek gedaan naar de nadelige gevolgen van het leren van het atoommodel van Bohr voor een vervolgstudie in de scheikunde en de voordelen van de modellen van de Broglie of Schrödinger. Hieruit komt naar voren dat er andere opties zijn voor het middelbaar onderwijs, maar dat het leren van het atoommodel van Bohr geen obstakel hoeft te zijn voor een vervolgstudie. (McKagan, Perkins, & Wieman, 2008) Echter is het merkbaar dat er vaak leerlingen zijn die door dit onderwerp in het hart geraakt worden en meer kennis willen. Hierdoor gaan de lessen regelmatig verder dan de examenstof, hoewel dit niet voor iedereen verplicht is. Met de geïnteresseerde leerlingen kan er over Schrödinger of orbitalen gesproken worden.

Misconcepten

Zoals Taber al aan heeft gegeven is er niet één atoommodel. Er zijn verschillende toepassingen en aanpassingen in de modellen. Het werken met modellen in scheikundelessen is dan ook niet zonder gevaar. Modellen zijn een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, maar zoals de docent een voorstelling probeert over te brengen zal het vaak niet in de hoofden van de leerlingen terecht komen. Misconcepten spelen hierin een belangrijke rol. In het boek *'Misconceptions in Chemistry'* (Barke, Hazari, & Yitbarek, 2009) worden de misconcepten voor de hoofdonderwerpen van scheikunde uiteengezet. In dit boek geven ze het probleem voor het atoommodel duidelijk aan. Een model van een auto is een kleinere versie van de auto. Een model van een atoom is moeilijker, omdat niemand in een atoom kan kijken of deze weergave daadwerkelijk klopt. De atoommodellen zijn dus een moeilijk te begrijpen model. Hieronder (tabel 1) staat een opsomming van verschillende auteurs met een selectie van de misconcepten, betreffende het atoom, die zij zijn tegengekomen. Hierbij is een selectie gemaakt. Dit zijn allen veel voorkomende misconcepten bij scheikunde, die allen betrekking hebben op het atoommodel van Bohr. De verschillende misconcepten met vergelijkbare betekenis zijn ondergebracht onder overkoepelende titels. Deze 7 overkoepelende titels zullen in dit onderzoek de misconcepten vormen waar de fouten van leerlingen in onderverdeeld zullen worden.

<i>Bron</i>	1. Het atoom en molecuul worden verwisseld of verkeerd gebruikt
(Barke, Hazari, & Yitbarek, 2009)	De kleinste deeltjes in een molecuul zijn atomen
(Cokelez & Dumon, 2005)	Het atoom en molecuul worden verwisseld of verkeerd gebruikt
	2. Atomen zijn hard, als een biljartbal
(Small, Smaller, Smallest Misconceptions about the Structure of Atoms, 2013)	Een elektronenschil is hard, als een eierschaal
(Horton, 2001)	De elektronenschil beschermt de kern Atomen zijn hard, als een biljartbal Atomen zijn bouwsteentjes
	3. De atomen 'bezitten' de elektronen in de schillen
Small	De atomen 'bezitten' de elektronen in de schillen De elektronen cirkelen om de kern als planeten om de zon
Horton	Atomen hebben schillen, als uien Een elektronenschil is als een eierschaal Atomen 'bezitten' de elektronen
	4. Er is maar één correct atoommodel
Small	Er is maar één correct atoommodel Het huidige atoommodel is het correcte atoommodel
Horton	Er is maar één atoommodel dat correct is
	5. Atomen zijn microscopische versies van elementen, met de bijbehorende eigenschappen
Barke	Atomen en stoffen zijn gelijk aan elkaar (chlooratoom en chloor) Atomen kunnen verdwijnen Deeltjes zijn zichtbaar
Small	Atomen zijn microscopische versies van elementen, met de bijbehorende eigenschappen Je kunt atomen zien met een microscoop
Horton	Atomen zijn zacht en harig Atomen hebben de eigenschappen van een stof Atomen in een vaste stof hebben andere eigenschappen dan in een vloeistof of gas Atomen kunnen van vorm veranderen (d.m.v. verbranden, ontploffen, uitzetten etc.)
	6. Verwarring over de termen die bij een atoom horen: proton, neutron, elektron, ion en geladen deeltje
Small	Elektronen zijn groter dan protonen
Cokelez	Het massagetal aanzien voor het aantal elektronen
	7. Het begrip 'deeltje' heeft veel verschillende betekenissen
Barke	Het begrip 'deeltje' heeft veel verschillende betekenissen
Horton	Atomen hebben één vast volume en een vaste dichtheid

Tabel 1 overzicht van misconcepten in de literatuur met overkoepelende thema's

Een belangrijke noot komt van Horton (Horton, 2001). In de titel van zijn onderzoek geeft hij al aan dat de benaming 'misconcept' niet, of minder, correct is. Het is vaak niet het probleem dat een leerling niks begrijpt van een onderdeel, echter dat de leerling een andere voorstelling heeft. Dit 'alternatieve concept' zorgt ervoor dat een leerling sommige vragen juist kan beantwoorden, terwijl andere vragen zorgen dat de leerling met het alternatieve concept vastloopt. Doordat leerlingen een

deel van het onderwerp wel juist begrijpen is het moeilijker om een erachter te komen waar de misstap plaatsvindt. In de rest van dit onderzoek zal de term *misconcept* gebruikt worden, omdat dit in de literatuur een meer gebruikte term is. Hierbij moet rekening gehouden worden dat dit ook gelezen kan worden als alternatief concept

Gebruik van modellen in de les

Om in lesverband te werken met *misconcepts* is niet zonder gevaar, aldus Horton (Horton, 2001). Dit heeft niet alleen betrekking op lessen omtrent het atoommodel. Een lesmethode kan beter positief ingericht worden, in plaats van de focus op de foute concepten bij leerlingen. Hierbij is het volgens hem verstandiger om te richten op goed begrip bij leerlingen in te brengen. Hoewel het voor een docent verleidelijk kan zijn om de *misconcepts* van leerlingen als leidraad in de les te gebruiken kan dit averechts werken. Leerlingen hebben het al zwaar genoeg om een (juist) beeld van de wereld te vormen, pedagogisch gezien is het niet slim om dit beeld neer te halen. Het is van nature een menselijke eigenschap om defensief en boos te worden als ons ongelijk aangetoond wordt. We kunnen ons volgens Horton wel richten op het juist vormen van ideeën in het hoofd van de leerling. Volgens hem moeten docenten hierbij tegen hun natuur ingaan en niet altijd doen waar de leerling om vraagt. De docent moet niet altijd antwoord geven op een vraag, maar een leerling sturen in de juiste richting. Als een leerling met een *misconcept* direct verbeterd wordt kan dit aanvallend overkomen. Echter kan de docent wel de denkwijze van de leerling blijven volgen totdat het *misconcept* ervoor zorgt dat de leerling vastloopt. De leerling ervaart dan zelf het probleem en voelt zich niet aangevallen, maar staat juist open om het nieuwe, juiste, concept te accepteren.

In lessen van alle exacte vakken wordt veelvuldig gebruik gemaakt van modellen, zo ook bij scheikunde. Bij dit onderwerp zit het zelfs al in de naam; het atoommodel van Bohr. Dit hoeft geen nadeel te zijn. In hun rapport (Harrison & Treagust, 2000) stellen Treagust en Harrison dat modellen op vier manieren bijdragen aan de wetenschap:

- Modellen zijn een van de belangrijkste producten van de wetenschap
- Modelleren is een belangrijk onderdeel van de wetenschappelijke aanpak
- Modellen zijn een belangrijk leerinstrument in de wetenschap
- Modellen zijn een belangrijk onderwijsinstrument in de wetenschap

Zij geven ook aan dat het van groot belang is dat voordat leerlingen beginnen met modellen, ze dezelfde ‘wetenschappelijke taal’ leren spreken als hun docent doet. Hierin schuilt het probleem dat er veel verschillende voorstellingen van dezelfde modellen zijn. Het door elkaar gebruiken van modellen uit de wetenschap, van de leraar of uit het tekstboek kunnen het begrip juist verminderen in plaats van bevorderen.

In een schoolsituatie blijkt dat het voor de leerlingen erg lastig is om te wennen aan het gebruik van modellen en de bijbehorende taal. Opeens wordt van een leerling gevraagd om drie verschillende onderdelen met elkaar te verbinden. De leerling kent eigenschappen op stofniveau (macro), en weet dat waterstof een kleurloos explosief gas is. Dan moet de leerling de koppeling leggen naar het microniveau, waar waterstof bestaat uit een proton en een elektron. En om de verwarring bij de leerling compleet te maken moeten ze hier ook een symbolische weergave van kunnen geven en lezen, of te wel ‘H’ voor waterstof. Hier heeft de leerling al te maken met drie verschillende modellen.

Dit is een populair onderwerp voor onderzoek. Zo is er al een lessenserie/aanpak geschreven over

hoe met dit probleem om te gaan als het chemisch rekenen betreft (Yehudit & Mira, 2003). Algemeen gezien is het werken in symbolen makkelijker voor leerlingen met een wiskundige achtergrond. In hun artikel (Sunyono, Yuanita, & Ibrahim, 2015) geven de schrijvers aan dat het wisselen tussen verschillende lesvormen van groot belang is. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van samenwerkend leren en oplossingsgericht leren, waar de leerlingen elkaar kunnen helpen. Dit kan ook gebruikt worden door de verschillende voorstellingen van de drie niveaus aan te bieden aan de leerlingen.

In het artikel 'Introduction to model-based teaching and learning in science education' geven de schrijvers aan dat er veel verschillende definities zijn te vinden voor modellen. Ook zijn er veel verschillende manieren van aanpak te vinden over hoe een model te gebruiken. Desalniettemin is er geen algemeen leidende aanpak over hoe om te gaan met modellen in de les. Er is geen leidende theorie over hoe een model cognitief het beste ingezet kan worden (Gobert & Buckley, 2000). In dit artikel wordt pijnlijk duidelijk hoe verdeeld de aanpak met modellen is. Zo zijn er veel wetenschappers die een model zien als een weergave van een systeem. Vaak wordt er onderscheid gemaakt tussen mentale modellen, die van de onderzoeker, van de ontwerper, die van de wetenschapper en die van de gebruiker (leerling). Daarbij komt ook nog het leraarmodel kijken als het over het onderwijs gaat. Dit lijkt op de eerder genoemde indeling met 3 modellen, echter is het hier iets uitgebreid en heeft het daardoor net een andere indeling, wat bevestigt dat er niet één leidende benadering voor modellen is.

