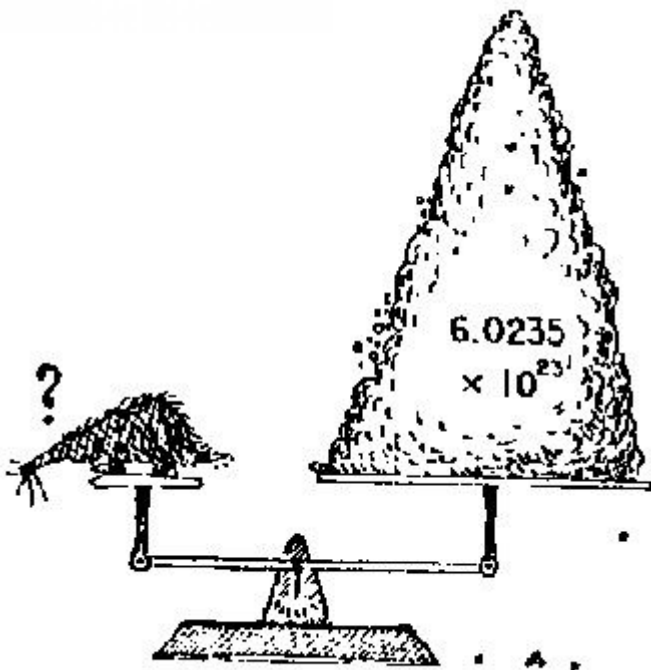




REKENEN EN SCHEIKUNDE: DE MOL IS VEEL MEER DAN ALLEEN EEN BEESTJE

“Op zoek naar een goede strategie om chemisch rekenen aan te leren bij leerlingen van een middelbare school.”

JOOST VAN VIJFEIJKEN
STUD NR. 2124534
MASTEROPLEIDING SCHEIKUNDE
DATUM:11-4-2018
BEGELEIDSTER:
KELLY STELWAGEN

Inhoudsopgave

1. Samenvatting.....	2
2. Aanleiding.....	3
3. Onderzoeksvragen.....	5
4. Theoretisch kader.....	7
5. Methode van onderzoek	13
6. Praktische relevantie	20
7. Resultaten & discussie vooronderzoek	21
8. Verbeteractie.....	27
9. Resultaten & discussie na verbeteractie	31
10. Conclusie, aanbeveling & discussie	42
11. Bibliografie.....	44
11. Bijlage	47

1. Samenvatting

Al twee jaar lang wordt er gemiddeld onvoldoende (4,9 en 5,2 afgelopen twee jaar) gescoord op college x bij het onderwerp chemisch rekenen. Met name een opgave waarbij leerlingen chemisch moeten rekenen aan een neerslagreactie wordt door de meerderheid (11 van de 14 en 12 van de 16) fout gemaakt. Leerlingen geven daarbij aan dat ze zich geen voorstelling kunnen maken bij de opgave en dat ze het begrip 'mol' niet goed begrijpen. Uit de literatuur blijkt dat er meerdere strategieën zijn, die gebruikt kunnen worden bij het chemisch rekenen. De volgende strategieën kunnen aangeleerd worden:

- Probleemoplossend denken
- Algoritmische strategie
- Conceptuele strategie

Tot op heden werd er gebruik gemaakt van een algoritmische strategie; dit onderzoek gaat kijken of het aanleren van een conceptuele strategie er toe leidt dat het chemisch rekenen aan neerslagreacties verbetert. Hiervoor is de volgende hoofdvraag geschreven: *Welk effect heeft een conceptuele onderwijsstrategie op het chemisch rekenen aan neerslagreacties?*

Door gebruik te maken van analogieën en zogenaamde submicrodiagrammen (tekeningen en vergelijkingen op micro en symbolische niveau) worden de hoofdconcepten 'mol' en 'wet van behoud van massa' bij neerslagreacties conceptueel aangeleerd aan de leerlingen. Door middel van een zelf ontwikkelde conceptuele toets, een probleemgericht interview en een leerlingenquête wordt inzichtelijk gemaakt welke misconcepten leerlingen hebben, welke strategie ze gebruiken en hoe de ontwikkelde lessen van de verbeteractie ervaren worden.

Uit de verkregen resultaten van het vooronderzoek blijkt dat onder de havo 5 leerlingen veel misconcepten zijn en dat ze voornamelijk gebruik maken van onsuccesvolle algoritmische strategieën bij het oplossen van opdrachten chemisch rekenen aan neerslagreacties. Bij de havo 4 leerlingen die de verbeteractie hebben ondergaan blijkt een duidelijke verbetering te zijn: ze hebben minder misconcepten en zijn succesvoller in het oplossen van een opdracht chemisch rekenen aan neerslagreacties. Toch kan uit de verkregen resultaten niet geconcludeerd worden dat er bij het chemisch rekenen gebruik wordt gemaakt van een conceptuele strategie. De verbeteractie werd door de meerderheid van de leerlingen positief ontvangen. Toch blijkt dat de verbeteractie op kleine punten aangepast kan worden; door meer te differentiëren en gebruik te maken van analogieën die in de belevingswereld van de leerlingen voorkomen.

Het positieve resultaat dat verkregen wordt, kan als bewijs gezien worden dat het gebruik van analogieën en het maken van tekeningen op microniveau er voor kunnen zorgen dat leerlingen een bepaald concept conceptueel aangeleerd krijgen. Dit conceptuele beeld kan er tevens voor zorgen dat algoritmische opgaven, zoals rekenopgaves, beter gemaakt kunnen worden. Deze methode zou ook gebruikt kunnen worden voor het aanleren van andere abstracte concepten binnen de scheikunde, en ook binnen de andere exacte vakken als natuurkunde, biologie en wiskunde.

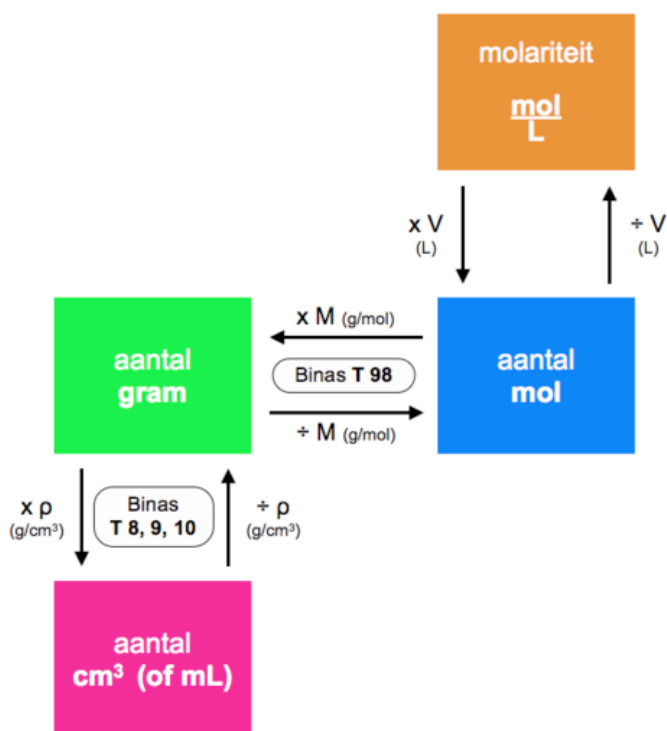
2. Aanleiding

Sinds twee jaar verzorg ik de scheikunde lessen in havo 4 op college x. Bij het voorbereiden en het ontwikkelen van lesmateriaal probeer ik de lesinhoud zo goed mogelijk over te dragen aan de leerlingen. Een van de moeilijkste onderwerpen in het 4^e leerjaar is het chemisch rekenen. Dit onderwerp is niet alleen voor de leerlingen lastig, ook ik als docent ben nog zoekende naar de juiste methode om dit onderwerp over te brengen naar de leerlingen. Hierdoor bleef het gemiddelde resultaat van de afgelopen twee jaar onvoldoende:

- Schooljaar 2015-2016: 4,9
- Schooljaar 2016-2017: 5,2

Dat chemisch rekenen een lastig onderwerp is blijkt uit de geschreven artikelen over dit onderwerp (Schmidt, 1997; Schmidt, 1994; Huddle & Pillay, 1996; Boujaoude & Barakat, 2003).

Als docent leer ik nu de leerlingen een stappenplan en een bijbehorend schema aan dat in figuur 2.1 te zien is. Vervolgens laat ik de leerlingen zelfstandig veel opdrachten maken, zodat het schema en het stappenplan voor de leerlingen duidelijk is en tot automatisme leidt.



Figuur 2.1 Schema dat in de les gebruikt wordt om chemisch rekenen uit te leggen.

Uit het gemaakte schoolexamen van vorig schooljaar (2016-2017) bleek met name opdracht 4 erg slecht gemaakt te zijn. Van de ene klas hadden 3 van de 14 leerlingen deze vraag goed en van de andere klas 4 van de 16 leerlingen. De overige opdrachten werden ook niet goed gescoord (minder dan de helft van de leerlingen had een goed antwoord gegeven), maar beter dan vraag 4. In figuur 2.2 is vraag 4 uit het schoolexamen afgebeeld.

- 4 3 Pim ontdekt ook nog een fles met een etiket: 0,120 mol AlCl_3 per liter. Pim wil dit controleren door een overmaat zilvernitraatoplossing toe te voegen aan 25,0 mL van de oplossing in de fles. Er ontstaat dan een neerslag van zilverchloride: $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$

→ Bereken hoeveel gram zilverchloride moet ontstaan.

Figuur 2.2 Opdracht 4 uit het schoolexamen chemisch rekenen uit 2016-2017.

Leerlingen moeten bij vraag 4 chemisch rekenen aan een neerslagreactie, die ontstaat doordat er twee oplossingen bij elkaar gedaan worden. Wanneer er gevraagd wordt, wat leerlingen moeilijk vinden aan chemisch rekenen, worden de volgende opmerkingen gemaakt: “Ik vind het lastig om de goede getallen te gebruiken bij een berekening en soms weet ik niet hoe ik moet beginnen en loop dan vast.”, “Ik weet gewoon niet hoe ik moet beginnen”(3x) en “Ik ben niet goed in mol per mL of L rekenen”. Bij het maken van de opgaven begint een meerderheid van de leerlingen met het opschrijven van de gegevens en gaan hier “domweg” mee rekenen. Het niet exact weten waar je moet beginnen, het uiteindelijk opgeven of het niet extraheren van de juiste informatie uit een opgaven wordt ook in de literatuur herkend (Yuriev, Naidu, Schembri, & Short, 2017).

Bij de vraag waarom ze dit zo lastig vonden, gaf het merendeel van de leerlingen aan dat ze zich niets bij de opgave konden voorstellen. Het niet kunnen voorstellen van een neerslagreactie op zowel macro als micro niveau, is een probleem dat door onderzoekers herkend wordt. Uit een reviewstudie blijkt dat er al 20 jaar lang hardnekkige misconcepten zijn rondom neerslagenreacties en oplossingen. Dit uit zich een onjuist conceptueel beeld dat leerlingen hebben van neerslagreacties en oplossingen (Çalýk, Ayas, & Ebenezer, 2005). Het is dus van belang voor het onderzoek dat er gekeken gaat worden welke misconcepten er zijn binnen mijn klassen.

De literatuur beschrijft een aantal mogelijke oplossingen rondom het aanleren van chemisch rekenen, die aansluiten op de geconstateerde problemen. In dit onderzoek zal gekeken worden welke strategie de leerlingen gebruiken. Ten eerste kan een docent er voor kiezen om de leerlingen “problem-solving” strategieën aan te leren, die ze vervolgens kunnen toepassen op de chemisch reken opdrachten. De tweede optie is het algoritmisch aanleren van het chemisch rekenen. En de laatste optie is het conceptueel aanleren van chemisch rekenen. (Yuriev, Naidu, Schembri, & Short, 2017; Nakhleh, 1993; BouJaoude & Barakat, 2003; Fach, de Boer, & Parchmann, 2007)

Het lijkt erop dat door een gebrek aan conceptuele kennis en het hebben van misconcepten rondom neerslagreacties, leerlingen moeite hebben met het rekenen aan neerslagreacties. Daarom gaat dit onderzoek zich richten op het conceptueel aanleren van chemisch rekenen aan neerslagreacties. Hierdoor ontstaat de volgende praktijkvraag: “Welk effect heeft een conceptuele onderwijsstrategie op de het chemisch rekenen aan neerslagreacties?”

3. Onderzoeksvragen

Dit onderzoek is een interventie-onderzoek. Dit interventie-onderzoek bestaat uit drie onderdelen. Het analyseren van de situatie voor het uitvoeren van de verbeteractie, de verbeteractie zelf en het analyseren van de situatie na het uitvoeren van de verbeteractie. Onderzoeksvraag één en twee zijn gericht op het analysemoment voor het uitvoeren van de verbeteractie en onderzoeksvraag drie, vier en vijf zijn gericht op het analysemoment na de verbeteractie.

Onderzoeksvragen:

- 1) *Welke misconcepten hebben de leerlingen rondom het concept “neerslagreacties”?*

In de literatuur worden verschillende misconcepten beschreven rondom het concept neerslagreactie. Ik verwacht dat ook mijn leerlingen een groot aantal van deze misconcepten zullen hebben, aangezien de leerlingen aangeven dat ze zich niet veel kunnen voorstellen bij opgaven 4 uit schoolexamen. Misconcepten als: “Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen.” en “Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.” zijn voorbeelden van de acht geconstateerde misconcepten die ik in mijn havo 5 klas verwacht. Deze misconcepten hebben daarnaast ook een nadelig effect op het chemisch rekenen aan neerslagreacties, zoals zal blijken uit het theoretisch kader.

- 2) *Welke strategieën gebruiken leerlingen bij het oplossen van een opdracht chemisch rekenen aan een neerslagreactie?*

De literatuur beschrijft drie soorten strategieën, waar leerlingen gebruik van maken bij het oplossen van opdrachten chemisch rekenen:

- probleemoplossend denken;
- algoritmische strategie;
- conceptuele strategie.

Het probleemoplossend denken bestaat voornamelijk uit het beheersen van een algemene methode die je helpt om een probleem op te lossen. Algoritmische strategie is het toepassen van geleerde stappenplannen en formules. Conceptuele strategie is gericht op het begrijpen van het (scheikundig) fenomeen op macro, micro en symbolisch niveau.

Uit het onderzoek verwacht ik dat leerlingen uit havo 5 voornamelijk gebruik maken van een algoritmische strategie, aangezien dit de manier is waarop deze groep leerlingen chemisch rekenen geleerd hebben.

- 3) *Welke misconcepten hebben de leerlingen rondom het concept “neerslagreactie” na de verbeteractie?*

Na de verbeteractie wordt de gemeten situatie bij onderzoeksvraag 1 op een soortgelijke wijze gemeten bij havo 4, nadat havo 4 chemisch rekenen aan neerslagreacties op een conceptuele manier aangeleerd hebben. Verwacht wordt dat er veel minder misconcepten zullen zijn, aangezien deze leerlingen juist erg conceptueel neerslagreacties en de belangrijkste hoofdconcepten rondom chemisch rekenen conceptueel aangeleerd hebben.

- 4) *Welke strategieën gebruiken leerlingen bij het oplossen van een opdracht chemisch rekenen aan een neerslagreactie, na de verbeteractie?*

Na de verbeteractie wordt ook verwacht dat leerlingen chemisch rekenen meer gebruik maken van een conceptuele- dan een algoritmische strategie. Hierdoor wordt verwacht dat leerlingen de opdrachten chemisch rekenen ook succesvoller kunnen oplossen.

- 5) *Hoe kan de verbeteractie naar aanleiding van de resultaten uit de leerlingen enquête verbeterd worden?*

De onderzoeksvragen 2 en 4 zijn gericht op het inhoudelijke effect van de ontwikkelde verbeteractie, oftewel het 'wat'. Onderzoeksvraag 5 daarentegen is gericht op de manier waarop de inhoud overgebracht wordt, oftewel het 'hoe'. Daarbij wordt op drie categorieën van de verbeteractie ingegaan; de opzet, de uitvoering en de inhoud van de les. Ik verwacht dat de verbeteractie positief ontvangen wordt, al blijft chemisch rekenen een lastig onderwerp en zullen een aantal leerlingen het ook om deze reden niet leuk vinden.

4. Theoretisch kader

4.1 Drie strategieën voor het chemisch rekenen.

Scheikunde is een complex vak om over te brengen op leerlingen. Dit blijkt uit de vele misconcepten die er bestaan binnen de scheikunde (Gabel, 1999). Dat chemisch rekenen als één van de meer complexere onderwerpen gezien kan worden binnen het scheikunde onderwijs, wordt door zowel Boujaoude & Barakat (2003) en Huddle & Pillay (1996) beschreven in hun inleiding. Ook de vele artikelen en reviews die er over dit onderwerp geschreven zijn bevestigen dit beeld. (Boujaoude & Barakat, 2003; Fach, de Boer, & Parchmann, 2007; Furió, Azcona, & Guisasola, 2002; Schmidt, 1997; Schmidt, 1994; Yuriev, Naidu, Schembri, & Short, 2017) Dat leerlingen problemen hebben met chemisch rekenen uit zich volgens Yuriev et al. (2017) in het 'te snel' oplossen van een opdracht, het naar een uitkomst gissen aan de hand van irrelevante informatie, het niet weten waar te beginnen en het opgeven van een opgaven. Deze beschreven problemen komen overeen met de problemen die in de verlegenheidssituatie beschreven zijn. Uit de literatuur worden drie strategieën om het chemisch rekenen aan te pakken het meest beschreven. Deze drie strategieën zijn; probleemoplossend denken, de algoritmische strategie en de conceptuele strategie (Yuriev, Naidu, Schembri, & Short, 2017).

Probleemoplossend denken

Binnen het scheikunde onderwijs zijn er twee pijlers die aan leerlingen geleerd moeten worden; de eerste pijler zijn de scheikundige concepten die de leerlingen moeten beheersen en de tweede pijler is het probleem oplossend denken oftewel 'problem-solving'. (Salta, 2010) Leerlingen die niet probleem oplossend denken zullen bij een lastige opdracht, het niet eens proberen om het op te lossen. Er zijn verschillende redenen die er voor zorgen dat een leerling niet probleem oplossend denkt. Het kan zijn dat de leerling moeite heeft om de relevante informatie uit een opdracht te halen. Een andere reden is het niet beheersen van de vaktaal waardoor er verwarring kan optreden bij het lezen van de opdracht. Als derde is het gebrek aan vaardigheden in het logisch redeneren (Yuriev, Naidu, Schembri, & Short, 2017).

Het belang van probleem oplossend denken binnen het scheikunde onderwijs is volgens Bodner (2015) erg groot. Het probleem oplossend denken is namelijk een vaardigheid die van scheikundige in het beroepsveld verwacht wordt (Bodner, 2015). Zoals Wheatley (1984) het omschrijft: "what you do when you don't know what to do" (Wheatley, 1984). Probleem oplossend denken moet daarom bestaan uit 'trial and error' waarbij je soms een stap terug zet of naar links om tot de oplossing te komen. Bodner (2015) gaat hier nog iets dieper op in en komt met een omschrijving van een succesvolle probleem oplosser. Een succesvolle probleemoplosser volgens Bodner (2015) kan de relevante informatie extraheren, maakt gebruik van tekeningen om het probleem te verduidelijken, is bereid om 'iets te proberen' wanneer de oplossing niet voor handen ligt, kijkt continue of hij op het juiste pad zit en controleert of het antwoord logisch is (Bodner, 2015; Yuriev, Naidu, Schembri, & Short, 2017)

Algoritmische strategie

Opdrachten chemisch rekenen, worden in de literatuur vaak aangeduid als een algoritmische opgaven, er moet namelijk gerekend worden in een bepaald stappenplan en daarbij wordt gebruik gemaakt van formules (Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Nurrenbern & Pickering, 1987) Wanneer leerlingen gebruik maken van een algoritmische strategie zijn ze voornamelijk bezig met aangeleerde stappenplannen en regels (formules). Door leerlingen te voorzien van vaste strategieën of stappenplannen kan aangeleerd worden hoe een bepaalde opgave opgelost kan worden (Fach, de Boer, & Parchmann, 2007; Chandrasegaran, Treagust, Waldrip, & Chandrasegaran, 2008). Er zit

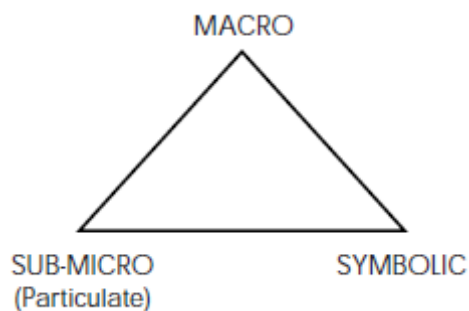
variatie in de manier waarop de stappenplannen aangeboden worden. Fach et al. (2007) heeft een 'stepped supporting tool' (=SST) ontwikkeld waarin ze onderscheid maakt in drie categorieën:

- Leerstrategie SST: Deze bevat hints, hoe je een bepaalde opdracht moet aanpakken en hoe het resultaat gecontroleerd kan worden.
- Inhoudelijk strategische SST: Hier zijn de stappen van een bepaalde oplossing gegeven maar niet uitgelegd hoe de stappen uitgevoerd dienen te worden.
- Inhoudelijk gerelateerde SST: Hier zijn de stappen van een bepaalde oplossing gegeven en wordt uitgebreid uitgelegd hoe de stappen uitgevoerd dienen te worden.