Een model kan een persoonlijk mentaal model zijn, maar in een klassensituatie komt het model tot uitdrukking in de woorden en handelingen van de gebruiker. Door vragen, antwoorden, beschrijvingen in de klas of op toetsen worden deze zichtbaar voor de medemens. Aldus Gobert en Buckley. Als bevestiging van de theorie van Gobert en Buckley, dat er geen eenduidige aanpak met modellen is, verdedigt Peter Nelson een modelindeling gericht op het atoom in zijn artikel. Hierbij maakt hij een verdeling op drie niveaus (Nelson, 2002):

- Niveau 1: Macroscopisch of bulk
- Niveau 2: Atomair en moleculair
- Niveau 3: Elektron en kern

Hierbij kan niveau 1 waargenomen worden. Niveau 2 en 3 kunnen afgeleid worden uit waarnemingen op niveau 1. Hier ligt een probleem en een mogelijkheid in besloten. Het maakt het scheikundeonderwijs moeilijk, omdat het onderwerp niet zichtbaar is en daardoor voor de leerling 'niet bestaat'. We moeten dus de leerling de koppeling tussen niveau 1 en niveau 2 en 3 niet laten vergeten. Er moet niet te snel naar een hoger niveau gestapt worden, de leerling is dan genooddaakt om deze kennis aan te nemen. Door terug te koppelen naar niveau 1 kan er bewijs geleverd worden. Dit komt ook de motivatie van leerlingen te goede die geen liefhebber zijn van de abstractie die anders tot stand komt. Het mentale model dat de leerling heeft dient als startpunt te dienen (Sunyono, Yuanita, & Ibrahim, 2015). Dit is het punt waar de leerling vanuit vertrekt in het denkproces, om de aansluiting te behouden moet de docent op dit punt dus inhaken.

Uiteindelijk bevatten veel van de verschillende theorieën een kern van waarheid en moet er met meerdere dingen rekening gehouden worden. Dit eist van de docent een veelzijdigheid in de les, waarbij de docent kan switchen tussen verschillende aanpakken. In alle onderzoeken steekt er voor mij één punt bovenuit. De leerling moet het startpunt zijn van de les. Daarbij gaat het om de leerling

en het mentale model dat de leerling op dat moment heeft. Daar vanuit kan verder worden gebouwd tot een nieuw, beter of correct model.

In deze literatuurstudie komen elementen naar voren die van belang zijn voor de verbeteractie. Zo lijkt een historische aanpak een goede aanpak om bij het uiteindelijke atoommodel uit te komen. Daarnaast moet er in de verbeterde lessenserie aandacht komen voor het gebruik van modellen en vooral hoe. Om de leerlingen te helpen met de abstractie van de modellen. Hierbij moet ook aandacht besteed worden aan de koppeling tussen de micro en de macro wereld. De misconcepten die er bij leerlingen zijn zullen door docent en leerling samen worden weggewerkt, op een wijze die voor de leerling leerzaam moet zijn. Dit betekent dat de leerling de fout zelf moet ervaren en accepteren. Deze onderdelen zullen om de leerling en zijn ideeën gecentreerd moeten worden, zodat de leerling centraal blijft staan in dit hele proces.

Onderzoeksvragen

1. *Welke misconcepten hebben de 4 havo leerlingen uit schooljaar 2014-2015 over het atoommodel van Bohr?*

Het atoommodel van Bohr staat centraal bij de eerste onderzoeksvraag, omdat het de basis vormt van het eerste hoofdstuk in 4 havo. Zoals in de verlegenhedsituatie is aangegeven hebben veel leerlingen moeite met het koppelen van deze theorie in vervolghoofdstukken. Het atoommodel van Bohr is zo'n onderdeel dat leerlingen gedurende het jaar moeten blijven gebruiken en toepassen bij andere hoofdstukken. Uiteindelijk komt er een verbeteractie, zie de onderzoeksmethode, deze eerste onderzoeksvraag is bedoeld als een nulmeting. In het volgende schooljaar wordt de stof op een andere manier aangeboden. Bij deze eerste onderzoeksvraag kijk ik naar het begrip van het atoommodel van Bohr, hierbij gaat het puur om de bouw van het atoom. Hierbij kun je denken aan de opbouw met het aantal protonen, neutronen en elektronen. Er hoeven nog geen eigenschappen van stoffen uit afgeleid te worden. Het begrip van de leerlingen zal worden weergegeven met voorkomende misconcepten (zie theoretisch kader) in de klas. Door de misconcepten te identificeren kan er gericht les worden gegeven om deze te voorkomen in de jaren daarna. Deze misconcepten zullen ook aan bod komen bij de tweede onderzoeksvraag.

2. *In welke mate begrijpen de 4 havo leerlingen uit schooljaar 2014-2015 de vervolgtheorie over metalen, zouten en moleculaire stoffen, welke voortbouwt op het begrip van het atoommodel van Bohr?*

De tweede onderzoeksvraag is bedoeld om na te gaan in welke mate de leerlingen de kennis die ze hebben opgedaan over het atoommodel van Bohr kunnen toepassen op de vervolghoofdstukken. Voorbeelden hiervan zijn het toepassen van het atoommodel bij voorspelling van een kookpunt of van de covalentie van een atoom. Hierbij zal vooral ingegaan worden op de volgende 2 hoofdstukken in het boek, deze gaan over moleculaire stoffen, zouten en metalen. Ook hier zal er gekeken worden naar bestaande misconcepten in de klas.

Op basis van de resultaten van deze onderzoeksvragen is in de volgende 4 havo klas (jaar 15/16) een verbeteractie uitgevoerd. De lesstof wordt bij deze verbeteractie op een andere manier aangeboden. Het doel hiervan is om het atoommodel voor de leerlingen tot een hulpstuk te laten worden, in plaats van een last.

3. *In welke mate heeft de vernieuwde lessenserie bij de huidige 4 havo leerlingen bijgedragen aan het verminderen van misconcepten over het atoommodel van Bohr?*

Onderzoeksvraag 3 gaat wederom in op het begrip dat de klas heeft van het atoommodel van Bohr. Deze klas, van het jaar 15/16, heeft echter de aangepaste lessenserie gevolgd en hier is de verwachting dat de gegevens tonen dat er minder misconcepten bestaan bij de leerlingen.

4. *In welke mate heeft de vernieuwde kennismaking met het atoommodel van Bohr bijgedragen aan het begrip van de huidige 4 havo leerlingen in de vervolgtheorie over metalen, zouten en moleculaire stoffen?*

De 4^e onderzoeksvraag sluit aan bij onderzoeksvraag 2. De opzet van de vraag is hetzelfde, met als verschil dat de leerlingen in deze klas de aangepaste lessen heeft gevolgd. In deze onderzoeksvraag wordt dus gekeken naar de invloed van deze lessen.

De laatste twee onderzoeksvragen zijn bedoeld om de opbrengst van de vernieuwde methode van lesgeven te bepalen. Hierin wordt gekeken of de nieuwe aanpak een positief effect heeft gehad, of dat het voor de leerlingen geen verschil heeft gemaakt. Dit zal gemeten worden aan de hand van de resultaten. Het is ook mogelijk dat een nieuwe inhoud van de lessen voor nieuwe problemen bij de leerlingen zorgt. De opbrengst van de laatste twee onderzoeksvragen zal worden gemeten, maar er zal ook gekeken worden naar eventuele gebreken. Eventuele gebreken zullen in de aanbeveling terugkomen.

Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is om leerlingen een beter begrip te geven van het atoommodel van Bohr. Dit doe ik door middel van het ontwerpen van een nieuwe lessenserie die gaat over het atoommodel van Bohr. Hierbij wordt in de lessenserie ook al rekening gehouden met de koppeling naar de vervolghoofdstukken over metalen, zouten en moleculaire stoffen. Deze hoofdstukken leunen zwaar op het atoommodel en dat dient door de leerlingen ingezet te worden bij het begrip van de nieuwe stof. Het gaat hier onder andere om de onderwerpen verzadigdheid, alkanen, kookpunten, zouten, covalentie en reactievergelijkingen.

Methode van onderzoek.

Onderzoeksvraag 1

Welke misconcepten hebben de 4 havo leerlingen uit schooljaar 2014-2015 over het atoommodel van Bohr?

Om deze vragen te beantwoorden zullen de resultaten van de leerlingen geanalyseerd worden door middel van een proefwerkanalyse. Er worden vragen geselecteerd die betrekking hebben op dit onderwerp. Deze vragen worden geanalyseerd op de scores van de leerlingen. Er wordt gekeken naar hoe goed een klas gemiddeld scoort ten opzichte van de maximale score. Ook wordt er gekeken naar de hoeveelheid leerlingen die een maximale score hebben gehaald. Daarmee toont de leerling aan de stof volledig te hebben begrepen. Omdat de groepen van verschillende grootte zijn zal alles in procenten worden uitgedrukt. Vragen waarop de leerlingen klassikaal het slechtst scoren zullen worden geanalyseerd naar aanleiding van de 7 opgestelde misconcepten in het theoretisch kader. Hierbij wordt gekeken naar het doel van de vraag, dit zal gekoppeld worden aan een van de zeven misconcepten. Na analyse van de scores zal er ook gekeken worden naar antwoorden van leerlingen. Dit om verduidelijking te kunnen geven bij de resultaten van de analyse. Er wordt gezocht naar antwoorden die exemplarisch zijn voor de geconstateerde misconcepten.

Om de eerste vraag te beantwoorden gaat er gekeken worden naar de verschillende onderdelen van het atoommodel van Bohr. Hierbij gaat gekeken worden naar de antwoorden van deze klas op proefwerkvragen die betrekking hebben op de bouw van het atoom. De betreffende proefwerkvragen staan hieronder weergegeven. Deze vragen zijn geselecteerd uit reguliere proefwerken die door het jaar afgenomen zijn bij leerlingen.

Proefwerkopgaven die bij onderzoeksvraag 1 horen zijn:

De kernreactor in Petten is de belangrijkste Europese leverancier van medische isotopen voor diagnose en therapie met kernstraling. Er bestaan verschillende soorten radioactiviteit. Enkele voorbeelden zijn:

- bètastraling of β -straling. Daarbij verandert een neutron in een proton en een elektron. Het proton blijft in de kern, het elektron wordt uitgestoten. De uitgestoten elektronen worden bètastraling genoemd.

- K-vangst. Daarbij veranderen een proton en een elektron in een neutron. Het elektron is volgens de informatie onder tabel 25A uit de K-schil afkomstig. Bij onderzoek van de schildklier worden soms radioactieve jodium-isotopen gebruikt.

- 1** *Leg met behulp van gegevens in tabel 25A uit welk ion ontstaat bij het verval (β -straling) van jodium-131. Vermeld het aantal protonen, neutronen en elektronen van dit ion. In tabel 25A staat dat bij jodium-123 en jodium-125 K-vangst optreedt.*
- 2** *Leg uit waarom het elektron dat door de kern 'gevangen' wordt meestal uit de K-schil afkomstig is.*
- 3** *Geef het maximale aantal elektronen dat aanwezig kan zijn in de K-schil en de L-schil.*
- 4** *Leg uit welk atoom ontstaat als in een atoom I-125 K-vangst optreedt. Vermeld het aantal protonen, neutronen en elektronen van dit atoom.*

-
- 5** *Teken een lithiumatoom met massagetal 7 en een lithium-ion met massagetal 7, beide volgens het atoommodel van Bohr. Geef in de tekening duidelijk de naam, het aantal en de plaats van de deeltjes*
-

Deze vragen hebben allemaal betrekking op atomen en de bouw daarvan. Door deze vragen te analyseren kan er een selectie gemaakt worden van de vragen waarop het slechtst gescoord wordt,

oftewel de vragen waar de meeste misconcepten bestaan bij de leerlingen. Met deze vragen komen verschillende onderdelen aan bod. Ten eerste moet een leerling een atoom kunnen tekenen, maar daarnaast ook een ion (vraag 5). Leerlingen moeten kennis hebben van de bouw door vragen over de schillen te beantwoorden (vraag 2 en 3). Vraag 1 en 4 gaan dieper op de stof in, hier moeten leerlingen vragen kunnen antwoorden over een atoom waarbij er een verandering optreedt, iets wat ten eerste begrip van de bouw vraagt.

Uiteindelijk geeft bovenstaande analyse een beeld van de hiaten bij de leerlingen, aangevuld met voorbeelden. Dit zal ook gekoppeld worden aan de vooraf opgestelde misconcepten. Hiermee zal er een antwoord komen op de eerste onderzoeksvraag.

Onderzoeksvraag 2

In welke mate begrijpen de 4 havo leerlingen uit schooljaar 2014-2015 de vervolgtheorie over metalen, zouten en moleculaire stoffen, welke voortbouwt op het begrip van het atoommodel van Bohr?

Deel 2 van de analyse zal gaan over de koppeling van de theorie uit de eerste onderzoeksvraag aan de rest van de stof, oftewel onderzoeksvraag 2. In dit geval zal het gaan over zouten en moleculen. Er zijn vragen geselecteerd waarbij de leerling de kennis over de bouw van het atoom toe moet passen. Bij de vragen over zouten zal dit gaan over de koppeling tussen ionen en atomen, maar ook de bouw van een ion en de rol van elektronen daarin. De vragen over moleculen gaan over de bindingen tussen de moleculen en de gevolgen voor de macroscopische eigenschappen van de stof.

Proefwerkopgaven die bij onderzoeksvraag 2 aansluiten zijn:

6 Geef de formule van lithiumfluoride.

7 Leid uit de gegeven formule voor roest de lading van het ijzerion af.

Calciumacetaat, lanthaan(III)carbonaat en magnesiumhydroxide zijn fosfaatbinders. De tabletten moeten tijdens de maaltijd worden fijngekauwd.

8 Geef de verhoudingsformules van deze drie zouten. Zie ook Binas tabel 40A.

9 Geef de naam en de verhoudingsformule van een zout dat in kunstmest kan zorgen voor zowel 'calcium' als 'stikstof'.

10 Geef een verklaring voor het relatief lage kookpunt van koolstofdioxide. Geef hierbij aan uit welke deeltjes koolstofdioxide is opgebouwd.

11 Geef een verklaring voor het hoge smeltpunt van SnO_2 . Geef hierbij aan uit welke deeltjes SnO_2 is opgebouwd.

Alkenen kunnen onder andere met water en waterstofchloride reageren.

Bij deze additiereacties geldt de regel van Markovnikov:

"Bij de additie van een stof HX aan een alkeen hecht het waterstofatoom zich aan het koolstofatoom dat reeds de meeste waterstofatomen gebonden heeft."

Bij de additie van waterstofchloride aan 2-methylpropeen ontstaat stof A.

Bij de additie van water aan 2-methylpropeen ontstaat stof B.

- 12** *Geef de namen en structuurformules van stof A en stof B. Pas hierbij de regel van Markovnikov toe.*
- 13** *Leg uit of het mogelijk is dat een plant uitsluitend kalium- en calciumionen uit de grond opneemt.*

Bij vraag 6 t/m 9 moeten de leerlingen vragen beantwoorden die met verhoudingsformules en ladingen te maken hebben. De formules gaan over de bindingen tussen de atomen en de ladingen gaan in op elektronen in de schillen. Vraag 10 en 11 maken heel duidelijk een koppeling tussen de micro en de macro wereld. Hier wordt van de leerlingen gevraagd om de gevolgen van de bindingen tussen atomen aan te geven. Vraag 12 is een vraag waar leerlingen gaan kijken naar covalente bindingen in een molecuul, maar vooral hoe die kunnen veranderen. Uiteindelijk is vraag 13 een vraag die weer teruggrijpt op de kennis van ionen, gericht op samengestelde ionen.

De eerste 2 onderzoeksvragen zullen plaatsvinden in een klas met 23 leerlingen. 4 leerlingen van deze groep zitten op vmbo-t maar volgen de lessen om eventueel een overstap naar de havo makkelijker te maken. Omdat zij niet officieel havo leerlingen zijn zal ik ze in dit onderzoek buiten beschouwing laten. We hebben dus een groep van 19 leerlingen, 12 jongens en 7 meisjes. Deze leerlingen zitten in één klas en hebben les gekregen van mij, de onderzoeker. Dit zijn de eerste wekelijkse lessen scheikunde die de klas krijgt. Hiervoor hebben ze 3 periodes gehad, in elk schooljaar 1, waarbij er scheikundige onderwerpen zijn behandeld. Dit is vooral praktisch ingesteld en gaat in op het kijken en ervaren, de fenomenologie. Dit systeem is inherent aan het antroposofische onderwijs. Een dergelijke periode duurt 3 weken, waarbij de klassen van 08.30 uur tot 10.00 uur les krijgen.

Met bovenstaande selectie zijn er veel toepassingen van het atoommodel vertegenwoordigd. Op deze manier is het de bedoeling dat duidelijk wordt hoe de leerlingen in staat zijn de kennis van het atoommodel toe te passen.

Onderzoeksvraag 3

In welke mate heeft de vernieuwde lessenserie bij de huidige 4 havo leerlingen bijgedragen aan het verminderen van misconcepten over het atoommodel van Bohr?

Onderzoeksvraag 4

In welke mate heeft de vernieuwde kennismaking met het atoommodel van Bohr bijgedragen aan het begrip van de huidige 4 havo leerlingen in de vervolgtheorie over metalen, zouten en moleculaire stoffen?

De methode van onderzoek voor onderzoeksvraag 3 en 4 zal bijna gelijk zijn aan dat van onderzoeksvraag 1 en 2. De proefwerkvragen die bij klas 14/15 zijn geselecteerd zullen ook in deze klas worden geanalyseerd. Er wordt wederom gekeken naar hoe goed een klas gemiddeld scoort ten opzichte van de maximale score. Er wordt ook gekeken naar de hoeveelheid leerlingen die een maximale score hebben gehaald. Na deze analyse zal er als toevoeging met leerlingen worden gesproken over de antwoorden die ze hebben gegeven. 5 leerlingen (Xxx, Xxx, Xxx, Xxx en Xxx) krijgen de kans om toe te lichten hoe ze de vraag hebben begrepen en hoe ze bij een bepaald antwoord zijn gekomen. Dit gesprek zal verlopen aan de hand van de vragen die zijn geanalyseerd. De resultaten hiervan zullen duidelijkheid verschaffen over de misconcepten die er nog steeds bestaan bij de leerlingen. Deze gesprekken worden niet gebruikt om te vergelijken met de andere

klas, maar meer om inzicht te krijgen in de misconcepten die er nog steeds bij leerlingen bestaan. Dit kan meegenomen worden in de aanbevelingen.

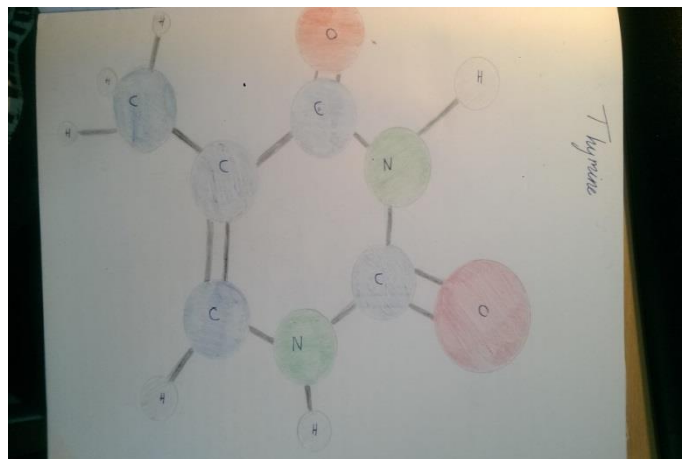
Ook bij deze twee deelvragen komt uiteindelijk een overzicht met het begrip van de verschillende misconcepten. Dit gaat teruggekoppeld worden aan het overzicht van onderzoeksvraag 1 en 2, om zo een vergelijking te trekken tussen de twee klassen. Deze vergelijking zal uiteindelijk beoordeeld worden als positief, negatief of neutraal.

Dit onderzoek zal plaatsvinden in de huidige 4 havo klas, van het schooljaar 2015-2016. Deze klas is iets groter. De klas bestaat uit 30 leerlingen waarvan 1 haar vmbo-t diploma gaat halen. Dus heeft het onderzoek betrekking op 29 leerlingen, 12 meisjes en 17 jongens.

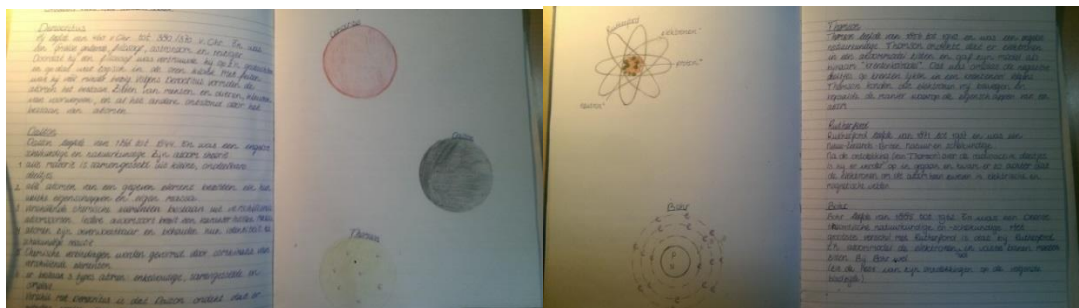
Verbeteractie

Naar aanleiding van de resultaten van onderzoeksvraag 1 en 2 is er een verbeteractie ingezet.

De verbeteractie die heeft plaatsgevonden bestaat uit een aantal onderdelen. Ten eerste zijn er aanpassingen gedaan naar aanleiding van de bevindingen in het literatuuronderzoek. Zo zijn er aanpassingen gedaan om de context bij leerlingen beter te laten aansluiten. Hiervoor is in de lessenserie de DWDD university aflevering 'het allerkleinste' opgenomen. Hiermee wordt verwacht dat de leerlingen de schaal van de onderdelen beter kunnen plaatsen. Daarna gaan de leerlingen fysiek aan de slag met het bouwen van een piepschuim molecuul (figuur 1). Hiermee wordt er duidelijkheid geschept over het verschil tussen een molecuul en atoom. Dit sluit ook aan bij het werken met de handen, wat hoort bij de antroposofie. Het atoom is nu geïntroduceerd en de leerlingen gaan kijken naar de geschiedenis van de ontwikkeling van de atoommodellen. Dit historisch besef is volgens Matthews (Matthews, 1992) van groot belang voor het begrip van de leerlingen. De leerlingen maken zelf een tijdlijn (figuur 2), waarbij extra wordt gelet op de vernieuwing tussen de verschillende modellen. Door deze benadering te aan te vullen met verhalen en biografieën wordt geprobeerd de leerling ook in het hart te raken.