Een ander voorbeeld van een algoritmische aanpak is de systematische probleemaanpak, ook wel SPA methode genoemd. Een SPA methode bevat een stappenplan waarin exact staat beschreven wat je moet doen om uiteindelijk tot een goede uitkomst te komen. Bij het ontwikkelen van een SPA wordt er gekeken naar algemene stappen die dan ook in het algemeen werken bij bijvoorbeeld rekenopgaven. Op deze manier wordt voorkomen dat leerlingen niet weten hoe ze aan een opgave moeten beginnen en zullen ze het stappenplan blijven volgen zolang het, het gewenste resultaat geeft.

Conceptuele strategie

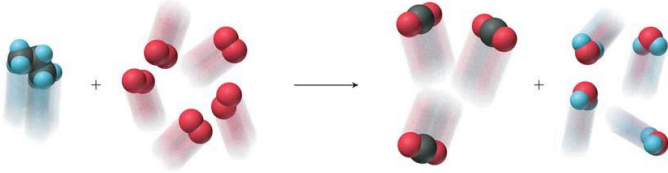
Het aanleren van een conceptuele strategie heeft als doel dat leerlingen opdrachten conceptueel gaan benaderen. Dat houdt in dat leerlingen een bepaald scheikundig concept kunnen vertalen naar de drie niveaus; macro-, submicro- en het symbolische niveau, die beschreven zijn door Johnstone (1991). Deze drie niveaus die met elkaar in verbinding staan, zoals in figuur 4.1 is weergegeven, kunnen op verschillende manieren aangeleerd worden.



Figuur 4.1. De drie niveaus van Johnstone (Johnstone, 1991).

Er kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van analogieën die het abstracte micro niveau begrijpelijker maken. Een analogie werkt wanneer hij dicht bij de belevingswereld staat van de leerling en hij één op één gebruikt kan worden op het uit te leggen concept (Devetak, Vogrinc, & Glazar, 2008; Furió, Azcona, & Guisasola, 2002). Een andere methode om leerlingen iets conceptueels aan te leren is door alles vanuit een historisch perspectief aan te leren. Hierin wordt uitgelegd welke waarnemingen in de geschiedenis gedaan zijn op macro niveau en welke gevolgen deze waarnemingen hebben gehad op submicro niveau. Op deze manier worden leerlingen zich bewust van het ontstaan van modellen en hoe scheikundige te werk gaan. Daarnaast weten ze ook welke antwoorden een bepaald concept kan geven en heeft het concept ook betekenis voor de leerling (Laugier & Dumon, 2004). De laatste methode die beschreven wordt is het gebruik van submicrodiagrammen. Leerlingen worden bij deze methode gedwongen om een gebeurtenis vanuit macro niveau te vertalen naar submicro- en symbolisch niveau (Devetak, Vogrinc, & Glazar, 2008).

In studieboeken worden dergelijke submicrodiagrammen ook gebruikt om de link tussen de verschillende niveaus duidelijk te maken. Een voorbeeld is afgebeeld in figuur 4.2.

Table 3.5 Information Contained in a Balanced Equation			
Viewed in Terms of	Reactants $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g})$	→	Products $3\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
Molecules	1 molecule C_3H_8 + 5 molecules O_2	→	3 molecules CO_2 + 4 molecules H_2O
			
Amount (mol)	1 mol C_3H_8 + 5 mol O_2	→	3 mol CO_2 + 4 mol H_2O
Mass (amu)	44.09 amu C_3H_8 + 160.00 amu O_2	→	132.03 amu CO_2 + 72.06 amu H_2O
Mass (g)	44.09 g C_3H_8 + 160.00 g O_2	→	132.03 g CO_2 + 72.06 g H_2O
Total mass (g)	204.09 g	→	204.09 g

Figuur 4.2 Voorbeeld van een submicrodiagram waarbij het symbolische niveau = reactievergelijking, micro niveau = tekening van de moleculen en macro niveau de verwijzing naar de massa's wordt gegeven.

Keuze voor strategie

De beschreven problemen in de inleiding van paragraaf 4.1 komen sterk overeen met de opmerkingen die door de leerlingen worden gegeven in de verlegenheidssituatie. Het niet kunnen starten en het uiteindelijk opgeven blijkt ook in de beschreven klassensituatie het geval te zijn. Probleemoplossend denken zou een geschikte strategie zijn om het niet kunnen starten en het opgeven van opdrachten chemisch rekenen op te lossen, blijkt uit de theorie. Het nadeel is dat er een kans is dat de leerlingen de opdracht goed oplossen maar conceptueel niet begrijpen. Uit het onderzoek van Boujaoude & Barakat (2003) blijkt dat het conceptueel begrijpen van een opdracht er tevens voor zorgt dat het kiezen van de juiste probleemaanpak verbetert. Leerlingen met een groot conceptueel begrip zullen bij een opdracht chemisch rekenen kiezen voor de snelste methode die tot een oplossing leidt. Dit in tegenstelling tot de leerlingen die kiezen voor 'trial and error' en dus eigenlijk het concept niet begrijpen (Boujaoude & Barakat, 2003).

Chemisch rekenen algoritmisch aanleren werkt onvoldoende, zoals blijkt uit de verlegenheidssituatie en de literatuur (Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Nurrenbern & Pickering, 1987). Het versterken van conceptuele kennis heeft wel degelijk een positief effect op het oplossen van algoritmische opgaves, wat chemisch rekenopgaves toch hoofdzakelijk zijn (Gabel, 1999; Kimberlin & Yezierski, 2016; Taskin & Bernholt, 2012). Door gebruik te maken van een conceptuele probleemaanpak krijgen de leerlingen niet alleen antwoord op 'wat' er gebeurt, maar ook op het 'hoe' en 'waarom' iets gebeurt. Dit dwingt de leerlingen tot hogere orde van denken. Met als gevolg dat hierdoor kennis in het langetermijngeheugen wordt opgeslagen (Gabel, 1999; Nyachwaya, Warfa, Roehrig, & Schneider, 2013). Om deze redenen wordt er voor de verbeteractie gebruik gemaakt het aanleren van een conceptuele strategie.

4.2 Concepten en misconcepten bij chemisch rekenen

Deze paragraaf heeft voornamelijk als doel om de concepten en misconcepten rondom chemisch rekenen aan neerslagreacties helder te krijgen. De twee belangrijkste 'hoofdconcepten' die onvermijdbaar zijn bij chemisch rekenen zijn de concepten 'mol' en 'wet van behoud van massa' (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002; Salta & Tzougraki, 2011). Deze concepten komen altijd terug wanneer er gerekend wordt aan reacties, of het nu gaat om neerslag-, redox- of zuurbase-reacties. In de literatuur zijn een aantal misconcepten beschreven die rondom deze concepten 'hangen', deze

zullen in de eerste twee paragrafen beschreven worden. In de laatste paragraaf wordt specifiek ingegaan op de misconcepten die er zijn rondom neerslagreacties, aangezien dit het concept is waar de leerlingen tijdens het gemaakte schoolexamen de meeste moeite mee hadden. In de literatuur zijn er een aantal artikelen geschreven over deze misconcepten bij neerslagreacties (Smith & Metz, 1996; Naah & Sanger, 2012; Adadan & Savasci, 2012; Çalýk, Ayas, & Ebenezer, 2005; Devetak, Vogrinc, & Glazar, 2008; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010).

‘De mol’

Het hoofdconcept ‘de mol’ is een eenheid voor de grootte ‘hoeveelheid stof’. Dit concept is bedacht door de wetenschap en fungeert als een ‘brug’ tussen het micro- en macroniveau. De definitie die het IUPAC gegeven heeft aan ‘de mol’ is: “De mol is de hoeveelheid stof van een systeem dat evenveel elementaire entiteiten bevat als er atomen zijn in 0,012 kilogram koolstof-12. Bij deze gebruikmaking van de mol moeten de elementaire entiteiten worden gespecificeerd; deze kunnen atomen, moleculen, ionen, elektronen, andere deeltjes of bepaalde groeperingen van dergelijke deeltjes zijn.” De frase ‘hoeveelheid stof’ maakt deze IUPAC definitie erg lastig om te begrijpen, doordat ‘de hoeveelheid stof’ niet het zelfde is als ‘aantal deeltjes’. De hoeveelheid stof heeft namelijk een dimensie met de eenheid ‘mol’ en het aantal deeltjes heeft geen dimensie. Deze verwarring wordt versterkt doordat de grootte ‘hoeveelheid stof’ gebaseerd is op een andere grootte namelijk die van massa. Doordat het begrip vaak bij methodes, docenten en dus ook bij leerlingen niet duidelijk is, heeft dat als gevolg dat er verschillende misconcepten ontstaan rondom het begrip (Schmidt, 1997; Furió, Azcona, & Guisasola, 2002). Furio et al. (2002) heeft in zijn review een lijst van misconcepten/problemen samengesteld rondom het concept ‘de mol’:

- het gebrek aan wetenschappelijk begrip rondom het concept ‘de mol’;
- leerlingen zien de eenheid mol als een massa, volume of een vaste hoeveelheid deeltjes;
- leerlingen halen het macroscopische niveau (molaire massa) met het micro niveau (atoommassa en moleculaire massa) door elkaar;
- leerlingen leggen het verkeerde verband tussen het aantal moleculen en de hoeveelheid massa.

Het gevolg is dat het zelfvertrouwen van leerlingen rondom dit concept erg laag is en leerlingen het concept proberen te vermijden (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002).

‘Wet van behoud van massa’

De wet van behoud van massa is het tweede hoofdconcept waar leerlingen veel moeite mee hebben tijdens het chemisch rekenen. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door misconcepten op macro niveau. Leerlingen hebben geen probleem om de wet van behoud van massa te begrijpen bij fysische processen, maar het probleem ontstaat specifiek bij chemische processen. Bijvoorbeeld reacties waarbij reactanten gebruikt worden of producten ontstaan die niet waarneembaar zijn; denk hierbij aan gassen of oplossingen. Ook de gedachte dat vaste stoffen altijd zwaarder zijn dan vloeistoffen zorgt voor verwarring bij dit concept op micro niveau. (Chandrasegaran, Treagust, Waldrip, & Chandrasegaran, 2008; Salta & Tzougraki, 2011). Dit uit zich in een aantal misconcepten rondom het maken van een reactievergelijking waarde wet van behoud van massa vertaald kan worden naar het behoud van atomen (Taskin & Bernholt, 2012; Salta & Tzougraki, 2011):

- leerlingen leggen het verkeerde verband tussen een reactievergelijking en een wiskundige vergelijking;
- leerlingen hebben moeite met het juist gebruik van coëfficiënten en indexen;
- leerlingen zien niet in dat tijdens een reactie bestaande bindingen verbroken worden en nieuwe bindingen gevormd worden;
- leerlingen begrijpen niet het verschil tussen een (bijvoorbeeld: zuurstof) atoom en een (zuurstof) molecuul.

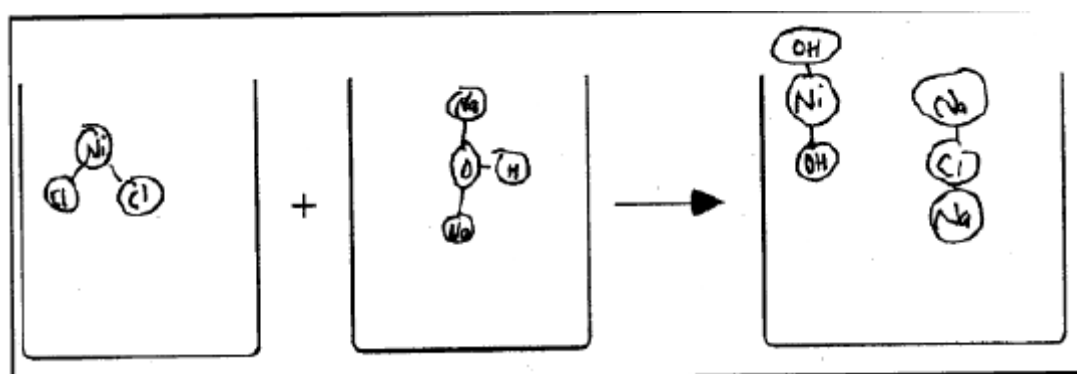
Neerslagreacties

Zoals in de inleiding blijkt is chemisch rekenen lastig, ook bij neerslagreacties. Het hebben van een onjuist conceptueel beeld van een reactie, kan er voor zorgen dat tijdens het chemisch rekenen niet de juiste aanpak gebruikt wordt, zoals blijkt uit paragraaf 4.1. In de literatuur staan verschillende misconcepten beschreven die leerlingen kunnen hebben rondom het concept neerslagreacties. In tabel 4.1 zijn de misconcepten samengevat weergegeven.

Tabel 4.1. misconcepten rondom neerslagreacties, waarbij het hebben van de dikgedrukte misconcepten invloed kan hebben op het hoofdconcept: 'wet van behoud van massa'.

Nr.	misconcepten	Artikel
1	Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	(Naah & Sanger, 2012; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
2	Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
3	De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996)
4	Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996)
5	Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	(Smith & Metz, 1996)
6	Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	(Naah & Sanger, 2012; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
7	Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de 'partners gewisseld worden'.	(Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
8.	Een vast zout dat ontstaat uit een neerslag tekenen als ongeladen bolletjes die toch nog in oplossing zitten.	(Smith & Metz, 1996)

Om een idee te krijgen hoe deze misconcepten geuit kunnen worden, is er een voorbeeld antwoord dat door een leerling gegeven is in het onderzoek van Smith & Metz (1996) afgebeeld in figuur 4.3.



Figuur 4.3. Zoutoplossing en neerslagreactie voorstellen als ongeladen (moleculaire) deeltjes, daarnaast worden de coëfficiënten niet meegenomen in deze tekening en laat de leerling de deeltjes niet dissociëren (Smith & Metz, 1996). Reactie: $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s})$

Het eerste misconception is dat leerlingen kunnen denken dat wanneer een zout oplost het uit neutrale atomen of moleculen bestaat (Sanger, 2005). Een aantal onderzoeken constateert dit ook bij neerslagreacties, waarbij leerlingen reactanten en/of producten als moleculaire 'paren' tekenen zonder lading, zoals in figuur 4.3 te zien is (Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010; Smith & Metz, 1996). Een ander misconception dat in figuur 4.3 naar boven komt is het verkeerd gebruik van coëfficiënten. Dit misconception kan gekoppeld worden aan het eerder beschreven hoofdconcept: 'Wet van behoud van massa' (Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996).

De oorzaken voor het ontstaan van de misconcepten in tabel 4.1 bij het chemisch rekenen aan zouten en oplossingen zijn afhankelijk van het desbetreffende misconception. Over één ding zijn de onderzoekers en reviewschrijvers die voor dit onderzoek gebruikt zijn het eens, de bron van deze misconcepten zijn de docenten en/of methodes die de leerlingen gebruiken. Docenten besteden te weinig tijd om misconcepten te voorkomen of te laten verdwijnen bij leerlingen die ze hebben. Een belangrijke reden hiervoor is dat docenten voornamelijk bezig zijn met leerlingen helpen om een bepaald einddoel te halen dat uiteindelijk in de toets getest wordt. Vaak zijn deze toetsen erg algoritmisch waardoor de docenten weinig aandacht besteden aan de achterliggende concepten (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002) (Nyachwaya, Warfa, Roehrig, & Schneider, 2013). Met de komst van het nieuwe examen is er meer aandacht voor het conceptuele en minder aandacht voor het algoritmische, waardoor docenten gedwongen worden om de misconcepten aan te pakken (Bruning & Michels, 2013).

Misconcepten rondom het chemisch rekenen aan neerslagreacties.

Uit de verlegenheidssituatie blijkt dat er veel moeite is op het gebied van de twee hoofdconcepten 'mol' en 'wet van behoud van massa'. Uit de opmerking van een leerling die beschreven staat in de verlegenheidssituatie, wordt duidelijk dat ze moeite heeft met het begrip mol, wat mogelijk veroorzaakt wordt doordat ze een (deels) onjuiste voorstelling heeft van dit hoofdconcept. Daarnaast kan het hebben van de misconcepten 2, 3, 4, 5, en 7 nadelige gevolgen hebben voor het hoofdconcept; 'wet van behoud van massa'. Toch zijn de misconcepten 1, 6 en 8 relevant voor dit onderzoek aangezien het belangrijk is dat de leerlingen een correct conceptueel beeld aangeleerd krijgen van neerslagreacties.

5. Methode van onderzoek

In dit hoofdstuk wordt een verantwoording gegeven van de keuzes die gemaakt zijn om uiteindelijk de onderzoeksresultaten te verkrijgen. De keuzes die gemaakt zijn worden onderbouwd aan de hand van de literatuur en de onderzoeksvragen die uit de verlegenheidssituatie zijn voortgekomen. De eerste drie paragrafen gaan in op de gekozen meetinstrumenten en hun relevantie ten opzichte van de onderzoeksvragen. In deze paragrafen wordt duidelijk op welke manier de gegevens verzameld en geanalyseerd gaan worden en waarom hiervoor gekozen is. In de laatste paragraaf wordt ingegaan op hoe, wanneer en in welke situatie de verschillende meetinstrumenten ingezet gaan worden.

5.1 De conceptuele toets.

De ontwikkelde conceptuele toets (versie 1 en 2) is in zijn geheel terug te vinden in bijlage 11.1 en bestaat uit vijf vragen. Met elke vraag wordt een bepaalde hoeveelheid misconcepten gecontroleerd. In tabel 5.1 is te zien welke misconcepten aangetoond kunnen worden per vraag.

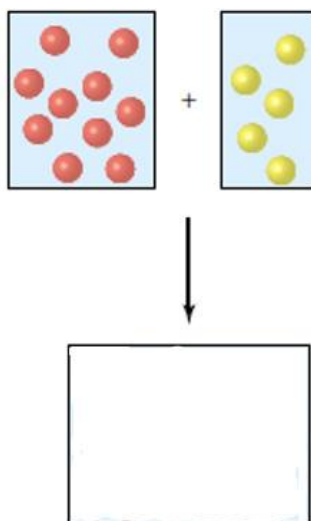
Tabel 5.1 Welke misconceptie in welke vraag aangetoond kan worden. O (groen) = wordt aangetoond en X = wordt niet aangetoond.

Misconcepten	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5
1. Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	O	X	X	O	O
2. Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	O	O	O	O	O
3. De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	X	X	X	O	O
4. Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	X	X	X	O	O
5. Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	O	X	X	O	O
6. Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	X	O	O	O	O
7. Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de 'partners gewisseld worden'.	X	X	X	O	O
8. Een vast zout dat ontstaat uit een neerslag tekenen als ongeladen bolletjes die toch nog in oplossing zitten.	O	O	O	O	O

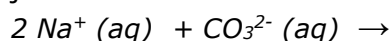
Zoals in tabel 5.1 te zien is komt elk misconception minimaal twee keer terug in de conceptuele vragen, zodat een toevalstreffer van een leerling niet voor kan komen. Er is bij het maken van de conceptuele toets bewust gekozen voor open vragen, aangezien dit meer inzicht geeft in de antwoorden die leerlingen geven dan bij bijvoorbeeld een multiplechoicetest (Çalýk, Ayas, & Ebenezer, 2005). Om meer inzicht te krijgen in de antwoorden van leerlingen en met name in het conceptueel denken van de leerlingen, is er gekozen om de antwoorden van de leerlingen te ondersteunen door tekeningen. In figuur 5.1 is vraag 1 van de conceptuele toets weergegeven.

Ga er van uit dat je een oplossing hebt met een bepaald kation

(= positief ion) erin, dit zijn de rode bollen. Daarnaast heb je ook een oplossing met een bepaald anion (= negatief ion), dit zijn de gele bollen. Wanneer deze bij elkaar gevoegd worden zijn er, afhankelijk van de gebruikte ionen, drie uitkomsten. Let ook op het aantal gekleurde bollen.



- p **1** Teken in het kader de uitkomst, wanneer de volgende ionen bij elkaar gedaan worden, gebruik hierbij de kleuren rood (natrium-ion) en geel (carbonaat-ion). Leg je antwoord uit.