Figuur 1 Tekening van een molecuul dat door leerlingen gebouwd gaat worden



Figuur 2 Tijdlijn van atoommodellen

Vervolgens wordt er klassikaal dieper ingegaan op het atoommodel van Bohr. Dit wordt gekoppeld aan het periodiek systeem der elementen. Dit wordt weer vanuit een historische invalshoek aangeboden. Vanuit het periodiek systeem wordt er gekeken naar de verbindingen tussen de elementen en atomen. Hier worden zouten en metalen geïntroduceerd en kijkt de leerling terug naar de moleculen. Aan de hand van het atoommodel van Bohr verdiepen de leerlingen zich in de verschillende verbindingen en krachten.

In de lessen is er voor de docent natuurlijk een belangrijke rol weggelegd. Naast de veranderingen in de opzet van de lessenserie is er ook een verandering in de stijl van lesgeven. Er wordt in de lessen bewust stilgestaan bij eventuele misconcepten, welke uit de analyse van de klas 14/15 naar voren zijn gekomen:

- (1) 'het atoom en molecuul worden verwisseld of verkeerd gebruikt'
Bij vraag 10 en 11 blijkt uit de antwoorden dat leerlingen de verschillen tussen het atoom en een molecuul nog niet begrijpen. Eigenschappen van een atoom worden aan een molecuul toegekend.
- (3) De atomen bezitten de elektronen in de schillen.
De leerlingen laten zien dat ze begrijpen dat een atoom elektronen heeft in de schillen. Echter blijkt dat bij vragen waarbij er elektronen bij komen of verdwijnen is de score beduidend lager. (vraag 1 en 4)
- (5) 'atomen zijn microscopische versies van elementen, met de bijbehorende eigenschappen'
Leerlingen kijken bij vraag 10 bijvoorbeeld naar de verschillende elementen die in de formules als atomen aanwezig zijn en gaan op zoek naar de eigenschappen van deze elementen. Hierbij wordt er niet de koppeling gemaakt dat de atomen samen een molecuul vormen en daarmee de eigenschappen drastisch veranderen (figuur 5).
- (6) Verwarring over de termen die bij een atoom horen: proton, neutron, elektron, ion en geladen deeltje
Waar de leerlingen de eerste drie termen vlot gebruiken en kunnen toepassen blijkt de term ion voor veel problemen te zorgen. (vraag 5)
- (7) Het begrip 'deeltje' heeft veel verschillende betekenissen
Het komt niet expliciet in de vragen naar voren, maar uit de proefwerkanalyse is op te maken dat de leerlingen het begrip deeltje toekennen aan enkel het atoom. Er zijn meer varianten waarop het begrip deeltje van toepassing is, echter houdt de leerling vast aan het atoom.

Vragen en opmerkingen worden door de docent gestuurd naar een bepaald misconception, dit kan door vragen te stellen die de leerling een bepaalde denkweg in dwingt. Uiteindelijk zal de leerling die een verkeerd idee heeft bij de theorie vastlopen, waarna hij of zij zijn ideeën moet laten gaan en een nieuw correct concept kan vormen.

In de lessen zijn verschillende misconcepten bewust behandeld met de klas.

- *Het atoom en molecuul worden verwisseld of verkeerd gebruikt*
Door het bouwen van een molecuul uit verschillende atomen.
- *De atomen 'bezitten' de elektronen in de schillen*

Er is veel geoefend met het tekenen van atomen volgens het atoommodel van Bohr. Er is gekeken naar verbindingen tussen atomen en wat de rol van de elektronen daarin is. Hierin is duidelijk dat elektronen uit de schil kunnen gaan.

- *Atomen zijn microscopische versies van elementen, met de bijbehorende eigenschappen*
Er is veel aandacht gegeven aan dit misconception, omdat dit voor de leerlingen erg moeilijk bleek. In de vervolghoofdstukken is er telkens teruggevraagd naar de atomen als het gaat over eigenschappen van stoffen. Hierin werd stap voor stap met leerlingen geredeneerd. Uit welke atomen is de stof opgebouwd? Tot welke groep stoffen hoort het dan? Wat voor bindingen vinden er plaats in deze stof? Wat zijn de krachten die bij die bindingen horen? Op deze manier is geprobeerd om de leerlingen telkens te laten ervaren wat de invloed is van de atomen op de uiteindelijke stof, maar ook vooral hoe dat een ogenschijnlijk klein verschil bij de atomen een groot effect kan hebben als het over de stof gaat.
- *Verwarring over de termen die bij een atoom horen: proton, neutron, elektron, ion en geladen deeltje*
Als docent heb ik telkens visueel proberen te maken over welk onderdeel we het hebben. Tekeningen op het bord, plaatjes op de beamer of uitleg van waar we mee bezig zijn. Ook heb ik hierbij de leerlingen vaak laten antwoorden. Door leerlingen hier bewust een fout te laten maken heb ik gepoogd de misconcepten te vervangen door het juiste concept.
- *Het begrip 'deeltje' heeft veel verschillende betekenissen*
Het woord deeltje is zo goed als uit de lessen verdwenen. Dit om verwarring te voorkomen. Elk deeltje werd bij de correcte naam genoemd. Ook als er in vragen 'deeltje' staat heb ik de klas om verduidelijking gevraagd, zodat iedereen weet welk deeltje. Als antwoord van leerlingen werd deeltje ook niet meer geaccepteerd. Door telkens de juiste term te gebruiken is er geprobeerd bij de leerlingen meer eenduidigheid te kweken.

Met bovenstaande lessenserie is geprobeerd de leerlingen aan te spreken in met hoofd, hart en handen. Deze methode hoort bij vrijeschoolonderwijs. Dit vertaalt zich in het denken (de theorie), de passie (achtergrondverhalen en geschiedenis) en het doen (bouwen van moleculen). Naast deze stappen is de docentrol ook aangepast. In plaats van het voorzien van antwoorden voor de leerlingen is dit meer geschoven naar het laten ervaren van de leerlingen. De leerlingen mogen foute antwoorden geven en vastlopen in hun redenering. In sommige gevallen moet de docent de leerling zelfs die kant in sturen met vragen en opmerkingen. Uiteindelijk moet dit gecorrigeerd worden op het moment dat de leerling vastloopt. Dit is ook een manier om de leerlingen in het hoofd en hart aan te spreken. De leerling voelt de drang om het goede antwoord te weten het sterkst op het moment dat de leerling beseft dat hij of zij dit zelf niet heeft.

Praktische relevantie.

De inzichten die dit onderzoek geeft zijn voor alle scheikunde collega's van het Xxx college belangrijk. In eerste instantie voor docenten die in de bovenbouw werkzaam zijn, want de gekozen onderwerpen horen tot de bovenbouw- en examenstof. Bestaande misconcepten kunnen dan in de lespraktijk aangepakt worden en verholpen. Er is één andere scheikunde collega in de bovenbouw en hij zal de resultaten van dit onderzoek rechtstreeks in zijn lessen kunnen implementeren. De methode van onderzoek is zo gekozen dat de bestaande misconcepten namelijk uitgelicht worden. De collega's in de onderbouw zullen ook kunnen leren van de resultaten. Een verkeerde uitleg of wisselend gebruik van termen in de onderbouw kan oorzaak zijn van een misconcept in de bovenbouw. In het theoretisch kader is hier aandacht aan besteed. Resultaten zullen in de exacte sectie besproken worden. Wat hier de uitkomsten van gaan zijn is nog onduidelijk, maar er liggen een aantal acties in de lijn der verwachting. Zo zullen alle collega's van exact zich meer bewust worden van het bestaan van misconcepten, niet alleen bij de onderwerpen die in dit onderzoek behandeld worden. Omdat in de onderbouw het onderwijs verschilt van regulier onderwijs, zie de verlegenheidsituatie, is het type onderwijs gevoeliger voor misconcepten dan regulier onderwijs. Doordat er maar een korte periode aandacht aan het vak wordt besteed kan de rest van het jaar een misconcept ontstaan zonder controle van een docent. Dit is een veronderstelling die niet verder is onderzocht.

Op het Xxx college moet worden overgeschakeld van een havo van 6 jaar naar een 5 jarige havo. De bevindingen uit dit onderzoek zullen meer duidelijkheid scheppen over de te zetten stappen om dit voor het vak scheikunde een haalbaar traject te maken. Dit kan als gevolg hebben dat er meer uren moeten komen of dat er een andere invulling komt van de periodes. Hoe dit ingevuld gaat worden is momenteel in ontwikkeling, maar de analyse die in dit onderzoek gedaan is zal richtlijnen kunnen geven om beslissingen te nemen. Hierbij kan het dus zijn dat er in de onderbouw aanpassingen gedaan gaan worden om in de bovenbouw een beter resultaat te krijgen.

Uiteindelijk is dit onderzoek het meest relevant voor de eigen lespraktijk. Als docent ben ik in staat beter en gericht de lessen in 4 havo aan te passen naar aanleiding van de resultaten. Dit is een proces dat in mijn ogen thuishoort in elke klas, echter is de diepgang die bij dit onderzoek komt kijken verfrissend. De onderbouwing uit de literatuur en de gedetailleerde analyse van proefwerken zullen meer duidelijkheid geven over de aanpassingen die gewenst zijn. De gesprekken met leerlingen kunnen verrassende resultaten opleveren.

Resultaten en conclusies

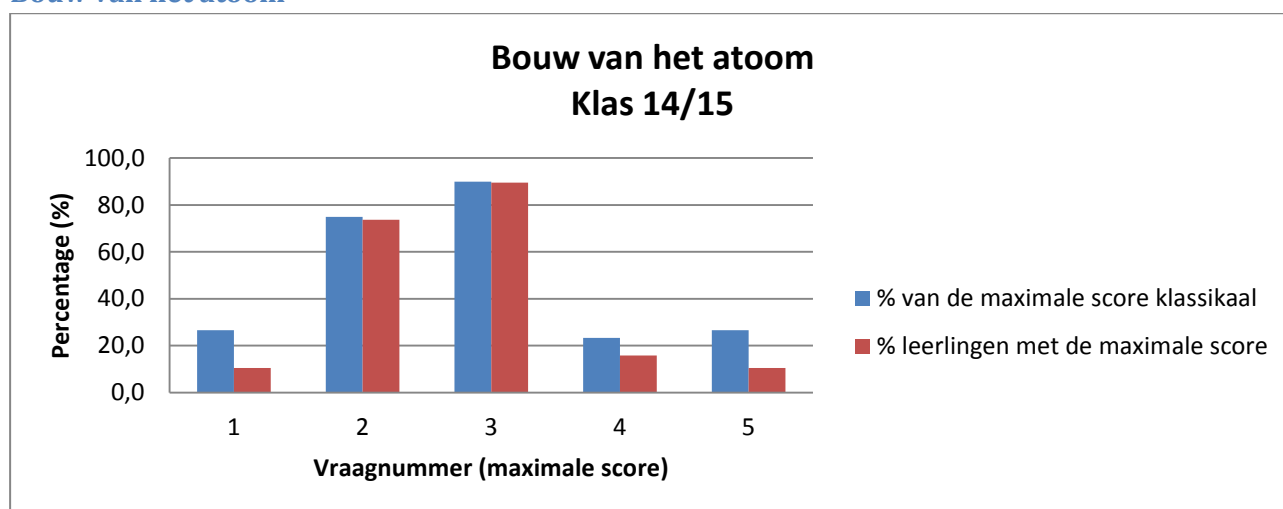
In dit onderzoek is nagegaan wat de misconcepten van leerlingen zijn in een 4 havo klas. Dit heeft geleid tot een verbeteringsactie in de opvolgende klas. De resultaten van deze verbeteractie zijn gemeten aan de hand van een analyse van de proefwerken. De resultaten geven een beeld van de problemen die leerlingen ondervinden bij het vak scheikunde als ze beginnen aan hun gekozen profiel. Ter verduidelijking van de misconcepten in de proefwerken is met 5 leerlingen een gesprek aangegaan. Dit is terug te lezen in de methode van onderzoek.