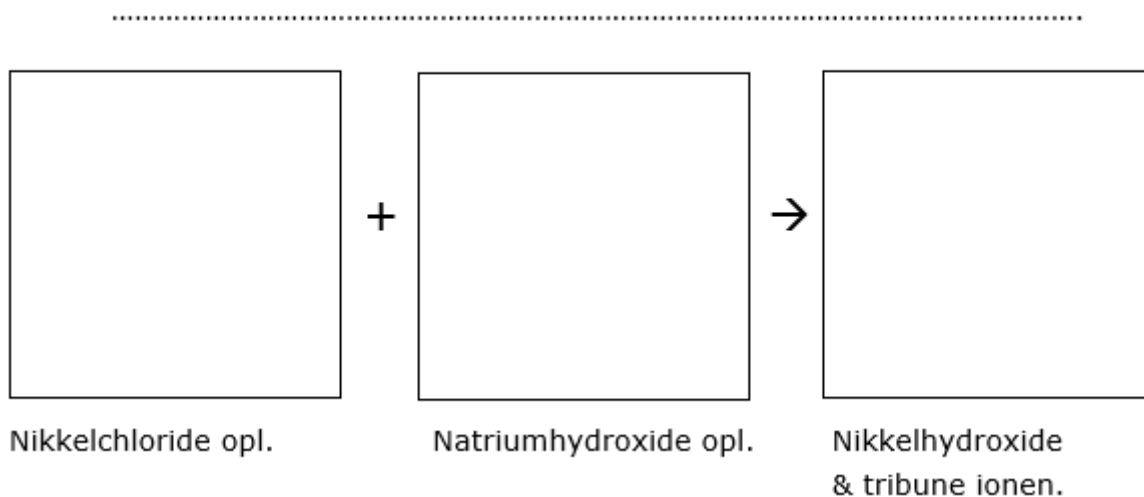
Figuur 5.1 Vraag één uit de conceptuele toets. Waarbij de leerlingen vanuit een gegeven situatie op micro niveau de nieuwe situatie moeten tekenen op micro- en symbolisch niveau.

Uit de literatuur blijkt dat in meerdere onderzoeken deze combinatie van zowel schriftelijk als getekend antwoord geven wordt toegepast om het conceptueel begrip van een leerling inzichtelijk te krijgen. (Davidowitz, Chittleborough, & Murray, 2009; Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Nurrenbern & Pickering, 1987) Doordat de leerlingen de link moeten leggen tussen het gegeven symbolische niveau (de gegeven reactievergelijking) en het micro niveau worden leerlingen gedwongen om conceptueel te denken tussen twee niveaus in de theorie van Johnstone (1991). De vragen 2 en 3 zijn soortgelijk als 1 alleen worden er andere ionen gekozen en ontstaan er neerslagen. In de vragen 4 en 5 komt naast het symbolische en micro niveau ook het macro niveau erbij. In figuur 5.2 is vraag 4 uit de conceptuele toets afgebeeld als voorbeeld.

De volgende neerslagvergelijkingen moeten op micro niveau nagetekend worden op het antwoordblad. In de tekeningen moeten naast de reagerende deeltjes ook de deeltjes getekend worden die in de oplossing blijven (tribune-ionen). Daarnaast moet de bijbehorende reactievergelijking geschreven worden.

- p **4** Een nikkelchloride (= NiCl_2) oplossing reageert met een oplossing natriumhydroxide (= NaOH), er ontstaat een neerslag van nikkelhydroxide (= $\text{Ni}(\text{OH})_2$).

p **4** Reactievergelijking:



Figuur 5.2 Vraag 4 uit de conceptuele toets, met een stuk uit het antwoordblad.

In figuur 5.2 wordt een situatie op macro niveau beschreven. De leerling moet zowel de situatie op het symbolische niveau in een reactievergelijking weergeven, als de situatie op micro niveau tekenen.

De antwoorden die gegeven zijn in de conceptuele toets worden kwantitatief geanalyseerd. Daarbij wordt gekeken wat het aantal leerlingen is dat een bepaald misconception vertoont. Deze aantallen worden vervolgens in tabel gezet, zoals in tabel 5.2.

Tabel 5.2 Misconcepten 1 t/m 8, het aantal leerlingen dat een bepaald misconception vertoont heeft in de conceptuele toets.

Misconcepten	Aantallen leerlingen
1. Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	
2.	

Vanuit de resultaten kan inzichtelijk gemaakt worden welke misconcepten aanwezig zijn in een bepaalde groep leerlingen en hoe groot deze groep leerlingen is. Daarbij wordt nadrukkelijker gekeken of het om misconcepten gaat die een nadelig gevolg kunnen hebben op het chemisch rekenen, zoals de misconcepten 2, 3, 4, 5 en 7. Vervolgens worden de aantallen leerlingen uitgesplitst per vraag zoals in tabel 5.3 is weergegeven.

Tabel 5.3 Misconcepten 1 t/m 8 en aantallen leerlingen die het misconception vertoond hebben in de conceptuele toets per vraag, waarbij het aantal leerlingen die de vraag gemaakt heeft aangegeven is. (x= misconception komt niet voor bij deze vraag)

misconcepten	Aantal leerlingen per vraag				
	Vraag 1 (n=..)	Vraag 2 (n=..)	Vraag 3 (n=..)	Vraag 4 (n=..)	Vraag 5 (n=..)
1. Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.		X	X		
2.					

Met de resultaten uit tabel 5.3 kan inzichtelijk gemaakt worden wat het aantal leerlingen is dat een bepaald misconception vertoont in een specifieke vraag. Hiermee wordt inzichtelijk of het vertonen van een bepaald misconception vraagafhankelijk is, het kan namelijk niet zo zijn dat er bij de ene vraag meer leerlingen een bepaald misconception vertonen dan bij een ander vraag. Een leerling heeft wel of geen misconception en dit kan niet vraagafhankelijk zijn. Door te kijken of er variatie zit in de aantallen vertoonde misconcepten per vraag, kan iets gezegd worden over de betrouwbaarheid van de verschillende vragen.

Met de verkregen resultaten kunnen uiteindelijk conclusies getrokken worden die onderzoeksvraag één: “Welke misconcepten hebben de leerlingen rondom het concept “neerslagreactie”? “ en onderzoeksvraag drie: “Welke misconcepten hebben de leerlingen rondom het concept “neerslagreactie” na de verbeteractie?” deels beantwoorden.

5.2 Het probleemgericht interview

Na het afnemen van de conceptuele toets worden drie leerlingen geselecteerd. De eerste leerling die geselecteerd wordt, vertegenwoordigt de laag scorende leerlingen van de conceptuele toets, deze leerling heeft de meeste misconcepten vertoond en bij havo 5 een lage score gehaald op het schoolexamen chemisch rekenen. De tweede leerling, vertegenwoordigt de middelmatig scorende leerlingen, deze leerling heeft niet de minste, maar ook niet de meeste misconcepten vertoond en heeft bij havo 5 een gemiddelde score behaald op het schoolexamen chemisch rekenen. De derde leerling, vertegenwoordigt de hoog scorende leerlingen, deze leerling heeft het minste aantal misconcepten vertoond in de conceptuele toets en heeft bij havo een goede score behaald op het schoolexamen chemisch rekenen.

Bij het afnemen van het probleemgericht interview, dat in zijn geheel in bijlage 11.2 te vinden is, moeten de leerlingen twee opdrachten maken. Tijdens het maken van deze opdrachten dienen de leerlingen hardop hun gedachten uit te spreken. Op deze manier kan de redenering van de leerling om een opdracht op te lossen inzichtelijk gemaakt worden. De interviewer mag vragen stellen om bepaalde gedachten te verduidelijken, daarnaast mag de interviewer ook hulp bieden aan de leerling wanneer hij vastloopt of een verkeerde denkstap zet. De aangeboden hulp zorgt ervoor dat de leerling wel de gehele opdracht doorloopt, zodat per denkstap inzichtelijk gemaakt kan worden wat zijn gedachten zijn ook al loopt hij al vast bij de eerste denkstap. Deze methode is gebaseerd op het onderzoek van Fach et al. (2007).

Van de twee gegeven opdrachten is de eerste een oefenopdracht en moet bij de tweede opdracht chemisch gerekend worden aan een neerslagreactie. De oefenopdracht heeft niets te maken met neerslagreacties of chemisch rekenen en is alleen bedoeld om de leerlingen te laten oefenen met het uitspreken van hun gedachten, de gegeven antwoorden en gedachten van leerlingen worden ook

niet geanalyseerd. De gedachten die uitgesproken worden bij het oplossen van de opdracht chemisch rekenen (vraag 1) die in figuur 5.3 is afgebeeld, worden daarentegen wel geanalyseerd.

Vraag 1.

Pim ontdekt een fles met een etiket: 0,120 mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ per liter. Pim wil dit controleren door een overmaat loodnitraatoplossing toe te voegen aan 25,0 mL van de oplossing in de fles. Er ontstaat dan een neerslag van loodsulfaat:

$$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbSO}_4(\text{s})$$

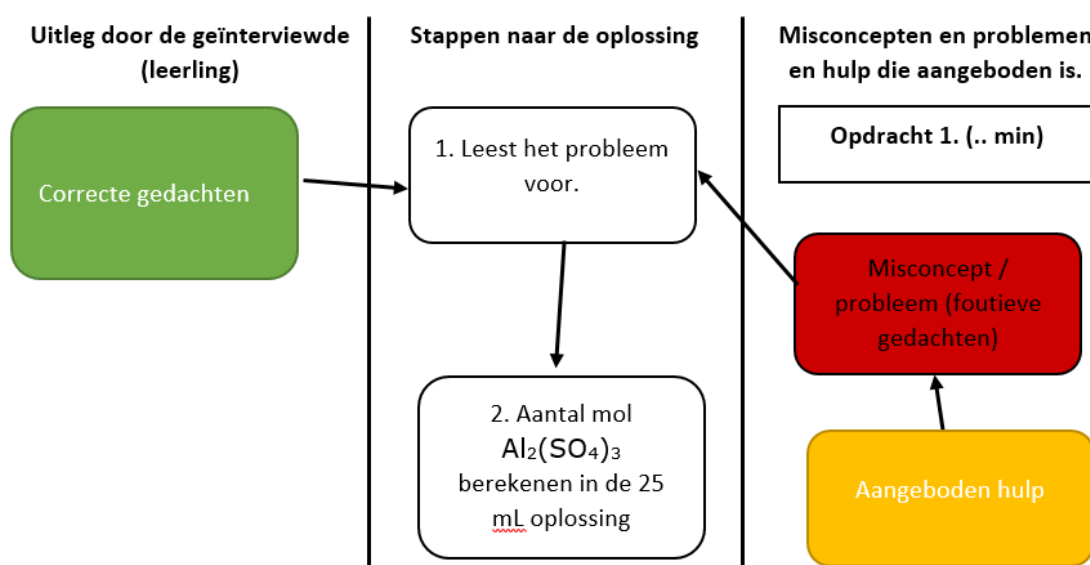
1 Bereken hoeveel gram loodsulfaat moet ontstaan?

Figuur 5.3. Opdracht chemisch rekenen die gebruikt is het probleemgericht interview.

Vanwege de hulp zal iedere leerling de opdracht succesvol afronden en daarbij vijf denkstappen zetten die uiteindelijk leiden tot de oplossing. De vijf denkstappen zijn als volgt geformuleerd:

1. Leest het probleem voor.
2. Aantal mol stof $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ in 25 mL uitrekenen.
3. Aantal mol SO_4^{2-} ionen uitrekenen.
4. Aantal mol SO_4^{2-} ionen is gelijk aan aantal mol loodsulfaat.
5. Massa loodsulfaat uitrekenen.

Per denkstap worden de gedachten van de leerlingen in een schema verwerkt zodat deze later makkelijker te analyseren zijn. Een voorbeeld van deze verwerking is te zien in figuur 5.4. Deze verwerkingen staan vermeld in de bijlage (12.5 & 12.11).



Figuur 5.4 Voorbeeld van verwerking van probleemgericht interview, waarin de correcte gedachten (groen), denkstappen (wit), misconcepten/problemen (rood) en de aangeboden hulp (geel) is weergegeven.

Correcte gedachten, zijn gedachten die er toe leiden dat een juiste aanpak wordt gekozen om een denkstap op te lossen en dus naar een volgende denkstap te gaan. Misconcepten en problemen zijn onjuiste gedachten. Deze onjuiste gedachten kunnen overeenkomen met de eerder beschreven misconcepten 2,3,4,5 en 7, maar kunnen ook misconcepten zijn die niet in de eerder in de theorie zijn voortgekomen. (BouJaoude & Barakat, 2003; Fach, de Boer, & Parchmann, 2007).

Vervolgens worden deze schematische samenvattingen geanalyseerd en worden de misconcepten, problemen en de tijd die ieder leerling over de opdracht gedaan heeft in één tabel gezet. Tabel 5.4 is het format dat hiervoor gebruikt gaat worden. Daarbij wordt aangegeven of een bepaald misconcept overeenkomt met de eerder beschreven misconcepten in tabel 4.1.

Tabel 5.4 De tijd, geconstateerde misconcepten en problemen die de laag-, middelmatig en hoog scorende leerling vertoonde en gehad hebben om de opdracht in het probleemgericht interview op te lossen. Daarnaast staat vermeld hoeveel misconcepten ze hadden in de conceptuele toets en welk cijfer ze behaald hebben op schoolexamen (SE).

Leerling	Tijd	Misconcepten/problemen
Laag scorende leerling		
Middelmatig scorende leerling		
Hoog scorende leerling		

De verkregen resultaten worden zowel kwantitatief als kwalitatief bekeken. Er wordt gekeken of er een verband is op het gebied van tijd, aantal misconcepten en de behaalde scores op de conceptuele toets. Vervolgens worden dezelfde resultaten kwalitatief bekeken, waarbij voornamelijk aandacht is voor de inhoud van de misconcepten en problemen die leerlingen hebben bij het oplossen van de opdracht uit het probleemgericht interview. De conclusies die getrokken worden uit deze analyses dienen antwoord te geven op onderzoeksvraag 1 en 3 en dus de eerdere conclusies uit de conceptuele toets te versterken.

Naast deze analyse worden de correcte gedachten, misconcepten en problemen per denkstap en per leerling gecategoriseerd in een algoritmische, probleemoplossende of conceptuele aanpak, zoals hieronder te zien is in tabel 5.5. Er is bewust gekozen voor deze indeling omdat de verbeteractie er op gericht is om leerlingen een conceptuele aanpak aan te leren.

Tabel 5.5 Hier wordt denkstap 1 t/m 5 bekeken, welke strategie de laag- (L), middelmatig- (M) en hoog scorende leerling toegepast heeft en of deze hulp (rood) of geen hulp (groen) gehad heeft.

Stappen binnen de opdracht		Algoritmisch	Probleemoplossend	Conceptueel
1. Leest het probleem voor.	L			
	M			
	H			
2.	L			
	M			
	H			

Met kleur wordt aangegeven of de leerling wel (rood) of geen (groen) hulp heeft gehad bij het toepassen van de desbetreffende strategie. Daarbij wordt gesproken van een algoritmische aanpak, wanneer de leerling gebruik maakt van een vast stappenplan en geleerde formules (Terlouw & Kramers-Pals, 2004). Het probleemoplossend denken kenmerkt zich voornamelijk door ‘trial and error’ (Bodner, 2015). De conceptuele aanpak richt zich vooral op het symbolische, micro en macroniveau denken, waarbij de leerlingen een macro verschijnsel uit de opdracht vertalen naar het micro en/of symbolische niveau (Johnstone, 1991). Uit deze analyse kan vervolgens geconcludeerd worden wat voor strategie de leerling gebruikt en kan daardoor antwoord geven op de tweede onderzoeksvraag: “Welke strategieën gebruiken leerlingen bij het oplossen van een opdracht chemisch rekenen aan een neerslagreactie?” en derde onderzoeksvraag: “Welke strategieën gebruiken leerlingen bij het oplossen van een opdracht chemisch rekenen aan een neerslagreactie, na de verbeteractie?”.

5.3 De leerlingen enquête

Na het uitvoeren van een les binnen de verbeteractie wordt een leerlingenenquête afgenomen, deze is afgebeeld in bijlage 11.3. Aangezien er in de verbeteractie twee lessen (‘mol’ en ‘submicrodiagrammen’) gegeven worden, wordt de enquête ook twee keer afgenomen. Met deze enquête kunnen leerlingen feedback geven op de gegeven lessen. Er is bewust gekozen voor een enquête, zodat ook elke leerling zijn mening kan geven over de gegeven les. De gebruikte enquête is vormgegeven door het SLO en bestaat uit drie categorieën. De eerste categorie is gericht op de opzet van de ontwikkelde les. Hierbij gaat het voornamelijk om de organisatie van de les goed verloopt en ook positief bij de leerlingen overkomt. De tweede categorie gaat in op de uitvoering van de les. Doen de leerlingen wat van ze verwacht wordt en hoe wordt de uitvoering ervaren door de leerlingen? De laatste categorie richt ze voornamelijk op de inhoud en hoe de les in totaliteit wordt ervaren. Elke categorie bestaat uit een aantal stellingen waarbij de leerlingen een kruisje moeten zetten op een vierpuntschaal. De vierpuntschaal bestaat uit de volgende vier keuzes: helemaal mee eens, beetje mee eens, beetje mee oneens en helemaal mee oneens. Aan het einde van elke categorie kunnen de leerlingen schriftelijk verbetertips geven. Daarnaast moeten ze aan het einde een cijfer geven aan de les die ze gevolgd hebben (SLO, 2013).

Van elke categorie worden de gemiddelde scores in een tabel gezet. Als voorbeeld is voor de les ‘submicrodiagrammen’ de categorie ‘opzet van de les’ uitgewerkt in tabel 5.6

Tabel 5.6 De eerste vijf stellingen van de eerste categorie ‘opzet van de les’, waarbij de gemiddelde scores en de spreiding van de scores in de laatste kolom gegeven worden.

Stellingen	Gemiddelde scores (spreiding)
1. In deze les was duidelijk wat ik moest doen.	
2. In deze les was duidelijk hoe ik te werk moest gaan.	
3. De opdrachten van deze les waren duidelijk genoeg om er zelfstandig (alleen of met mijn groepje) mee aan de slag te gaan.	
4. De voorbeelden die gebruikt werden om neerslagreacties op alle drie de niveaus (macro, micro en symbolisch) uit te leggen waren goed.	
5. De voorbeeldopgave begreep ik helemaal.	

Per categorie zal aan de hand van de gemiddelde scores en de gegeven opmerkingen conclusies getrokken worden over de desbetreffende categorie. Dit wordt voor zowel de les over ‘mol’ gedaan als de les over ‘submicrodiagrammen’. De getrokken conclusies kunnen vervolgens gebruikt worden om onderzoeksvraag 5: ‘Hoe kan de verbeteractie naar aanleiding van de resultaten uit de leerlingen enquête verbeterd worden?’, te beantwoorden.

6. Praktische relevantie

Uit de verlegenheidssituatie komt naar voren dat het algoritmisch aanleren van chemisch rekenen in de huidige situatie niet werkt bij het rekenen aan neerslagreacties. Leerlingen lopen vast doordat ze moeite hebben met het hoofconcept 'mol' en zich geen voorstelling kunnen maken van de beschreven situatie. Uit de literatuur, paragraaf 4.1, blijkt dat het conceptueel aanleren van chemisch rekenen een mogelijke oplossing kan zijn, waarbij de hoofdconcepten 'mol' en 'wet van behoud van massa' in een verbeteractie uitgelegd worden aan de hand van analogieën en submicrodiagrammen. Ik verwacht dat leerlingen door deze verbeteractie een beter conceptueel beeld gaan krijgen van neerslagreacties met de beide hoofdconcepten 'mol' en 'wet van behoud van massa'. Wanneer dit conceptueel beeld verbeterd is zouden leerlingen in staat moeten zijn om opdrachten chemisch rekenen met een conceptuele strategie op te lossen, waardoor leerlingen niet meer vastlopen en wel een voorstelling kunnen maken van de beschreven neerslagreactie. Dit zou er uiteindelijk voor moeten zorgen dat leerlingen succesvoller zijn in het chemisch rekenen aan neerslagreacties.

Als deze hypothese uitkomt, dan zou deze conceptuele strategie ook voor andere concepten gebruikt kunnen worden, denk aan redox, zuur-base en andere reacties waar de leerlingen mee te maken krijgen. Daarnaast kan het een bewijs zijn dat het gebruik van analogieën en tekeningen (zoals submicrodiagrammen) kan helpen bij het conceptueel aanleren van een abstract concept. Denk aan atoombouw, molecuulbouw, maar ook intermoleculaire krachten en andere eigenschappen op micro niveau. Voor de overige bètavakken kan met name het gebruik van analogieën een geschikte methode zijn om de abstracte vak concepten inzichtelijk te maken.

Mocht nu echter blijken dat de verbeteractie geen conceptueel beeld ontwikkelt bij de leerlingen, dan zou er in eerste instantie gekeken kunnen worden naar andere, mogelijk geschiktere analogieën. Daarbij moet wel in oog worden gehouden dat de analogie, begrijpelijk is, aansluit bij de belevingswereld van de leerling en de analogie moet één op één dezelfde oplossing geven als het chemische probleem (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002). Het kan ook zijn dat het gebruik van analogieën en submicrodiagrammen toch niet geschikt blijkt te zijn om de hoofconcepten 'mol' en 'wet van behoud van massa' bij neerslagreacties conceptueel aan te leren. Dan kan dat een aanleiding zijn om een andere conceptuele methode, bijvoorbeeld een concept vanuit historisch perspectief aanleren, te onderzoeken (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002). Het kan ook zijn dat de oplossing eerder gezocht moet worden in het probleemoplossend denken van de leerlingen. Onderzoek naar het aanleren van het probleemoplossend denken, kan een vervolg zijn op dit onderzoek (Bodner, 2015; Yuriev, Naidu, Schembri, & Short, 2017).

7. Resultaten & discussie vooronderzoek

7.1 Resultaten & discussie onderzoeksvraag 1.

Hieronder worden de resultaten besproken die een antwoord geven op onderzoeksvraag 1. De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

1) Welke misconcepten hebben de leerlingen rondom het concept “neerslagreactie”?

Deze vraag wordt beantwoord aan de hand van de resultaten die verkregen zijn uit de conceptuele toets en het probleemgericht interview. De ruwe data van de conceptuele toets en het probleemgericht interview is terug te vinden in bijlage 11.4 en 11.5.

Resultaten en conclusie

In totaal hebben 25 leerlingen uit havo 5 de conceptuele toets gemaakt. Het aantal leerlingen dat een bepaald misconcept vertoont is weergegeven in tabel 7.1. De beschreven misconcepten zijn uit verschillende literatuur bronnen gehaald (Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010; Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996).

Tabel 7.1 Misconcepten 1 t/m 8, het aantal leerlingen dat een bepaald misconcept vertoond heeft in de conceptuele van de in totaal 25 leerlingen.

Misconcepten	Aantallen leerlingen
1. Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	13
2. Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	25
3. De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	3
4. Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	1
5. Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	13
6. Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	13
7. Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de ‘partners gewisseld worden’.	4
8. Een vast zout dat ontstaat uit een neerslag tekenen als ongeladen bolletjes die toch nog in oplossing zitten.	21

In tabel 7.1 is te zien dat de misconcepten twee (n=25) en acht (n=21) door de meerderheid van de in totaal 25 leerlingen vertoond wordt. De misconcepten 1, 5 en 6 worden door iets meer dan de helft van de leerlingen vertoond (n=13). De overige drie misconcepten, 3 (n=3), 4 (n=1) en 7 (n=4) worden door de minderheid van de leerlingen vertoond. Uit deze resultaten blijkt dat de misconcepten die in de literatuur beschreven staan ook in verschillende mate voorkomen in havo 5. Gekeken naar de misconcepten 2, 3, 4, 5 en 7 die mogelijk invloed hebben op het chemisch rekenen, dan vallen vooral misconcept 2 (n=25) en misconcept 5 (n=13) op. Het hebben van misconcept 2 kan aangeven dat het hoofdconcept “wet van behoud van massa” niet beheerst wordt, wat een van de twee belangrijkste concepten is binnen het chemisch rekenen zoals blijkt uit de literatuur (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002; Salta & Tzougraki, 2011). Dit geldt in iets mindere mate ook voor het hebben van misconcept 5. Een leerling die dit misconcept heeft, kan mogelijk fouten maken met het juist opstellen van een reactievergelijking. Het foutief opstellen van een reactievergelijking kan tot een fout antwoord leiden wanneer er aan de reactie gerekend dient te worden.

Bij de misconcepten 1, 6 en 8, die geen invloed hebben op het chemisch rekenen vallen voornamelijk 1 (n=13) en 8 (n=21) op. Dit foutief conceptueel beeld kan gevolgen hebben voor andere thema's dan chemisch rekenen, zoals het verklaren van stoffeigenschaften zoals stroomgeleiding.

In tabel 7.2 is het aantal leerlingen van de 25 dat een misconception heeft vertoond per vraag weergegeven.

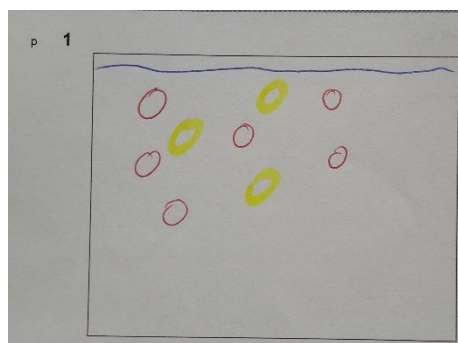
Tabel 7.2 Misconceptionen 1 t/m 8 en aantallen leerlingen van de 25 die het misconception vertoond hebben in de conceptuele toets per vraag, waarbij het aantal leerlingen die de vraag gemaakt heeft aangegeven is. (x= misconception komt niet voor bij deze vraag)

misconceptionen	Aantal leerlingen per vraag				
	Vraag 1 (n=25)	Vraag 2 (n=20)	Vraag 3 (n=25)	Vraag 4 (n=23)	Vraag 5 (n=23)
1. Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	2	x	X	9	8
2. Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	18	16	14	18	17
3. De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	x	x	x	2	1
4. Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	x	x	x	0	1
5. Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	9	x	x	7	7
6. Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	x	3	6	8	9
7. Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de 'partners gewisseld worden'.	x	x	x	4	3
8. Een vast zout dat ontstaat uit een neerslag tekenen als ongeladen bolletjes die toch nog in oplossing zitten.	5	7	10	11	9

Uit deze tabel 7.2 vallen zaken op die de resultaten uit tabel 7.1 in het juiste perspectief zetten. Ten eerste kan niet elk misconception tot uiting komen in elke vraag, waardoor de kans dat een leerling een misconception vertoont voor de misconceptionen 2 en 8 groter is dan andere misconceptionen. Daarnaast blijkt uit de beschreven aantallen achter elk misconception in tabel 7.2 variatie te zitten. Bijvoorbeeld misconception 1 is bij vraag 1 maar door twee leerlingen vertoond in tegenstelling tot vraag 4 en 5 waarbij respectievelijk negen en acht leerlingen dit misconception vertonen. Deze variatie komt in verschillende mate ook terug bij de andere misconceptionen.

Mogelijke oorzaken zijn tijdsgebrek en de vraagstelling in de vragen. De vragen waren een onderdeel van een grotere toets, met als gevolg dat twee leerlingen vraag 4 en 5 niet gemaakt hebben. Uit de vraagstelling komt niet duidelijk genoeg naar voren waar de leerlingen rekening mee moeten houden, hierdoor hebben ze vaak niet in de gaten dat het tekenen van het juist aantal deeltjes van belang is (misconception 2). Dit geldt ook voor het aangeven van de lading. Dat een aantal leerlingen wel

bewust bezig is met het belang van de hoeveelheid deeltjes blijkt uit de juiste verhouding waarin deeltjes getekend worden, zie figuur 7.1.



Figuur 7.1 Het antwoord van een leerling uit havo 5 op vraag 1. uit de conceptuele toets (zie bijlage 11.1), waarbij ze wel de verhouding 1:2 tekent maar niet het juiste aantal, wat namelijk 5 gele bollen en 10 rode bollen is.

Hierdoor kan bij het vertonen van misconception 2 niet direct de conclusie getrokken worden dat het hoofdconcept: “wet van behoud van massa”, ontbreekt. Daarnaast bleek achteraf vraag 2 ook lastig te maken te zijn voor de leerlingen aangezien het chromaat ion, niet in de oplosbaarheidstabel in BINAS staat. Hierdoor konden de leerlingen niet weten dat dit zout slecht oplosbaar was, met als gevolg dat vijf leerlingen de vraag in zijn geheel overslaan.

Om een specifiek beeld te krijgen van de misconcepten en problemen die leerlingen ondervinden bij het chemisch rekenen, staan in tabel 7.3 de verkregen resultaten van het probleemgericht interview. De drie gekozen leerlingen zijn bewust gekozen vanwege het aantal misconcepten dat ze vertoond hebben op de conceptuele toets en het cijfer dat ze behaald hebben op het schoolexamen (SE).

Tabel 7.3 De geconstateerde misconcepten en problemen die de laag-, middelmatig en hoog scorende leerlingen vertoonden en de tijd die ze gehad hebben om de opdracht in het probleemgericht interview op te lossen. Daarnaast staat vermeld hoeveel misconcepten ze hadden in de conceptuele toets en welk cijfer ze behaald hebben op schoolexamen (SE).

Leerling	Tijd	Misconcepten/problemen
Laag scorende leerling Conceptuele toets: 5 miscon. Cijfer SE: 4,0	32 min.	1. Naamgeving sulfaat-ion niet herkend. 2. Aantal mol is gelijk aan de concentratie. 3. Kan het begrip ‘mol’ niet voorstellen. 4. Het niet gebruiken van de verhouding in de reactievergelijking. (misconcept 2) 5. Verkeerd gebruik van geleerde formules. 6. Verkeerde gegevens opzoeken in BINAS.
Middelmatig scorende leerling Conceptuele toets: 3 miscon. Cijfer SE: 5,5	21 min.	1. Naamgeving aluminiumsulfaat wordt lastig gevonden. 2. Heeft moeite met het begrip overmaat. 3. Naamgeving nitraat-ion kent de leerling niet. 4. Weet niet hoe ze moet beginnen, kan zich geen voorstelling maken van een zoutoplossing. (misconcept 2) 5. Verkeerde verkleiningsfactor tussen een liter en 25 mL, zit er een factor 10 naast.

Hoog scorende leerling Conceptuele toets: <i>3 miscon.</i> Cijfer SE: 7,2	8 min.	1. Hij kent de aangeleerde formules niet meer. 2. Kan zich geen voorstelling maken van het begrip mol en de gegeven reactievergelijking. 3. Hij denkt dat de coëfficiënten een massaverhouding zijn. (Misconcept 2)
--	--------	---

Kwantitatief valt op dat de laagst scorende leerling, de meeste tijd nodig heeft (32 minuten) en de meeste problemen/misconcepten (n=6) heeft om de opdracht op te lossen. Zowel de tijd als het aantal misconcepten neemt af bij de middelmatige en hoog scorende leerling ten opzichte van de laag scorende leerling zoals blijkt uit tabel 7.3. Uit de problemen en misconcepten die de leerlingen hebben, vallen de volgende zaken op. Bij de laag scorende leerling (probleem 3) en de hoog scorende leerling (probleem 2) wordt uitgesproken dat ze geen conceptueel beeld hebben van het begrip mol. De laag- en middelmatige scorende leerling laten daarnaast bij probleem 4 zien dat ze moeite hebben met vinden en/of juist gebruiken van de coëfficiënten binnen een reactievergelijking wat blijkt geeft van het hebben van misconcept 2: “Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)”. Uit probleem 2 van de laag scorende leerling en probleem 2 en 5 bij de middelmatig scorende leerling blijkt dat het rekenen aan concentraties en het begrip overmaat ook voor problemen zorgen, zoals dit ook in de literatuur beschreven is (Chandrasegaran, Treagust, Waldrup, & Chandrasegaran, 2008; Fach, de Boer, & Parchmann, 2007). De overige problemen, zoals naamgeving en het niet kunnen reproduceren van rekenformules zorgden er niet voor dat de opdracht niet opgelost kon worden.

Het is voor de interviewer lastig om alle gedachten van de leerlingen naar boven te halen en zodoende inzicht te krijgen in de problemen en misconcepten die de leerlingen ervaren rondom het maken van de opdracht. Doordat het semi gestructureerd was, wordt er binnen elk interview anders gereageerd en ook andere vragen gesteld. Daarnaast is chemisch rekenen een onderwerp dat bij de leerlingen een half jaar geleden voor het laatst uitgebreid aan bod is gekomen met oefeningen en uitleg.

Uit al deze resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden. Ook al zijn de resultaten uit de conceptuele toets niet volledig betrouwbaar vanwege onjuiste vraagstelling, tijdsgebrek en het ontbreken van een stof in BINAS, kan er toch gezegd worden dat er veel misconcepten aanwezig zijn binnen havo 5 rondom het concept neerslagreacties. Met name misconcept 5 wordt door de meerderheid van de leerlingen vertoond en kan een nadelig gevolg zijn op het chemisch rekenen aan neerslagreacties, doordat het hoofdconcept: “wet van behoud van massa” niet volledig begrepen wordt. Aangezien er twijfels zijn over de betrouwbaarheid van de resultaten van misconcept twee kunnen hier minder harde conclusies uit getrokken worden. Dit neemt niet weg dat het toch het onderzoeken waard is.

Dat het hebben van misconcepten een nadelig gevolg heeft bij het chemisch rekenen wordt bewezen met de resultaten uit het probleemgericht interview. De resultaten uit het probleemgericht interview laten zien dat het hebben van misconcepten rondom de hoofdconcepten, wet van behoud van massa (misconcept twee), ‘mol’, concentratie en overmaat er voor zorgen dat een opdracht chemisch rekenen aan neerslagreacties niet zonder hulp opgelost kan worden. Deze resultaten

sluiten aan bij de vooronderstelling en de bevindingen uit de literatuur, die beschrijven dat het hebben van misconcepten een oorzaak kan zijn voor het niet kunnen oplossen van een opdracht chemisch rekenen (Gabel, 1999; Kimberlin & Yezierski, 2016; Taskin & Bernholt, 2012).

Toch worden deze resultaten deels bepaald door de vraagstelling in de conceptuele toets. De conceptuele toets zal daarom aangepast moeten worden voor de havo 4 groep, waarbij duidelijk wordt gemaakt dat het tekenen van het juiste aantal deeltjes van belang is en zal het chromaat ion vervangen worden door een ion die wel vermeld staat in de oplosbaarheidstabel in BINAS.

7.2 Resultaten & discussie onderzoeksvraag 2.

Hieronder worden de resultaten besproken die een antwoord geven op onderzoeksvraag 2. De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

- 2) *Welke strategieën gebruiken leerlingen bij het oplossen van een opdracht chemisch rekenen aan een neerslagreactie?*

Deze vraag wordt beantwoord aan de hand van de resultaten die verkregen zijn uit het probleemgericht interview, de ruwe data hiervan is terug te vinden in bijlage 11.5

Resultaten en discussie

Van de drie leerlingen uit havo 5 is gekeken per denkstap welke strategie ze gebruiken en of ze hierbij hulp hebben gehad. In tabel 7.4 zijn de verschillende stappen weergegeven die de leerlingen moeten maken om de opdracht op te lossen. Daarbij wordt gekeken of deze stap gezet is door middel van een algoritmische, probleemoplossende of conceptuele strategie.

Tabel 7.4 Hier wordt per denkstap bekeken, welke strategie de laag- (L), middelmatig- (M) en hoog scorende leerling toegepast heeft en of deze hulp (rood) of geen hulp (groen) gehad heeft.

Stappen binnen de opdracht		Algoritmisch	Probleemoplossend	Conceptueel
1. Leest het probleem voor.	L	x		
	M			x
	H			x
2. Aantal mol stof ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) in 25 mL.	L			x
	M			x
	H			x
3. Aantal mol (SO_4^{2-}) ionen uitrekenen.	L	x		
	M	x		
	H			x
4. Aantal mol sulfaat ionen is gelijk aan aantal mol loodsulfaat.	L		x	
	M	x		
	H	x		
5. Massa loodsulfaat uitrekenen.	L			x
	M	x		
	H	x		

Als er kwantitatief naar de resultaten wordt gekeken dan valt op dat de laag scorende leerling de stappen 1 tot en met 5 zowel algoritmisch (stappen 1 en 3), probleemoplossend (stap 4), als conceptueel (stappen 2 en 5) wil oplossen. Bij elke stap heeft de laag scorende leerling hulp nodig om het tot een goed einde te brengen. De middelmatige scorende leerling maakt zowel gebruik van

een algoritmische (stappen 3 tot en met 5) als een conceptuele strategie (stappen 1 en 2). Bij de eerste twee stappen die de leerling conceptueel wil oplossen heeft de leerling hulp nodig. Deze hulp heeft de leerling niet nodig bij stap 3 tot en met 5, die algoritmisch opgelost wordt. De hoog scorende leerling past zowel conceptuele (stappen 1 tot en met 3) als algoritmische strategieën toe (stappen 4 en 5), de leerling heeft alleen bij stap 4 eenmalig hulp nodig. Dit verwachte verschil tussen de drie leerlingen sluit aan bij de theorie van Schmidt (1994, 1997) die beschrijft dat leerlingen die weinig tot geen conceptuele kennis hebben van een bepaalde situatie, de opdracht algoritmisch proberen op te lossen. Dit zien we terug bij de laag en middelmatig scorende leerling. Terwijl de hoog scorende leerling, die meer conceptuele kennis heeft, maar één keer hulp nodig heeft en de opdracht ook deels conceptueel oplost.

Kwalitatief gezien, is de laag scorende leerling in de stappen één en drie op zoek naar formules die hij niet gevonden krijgt, wat wijst op een algoritmische strategie. In stap twee en vijf probeert hij te beredeneren vanuit de opdracht hoe de leerling een oplossing gaat krijgen, wat hem niet lukt zonder hulp. In stap vier probeert hij van alles met de gegevens die hij op dat moment heeft, maar komt niet tot een goed antwoord. Het lijkt er op dat de leerling hier probleemoplossend probeert te denken. Door zijn gevarieerde manier van aanpak, ontbreekt het aan structuur en is zijn strategie erg rommelig en onsuccesvol. De middelmatige leerling kan zich de opdracht niet conceptueel voorstellen blijkt uit stap één, ze weet daarnaast niet hoe ze moet beginnen en probeert ook niets uit. Het niet kunnen starten aan een opdracht is een kenmerk van het niet probleemoplossend kunnen denken, volgens de theorie van Yriev et al. (2017). Wanneer ze aan het begin geholpen wordt gaat ze goed verder en maakt ze een, voor de onderzoeker onverklaarbare rekenfout. In stap drie tot en met vijf maakt ze gebruik van geleerde algoritmes en weet deze ook succesvol uit te voeren. De hoog scorende leerling weet in stap één al hoe hij de opdracht gaat aanpakken omdat hij meteen na het lezen begint met het oplossen van de verschillende stappen. Hij beredeneert in stap twee en drie waarom hij bepaalde rekenstappen uitvoert, zo zegt hij bijvoorbeeld bij stap 2: "40x 25 mL is een liter, dus de verkleining is 40x" (Kuiper, 2017). De enige fout die hij maakt is het verkeerd gebruik van de coëfficiënten, wat mogelijk verklaard kan worden met het niet conceptueel begrijpen van het begrip mol wat in paragraaf 7.1 bij de hoog scorende leerling beschreven wordt.

Deze resultaten dienen kritisch bekeken te worden. Het is zoals eerder vermeld een onderwerp dat voor deze leerling een half jaar geleden aan bod is gekomen in de lessen scheikunde. Daarnaast is het categoriseren van de gedachten van leerlingen in strategieën een interpretatie die door de onderzoeker in de methodebeschrijving vorm is gegeven. Het hoge interpretatiegehalte zorgt voor een zekere onbetrouwbaarheid in de bovenstaande resultaten.

Uit de bovenstaande resultaten kan het volgende geconcludeerd worden. De laag scorende leerling neigt naar een algoritmische aanpak, deze is alleen niet succesvol doordat hij zich de aangeleerde algoritmes niet meer herinnert. Hierdoor heeft hij bij elke stap hulp nodig en is zijn aanpak erg rommelig. De middelmatige leerling laat zien dat ze een algoritmische aanpak goed beheerst, het ontbreekt alleen aan probleemoplossend of conceptueel denken. De hoog scorende leerling heeft een goed conceptueel beeld van het grootste gedeelte van de opdracht en weet om deze reden op de juiste plekken de algoritmes toe te passen, alleen het conceptueel begrip rondom het concept "mol" ontbreekt. Deze bevindingen zijn deels in overeenstemming met de verwachtingen. De hoog scorende leerling maakt onder andere gebruik van een conceptuele strategie, maar ook van aangeleerde algoritmes. De middelmatig scorende leerling maakt voornamelijk gebruik van een algoritmische strategie, terwijl de laag scorende leerling een variatie aan strategieën lijkt te gebruiken die allemaal onsuccesvol zijn.

8. Verbeteractie

In dit hoofdstuk wordt de gebruikte verbeteractie beschreven. Vanuit de verkregen resultaten in hoofdstuk 7 en de bestudeerde theorie, zijn er drie ontwerpcriteria ontstaan. Uit de resultaten van de conceptuele toets (misconcept 2 en 5) kan afgeleid worden dat de meerderheid van de leerlingen ($n \geq 13$ van de 25) mogelijk moeite heeft met het hoofdconcept “wet van behoud van massa” (Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010; Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996; Furió, Azcona, & Guisasola, 2002; Salta & Tzougraki, 2011). Uit het probleemgericht interview blijkt daarnaast dat het hoofdconcept: “mol” niet conceptueel begrepen wordt. Het eerste ontwerpcriterium zal dan ook gericht zijn op het aanleren van de concepten: “wet van behoud van massa” en “mol”. Uit de onderzoeksresultaten van paragraaf 7.2 en de literatuur blijkt dat de middelmatige leerling vaak gebruik maakte van algoritmische strategieën en de hoog scorende leerling gebruik maakte van conceptuele strategieën. Dit had tot gevolg dat de middelmatig scorende leerling met een conceptueel beeld meer hulp nodig had dan de hoog scorende leerling. Iets conceptueels aanleren kan volgens de theorie er voor zorgen dat leerlingen ook succesvol zijn in het oplossen van opdrachten waarin een nieuwe situatie beschreven wordt (BouJaoude & Barakat, 2003; Chandrasegaran, Treagust, Waldrip, & Chandrasegaran, 2008; Furió, Azcona, & Guisasola, 2002). Het tweede ontwerpcriterium is dat er een conceptuele strategie aangeleerd moet worden. Volgens de theorie kan een onderwerp op drie manieren conceptueel aangeleerd worden, namelijk door gebruik te maken van analogieën, submicrodiagrammen of iets vanuit een historisch perspectief te benaderen (Devetak, Vogrinc, & Glazar, 2008; Furió, Azcona, & Guisasola, 2002). Het derde ontwerpcriterium is dan ook dat de verbeteractie op minimaal één van deze drie conceptuele aanpakken gebaseerd is. Uiteindelijk heeft de ontwikkelde verbeteractie als doel om leerlingen een conceptueel begrip aan te leren rondom neerslagreacties zodat chemisch rekenen aan dit concept verbeterd wordt.