Onderzoeksvraag 1

Welke misconcepten hebben de 4 havo leerlingen uit schooljaar 2014-2015 over het atoommodel van Bohr?

In de klas van 14/15 zijn de toetsen geanalyseerd op de scores. Hierbij is gekeken naar de gemiddelde score van de klas en naar het aantal leerlingen met de maximale score. Deze gegevens zijn uitgezet in percentages. In het eerste geval hoeveel procent ze van de maximale score hebben gehaald met het klassengemiddelde. In tweede instantie is het aantal leerlingen met de maximale score procentueel uitgedrukt tegen het aantal deelnemende leerlingen (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

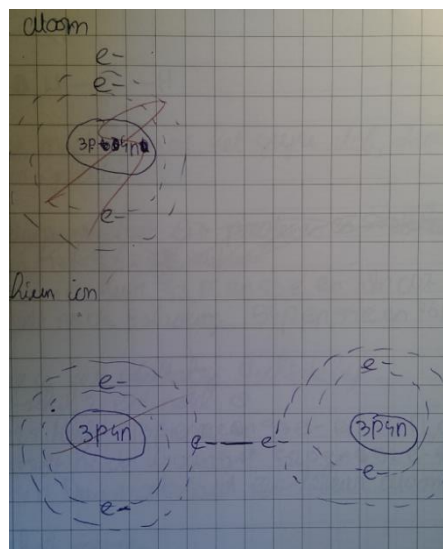
Bouw van het atoom



Figuur 3 Analyse proefwerkvragen klas 14/15 'bouw van het atoom'

Hieruit is op te maken dat vraag 2 en vraag 3 duidelijk beter zijn gemaakt dan de andere vragen. Een analyse van de vragen laat een duidelijk verschil zien in de vraagstelling. Waar de vragen die goed zijn gemaakt gaan over kennis van het atoom en de schillen en meer reproducerend van aard zijn, gaan de andere vragen hier dieper op de stof in. Bij vraag 1,4 en 5 moeten leerlingen de theorie toepassen in een nieuwe situatie, leerlingen moeten daar zelf gaan redeneren wat er gebeurt buiten de standaardsituatie.

Vraag 5 is hier een goed voorbeeld van, een vraag waar veel leerlingen dezelfde fout maken. Hier wordt gevraagd naar de bouw van een atoom en een ion. Veel leerlingen hebben hier wel het atoom goed, maar niet de bouw van het ion. Dit gaat over hetzelfde atoommodel, echter blijkt dat de koppeling naar het begrip ion nog niet goed gaat. Zie figuur 4 voor een veel voorkomend antwoord, een goed getekend atoom en een fout getekend ion.



Figuur 4 Voorbeeld antwoord, Xxx

Ook vraag 1 en 4 gaan wijken af van de standaard situatie van atoombouw. Hier wordt de leerlingen gevraagd wat er van atomen overblijft na straling. Een vraag die begint met een standaardsituatie die verandert. De leerlingen hebben moeite met het afwijken van de standaardsituatie. Hieruit valt op te maken dat de leerlingen het atoommodel goed kennen, maar niet goed weten te gebruiken. Dit fenomeen is ook de aanleiding geweest tot dit onderzoek. Een leerling snapt heel goed hoe een atoom in elkaar zit, maar kan deze kennis niet toepassen op andere, nieuwe, situaties.

Deze resultaten zijn te koppelen aan de vooraf opgestelde misconcepten. In deze analyse is de koppeling tot 1 bepaald misconcept niet haalbaar, er blijkt overlap te zitten tussen de verschillende misconcepten. De problemen waar leerlingen tegenaan lopen zijn te herleiden tot de volgende misconcepten:

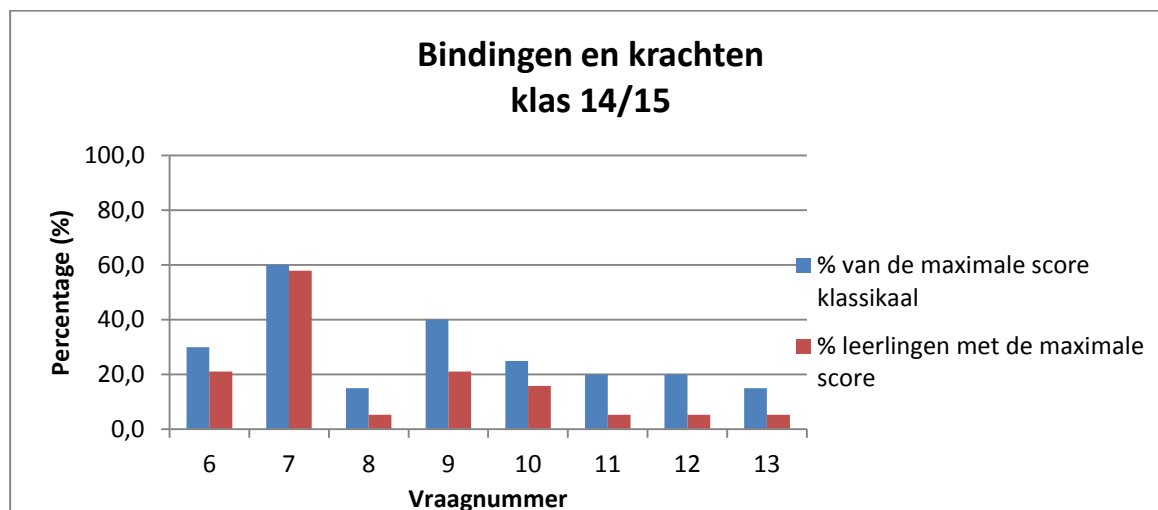
- (3) De atomen bezitten de elektronen in de schillen.
De leerlingen laten zien dat ze begrijpen dat een atoom elektronen heeft in de schillen. Echter blijkt dat bij vragen waarbij er elektronen bij komen of verdwijnen is de score beduidend lager. (vraag 1 en 4)
- (6) Verwarring over de termen die bij een atoom horen: proton, neutron, elektron, ion en geladen deeltje
Waar de leerlingen de eerste drie termen vlot gebruiken en kunnen toepassen blijkt de term ion voor veel problemen te zorgen. (vraag 5)
- (7) Het begrip 'deeltje' heeft veel verschillende betekenissen
Het komt niet expliciet in de vragen naar voren, maar uit de proefwerkanalyse is op te maken dat de leerlingen het begrip deeltje toekennen aan enkel het atoom. Er zijn meer varianten waarop het begrip deeltje van toepassing is, echter houdt de leerling vast aan het atoom.

Onderzoeksvraag 2

In welke mate begrijpen de 4 havo leerlingen uit schooljaar 2014-2015 de vervolgtheorie over metalen, zouten en moleculaire stoffen, welke voortbouwt op het begrip van het atoommodel van Bohr?

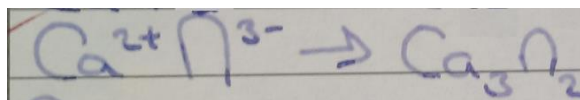
Bindingen en krachten

Na het analyseren van de kennis van het atoom is er gekeken naar de scores van de leerlingen bij het toepassen van de theorie door middel van een analyse van proefwerkvragen. De lesmethode gaat van losse atomen over naar stoffen. Hier moeten de leerlingen de kennis van de atoombouw gebruiken om de nieuwe stof te begrijpen.



Figuur 5 Analyse proefwerkvragen klas 14/15 'bindingen en krachten'

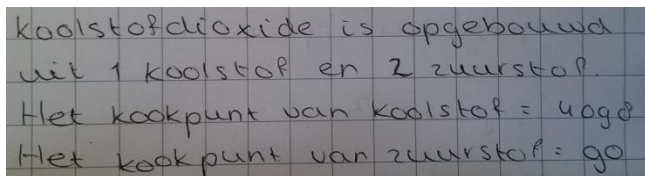
Uit deze resultaten komt de noodzaak van dit onderzoek wederom duidelijk naar voren. De scores van de leerlingen zijn over de gehele breedte erg laag (figuur 5). Er wordt vaak maar een vijfde van de punten gescoord en maar een klein aantal leerlingen is in staat de maximale score te halen. Om te beginnen scoort vraag 7 veruit het beste bij dit onderdeel. Vraag 7 is het afleiden van de lading van een ion. Blijkbaar hebben de leerlingen hier goed mee geoefend, want vraag 6 en 8 gaan over de verhoudingsformule van een zout en hier scoren ze minder goed op. Kennelijk is er bij de leerlingen meer kennis dan na het eerste hoofdstuk maar is het geheel nog niet duidelijk voor ze. Vraag 8 vind ik een goed voorbeeld van het niet compleet hebben van dit concept. Leerlingen moeten een ion bedenken met daarin stikstof, nitraat zou een antwoord zijn waar ze al veel mee hebben gewerkt. Toch komen weinig



Figuur 6 Voorbeeld antwoord, Xxx

leerlingen op dit idee, zoals te zien is in figuur 6. Veel leerlingen gaan op zoek naar nitride, oftewel het stikstof-ion, en maken daar fouten mee. Dit geeft aan dat de leerling onvoldoende begrip heeft van de bouw van een ion. Nitraat (NO_3^-) wordt niet gezien als een verbinding tussen stikstof en zuurstof, maar als een losstaand geheel. De misconcepten zitten hier wederom bij problemen met het begrip ion en het door elkaar halen van de verschillende betekenissen van 'deeltje' (6 en 7). In tegenstelling tot de analyse bij 'bouw van het atoom' lijken de leerlingen nu wel te begrijpen dat de elektronen niet vast zitten aan een atoom (3).