De ontwikkelde verbeteractie bestaat uit twee lessen, de eerste les is gericht op het hoofdconcept “mol”, de tweede les is gericht op het andere hoofdconcept namelijk “de wet van behoud van massa”.

8.1 ‘Mol’

Uit met name de resultaten van het probleemgericht interview blijkt dat leerlingen moeite hebben met het begrip mol. De goed scorende leerling gaf aan dat hij zich niets kon voorstellen bij het begrip mol, hij zegt letterlijk: “voor mij is ‘de mol’ simpelweg een getal waar ik mee kan rekenen” (Kuiper, 2017). Deze les gaat zich richten op het hoofdconcept ‘mol’ (ontwerpcriterium 1) door gebruik te maken van analogieën (ontwerpcriterium 3) zodat de leerling ‘de mol’ conceptueel kunnen voorstellen (ontwerpcriterium 2). De reden dat er gekozen wordt voor het gebruik van analogieën is dat dit efficiënt blijkt te werken (Uthe, 2002).

Uit de theorie blijkt dat de problemen rondom het concept ‘mol’ voornamelijk worden veroorzaakt door onduidelijkheid die er heerst over de definitie van het concept (Schmidt, 1997; Furió, Azcona, & Guisasola, 2002). Schmidt (1997) heeft om deze reden de volgende definitie van het concept ‘mol’ gedefinieerd: “1 mol bevat $6,022 \cdot 10^{23}$ deeltjes van X (= atomen, moleculen, ionen etc.)” (Schmidt, 1997). Deze versimpeling moet het begrip begrijpbaar maken, maar niets afdoen aan de toepasbaarheid van het begrip binnen de ‘schoolscheikunde’. Om deze definitie leerlingen conceptueel aan te leren is het van belang dat ze een voorstelling kunnen maken van het gigantische getal $6,022 \cdot 10^{23}$, oftewel het getal van Avogadro. De ontwikkelde les is gebaseerd op een les die beschreven is door Uthe (2002).

De ontwikkelde les bestaat uit vier onderdelen:

- De grootte van het getal van Avogadro wordt duidelijk gemaakt aan de hand van een analogie.
- De toepassing van het getal van Avogadro wordt duidelijk gemaakt aan de hand van een opdracht.
- De chemische hoeveelheid met de eenheid mol, wordt duidelijk gemaakt aan de hand van een analogie.
- De toepassing van de mol wordt duidelijk gemaakt aan de hand van een aantal opdrachten.

Zowel het lesvoorbereidingsformulier, de presentatie en de uitgedeelde oefenopgaves zijn respectievelijk in bijlage 11.6 t/m 11.8 terug te vinden. De gekozen analogieën moeten volgens Furio et al. (2002) aan vier voorwaarden voldoen:

- de analogie moet begrijpelijk zijn;
- de relatie tussen de analogische situatie, die bekend is voor de leerling en de chemische situatie waarin het concept zit moet duidelijk te zien zijn;
- de oplossingen die gegeven worden door de analogie moeten één op één te verplaatsten zijn naar het chemische conceptuele probleem;
- ze moeten een lange tijd gebruikt worden.

Bij het kiezen en ontwikkelen van deze eerste les zijn deze vier voorwaarden meegenomen. Hierdoor zijn de volgende analogieën gekozen om het getal van Avogadro inzichtelijk te maken:

- hoeveel auto's zijn er op aarde? (Ca. 1.000.000.000);
- hoeveel mensen zijn er op de wereld? (7.442.000.000);
- hoeveel zandkorrels ligt er op het strand in Texel? (1.000.000.000.000.000.000.000 = 1 triljard);
- "Wat als elke persoon tachtig jaar zou worden en op aarde heel de dag zandkorrels begint te tellen en dit doet met een snelheid van 1 korrel per seconde, hoeveel zandkorrels zouden er geteld worden?" Het verkregen aantal, $1,86 \cdot 10^{19}$, is maar 0,0031% van het getal van Avogadro.

De analogieën die gebruikt zijn om het begrip mol uit te leggen zijn:

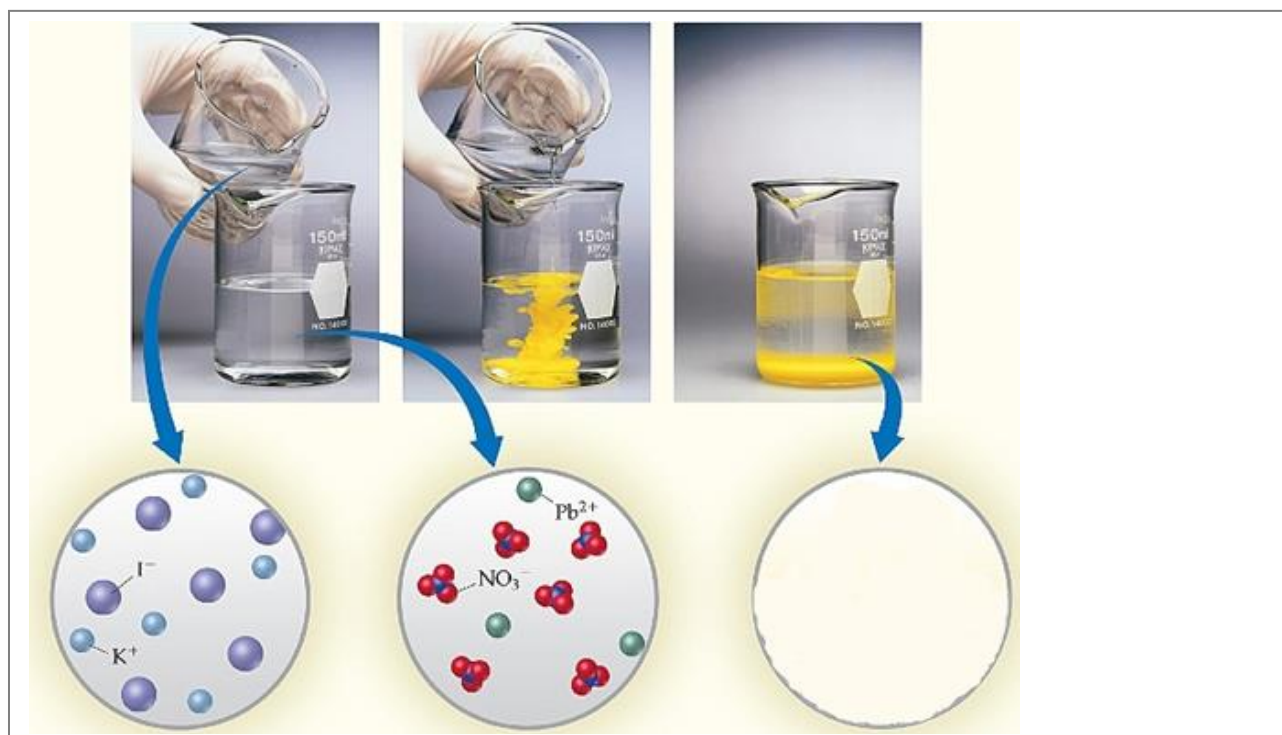
- een dozijn eieren, bevat 12 eitjes;
- een mol is een krat waarin precies $6,022 \cdot 10^{23}$ deeltjes in kunnen.

8.2 Submicrodiagrammen

De tweede les is gericht om het hoofdconcept 'wet van behoud van massa' conceptueel uit te leggen (ontwerpcriteria 1 en 2), dit wordt gedaan door gebruik te maken van het tekenen van submicrodiagrammen. Het is de bedoeling dat met submicrodiagrammen de verbanden duidelijk worden tussen de drie niveau's van Johnstone (1991), dat is ook tevens de reden dat er voor deze conceptuele methode gekozen is. Doordat leerlingen zelf modellen moeten tekenen, maken ze volgens Davidowitz (2009) gebruik van een hoger denkniveau, dan bij het gebruik van algoritmes. Bij het maken van deze tekeningen is het belangrijk dat de leerlingen de stoichiometrische verhouding aanhouden die in de reactievergelijking tot uiting komt. Vervolgens is het aan de leerlingen om een vertaalslag te maken naar het macro niveau waarbij de werkelijke massa's meegenomen worden (Davidowitz, Chittleborough, & Murray, 2009)

Het ontwikkelde lesmateriaal en de lesvoorbereiding is in bijlage 11.9 terug te vinden. De les bestaat uit drie casussen die ieder uit een aantal opdrachten bestaan. Een deel van de casus staat in figuur 8.1 weergegeven.

Casus I



Figuur 8.1: Afbeelding van casus I. Bij deze afbeeldingen horen twee opdrachten waarbij ze zowel de reactie die optreedt op symbolisch niveau moeten uitschrijven als het tekenen van het ontstane product.

De casus in figuur 8.1 is geschreven vanuit een situatie op macro niveau, waarbij de leerlingen in opdracht 1 een tekening op micro niveau moeten maken. Bij opdracht 2 moeten de leerlingen de reactie weergeven op symbolisch niveau. De leerlingen maken deze twee opdrachten in eerste instantie individueel en bespreken vervolgens hun antwoord met een medeleerling. Door de leerlingen eerst zelfstandig te laten werken en vervolgens elkaar te laten verbeteren bekijft het gemaakte beter, dan dat de zelfde informatie gedoceerd wordt (Williamson, 2014). Uiteindelijk worden de resultaten klassikaal besproken en worden geconstateerde misconcepten op het bord geschreven. Alle acht misconcepten, die in de literatuur beschreven staan, komen op het bord te staan, zo nodig aangevuld door de docent.

Vervolgens maken leerlingen casus 2, waarbij weer een situatie op macro niveau gegeven wordt en de leerlingen in twee opdrachten de situatie op micro- en op symbolisch niveau moeten weergeven. Dit doen ze weer eerst zelfstandig, vervolgens in tweetallen en uiteindelijk klassikaal. Met deze tweede casus wordt gecontroleerd of de leerlingen zich bewust zijn van de misconcepten en ze daardoor voorkomen. Mocht dit voor een misconception niet het geval zijn dan wordt dit klassikaal besproken.

Uiteindelijk wordt in casus 3 en 4 de koppeling gemaakt tussen de beide hoofdconcepten; 'mol' en 'wet van behoud van massa'. In figuur 8.2 is casus 3 afgebeeld.

Casus III

Natriumnitraat is verontreinigd met natriumchloride. Men wil het massapercentage natriumchloride in dit verontreinigde natriumnitraat bepalen. Hiertoe lost men 12,0 gram van het mengsel op in water. Vervolgens voegt men een overmaat zilvernitraatoplossing toe. Hierbij ontstaat een neerslag.

- p 5 Teken de reactie van de neerslagvorming op micro niveau.
- p 6 Noteer de reactievergelijking van deze neerslagvorming.

Er blijkt 0,672 gram neerslag gevormd te zijn.

- p 7 Bereken hoeveel mol chloride-ionen aanwezig zijn in 12,0 gram van het mengsel?
- p 8 Bereken hoeveel gram natriumchloride de verontreinigde natriumnitraat bevatte?

Figuur 8.2: Casus 3 moet er voor zorgen dat leerlingen een koppeling maken tussen het conceptueel begrijpen van neerslagreacties en de chemische hoeveelheid met zijn eenheid 'mol'.

Eerst maken de leerlingen opdrachten 5 en 6 individueel, om elkaars antwoord vervolgens weer te bespreken, waarbij de leerlingen gedwongen worden om de beschreven situatie op macro niveau te vertalen naar micro- en het symbolische niveau. Uiteindelijk worden de antwoorden klassikaal besproken en mogelijke misconcepten aangepakt. Vervolgens maken de leerlingen opdrachten 7 en 8, eerst individueel en vervolgens bespreken ze hun antwoord samen. Hier moeten de leerlingen de koppeling leggen tussen het getekende submicrodiagram en het concept 'mol'. Uiteindelijk wordt deze opdracht klassikaal besproken. De link tussen het rekenen aan neerslagreacties en het conceptueel begrijpen van neerslagreacties wordt door de docent duidelijk gemaakt aan de hand van de gegeven antwoorden bij casus III. Vervolgens maken de leerlingen op gelijke wijze casus vier.

9. Resultaten & discussie na verbeteractie

9.1 Resultaten en discussie onderzoeksvraag 3

Hieronder worden de resultaten besproken die een antwoord geven op onderzoeksvraag 3. De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

- 3) *Welke misconcepten hebben de leerlingen rondom het concept “neerslagreactie” na de verbeteractie?*

Deze vraag wordt beantwoord aan de hand van de resultaten die verkregen zijn uit de conceptuele toets en het probleem gericht interview. De ruwe data van de conceptuele toets en het probleem gericht interview is terug te vinden in bijlage 11.10 en 11.11.

Resultaten en discussie

In totaal hebben 22 havo 4 leerlingen de conceptuele toets gemaakt. Het aantal leerlingen van havo 4 dat een bepaald misconcept heeft vertoond is weergegeven in tabel 9.1. Daarnaast staan de aantallen leerlingen die in havo 5 bij het vooronderzoek een bepaald misconcept vertoond hebben in tabel 9.1. De beschreven misconcepten komen uit verschillende literatuurbronnen (Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010; Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996).

Tabel 9.1 Misconcepten 1 t/m 8, het aantal leerlingen uit havo 4 en havo 5 dat een bepaald misconcept vertoond heeft in de conceptuele van de

misconcepten	Aantallen leerlingen	
	H4 n=22	H5 n=25
1. Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	5	13
2. Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	19	25
3. De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	1	3
4. Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	0	1
5. Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	4	13
6. Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	3	13
7. Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de ‘partners gewisseld worden’.	0	4
8. Een vast zout dat ontstaat uit een neerslag tekenen als ongeladen bolletjes die toch nog in oplossing zitten.	4	21

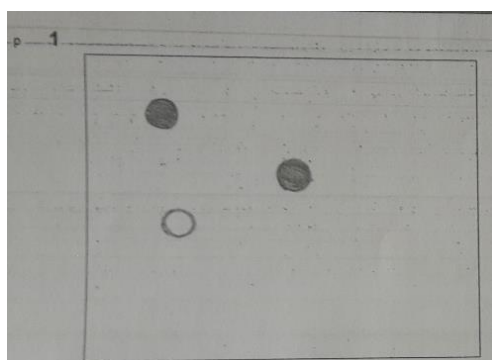
Misconcept 2 is het enige misconcept dat door meer dan de helft van de leerlingen (n=19) vertoond wordt. De misconcepten 1 (n=5), 3 (n=1), 6 (n=3) en 8 (n=4) worden door een minderheid van de leerlingen vertoond. Misconcepten 4 en 7 zijn daarentegen helemaal niet (n=0) vertoond door de leerlingen uit havo 4. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er een duidelijke vermindering is in het hebben van misconcepten rondom het concept neerslagreacties. Alleen blijft misconcept 2 net zoals bij havo 5 (n=25) het meest voorkomende misconcept, zelfs na de verbeteractie bij de havo 4 groep. Misconcept 2 is zoals blijkt uit de theorie wel een misconcept dat een nadelig gevolg kan hebben op het chemisch rekenen (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002; Salta & Tzougraki, 2011).

In tabel 9.2 is het aantal leerlingen van de 25 dat een misconception heeft vertoond per vraag weergegeven.

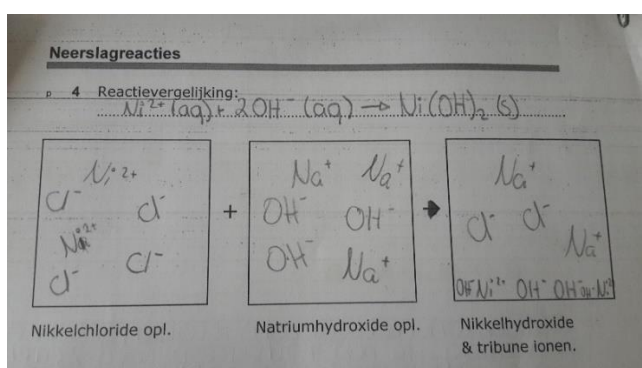
Tabel 9.2 Misconcepten 1 t/m 8 en aantallen leerlingen van de 22 die het misconception vertoond hebben in de conceptuele toets per vraag, waarbij het aantal leerlingen die de vraag gemaakt heeft aangegeven is. (x= misconception komt niet voor bij deze vraag)

misconcepten	Aantal leerlingen per vraag				
	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5
1. Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	0	x	x	6	4
2. Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	7	14	12	9	11
3. De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	x	x	x	1	0
4. Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	x	x	x	0	0
5. Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	3	x	x	1	1
6. Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	x	0	1	3	2
7. Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de 'partners gewisseld worden'.	x	x	x	0	0
8. Een vast zout dat ontstaat uit een neerslag tekenen als ongeladen bolletjes die toch nog in oplossing zitten.	3	1	0	0	0

Zoals ook in paragraaf 7.1 beschreven staat, is na de verbetering van de conceptuele toets nog steeds een variatie te zien in aantallen leerlingen achter elk misconception. Misconcept 2 wordt bijvoorbeeld over alle vijf de vragen verschillend gescoord (n= 7, 14, 12, 9 en 11). In afbeelding 9.1 a&b is dit terug te zien in de antwoorden die een leerling gegeven heeft op opdracht 1 en opdracht 4.



Figuur 9.1a Antwoord van een 4 havo leerling waarbij misconception 2 wordt vertoond er wordt geen rekening gehouden met de wet van behoud van massa.



Figuur 9.1b Antwoord van dezelfde 4 havo leerling waarbij misconception 2 niet wordt vertoond en wel rekening houdt met de wet van behoud van massa.

De leerling uit 4 havo vergeet in opdracht één (figuur 9.1a) van de conceptuele toets (zie bijlage 11.1) het aantal gele (5 stuks) en rode bollen (10 stuks) gelijk te houden aan de beginsituatie, de leerling houdt daardoor geen rekening met de wet van behoud van massa. Wel laat ze zien zich bewust te zijn van de verhouding die twee staat tot één is. In opdracht vier (figuur 9.1b) houdt de leerling wel bewust rekening met de wet van behoud van massa. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de leerling bij de opdrachten 1 t/m 3 het belang van het aantallen gekleurde bollen verkeerd begrepen heeft, aangezien ze wel rekening houdt met de verhouding. Yuriev et al. (2017) geeft in zijn onderzoek aan dat leerlingen geneigd zijn om zo snel mogelijk de oplossing op te schrijven, met als mogelijk gevolg het niet juist lezen/begrijpen van de opgaven. Dit vertroebelt de resultaten en verlaagt de betrouwbaarheid van de conceptuele toets.

Dat de andere misconcepten dan misconcept twee door de minderheid van de groep vertoond wordt, was een uitgesproken verwachting. Of dit ook een sterk bewijs is dat de leerlingen een conceptueel beeld hebben is niet met zekerheid te zeggen. Doordat de opdrachten en de oefeningen uit de verbeteractie erg lijken op de opdrachten in de conceptuele toets, is maar de vraag of ze het ontwikkelde conceptuele beeld ook kunnen toepassen op een nieuwe situatie, wat wel beweerd wordt in de artikelen van Chandrasegaran et al. (2008), Boujaoude & Barakat (2003) en Azcona & Guisasola (2002). Het is lastig om dit uit de resultaten van de conceptuele toets te halen.

Om een specifiek beeld te krijgen van de misconcepten en problemen die leerlingen ondervinden bij het chemisch rekenen, staan in tabel 9.3 de verkregen resultaten van het probleemgericht interview. De drie gekozen leerlingen zijn bewust gekozen vanwege het aantal misconcepten dat ze vertoond hebben. De laag scorende leerling had vier misconcepten, de middelmatig scorende leerling had twee misconcepten en de hoog scorende leerling had er één. In tabel 9.3 staan de verkregen resultaten van het probleem gericht interview.

Tabel 9.3 Geconstateerde misconcepten en problemen die de laag-, middelmatig en hoog scorende leerlingen vertoonden en de tijd die de leerlingen gehad hebben om de opdracht in het probleemgericht interview op te lossen. Daarnaast staat vermeld hoeveel misconcepten ze hadden in de conceptuele toets.

Leerling	Tijd	Misconcepten/problemen
Laag scorende leerling Conceptuele toets: 4 miscon.	17,5 min.	1. Denkt dat gegeven concentratie het aantal mol is. 2. Denkt dat de concentratie gedeeld moet worden door het volume om het aantal mol te krijgen. 3. Gebruikt verkeerde reactie voor de mol verhouding. (misconcept 2) 4. Beheerst het begrip overmaat niet.
Middelmatig scorende leerling Conceptuele toets: 2 miscon.	8 min.	1. Denkt dat hij 25 mL loodnitraat heeft in plaats van aluminiumsulfaat. 2. Kan niet goed uitleggen waarom er niet gekeken hoeft te worden naar de hoeveelheid loodnitraat.
Hoog scorende leerling Conceptuele toets: 1 miscon.	7,5 min.	1. Denkt dat hij de molaire massa van aluminiumsulfaat nodig heeft. 2. Denkt dat het aantal mol aluminiumsulfaat gelijk is aan het aantal mol sulfaat. (misconcept 2)

Kwantitatief valt op dat de laagst scorende leerling, de meeste tijd (17,5 minuten) en problemen/misconcepten ($n=4$) heeft om de opdracht op te lossen. Zowel de tijd als het aantal misconcepten is bij de middelmatig scorende leerling en de hoog scorende leerling lager zoals te zien is in tabel 9.3. Gekeken naar de inhoud van de misconcepten en problemen die vertoond zijn, dan blijkt uit de problemen één en twee dat de laag scorende leerling een onjuist beeld heeft van het concept concentratie. Het concept overmaat wordt zowel door de laag (probleem 4) als de middelmatig scorende leerling (probleem 2) als lastig ervaren. Beide leerlingen kunnen dit begrip niet uitleggen of conceptueel voorstellen. Het vierde misconcept/probleem dat door zowel de laag- (probleem 3) als de hoogscorende leerling (probleem 2) vertoond wordt is het niet conceptueel kunnen voorstellen van het oplossen van aluminiumsulfate.

Deze vertoonde problemen sluiten dan ook erg aan bij misconcept 2 uit de conceptuele toets: “Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)”. Misconcept 2 is zoals al eerder vermeld in bijvoorbeeld paragraaf 7.1 een belangrijk misconcept voor het chemisch rekenen aan reacties. Wanneer leerlingen dit misconcept hebben, kan dit er voor zorgen dat de verkeerde molverhouding gebruikt wordt bij het chemisch rekenen.

Uit al deze resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden. Ook al kan de betrouwbaarheid van de conceptuele toets, na een verbetering, nog steeds in twijfel getrokken worden, kan er toch gezegd worden dat misconcept 2 bij een groot aantal leerlingen aanwezig is. Het hebben van misconcept twee kan nadelige gevolgen hebben bij het chemisch rekenen aan neerslagreacties, doordat het hoofdconcept: “wet van behoud van massa” niet volledig begrepen wordt. In het probleemgericht interview blijkt ook dat bij de laag- en hoog scorende leerling dit leidt tot het niet zonder hulp kunnen oplossen van de rekenopgaven, wat in overeenstemming is met de literatuur (Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Nurrenbern & Pickering, 1987). Andere moeilijke concepten die uit het probleemgericht interview kwamen zijn overmaat en concentratie.

Daarnaast zal nogmaals gekeken moeten worden naar de vraagstelling van de conceptuele toets, aangezien er nog steeds bij elk misconcept variatie te zien is in aantallen leerlingen. Dit wijst er op dat het vraagafhankelijk is of een bepaald misconcept vertoond wordt bij een leerling. Een leerling heeft een misconcept of niet, en dit kan dus niet vraagafhankelijk zijn.

9.2 Resultaten & discussie onderzoeksvraag 4.

Hieronder worden de resultaten besproken die een antwoord geven op onderzoeksvraag 4. De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

- 4) *Welke strategieën gebruiken leerlingen bij het oplossen van een opdracht chemisch rekenen aan een neerslagreactie, na de verbeteractie?*

Deze vraag wordt beantwoord aan de hand van de resultaten die verkregen zijn uit het probleemgericht interview, de ruwe data hiervan is terug te vinden in bijlage 11.11.

Resultaten en discussie

Van de drie leerlingen uit havo 4 is gekeken per denkstap welke strategie ze gebruiken en of ze hierbij hulp hebben gehad. In tabel 9.4 zijn de verschillende stappen weergegeven die de leerlingen moeten maken om de opdracht op te lossen. Daarbij wordt gekeken of deze stap gezet is door middel van een algoritmische, probleemoplossende of conceptuele strategie.

Tabel 9.4 Hier wordt per denkstap bekeken, welke strategie de laag- (L), middelmatig- (M) en hoog scorende leerling toegepast heeft en of deze hulp (rood) of geen hulp (groen) gehad heeft.

Stappen binnen de opdracht		Algoritmisch	Probleemoplossend	Conceptueel
1. Leest het probleem voor.	L	x		
	M	x		
	H		x	
2. Aantal mol stof ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) in 25 mL.	L	x		
	M	x		
	H			x
3. Aantal mol (SO_4^{2-}) ionen uitrekenen.	L	x		
	M			x
	H	x		
4. Aantal mol sulfaat ionen is gelijk aan aantal mol loodsulfaat.	L	x		
	M	x		
	H	x		
5. Massa loodsulfaat uitrekenen.	L	x		
	M	x		
	H	x		

Wanneer er kwantitatief naar de resultaten in tabel 9.4 gekeken wordt, is te zien dat bijna alle toegepaste strategieën door de drie leerlingen voornamelijk algoritmisch zijn ($n=13$ van 15). Daarbij moet opgemerkt worden dat alleen de middelmatige leerlingen zonder hulp de opdracht volledig voltooid heeft. Zowel de laag- als de hoog scorende leerling hebben hulp nodig bij stap 3. Door het ontbreken van een goed conceptueel beeld, zoals blijkt uit paragraaf 9.1 hebben beide leerlingen bij deze stap hulp nodig. Deze bevinding, samen met de fout die de hoog scorende leerling in stap één maakt, gaat tegen de verwachting en de theorie van Schmidt (1994, 1997) in. De verwachting was namelijk dat de hoog scorende leerling een goed conceptueel beeld had van neerslagreacties en daardoor juist alle stappen goed zou doen.

Gekeken naar de inhoud van de opmerkingen die gemaakt zijn, dan valt op dat alle drie de leerlingen gebruik maken van formules (bij stap 2 en stap 5), wat kenmerkend is voor een algoritmische strategie. Ook het opschrijven van de gekregen gegevens in stap één is een kenmerk van een algoritmische aanpak. Dat de hoog scorende leerling in deze stap de verkeerde molaire massa op gaat zoeken, kan mogelijk verklaard worden doordat hij nog niet inziet hoe hij de opdracht moet gaan oplossen. Hij lijkt hier daarom maar gewoon iets te proberen, met een formule die hij kent. Wat in overeenstemming komt met het probleemoplossend denken van Yriev et al. (2017) In stap twee daarentegen laat de hoog scorende leerling conceptueel begrip zien doordat hij geen gebruik maakt van een formule zoals de middelmatig scorende leerling doet ($n=c \times v$), maar kijkt wat de verkleining is tussen een liter en 25 mL. Om stap drie goed op te lossen dienen de leerlingen een goed conceptueel beeld te hebben van het oplossen van aluminiumsulfaat. De laag scorende leerling en de hoog scorende leerling komen niet met de juiste verhouding, dit kan mogelijk komen door een gebrek van dit conceptuele beeld. De middelmatig scorende leerling daarentegen, komt wel tot de juiste verhouding doordat hij zich voorstelt dat er drie sulfaationen vrij komen bij het oplossen van één deeltje aluminiumsulfaat. De stappen 4 en 5 worden succesvol door alle drie de leerlingen algoritmisch opgelost, doordat ze gebruik maken van de gekregen verhouding uit de opdracht (stap 4) en een geleerde formule (stap 5).

Deze resultaten zijn op dezelfde manier tot stand gekomen als bij paragraaf 7.2 en dienen dus ook met een kritisch blik geïnterpreteerd te worden. Het categoriseren van de verschillende gedachtes is veel op interpretatie gedaan waardoor het ook een zekere onbetrouwbaarheid met zich meebrengt.

Toch kan het volgende geconcludeerd worden uit de bovenstaande resultaten. Alle drie de leerlingen maken voornamelijk gebruik van een algoritmische aanpak. Alleen de middelmatig scorende leerling weet door zijn conceptuele aanpak in stap 3 de gehele opdracht succesvol op te lossen. De laag scorende leerling heeft niet alle formules goed op orde, zo weet ze niet hoe ze met concentratie moet rekenen en ontbreekt het dus aan kennis. Hierdoor loopt ze vast in stap 2. De hoog scorende leerling heeft moeite om goed te beginnen en lijkt een probleemoplossende strategie toe te passen, maar komt hier niet succesvol uit.

9.3 Resultaten & discussie onderzoeksvraag 5

Hieronder worden de resultaten besproken die een antwoord geven op onderzoeksvraag 5. De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

- 5) *Hoe kan de verbeteractie naar aanleiding van de resultaten uit de leerlingenenquête verbeterd worden?*

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden wordt er gebruik gemaakt van de resultaten die verkregen zijn aan de hand van de leerling enquête. De ruwe data van deze enquêtes zijn te vinden in bijlage 11.12 en 11.13.

Resultaten & Discussie les 'De mol'

De verkregen resultaten worden geanalyseerd zoals beschreven is in de methode en hebben als doel om inzicht te geven in de kwaliteit van de gegeven les die ontwikkeld was voor de verbeteractie. De enquête bestond zoals beschreven uit drie categorieën; de opzet, de uitvoering en de inhoud. Naast de gegeven stellingen konden leerlingen ook schriftelijke opmerkingen per onderdeel erbij zetten. In totaal hebben twintig leerlingen de enquête ingevuld.

De eerste categorie die bekeken gaat worden is de opzet van de les. Uit de gemiddelde scores kan geconcludeerd worden of de klas het helemaal eens (4), beetje mee eens (3), beetje mee oneens (2), helemaal oneens is (1).

Tabel 9.5 De eerste vijf stellingen rondom de opzet van de les 'De mol' met daarbij de gemiddelde scores en de spreiding (laagste cijfer-hoogste cijfer) van twintig leerlingen

Stellingen	Gemiddelde scores (spreiding)
1. In deze les was duidelijk wat ik moest doen.	4,0 (3-4)
2. In deze les was duidelijk hoe ik te werk moest gaan.	3,5 (3-4)
3. De opdrachten van deze les waren duidelijk genoeg om er zelfstandig (alleen of met mijn groepje) mee aan de slag te gaan.	3,6 (3-4)
4. De voorbeelden die gebruikt werden om het begrip 'mol' uit te leggen waren goed.	4,0 (3-4)
5. De voorbeeldopgave waarbij de massa van 1 mol water uitgerekend werd, begreep ik.	3,6 (2,5-4)

De opzet van de les was positief ontvangen, alles zit aan de bovenkant van het aantal punten dat er te bereiken is zoals blijkt uit tabel 9.5. Meeste leerlingen (n=18) hebben ook geen opmerking of zijn lovend over de les, zo schrijft één leerling: "Wat goed was, was het voorbeeld van de kratten en dozijnen". Hiermee laat deze leerling zien dat het gebruik van een analogie toch goed op de

verbeelding werkt. Toch is ook één leerling kritisch over de gebruikte analogie van Huthe (2002), deze leerling schrijft namelijk: “Dingen zoals zand zijn niet echt interessant. Jongeren zijn geïnteresseerd in eten dus als voorbeeld zou je iets kunnen gebruiken als burgers”. Daarnaast geven drie van de twintig leerlingen aan dat ze de opgaven moeilijk vinden en geeft er één als tip dat er meer klassikale opgaves gedaan moeten worden om het voor hem begrijpelijk te maken.

De tweede categorie die bekeken wordt is de uitvoering van de les. De gemiddelde scores op dit onderdeel staan in tabel 9.6.

Tabel 9.6 De vijf stellingen die gericht zijn op de uitvoering van de les met de gemiddelde scores en de spreiding (laagste cijfer-hoogste cijfer) van twintig leerlingen.

<i>Stellingen</i>	<i>Gemiddelde scores (spreiding)</i>
7. Er waren te weinig opdrachten om goed te oefenen.	1,2 (1-2)
8. Er was voldoende goede begeleiding van de docent om de lessen goed te kunnen uitvoeren.	3,9 (3-4)
9. Er was tijd genoeg om de opdrachten van deze les goed te kunnen uitvoeren.	3,4 (1-4)
10. Tijdens deze les mochten we veel zelf uitzoeken en zelf ontdekken.	3,1 (2-4)
11. Er waren te veel opdrachten om te oefenen.	1,7 (1-3)

De uitvoering van de les wordt ook goed ontvangen, de resultaten hier zijn alleen minder unaniem dan bij de opzet van de les. Gekeken naar de eerste stelling van de uitvoering van de les dan is ruim de meerderheid het er niet mee eens dat er te weinig opdrachten zijn, de leerlingen bezitten een stencil met extra oefeningen. Mochten leerlingen dus niet voldoende hebben aan de opdrachten die gedaan zijn in de les dan kunnen ze nog thuis oefenen. Daar tegenover staat de laatste stelling, waarbij een enkele leerling (n=3) aangeeft dat er te veel opdrachten zijn. Leerlingen hoeven niet alle opdrachten te maken, dus of het totaal aantal opdrachten dan te veel is of de opdrachten die wel gemaakt dienen te worden te veel is, is in dit geval onduidelijk.

Op de tweede stelling in de categorie ‘uitvoering’ wordt erg goed gescoord, alle leerlingen ervaren voldoende begeleiding om de les goed te kunnen uitvoeren. Bij de volgende stelling, is de meerderheid tevreden met de tijd toch geven sommige leerlingen (n=3) aan dat ze niet voldoende tijd hadden voor het uitvoeren van de les waarbij één leerling de opmerking maakte: “Het lukte niet om binnen de tijd alle opgaves te maken, maar ik snap het alsnog”. Een ander punt waar kritisch over nagedacht moet worden is de vierde stelling in deze tweede categorie. Leerlingen reageren erg verdeeld over het zelf mogen uitzoeken en ontdekken binnen de les. De gegeven scores lopen erg uiteen van een 2 tot en met een 4. De vraag is of de leerlingen behoefte hebben aan zelf uitzoeken en ontdekken, of dat ze de docent gestuurde aanpak juist prettig vinden. Deze vraag wordt namelijk niet beantwoord met deze stelling.

De laatste categorie is op de inhoud gericht van de gegeven les. De gemiddelde scores die in deze categorie zijn gescoord staan in tabel 9.7.

Tabel 9.7. De vijf stellingen die gericht zijn op de inhoud van de gegeven les met de gemiddelde scores en de spreiding (laagste cijfer-hoogste cijfer). van twintig leerlingen.

Stellingen	Gemiddelde scores (spreiding)
13. Ik vond het erg leuk om aan deze les te werken.	3,1 (2-4)
14. Deze lessen vond ik goed te doen.	3,7 (3-4)
15. Ik heb tijdens deze les echt nieuwe/andere dingen geleerd.	3,8 (2-4)
16. Ik heb tijdens deze les geleerd wat het getal van Avogadro is.	3,7 (3-4)
17. Ik heb tijdens deze les geleerd wat 'de mol' is.	3,8 (3-4)
18. Ik heb tijdens deze les geleerd hoe ik kan rekenen met 'de mol'.	3,6 (2,5-4)

De eerste stelling wordt afwisselend gescoord van een 2 tot en met 4. Het valt dus op dat sommige leerlingen de les heel erg leuk vinden en sommige niet. Waardoor dit verschil komt wordt niet duidelijk in deze resultaten en er zijn verder ook geen opmerkingen gemaakt door de leerlingen bij deze specifieke categorie. Bij de tweede stelling is er geen een leerling die aangeeft dat hij het niet eens met de stelling: "deze lessen vond ik goed te doen". Dat geldt op één leerling na ook voor de derde stelling. Deze afwijkende score kan mogelijk verklaard worden doordat er twee zittenblijvers in de groep havo 4 leerlingen zit. Ook de vierde stelling wordt door iedereen gescoord met een 3 of een 4, dit geldt ook voor de vijfde stelling. De laatste stelling daarentegen wordt weer gescoord tussen een 2,5 en een 4. In het algemeen is de meerderheid het wel met deze stelling eens. Hieruit blijkt dat de inhoud van de les bij de meerderheid goed is overgekomen, er kan wel gekeken worden naar het 'leuker maken' van de les.

Op de laatste pagina mochten de leerlingen een cijfer geven voor de les. De gegeven cijfers lopen uiteen van een 7,5 tot 10 en een gemiddelde van een 8,6. De opmerkingen die gegeven worden door de leerlingen zijn voornamelijk positief zoals: "Ik begrijp wat ik moet uitrekenen", "Nu snap ik het", Goede uitleg, genoeg hulp. Met kratten denken is echt een fijn hulpmiddel." Maar ook opmerkingen waar de les mogelijk op verbeterd kan worden zoals: "Het was eerst een beetje vaag, maar door de opdrachten werd het duidelijker", "Het toepassen van 'mol' kan misschien nog iets duidelijker behandeld worden", "Ik vond bij het begin de opdrachten moeilijk maar na 1 opdracht met uitleg snapte ik ook makkelijk wat ik bij de andere opdrachten moest doen".

Uit de bovenstaande resultaten kan geconcludeerd worden dat de les door de meerderheid van de leerlingen als erg goed ontvangen werd. Met name de opzet van de les werd door de meeste leerlingen als zeer positief gezien en kan daarom ook onveranderd blijven. Op het gebied van de uitvoering en op het gebied van inhoud kan nog wat verbeterd worden. Op het gebied van uitvoering valt winst te behalen door rekening te houden met de verschillende werktempo's van leerlingen, daarnaast kan er gekeken worden of er mogelijk behoefte is aan het meer 'zelf laten ontdekken'. Op het gebied van inhoud zou meer nadruk gelegd kunnen worden op de toepassingen van het begrip mol, door minder nadruk te leggen op het getal van Avogadro en meer nadruk op de toepassing van het aantal mol.

Resultaten en discussie les "submicrodiagrammen".

Ook bij deze les worden de resultaten geanalyseerd zoals het beschreven is in de methode. Het doel is om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de gegeven les. De enquête is overeenkomstig met de enquête die in de les over 'De mol' is gegeven. In totaal hebben twintig leerlingen de enquête ingevuld.

De eerste categorie die bekeken gaat worden is de opzet van de les. Uit de gemiddelde scores kan geconcludeerd worden of de klas het helemaal eens (4), beetje mee eens (3), beetje mee oneens (2), helemaal oneens is (1).

Tabel 9.8. De eerste vijf stellingen rondom de opzet van de les 'submicrodiagrammen', waarbij de gemiddelde score en de spreiding (laagste cijfer-hoogste cijfer) is meegenomen van twintig leerlingen

<i>Stellingen</i>	<i>Gemiddelde scores (spreiding)</i>
1. In deze les was duidelijk wat ik moest doen.	3,5 (3-4)
2. In deze les was duidelijk hoe ik te werk moest gaan.	3,0 (2-4)
3. De opdrachten van deze les waren duidelijk genoeg om er zelfstandig (alleen of met mijn groepje) mee aan de slag te gaan.	2,8 (1-4)
4. De voorbeelden die gebruikt werden om neerslagreacties op alle drie de niveaus (macro, micro en symbolisch) uit te leggen waren goed.	3,6 (2-4)
5. De voorbeeldopgave begreep ik helemaal.	3,2 (2-4)

De opzet van de les werd positief ontvangen, aangezien bijna alle stellingen een drie of hoger scoren, zoals blijkt uit tabel 9.8. Behalve de derde stelling werd minder hoog gescoord, de scores lopen ook uiteen van helemaal oneens (1) tot helemaal eens (4). De leerling die het helemaal oneens is met deze stelling geeft ook als opmerking: "Zoals aangegeven ga ik naar KWT (keuzewerktijd) voor individuele uitleg.". Daarnaast wordt er het volgende aangegeven: "Meer klassikaal opgaves maken" en "Opdrachten die klassikaal gaan iets rustiger bespreken". Sommige leerlingen geven dus aan dat ze extra klassikale uitleg nodig hebben aan de hand van een voorbeeldopgave om de lesstof te begrijpen. Dit spreekt deels Williamson's (2014) theorie tegen die pretendeert dat het samenwerken van leerlingen en het zelf ontdekken als sleutel ziet tot grote leerwinsten. Toch moet de theorie van Williamson niet helemaal aan de kant geschoven worden aangezien er nog genoeg leerlingen het een beetje tot helemaal eens zijn met stelling drie. Daarnaast kan het probleem ook liggen bij de kwaliteit van de opdrachten, waardoor sommige leerlingen te snel vast lopen en dus niet verder komen.

De tweede categorie die bekeken wordt is de uitvoering van de les de gemiddelde scores op dit onderdeel staan in tabel 9.9.