Vraag 10 en 11 vind ik als onderzoeker persoonlijk erg interessant. Hier wordt rechtstreeks gevraagd naar de koppeling tussen het micro niveau van atomen en macroscopische eigenschappen. De leerlingen moeten hier enkele tussenstappen zetten om dit te kunnen. De leerlingen



Figuur 7 Voorbeeld antwoord, Xxx

hebben bij deze vragen echter niet erg goed gescoord. De klas haalt als gemiddelde rond de 20% van de score. Bij vraag 10 scoort 15% het maximale aantal punten, maar dit is nog steeds erg laag. Deze twee vragen zijn in het eerste hoofdstuk behandeld en komen in de vervolghoofdstukken steeds terug, daardoor is het van groot belang om naar de oorsprong van de misconcepten te kijken. Als we de vragen gaan koppelen aan de vooraf opgestelde lijst is de koppeling met

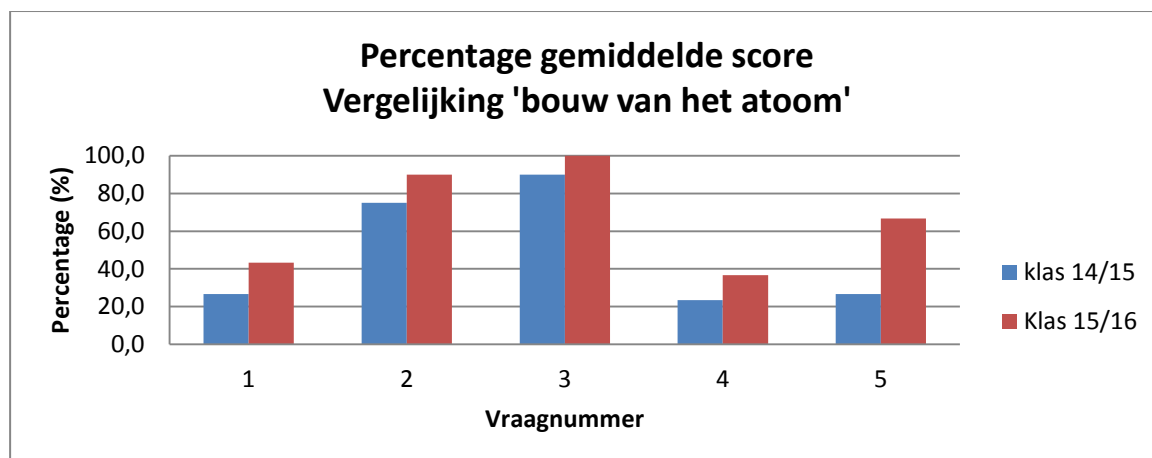
- (1) 'het atoom en molecuul worden verwisseld of verkeerd gebruikt'
Bij vraag 10 en 11 blijkt uit de antwoorden dat leerlingen de verschillen tussen het atoom en een molecuul nog niet begrijpen. Eigenschappen van een atoom worden aan een molecuul toegekend. (figuur 7)
- (5) 'atomen zijn microscopische versies van elementen, met de bijbehorende eigenschappen'
Leerlingen kijken bij vraag 10 bijvoorbeeld naar de verschillende elementen die in de formules als atomen aanwezig zijn en gaan op zoek naar de eigenschappen van deze elementen. Hierbij wordt er niet de koppeling gemaakt dat de atomen samen een molecuul vormen en daarmee de eigenschappen drastisch veranderen (figuur 7).
- (7) Het begrip 'deeltje' heeft veel verschillende betekenissen
Leerlingen blijven veel verschillende 'deeltjes' door elkaar gebruiken. Ze lijken nog niet in staat om deze verschillende betekenissen voldoende uit elkaar te houden.

Samenvattend kan hieruit opgemaakt worden dat de klas uit schooljaar 14/15 een aantal dingen goed doet, maar dat er nog veel verbetering te halen is. De leerlingen hebben bijna allemaal door dat een atoom is opgebouwd uit kleinere deeltjes en dus niet hard is als een biljartbal (2). Ook hebben ze door dat er meerdere atoommodellen zijn (4). Bij de andere punten zijn nog zeker wel misconcepten aanwezig. Punt 1 is voor de meeste leerlingen wel duidelijk als het over een losstaande vraag gaat. Indien het echter wordt gecombineerd met punt 7, gebruik van het woord 'deeltje', kan hier onduidelijkheid ontstaan. Dit gebruik van het woord 'deeltje' is ook weer gekoppeld aan punt 6. Er zijn namelijk een heleboel deeltjes waar de leerlingen rekening mee moeten houden. De basis gaat vaak goed, maar indien er meer inzicht wordt gevraagd haken veel leerlingen af. Hierbij gaat het over vragen waar kennis moet worden toegepast op een nieuwe situatie. Uit de antwoorden van de leerling blijkt verder dat er verwarring is over de eigenschappen van stoffen of atomen (5) en of de atomen de elektronen bezitten (3).

Onderzoeksvraag 3

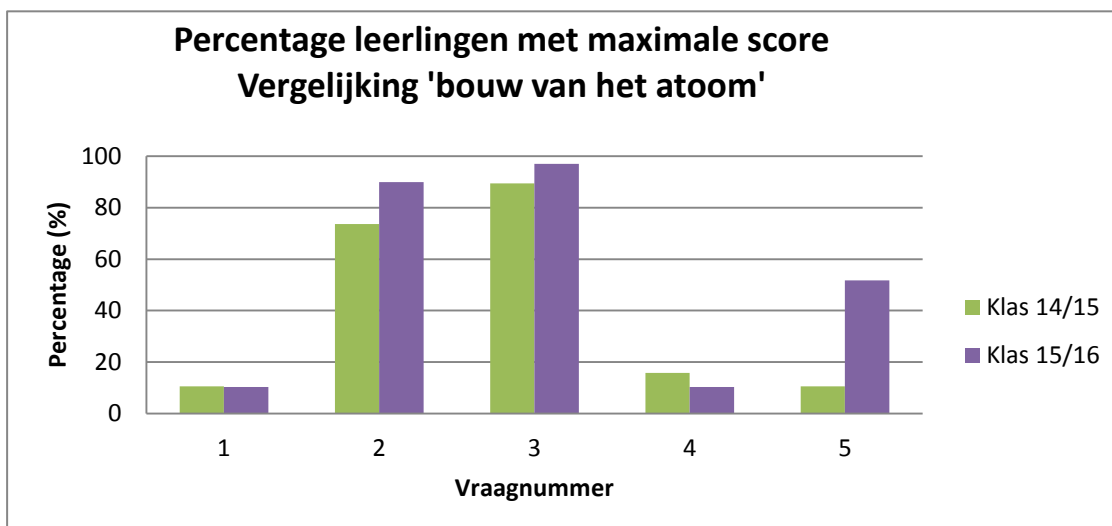
In welke mate heeft de vernieuwde lessenserie bij de huidige 4 havo leerlingen bijgedragen aan het verminderen van misconcepten over het atoommodel van Bohr?

Voor onderzoeksvraag 3 zijn dezelfde proefwerkvragen geanalyseerd, deze proefwerken zijn geanalyseerd nadat de leerlingen hebben deelgenomen aan de aangepaste lessenserie. Een eerste blik op de grafieken in figuur 8 en 9 laat zien dat de leerlingen in klas 15/16 op bijna alle vragen over de bouw van het atoom beter scoren. Een eerste indicatie dat de aanpassing in de lessenserie een verbetering is geweest.



Figuur 8 Vergelijking klassengemiddelde 'bouw van het atoom'

In figuur 8 staat de vergelijking tussen de gemiddelde klassikale score van de twee klassen. Vraag 2 en 3 waren door hun voorgangers ook goed gemaakt, maar deze klas heeft ook hier een verbetering laten zien. Voor vraag 3 haalde de klas gemiddeld zelfs 1,97 van de 2,00 mogelijk punten. Xxx merkt hierover op dat ze dit 'al zo veel geoefend hebben in de les, dat zou iedereen goed moeten doen'. Op de andere vragen laat de klas ook een betere gemiddelde score zien. Echter is er alleen bij vraag 5 te zien dat er beduidend meer leerlingen zijn die in staat zijn de maximale score te halen (figuur 9). Toen hem gevraagd werd naar het tekenen van een ion bij de 5^e vraag gaf Xxx aan dat hij dit toentertijd wel kon tekenen, maar dat het hem pas duidelijk werd na het hoofdstuk over zouten wat een ion was en waarvoor het diende. Iets wat aangeeft dat hij het wel kon reproduceren, maar niet toepassen.



Figuur 9 Vergelijking percentage maximale score 'bouw van het atoom'

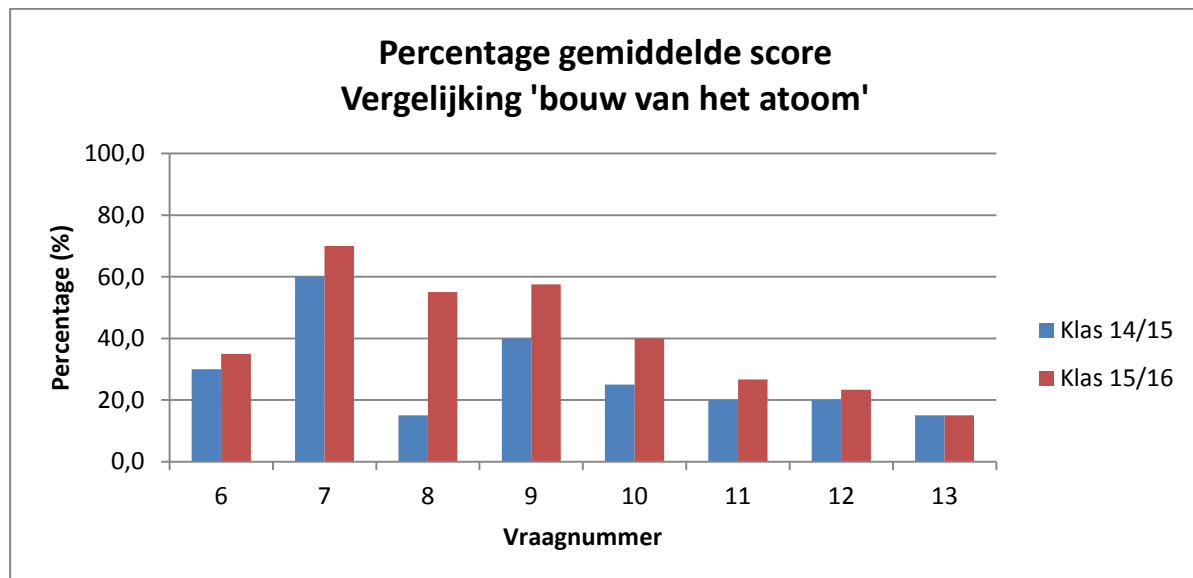
Vraag 1 en 4 laten zien dat de klas een betere gemiddelde score heeft, maar niet dat er meer leerlingen de maximale score halen. Hierover vertelt Xxx (15/16) dat hij het heel moeilijk vond om de tekst te begrijpen. 'Er staat een verhaal voor de vraag en dat moet je opeens begrijpen en toepassen'. Met hem ben ik in gesprek gegaan over straling, om uiteindelijk bij het goede antwoord uit te komen. Dit kon hij goed volgen, maar hij zegt het zelf niet bedacht te kunnen hebben. Blijkbaar is het veranderen van een atoom nog erg moeilijk voor de leerlingen. Iets wat in de voorgaande klas ook al uit de analyse is gekomen. Toen ik met hem de 7 vooropgestelde misconcepten besprak vond hij het moeilijk er één te kiezen als oorsprong van het foute antwoord. Uiteindelijk koos hij voor het 3^e misconception, dat een atoom de deeltjes waaruit het is opgebouwd vast moet blijven houden. De andere leerlingen die zijn uitgekozen om in gesprek te gaan hebben deze vraag allemaal beter gemaakt, maar net niet de maximale score gehaald. In gesprekken met hun is er naar voren gekomen dat ze wel wisten wat ze moesten doen maar 'gewoon' een fout hebben gemaakt. Ook is het voorgekomen dat er een goed antwoord zonder uitleg is gegeven, waardoor niet de maximale score kan worden toegekend.