Tabel 9.9. De vijf stellingen die gericht zijn op de uitvoering van de les met de gemiddelde scores en de spreiding (laagste cijfer-hoogste cijfer) van twintig leerlingen

<i>Stellingen</i>	<i>Gemiddelde scores (spreiding)</i>
7. Er waren te weinig opdrachten om goed te oefenen.	1,2 (1-2)
8. Er was voldoende goede begeleiding van de docent om de lessen goed te kunnen uitvoeren.	3,7 (2-4)
9. Er was tijd genoeg om de opdrachten van deze les goed te kunnen uitvoeren.	3,3 (2-4)
10. Tijdens deze les mochten we veel zelf uitzoeken en zelf ontdekken.	3,3 (2-4)
11. Er waren te veel opdrachten om te oefenen.	1,7 (1-4)

De uitvoering van de les wordt met bijna gelijke resultaten ontvangen als de les over het concept 'mol' (tabel 9.6). Ook hier geven de leerlingen aan dat er voldoende opdrachten zijn waarmee ze konden oefenen. De leerlingen hebben op gelijke wijze stelling 11 gescoord als bij de les mol. Een drietal leerling ervaart de hoeveelheid opdrachten waarmee geoefend kan worden of moet worden als te veel. Zoals al eerder beschreven is, is het niet duidelijk of het gaat om de opdrachten die gemaakt moeten worden of die gemaakt kunnen worden. De begeleiding wordt door de meeste

leerlingen als erg prettig ervaren, wel geeft een leerling de volgende opmerking: “Wat duidelijke voorbeeldvragen om te laten zien hoe je het moet aanpakken.” daarbij sluit ook de volgende opmerking aan: “Iets sneller klassikaal gaan als mensen dezelfde vraag hebben”. Hiermee wordt aangegeven dat sommige leerlingen meer klassikale voorbeelden willen zien zodat ze in de gaten krijgen hoe ze het zelf moeten doen. Een enkele leerling (n=3) geeft aan dat ze wat weinig tijd hadden om de opdrachten te maken, dit blijkt ook uit de volgende opmerking: “Ik had elke keer een klein beetje tijdsnood”. Toch wordt door de meerderheid de tijdsnood, het zelfstandig werken en uitzoeken als voldoende of goed beoordeeld.

De laatste categorie is op de inhoud van de les gericht. De gemiddelde scores die in deze categorie gescoord zijn staan in tabel 17.

Tabel 17. De vijf stellingen die gericht zijn op de inhoud van de gegeven les met de gemiddelde scores van twintig leerlingen.

<i>Stellingen</i>	<i>Gemiddelde scores (spreiding)</i>
13. Ik vond het erg leuk om aan deze les te werken.	3,0 (2-4)
14. Deze lessen vond ik goed te doen.	3,3 (2-4)
15. Ik heb tijdens deze les echt nieuwe/andere dingen geleerd.	3,8 (3-4)
16. Ik heb tijdens deze les geleerd hoe neerslagreacties op micro niveau eruit zien.	3,7 (3-4)
17. Ik heb tijdens deze les geleerd wat de betekenis is van de coëfficiënten in een reactievergelijking.	3,1 (2-4)
18. Ik heb tijdens deze les geleerd hoe ik macro, micro en symbolische niveau moet voorstellen.	3,5 (2-4)

De laatste categorie wordt gemiddeld goed gescoord, de spreiding is bij de eerste en laatste twee stellingen wel groot. De meerderheid van de leerlingen (n=16) geeft aan dat ze alle leerdoelen (stelling 16, 17, 18) geleerd hebben. Een klein aantal (n=4) geeft bij de stellingen 17 en 18 aan dat ze het leerdoel niet geleerd hebben. Het niet behalen van deze leerdoelen (stelling 17 en 18) kan nadelige gevolgen hebben voor het chemisch rekenen. Als bijvoorbeeld de betekenis van de coëfficiënten niet duidelijk is, kan de leerling de verkeerde mol verhouding gaan gebruiken. Bij deze categorie worden de volgende opmerkingen geplaatst door de leerlingen: “Duidelijke uitleg alleen zou ik graag meer samen met de klas willen maken, klassikaal dus.” en “De uitleg was goed maar ik begreep het langzaam. Misschien iets langzamer uitleggen.”. Deze opmerkingen passen beter bij de vorige categorie en sluiten aan bij de eerder gemaakte opmerkingen door andere leerlingen over de opzet van de les.

Uiteindelijk mochten de leerlingen een cijfer geven van deze les. De cijfers lopen uiteen van een 7 tot en met een 10. Met een gemiddelde van een 8,1, wat toch een half punt lager is dan bij de les over het concept ‘mol’. Vervolgens worden de volgende opmerkingen geplaatst door de leerlingen: “Duidelijke uitleg alleen zou ik graag meer samen met de klas willen maken, klassikaal dus.” en “De uitleg was goed maar ik begreep het langzaam. Misschien iets langzamer uitleggen.”. Deze opmerkingen passen beter bij de categorie ‘opzet van de les’ en sluiten aan bij de eerder gemaakte opmerkingen door andere leerlingen over de opzet van de les.

Uit de resultaten blijkt dat de meerderheid van de leerlingen de les erg positief ervaart. Alle stellingen worden positief gescoord. Toch zijn er altijd punten die verbeterd kunnen worden. Bijna alle opmerkingen van leerlingen komen er op neer dat ze meer klassikale voorbeelden willen krijgen. Dat dit niet in overeenstemming is met de theorie van Williamson (2014), die juist zegt dat er eerst

zelfstandig en vervolgens samengewerkt moet worden om het beste leerrendement te behalen is opvallend te noemen. Daarnaast geven twee leerlingen aan dat de uitleg in een langzamer/rustiger tempo zou moeten zijn om het beter te begrijpen. Om de theorie van Wiliamson niet af te doen en toch de gegeven opmerkingen mee te nemen zou binnen een dergelijke les gedifferentieerd kunnen worden. Op deze manier kunnen leerlingen die meer uitleg of tijd nodig hebben ook deze uitleg en tijd krijgen. Overige opvallende zaken hebben met name te maken met de inhoud van de les. Voor een klein aantal leerlingen was het concept reactievergelijkingen met zijn coëfficiënten niet duidelijk. In de literatuur kan mogelijk gezocht worden naar aanvulling en of verbeteringen van de gebruikte submicrodiagrammen van Davidowitz et al. (2014). Dit geldt ook voor het macro, micro en symbolisch denken zoals beschreven door Johnstone (1991).

10. Conclusie, aanbeveling & discussie

10.1 Beantwoorden van de hoofdvraag

Dat het algoritmisch aanleren van begrippen rondom het rekenen van neerslagreacties niet leidt tot conceptueel begrip blijkt uit de verkregen onderzoeksresultaten van de havo 5 groep. Deze conclusie kan getrokken worden aangezien de havo 5 groep alle misconcepten vertoont die in de literatuur beschreven staan (Naah & Sanger, 2012; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010; Smith & Metz, 1996). Het ontbreekt leerlingen dus aan conceptueel begrip zoals ook al beschreven is door Nakleh (1993, 1994). De ontwikkelde verbeteractie waarbij gebruik wordt gemaakt van analogieën en het tekenen van zogenaamde submicrodiagrammen heeft een positief effect op het conceptueel begrip rondom neerslagreacties en de hoofdconcepten 'mol' en 'wet van behoud van massa'. Dit blijkt uit de resultaten van de conceptuele toets en het probleemgericht interview, doordat de groep die de verbeteractie heeft ondergaan minder misconcepten heeft. Dit is ook in overeenstemming met de theorie zoals die beschreven wordt door Furio et al. (2002) en Davidowitz et al. (2009) die aangeven dat het maken van tekeningen gecombineerd met een leerling gecentreerde aanpak een hoger denkniveau van de leerlingen aanspreekt (Davidowitz, Chittleborough, & Murray, 2009; Furio, Azcona, & Guisasola, 2002). Beide ontwikkelde lessen, 'de mol' en 'submicrodiagrammen', worden positief ontvangen. Dit blijkt uit de resultaten die verkregen zijn aan de hand van de enquêtes die uitgezet zijn in de klas aan het einde van de gegeven les. Uit met name de opmerkingen van leerlingen blijkt dat er ook nog verbeteringen ingevoerd kunnen worden, zo willen sommige leerlingen meerdere klassikale voorbeelden en soms meer tijd om een opdracht op te lossen. Dit zijn vaak individuele wensen die niet gedeeld worden door de meerderheid.

Dat het conceptueel aanleren van neerslagreacties een positief effect heeft op het rekenen aan neerslagreacties wordt positief beantwoord. De leerlingen uit havo 4 zijn sneller en succesvoller in het oplossen van de opdracht chemisch rekenen. Dit blijkt met name uit de hoeveelheid misconcepten die de leerlingen en de hulp die ze daarvoor nodig hadden. Toch is niet duidelijk geworden of de leerlingen bij het oplossen van het chemisch rekenen echt gebruik maken van een conceptuele strategie. Tijdens het probleemgerichte interview leken de leerlingen voornamelijk gebruik te maken van algoritmische formules en niet van een conceptueel beeld.

10.2 Aanbevelingen

Het positieve resultaat dat de verbeteractie heeft om het conceptueel beeld van leerlingen te versterken is niet alleen voor het onderwerp neerslagreacties en de hoofdconcepten "mol" en "wet van behoud van massa" relevant, maar ook voor andere abstracte concepten als atoombouw, intramoleculaire krachten en dergelijken. Het gebruik van analogieën die voldoen aan de voorwaarden die Furio et al. (2002) heeft beschreven is daarbij een geschikte methode om abstracte begrippen en concepten aan leerlingen aan te leren. Daarbij is het wel van belang, zoals blijkt uit een opmerking van een leerling (gebruik van hamburgers in plaats van zandkorrels), dat een analogie aansluit bij de leefwereld van de leerlingen. Ook het gebruik van tekeningen heeft een positief effect op het conceptueel begrijpen van een bepaald chemisch concept op het micro niveau (Johnstone, 1991). Deze aanpak sluit goed aan bij het beleid van het ministerie van onderwijs dat meer nadruk wil leggen op het conceptuele (kwalitatieve) dan het algoritmische (kwantitatieve) scheikunde onderwijs zoals ook beschreven is door Kimberlin & Yezierski (2016). Ook voor de vakken natuurkunde, wiskunde en biologie kan deze conceptuele methode interessant zijn om abstracte begrippen en situaties aan te leren aan leerlingen. Het gebruik van goede analogieën en tekeningen kan begrippen als stroomsterkte en spanning, de uitwisseling van stoffen tussen de binnen- en

buitenkant van een cel en het differentiëren aan een bepaalde vergelijking mogelijk ook verduidelijken.

Naast de aanbevelingen voor belanghebbenden, is er ook een aanbeveling die gericht is op de ontwikkelde verbeteractie. De ontwikkelde verbeteractie werd over het algemeen erg positief ontvangen en hoeft om die reden maar op kleine punten aangepast te worden. Het gebruik van analogieën is een goede methode zolang hij goed aansluit bij de belevingswereld van de leerling. In deze verbeteractie werd gebruik gemaakt van zandkorrels en uit een opmerking blijkt dat deze analogie niet goed aansluit bij die belevingswereld. De suggestie van de leerling om te verwijzen naar (populair) eten zou een mogelijke oplossing kunnen zijn.

Uit geschreven opmerkingen van leerlingen komt voornamelijk naar voren dat sommige leerlingen meer klassikale voorbeelden en meer tijd nodig hebben. Door binnen deze les te differentiëren zou dit probleem ondervangen kunnen worden. Leerlingen willen daarnaast meer oefeningen met het rekenen aan neerslagreacties in plaats van het conceptueel begrijpen van neerslagreacties. Er zouden dus meerdere casus opdrachten ontwikkeld kunnen worden waarbij gegeven massa's op macroniveau vertaald worden naar micro- en het symbolische niveau.

10.3 Methode van onderzoek

De drie gebruikte onderzoeksmethoden zijn bij de resultaten voornamelijk op praktisch gebied bediscussieerd. Het is ook van belang om te kijken of de methodekeuzes die onderbouwd zijn achteraf ook nog overeind staan en of er bij een mogelijk vervolgonderzoek toch andere keuzes gemaakt zouden zijn. In deze paragraaf wordt elk meetinstrument inhoudelijk onder de loep genomen.

Conceptuele toets

De ontwikkelde conceptuele toets is tijdens het onderzoek verbeterd. Uit de verkregen resultaten kan geconcludeerd worden dat de conceptuele toets een beeld geeft van de hoeveelheid misconcepten die er binnen een groep zijn. Daarbij had het macroniveau wat duidelijker naar voren mogen komen bij de conceptuele toets, aangezien conceptueel begrip vertoond wordt door een bepaald verschijnsel te verklaren op de drie niveaus van Johnstone (1991). Daarnaast kunnen er achteraf vraagtekens gesteld worden of de conceptuele toets wel het juiste conceptuele beeld toetst. De ontwikkelde conceptuele toets kijkt voornamelijk naar het hebben/niet-hebben van misconcepten rondom neerslagreacties, terwijl het onderzoek gaat over chemisch rekenen bij neerslagreacties. Het was om deze reden mogelijk beter geweest om te kijken of leerlingen een conceptueel beeld hebben van de hoofdconcepten "mol" en "wet van behoud van massa", toegepast op neerslagreacties.

Daarnaast blijkt uit de resultaten dat leerlingen sommige misconcepten bij de ene vraag wel scoren en bij de andere niet. Dit zorgt voor vertroebeling van de resultaten, aangezien een leerling een misconcept wel of niet heeft en dit niet mag afhangen van de vraag die gesteld wordt. Om dit bij een onderzoek te voorkomen, kan er voor gekozen worden om achteraf de antwoorden door de desbetreffende leerling toe te lichten om er als onderzoeker achter te komen of de leerling het misconcept heeft of niet.

Probleemgericht interview

Het probleemgericht interview gaf inzicht in de denkstappen die de leerlingen maakten bij het oplossen van de opdrachten. Het gaf alleen onvoldoende inzicht of de leerling gebruik maakte van een ontwikkeld conceptueel beeld. Hierdoor kan niet echt duidelijk inzichtelijk gemaakt worden

welke invloed het aangeleerde conceptuele beeld heeft op het oplossen van de rekenopgaven. Om dit inzichtelijk te maken zou het interview wat meer gestructureerd moeten zijn, waarbij de leerling specifieke vragen krijgt die gericht zijn op het achterhalen van het hebben van een mogelijk conceptueel beeld bij het oplossen van de rekenopdracht. Dit kan ook bereikt worden door een leerling achteraf te ondervragen na het maken van een opdracht. Daarbij zullen ook weer vooraf bedachte vragen gesteld dienen te worden. Deze vragen moeten inzicht geven of de leerling denkt op de drie verschillende niveaus (macro, micro en symbolisch) van Johnstone (1991). Daarbij kan gevraagd worden om de voorstelling die de leerling heeft bij een bepaalde opgave te laten tekenen om te kijken hoe en of ze de situatie conceptueel voorstelt.

Leerlingenenquête

De leerlingenenquête gaf inzicht in hoe de les ervaren werd. Met name de opmerkingen waren van waarde om kritisch te zijn. Doordat leerlingen weinig tot geen vergelijkingslessen hebben is het voor leerlingen lastig om de lessen te scoren. Dus in hoeverre de verkregen gemiddelde scores betrouwbaar zijn is de vraag. Daarom kan er bij een volgende keer beter gekozen worden voor openvragen waarbij de mening van de leerling wordt gevraagd op de verschillende onderdelen. Op deze manier krijg je grotere hoeveelheden persoonlijke feedback die meer inzicht geven in het mogelijk verbeteren van de lessen.

11. Bibliografie

- Adadan, E., & Savasci, F. (2012). An analysis of 16-17-year-old students' understanding of solution chemistry concepts using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 513-544.
- Baranski, A. (2012). The Atomic Mass Unit, the Avogadro Constant, and the Mole: A way To Understanding. *Journal of Chemical Education*, 97-102.
- Becker, N., & Towns, M. (2012). Students' understanding of mathematical expressions in physical chemistry contexts: An analysis using Sherin's symbolic forms. *Chemistry Education Research and Practice*, 209-220.
- Bodner, G. (2015). Research on Problem Solving in Chemistry. In J. Garcíá-Martínez, & E. Serrano-Torregrosa, *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends* (pp. 181-201). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- BouJaoude, S., & Barakat, H. (2003). Students' Problem Solving Strategies in Stoichiometry and the Relationships to Conceptual Understanding and Learning Approaches. *Electronic Journal of Science Education*, Vol. 7, No. 3.
- Bruning, L., & Michels, B. (2013). *Concept-contextvenster*. Enschede: SLO.
- Çalýk, M., Ayas, A., & Ebenezer, J. V. (2005). A Review of Solution Chemistry Studies: Insights into Students' Conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 29-50.
- Chandrasegaran, A., Treagust, D., Waldrip, B., & Chandrasegaran, A. (2008). Students' dilemmas in reaction stoichiometry problem solving: deducing the limiting reagent in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 14-23.
- Davidowitz, B., Chittleborough, G., & Murray, E. (2009). Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 154-164.

- Devetak, I., Vogrinc, J., & Glazar, S. A. (2008). Assessing 16-Year-Old Students' Understanding of Aqueous Solution at Submicroscopic Level. *Research in Science Education*, 157-179.
- Fach, M., de Boer, T., & Parchmann, I. (2007). Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 13-31.
- Furió, C., Azcona, R., & Guisasola, J. (2002). The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': A review of the literature. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 277-292.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 548-554.
- Harinck, F. (2013). *Basisprincipes praktijkonderzoek*. Antwerpen-Apeldoorn: Garant.
- Huddle, P., & Pillay, A. (1996). An In-Depth Study of Misconceptions in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 65-77.
- Johnstone, A. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 75-83.
- Kelly, R., Barrera, J., & Mohamed, S. (2010). An Analysis of Undergraduate General Chemistry Students' Misconceptions of the Submicroscopic Level of Precipitation Reactions. *Journal of Chemical Education*, 113-118.
- Kimberlin, S., & Yezierski, E. (2016). Effectiveness of Inquiry-Based Lessons Using Particulate Level Models To Develop High School Students' Understanding of Conceptual Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 1002-1009.
- Kuiper, A. (2017, December 19). Probleem gericht interview. (J. van Vijfeijken, Interviewer)
- Laugier, A., & Dumon, A. (2004). The Equation of Reaction: A Cluster of Obstacles Which are Difficult to Overcome. *Chemistry Education Research and Practice*, 327-342.
- Naah, B., & Sanger, M. (2012). Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice*, 186-194.
- Nakhleh, M. (1993). Are Our Students Conceptual Thinkers or Algorithmic Problem Solvers. *Journal of Chemical Education*, 52-55.
- Nakhleh, M., & Mitchell, R. (1993). Concept Learning Versus Problem Solving. *Journal of Chemical Education*, 190-192.
- Nelson, P. (2013). What is the mole? *Foundations of Chemistry*, 3-11.
- Nieveen, N., & Folmer, E. (2013). Formative Evaluation in Educational Design Research. In T. Plomp, & N. Nieveen, *Educational Design Research* (pp. 152-169). Enschede: SLO.
- Nurrenbern, S., & Pickering, M. (1987). Concept Learning versus Problem Solving: Is There a Difference? *Journal of Chemical Education*, 508-510.
- Nyachwaya, J., Warfa, A.-R., Roehrig, G., & Schneider, J. (2013). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 81-93.

- Salta, K. (2010). Conceptual Versus Algorithmic Problem-solving: Focusing on Problems Dealing with Conservation of Matter in Chemistry. *Research in Science Education*, 587-609.
- Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Conceptual Versus Algorithmic Problem-solving: Focusing on Problems Dealing with Conservation of Matter in Chemistry. *Research in Science Education*, 587-609.
- Sanger, M. (2005). Evaluating Students' Conceptual Understanding of Balanced Equations and Stoichiometric Ratios Using a Particulate Drawing. *Journal of Chemical Education*, 131-134.
- Schmidt, H.-J. (1994). Stoichiometric problem solving in high school chemistry. *International Journal of Science Education*, 191-200.
- Schmidt, H.-J. (1997). An Alternate Path to Stoichiometric Problem Solving. *Research in Science Education*, 237-249.
- SLO. (2013, 1 januari). <http://www.cursuscurriculumontwerp.slo.nl/>. Opgehaald van Cursus curriculumontwerp: <http://www.cursuscurriculumontwerp.slo.nl/>
- Smith, K. J., & Metz, P. (1996). Evaluating Student Understanding Solution Chemistry through Microscopic Representations. *Journal of Chemical Education*, 233-235.
- Smith, K. J., & Metz, P. A. (1996). Evaluating Student Understanding of Solution Chemistry through Microscopic Representations. *Journal of Chemical Education*, 233-235.
- Taskin, V., & Bernholt, S. (2012). Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 157-185.
- Terlouw, C., & Kramers-Pals, H. (2004). Over het leren aanpakken van eindexamenopgaven bij scheikunde in het voortgezet onderwijs. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 107-144.
- Uthe, R. (2002). For Mole problems, Call Avogadro:602-1023. *Journal of Chemical Education*, 1213.
- Wheatley, G. (1984). *Problem solving in school mathematics*. West Lafayette: Purdue University.
- Williamson, V. (2014). Teaching Chemistry Conceptually. In I. Devetak, & S. A. Glažar, *Learning with Understanding in the Chemistry Classroom* (pp. 193-208). Dordrecht Heidelberg New York London: Springer.
- Yuriev, E., Naidu, S., Schembri, L., & Short, J. (2017). Scaffolding the development of problem-solving skills in chemistry: guiding novice students out of dead ends and false starts. *Chemistry Education Research and Practice*, 486-504.