Concluderend kan bij deze onderzoeksvraag worden vastgesteld dat de aanpassing in de lessenserie een positief effect heeft op het onderdeel 'bouw van een atoom'. Dat niet alle leerlingen de maximale score halen is logisch gezien de moeilijkheid van de vragen. Dit lijkt mij ook een gezonde verdeling in een havo klas, met sterke en zwakkere leerlingen.

Onderzoeksvraag 4

In welke mate heeft de vernieuwde kennismaking met het atoommodel van Bohr bijgedragen aan het begrip van de huidige 4 havo leerlingen in de vervolgtheorie over metalen, zouten en moleculaire stoffen?

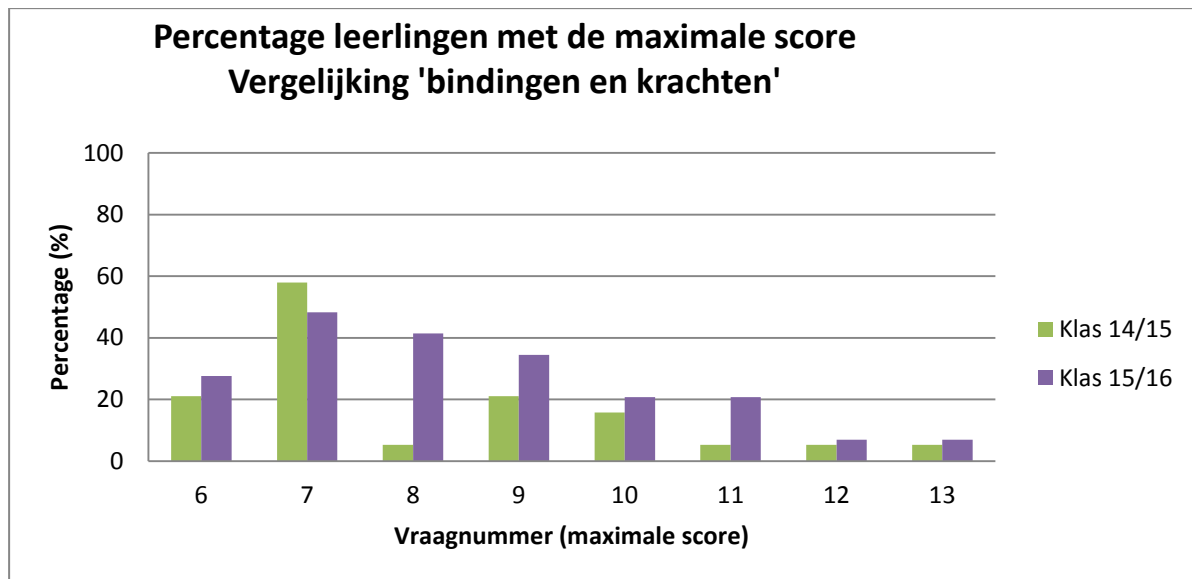
Bij een eerste blik op de resultaten lijken de resultaten ook bij deze onderzoeksvraag verbeterd. Op bijna alle onderdelen scoort de tweede klas hoger dan de eerste klas. Een indicatie dat er een verbetering heeft plaatsgevonden.



Figuur 10 Vergelijking klassengemiddelde 'bindingen en krachten'

Op de verschillende vragen ben ik in de gesprekken ingegaan met de 5 geselecteerde leerlingen. De grootste verbetering is te zien bij vraag 8, waar de leerlingen atomen in een ion moeten herkennen. Waar klas 14/15 hier zeer slecht op scoorde weet klas 15/16 meer dan de helft van de punten te halen (figuur 10) en haalt ongeveer 40% de maximale score (figuur 11). Een duidelijk signaal dat er in de klas minder misconcepten zijn. Het is nog niet volledig in het begrip van de leerlingen doorgedrongen, maar een duidelijk stap in de goede richting is gezet.

Over de hele breedte is te herkennen dat de klas als gemiddelde beter scoort en dat er meer leerlingen de maximale score halen, met uitzondering van vraag 7. Vraag 7 is het geven van een verhoudingsformule. Deze vraag was echter nog onderdeel van de toets van het hoofdstuk over de bouw van het atoom. Nadat de leerlingen het hoofdstuk over zouten hebben gehad scoort klas 15/16 ook op dit onderdeel beter dan hun voorgangers.



Figuur 11 Vergelijking percentage maximale score 'bindingen en krachten'

Vraag 6 scoort lichtelijk beter. Xxx geeft aan dat er een vergelijkbare vraag in het hoofdstuk stond, deze heeft ze gemaakt en kon hem daardoor dus beantwoorden. Xxx geeft daarentegen eerlijk toe niet alle vragen gemaakt te hebben en daardoor wist hij niet wat hij moest doen. Deze vraag is te koppelen aan hoe vast elektronen in een atoom zitten. Hier is dus voor de toekomst nog winst te behalen, want alle scores blijven (ver) onder de 50 % (figuur 10). Vraag 9 hoorde ook nog tot het onderwerp zouten en ionen. Ook hier is een verbetering zichtbaar.

Zoals bij onderzoeksvraag 2 al aangegeven zijn voor dit onderzoek vraag 10 en 11 erg interessant. De leerlingen moeten hier koppelen tussen de micro en de macro wereld. Wat hier opvalt is in eerste instantie de verbetering, hoewel de resultaten nog steeds te wensen overlaten. Als we dieper op de analyse in gaan valt te zien dat het percentage leerlingen met de maximale score gelijk is bij vraag 10 en 11 in klas 15/16. Ook blijkt dat de leerlingen die vraag 10 goed hadden ook vraag 11 goed hadden. Daarnaast zijn scores de leerlingen die niet de maximale score hadden vaak veel lager. Dit blijken dus een soort alles of niets vragen te zijn. Of je begrijpt het of je kunt niks invullen. Xxx had op deze vragen allebei 0 punten gescoord. Hij laat met zijn antwoorden duidelijk zien niet te begrijpen hoe hij deze vraag moet aanpakken. In het gesprek met hem verduidelijkt hij zichzelf. 'Ik zag O_2 staan en wist dat dat een gas was, dat zal dan wel verklaren waarom CO_2 ook een gas is.' Na de uitleg had Xxx gaf hij toe dat we dit wel behandeld hadden in de les, maar daar had hij niet aan gedacht tijdens het proefwerk. Ook bij vraag 11 heeft hij een vergelijkbare fout gemaakt. Hij laat hier duidelijk zien dat hij elementen en stoffen dezelfde eigenschappen toekent (misconcept #5), in het gesprek vindt hij het nog steeds moeilijk dat dit niet zo is.

Uiteindelijk is er bij vraag 12 en 13 ook een lichte verbetering zichtbaar, maar is deze niet heel erg groot. Dit geeft aan dat de leerlingen hier nog moeite mee hebben. Hierbij komt in de gesprekken weer naar voren dat bij vraag 12 de leerlingen veel moeite hebben met de theorie die in het proefwerk staat. Xxx geeft aan de basis wel te snappen, maar een fout te hebben gemaakt in de uitwerking. De andere leerlingen hebben hier geen idee gehad wat ze moesten doen.

Conclusie

Concluderend kan worden vastgesteld dat de leerlingen duidelijk een verbetering laten zien, over de gehele linie. Met de leerlingen in gesprek gaan over mogelijke misconcepten lijkt dus bij te dragen aan het begrip van de leerlingen. Hoewel in het theoretisch kader is aangegeven dat dit een negatieve manier is van les geven (focussen op het foute antwoord), blijkt voor de leerlingen dat dit wel bijdraagt aan het juiste begrip. De leerlingen die zijn bevraagd hierover geven aan dat het fijn is als er klassikaal aandacht wordt besteed aan misconcepten. Zo kan de hele klas hun idee bijstellen. Soms gaven de leerlingen aan inderdaad te denken volgens het verkeerde idee. De verbetering in de resultaten is een vooruitgang, maar niet tot het niveau wat je als docent graag zou zien. Hoewel de geselecteerde vragen vaak tot de moeilijkere horen van het proefwerk is het toch zeldzaam dat de scores boven de 50% van het maximale uitkomen. Als docent zie je toch graag dat meer leerlingen goed scoren.

Het antwoord op de onderzoeksvragen zal hieronder weergegeven worden aan de hand van de 7 misconcepten die in het theoretisch kader zijn opgesteld.

1. *Het atoom en molecuul worden verwisseld of verkeerd gebruikt*
De leerlingen in beide klassen weten goed het onderscheid te maken tussen een atoom en een molecuul.
2. *Atomen zijn hard, als een biljartbal*
De leerlingen in beide klassen zijn zich bewust dat een atoom iets anders is dan een harde bal.
3. *De atomen 'bezitten' de elektronen in de schillen*
Veel leerlingen hebben moeite met de combinatie tussen atoom en molecuul. Ze weten dat een atoom elektronen bevat, maar als hiermee 'geschoven' wordt dan haken veel leerlingen af. In klas 15/16 is een duidelijke verbetering zichtbaar, vooral in de 5^e vraag waar naar ionen gevraagd wordt.
4. *Er is maar 1 correct atoommodel*
De leerlingen in beide klassen zijn op de hoogte dat er andere modellen zijn als dat van Bohr, wat in de klas gebruikt wordt.
5. *Atomen zijn microscopische versies van elementen, met de bijbehorende eigenschappen*
In beide klassen is te merken dat leerlingen moeite hebben onderscheid te maken tussen de microwereld van de atomen en moleculen en de macrowereld van stoffen. Wel is er aandacht besteed aan misconcepten en over gediscussieerd in de klas. Klas 15/16 laat dan ook een vooruitgang zien in de scores.
6. *Verwarring over de termen die bij een atoom horen: proton, neutron, elektron, ion en geladen deeltje*
De meeste termen zijn voor de leerlingen duidelijk, hoewel het ion de meeste problemen oplevert. Losstaand kennen ze de begrippen en kunnen ze ermee werken. Indien er gecombineerd gaat worden komen er moeilijkheden.
7. *Het begrip 'deeltje' heeft veel verschillende betekenissen*
Het veelzijdige gebruik van de term zorgt bij de meeste leerlingen voor onduidelijkheid, in meer of mindere mate.

Discussie en aanbevelingen

Uit het onderzoek blijkt dat de klas in het jaar 15/16 beduidend beter heeft gescoord dan de klas in het jaar ervoor. De analyse van proefwerkvragen geeft op bijna alle opgaven een verbetering weer, zowel in gemiddelde score als in het aantal leerlingen met de maximale score.

Bovenstaande resultaten kunnen door verschillende factoren beïnvloed zijn, zowel positief als negatief. Om te beginnen zijn het twee klassen met verschillende leerlingenaantallen. De tweede klas is groter, wat het moeilijker zou moeten maken elke leerling te bereiken. In een kleinere klas heb je simpelweg meer tijd voor elke leerling. Toch zijn de resultaten in de tweede klas beter, wat het gemeten effect als het ware versterkt. Een ander verschil tussen de klassen is de werkhouding. De tweede klas heeft in mijn ogen een betere (huis)werkhouding. Dit heeft tot gevolg dat er meer door de leerlingen zelf is gedaan aan de stof. Het kan hier natuurlijk zijn dat de leerlingen het vak beter begrijpen, dus het vak leuker vinden, dus er meer energie in steken. Hier is verder niet op in gegaan.

De onderzoeksvragen zijn ten dele beantwoord. De mate waarin de leerlingen het atoommodel van Bohr begrijpen is niet helemaal gemeten. Dit omdat het begrip nog veel dieper kan gaan dan dat er in dit onderzoek is behandeld. Er is wel duidelijkheid gekomen over welke onderdelen ze niet begrijpen. Dit geldt voor zowel onderzoeksvraag 1 als 3. Toch is dit een goede basis geweest om op door te gaan. Bij onderzoeksvraag 3 is wel duidelijk te zien wat de vooruitgang is en dat de klas 15/16 minder misconcepten heeft dan de klas 14/15.

Onderzoeksvraag 2 en 4 geven een duidelijker antwoord. De leerlingen laten duidelijk zien dat er een verbetering is in het begrip van de onderwerpen. De vragen waar een koppeling is gevraagd naar het atoommodel zijn beter beantwoord. Hieruit is op te maken dat ten eerste het atoommodel beter begrepen is en daarnaast dat het atoommodel beter is blijven hangen in de vervolghoofdstukken.

De in de verlegenheidssituatie beschreven problematiek is nog niet verholpen door voorgaand onderzoek. Er zijn wel stappen in de goede richting gezet. De resultaten zijn positief maar nog niet voldoende over de gehele breedte van de klas. De vraag is of in een 4 havo klas dit niveau ooit haalbaar zal zijn. Dat de uitkomsten van het onderzoek relevant zijn voor school staat buiten kijf. Met het vooruitzicht van overstappen naar een 5 jarige havo is de uitkomst erg nuttig in het voorzien van input voor de werkgroep 5 jarig havo op het Xxx college. Een van de adviezen die hieruit voortkomen is om extra uren scheikunde te geven in de onderbouw. Nu is de stap van 3 naar 4 havo erg groot, de leerlingen hebben buiten de periode nooit scheikunde gehad. Door extra uren scheikunde aan te bieden, als wekelijkse vakles en niet enkel als periode, kan de leerling beter wennen aan het denken in modellen en de abstractie van het vak. Hiernaast is het voor de leerlingen ook makkelijker om een keuze te maken voor een profiel, ze weten al wat het vak inhoudt. Dit helpt het probleem op verschillende manieren voorkomen. Leerlingen weten beter of ze goed zijn in het vak en als ze het vak kiezen weten ze al meer van denken in modellen. Natuurlijk blijven de periodes scheikunde ook bestaan, om de leerlingen op die manier meer met hoofd, hart en handen kennis te laten maken met het vak.

In het theoretisch kader zijn meerdere manieren behandeld om aanpassingen te doen in de lessen. Uiteindelijk laten de resultaten zien dat de leerlingen een duidelijk beeld hebben van atoommodellen hebben gekregen. De vragen die rechtstreeks op dit onderwerp ingaan worden vaak goed beantwoord. De historische benadering die wordt gebruikt blijkt dus te helpen voor het begrip van atoommodellen. Wat niet is onderzocht is of het atoommodel van Bohr een correct 'eindstation' is in het behandelen van atoommodellen. Eventueel zou hier verder onderzoek op kunnen plaatsvinden.

Een andere insteek die uit de theorie naar voren is gekomen is het aankaarten van misconcepten. Dit is veelvuldig gedaan, hoewel niet alle bronnen hier voorstander van waren (Horton, 2001). Toch blijkt uit de resultaten en de gesprekken dat werken met misconcepten een voordeel kan geven in de klas. Hierbij moet wel worden meegenomen dat altijd het juiste concept duidelijk gemaakt moet worden. De rol van de docent hierin is essentieel, dit vult aan op de theorie in de scheikundeboeken. Het is dan ook belangrijk dat deze bevindingen worden gedeeld in het team. Naast het delen zal er ook geoefend moeten worden met collega's. Als eerste graad docent is het van belang om deze kennis over te dragen. Niet alleen op de andere scheikunde collega's, maar binnen de hele exacte sectie.

Uiteindelijk was een van de doelen van dit onderzoek om de leerlingen een model te laten begrijpen en toe te passen. Wat in het theoretisch kader al is aangestipt is dat dit voor iedereen anders werkt. Ook zijn er veel verschillende soorten modellen, vooral in een lespraktijk. Door de leerlingen meer bezig te laten zijn met modellen is dit gedeeltelijk verbeterd. De resultaten tonen dat de koppeling tussen model en werkelijkheid verbeterd is, maar als onderzoeker en docent vind ik dat hier nog meer te halen is. Hierbij gaat het om de micro/macro koppeling. Ook dit zou voor een vervolgonderzoek een interessante verlegenheidssituatie zijn, waarbij er meer specifiek naar deze koppeling gekeken wordt.

De methode van onderzoek zou ik in het vervolg anders aanpakken. Doordat de groepen zo verschillen is het de vraag welk deel van de resultaten door de verbeteractie komt en welk deel door het verschil tussen de groepen. Ondanks dit geven de resultaten een goed beeld van de verschillende misconcepten in de klassen. Tijdens de analyse is naar voren gekomen dat de misconcepten die in de proefwerken herkend worden niet altijd goed zijn in te passen in de 7 vooraf opgestelde lijst. Sommige antwoorden passen bij meerdere misconcepten en sommige antwoorden zijn juist moeilijk in te delen. Ook de leerlingen hebben af en toe moeite om aan te geven bij welk misconcept hun fout zou moeten horen. In de toekomst zou het verstandiger zijn om een lijst misconcepten op te stellen aan de hand van de analyse van de eerste klas, om daarna gericht op die misconcepten vragen te gaan stellen. Deze vragen zou ik in het vervolg ook zelf opstellen en niet uit proefwerken halen. Op deze manier kan er gericht op de misconcepten worden ingegaan.

Een van de gevolgen van dit onderzoek is al ingezet, dat is het herschrijven van de leerlijnen. Dit is geschreven op een manier om de leerlingen te laten wennen aan de abstracte achtergrond van scheikunde. Voor veel leerlingen is het denken in modellen moeilijk, zoals te lezen is in het theoretisch kader. Als hier in de onderbouw meer aandacht aan wordt besteedt is de verwachting dat de keuze voor scheikunde, of een exact profiel, beter gemaakt kan worden door de leerlingen. Het herschrijven van de leerlijnen is iets wat voor de schoolleiding van groot belang is. De schoolleiding hecht grote waarde aan ontwikkelingen binnen de vaksecties, maar ook vakoverstijgend.

Ik zou de aanbevelingen willen afsluiten met een voorstel voor onderzoek wat losstaat van dit onderwerp, maar aan alle exacte vakken is gekoppeld. Alle leerlingen met wie in gesprek is gegaan naar aanleiding van de resultaten geven aan dat ze soms niet begrijpen wat er van ze wordt gevraagd in een proefwerk. Een geluid dat ik zelf in meerdere klassen hoor en ook van collega's binnen de exacte sectie bevestigd krijg. Dit is zelfs te herleiden tot het vak Nederlands omdat het lijkt te gaan over begrijpend lezen. Mij lijkt het erg nuttig om hier dieper op in te gaan. Dit is iets wat voor alle leerlingen geldt, zowel op havo als op vwo.

Bibliografie

- Apotheker, J., Bulte, A., Kleijn, E. d., Kotten, G. v., Meinema, H., & Seller, F. (2010). *Scheikunde in de dynamiek van de toekomst*. SLO.
- Barke, H.-D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry*. Berlijn: Springer.
- Cokelez, A., & Dumon, A. (2005). *Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long-term memory*. Bordeaux: Universiteit Bordeaux.
- de Boer, M., Goris, M., & Noordink, H. (2003). *Van 3 naar 4 Een nadere beschouwing van de aansluiting tussen leerjaar 3 h/v en*. Enschede: SLO.
- examenprogramma scheikunde*. (2015). Opgehaald van <http://www.nvon.nl/sites/nvon.nl/files/skh2015expr.pdf>
- Gobert, J. d., & Buckley, B. c. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *international journal of science education*, 891-894.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). *Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry*. Wiley & Sons.
- Horton, C. (2001). *Student Alternative Conceptions in Chemistry*. Worcester: Arizona State University.
- Matthews, M. R. (1992). History, Philosophy, and Science Teaching: The Present Rapprochement. *science & education*, 11-47.
- McKagan, S., Perkins, K., & Wieman, C. (2008). *Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively*. Vancouver: The American Physical Society.
- Nelson, P. G. (2002). TEACHING CHEMISTRY PROGRESSIVELY: FROM SUBSTANCES, TO ATOMS AND MOLECULES, TO ELECTRONS AND NUCLEI. *CHEMISTRY EDUCATION: RESEARCH AND PRACTICE IN EUROPE*, 215-228.
- Small, Smaller, Smallest Misconceptions about the Structure of Atoms*. (2013). Opgehaald van Intel Teach Program: <http://www.intel.com/content/dam/www/program/education/us/en/documents/project-design/atoms/small-misconceptions-about-the-structure-of-atoms.pdf>
- Sunyono, Yuanita, L., & Ibrahim, M. (2015). Supporting Students in Learning with Multiple Representation to Improve Student Mental Models on Atomic Structure Concepts. *Science education international*, 104-125.
- Taber, K. S. (2003). THE ATOM IN THE CHEMISTRY CURRICULUM: FUNDAMENTAL CONCEPT, TEACHING MODEL OR EPISTEMOLOGICAL OBSTACLE? *Foundations of Chemistry*, 43-84.
- Werkdocument vrijeschoolonderwijs in Nederland. (2015)., (p. 6).
- Yehudit, D. J., & Mira, H. (2003). Multidimensional Analysis System for Quantitative Chemistry Problems: Symbol, Macro, Micro, and Process Aspects. *Journal of research in science teaching*, 278-302.