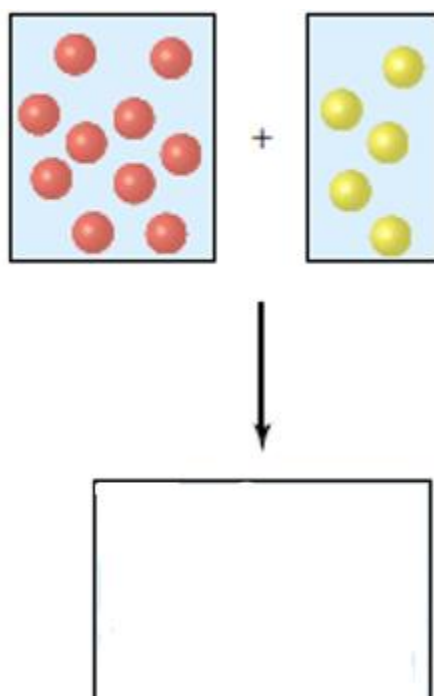
12. Bijlage

12.1 Conceptuele toets

Conceptuele toets versie 1 toets blad

Microniveau

Ga er van uit dat je een oplossing hebt met een bepaald kation (= positief ion) erin, dit zijn de rode bollen. Daarnaast heb je ook een oplossing met een bepaald anion (= negatief ion), dit zijn de gele bollen. Wanneer deze bij elkaar gevoegd worden zijn er, afhankelijk van de gebruikte ionen, drie uitkomsten.



- p **1** Teken in het kader de uitkomst, wanneer de volgende ionen bij elkaar gedaan worden, gebruik hierbij de kleuren rood (natrium-ion) en geel (carbonaat-ion). Leg je antwoord uit.
 $2 \text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-} (\text{aq}) \rightarrow$
- p **2** Teken in het kader de uitkomst, wanneer de volgende ionen bij elkaar gedaan worden, gebruik hierbij de kleuren rood (barium-ion) en geel (chromaat-ion). Leg je antwoord uit.
 $\text{Ba}^{2+} (\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-} (\text{aq}) \rightarrow$

- p 3 Teken in het kader de uitkomst, wanneer de volgende ionen bij elkaar gedaan worden, gebruik hierbij de kleuren rood (zilver-ion) en geel (sulfiet-ion) Leg je antwoord uit.



Neerslagvergelijking

De volgende neerslagvergelijkingen moeten op micro niveau nagetekend worden op het antwoordblad. In de tekeningen moeten naast de reagerende deeltjes ook de deeltjes getekend worden die in de oplossing blijven (tribune-ionen). Daarnaast moet de bijbehorende reactievergelijking geschreven worden.

- p 4 Een nikkelchloride (= NiCl_2) oplossing reageert met een oplossing natriumhydroxide (= NaOH), er ontstaat een neerslag van nikkelhydroxide (= $\text{Ni}(\text{OH})_2$).
- p 5 Een IJzer(III)nitraat (= $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) oplossing reageert met een ammoniumsulfiet (= $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$) oplossing, er ontstaat een neerslag van IJzer(III)sulfiet (= $\text{Fe}_2(\text{SO}_3)_3$)

EINDE

Neerslagvergelijking

p **1**

Uitleg:

.....

.....

.....

p **2**

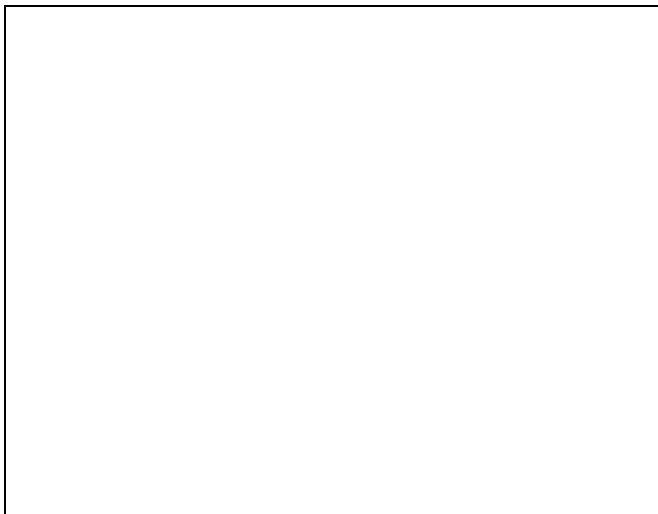
Uitleg:

.....

.....

.....

p **3**



Uitleg:

.....

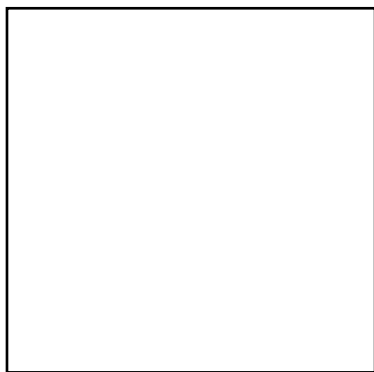
.....

.....

Oplossingen

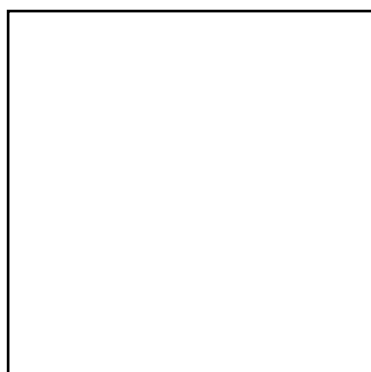
p **4** Reactievergelijking:

.....



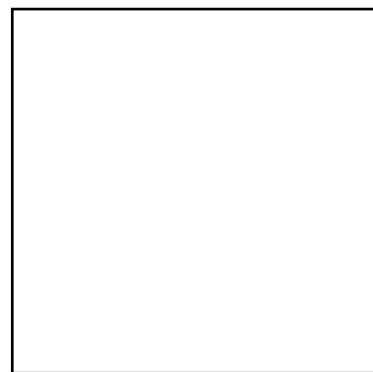
Nikkelchloride opl.

+



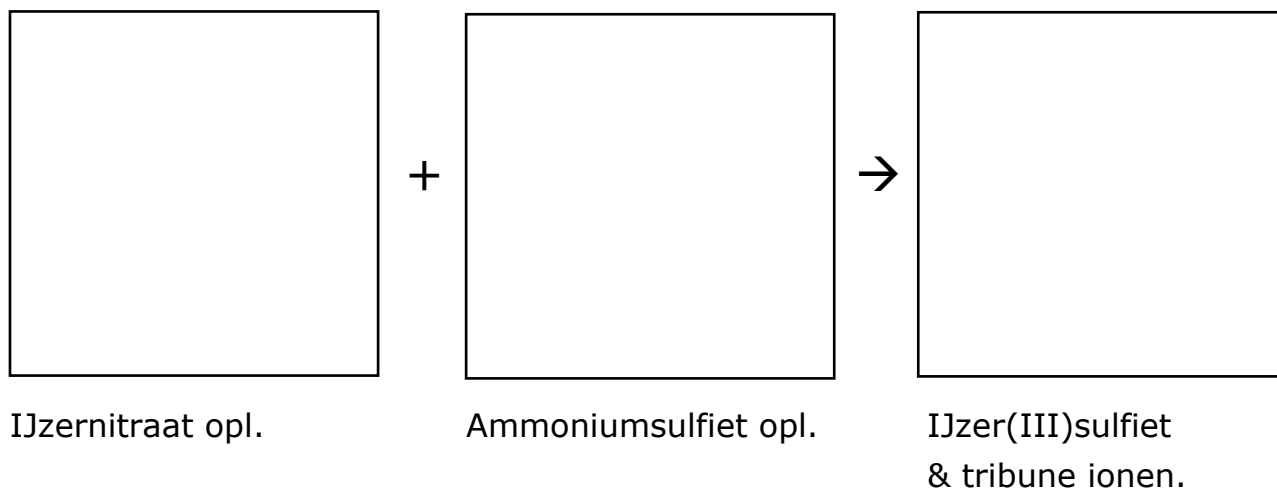
Natriumhydroxide opl.

→



Nikkelhydroxide
& tribune ionen.

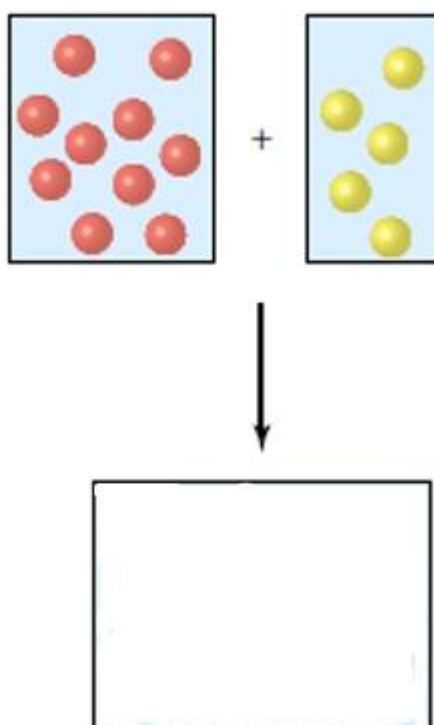
p 5 Reactievergelijking:



Conceptuele toets versie 2 toetsblad

Microniveau

Ga er van uit dat je een oplossing hebt met een bepaald kation (= positief ion) erin, dit zijn de rode bollen. Daarnaast heb je ook een oplossing met een bepaald anion (= negatief ion), dit zijn de gele bollen. Wanneer deze bij elkaar gevoegd worden zijn er, afhankelijk van de gebruikte ionen, drie uitkomsten. Let ook op **het aantal** gekleurde bollen.



- p **1** Teken in het kader de uitkomst, wanneer de volgende ionen bij elkaar gedaan worden, gebruik hierbij de kleuren rood (natrium-ion) en geel (carbonaat-ion). Leg je antwoord uit.
 $2 \text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-} (\text{aq}) \rightarrow$
- p **2** Teken in het kader de uitkomst, wanneer de volgende ionen bij elkaar gedaan worden, gebruik hierbij de kleuren rood (barium-ion) en geel (sulfaat-ion) Leg je antwoord uit.
 $\text{Ba}^{2+} (\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-} (\text{aq}) \rightarrow$
- p **3** Teken in het kader de uitkomst, wanneer de volgende ionen bij elkaar gedaan worden, gebruik hierbij de kleuren rood (zilver-ion) en geel (carbonaat-ion) Leg je antwoord uit.
 $2 \text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-} (\text{aq}) \rightarrow$

Neerslagvergelijking

De volgende neerslagvergelijkingen moeten op micro niveau nagetekend worden op het antwoordblad. In de tekeningen moeten naast de reagerende deeltjes ook de deeltjes getekend worden die in de oplossing blijven (tribune-ionen). Daarnaast moet de bijbehorende reactievergelijking geschreven worden.

- p **4** Een nikkelchloride (= NiCl_2) oplossing reageert met een oplossing natriumhydroxide (= NaOH), er ontstaat een neerslag van nikkelhydroxide (= $\text{Ni}(\text{OH})_2$).
- p **5** Een IJzer(III)nitraat (= $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) oplossing reageert met een ammoniumsulfiet (= $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$) oplossing, er ontstaat een neerslag van IJzer(III)sulfiet (= $\text{Fe}_2(\text{SO}_3)_3$)

EINDE

Microniveau

p **1**



Uitleg:

.....

.....

.....

p **2**



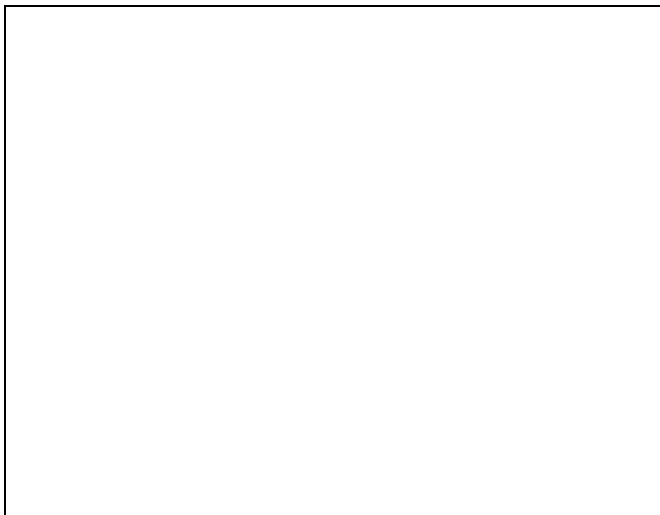
Uitleg:

.....

.....

.....

p **3**



Uitleg:

.....

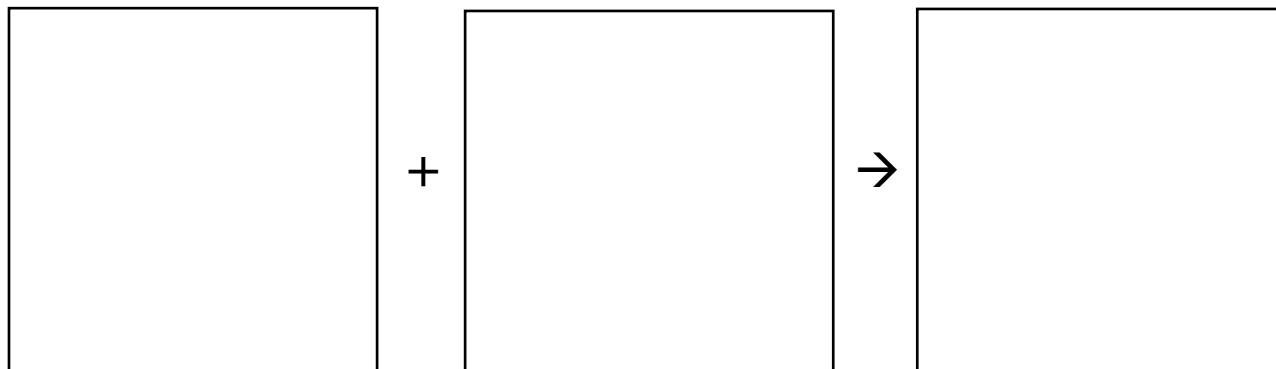
.....

.....

Neerslagreacties

p 4 Reactievergelijking:

.....



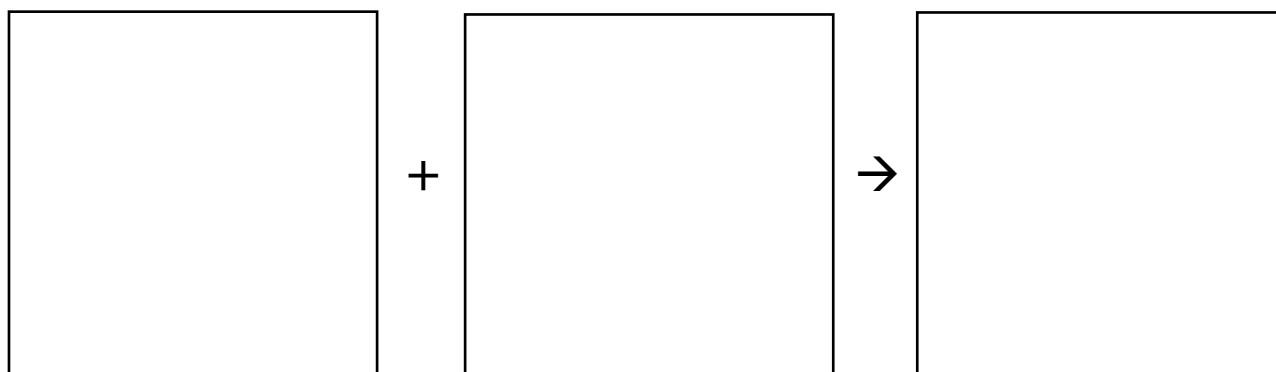
Nikkelchloride opl.

Natriumhydroxide opl.

Nikkelhydroxide
& tribune ionen.

p 5 Reactievergelijking:

.....



IJzernitraat opl.

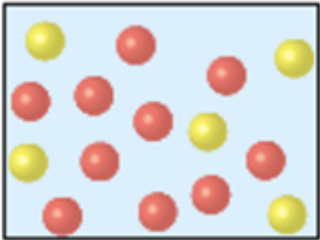
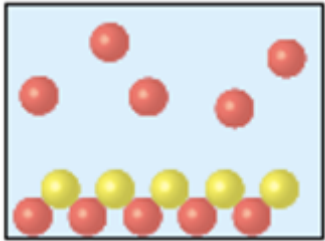
Ammoniumsulfiet opl.

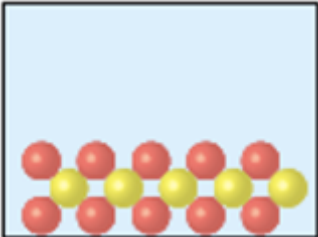
IJzer(III)sulfiet
& tribune ionen.

Conceptuele toets antwoordblad

Nr.	Misconcepties	Artikel
1	Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	(Naah & Sanger, 2012; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
2	Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996; Kelly,

		Barrera, & Mohamed, 2010)
3	De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996)
4	Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996)
5	Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	(Smith & Metz, 1996)
6	Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	(Naah & Sanger, 2012; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
7	Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de 'partners gewisseld worden'.	(Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
8.	Een vast zout dat ontstaat uit een neerslag tekenen als ongeladen bolletjes die toch nog in oplossing zitten.	(Smith & Metz, 1996)

Vraag.	Uitleg	Misconcept nr.
1	 Want de beide ionen zijn goed oplosbaar.	1, 2, 5 & 8
2	 want de verhouding kation:anion is 1:1 en er zijn ook evenveel rode bollen (5 totaal) dan gele bollen (5 totaal) die in één kristalstructuur zitten.	2, 6 & 8

3	 want de verhouding kation:anion is 2:1 en in dat kader zie je 2x zoveel rode bollen (10 totaal) dan gele bollen (5 totaal) die in één kristalstructuur zitten.	2, 6 & 8
4	Een juist antwoord bevat: - De juist kloppende reactievergelijking: $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s})$ - De oplossingen zijn op de juiste manier getekend waarbij rekening is gehouden met de juiste verhouding. - De wet van behoud van massa klopt als er gekeken wordt naar het aantal getekende deeltjes als beginstof en het aantal getekende deeltjes als reactieproduct. - De tribune ionen zijn op de juiste manier weergegeven. - De neerslag is op de juiste manier als vaste stof weergegeven. - Het juist gebruik van toestandsaanduidingen.	1 t/m 8
5	Een juist antwoord bevat: - De juist kloppende reactievergelijking: $2 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 3 \text{SO}_3^{2-}(\text{s}) \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_3)_3(\text{s})$ - De oplossingen zijn op de juiste manier getekend waarbij rekening is gehouden met de juiste verhouding. - De wet van behoud van massa klopt als er gekeken wordt naar het aantal getekende deeltjes als beginstof en het aantal getekende deeltjes als reactieproduct. - De tribune ionen zijn op de juiste manier weergegeven. - De neerslag is op de juiste manier als vaste stof weergegeven. - Het juist gebruik van toestandsaanduidingen.	1 t/m 8

12.2 Probleemgericht interview opdrachten + uitwerkingen

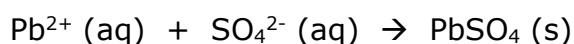
Oefenvraag

Uraan wordt gewonnen uit uraanerts, U_3O_8 . Uraan kan meerdere ladingen hebben, namelijk 2+, 3+, 4+ en 6+.

p x Welke twee ladingen van U komen voor in U_3O_8 .

Vraag 1.

Pim ontdekt een fles met een etiket: 0,120 mol $Al_2(SO_4)_3$ per liter. Pim wil dit controleren door een overmaat loodnitraatoplossing toe te voegen aan 25,0 mL van de oplossing in de fles. Er ontstaat dan een neerslag van loodsulfaat:



1 Bereken hoeveel gram loodsulfaat moet ontstaan?

Nr.	Misconcepties	Artikel
1	Zouten lossen op als neutrale atomen of moleculen.	(Naah & Sanger, 2012; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
2	Het verkeerd gebruik van coëfficiënten en indexen. (Wet van behoud van massa wordt niet toegepast, er zijn meer/minder deeltjes voor de pijl dan na de pijl.)	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996; Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)
3	De enkelvoudige ionen van de niet-metalen toch een index van twee geven omdat de moleculen van deze stoffen twee-atomig zijn.	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996)
4	Samengestelde ionen toch verder laten dissociëren.	(Naah & Sanger, 2012; Smith & Metz, 1996)
5	Het niet dissociëren van goed oplosbare zouten in een oplossing.	(Smith & Metz, 1996)
6	Neergeslagen zout voorstellen als moleculaire stof die uit een metaal en niet-metaal gedeelte bestaat.	(Naah & Sanger, 2012; Kelly, Barrera,

		& Mohamed, 2010)
7	Neerslagreactie niet meer zien dan een reactie waarbij de ‘partners gewisseld worden’.	(Kelly, Barrera, & Mohamed, 2010)

Vraag.	Uitleg	Misconcept nr.
1	- 0,12 mol aluminiumsulfaat per liter, dus 0,36 mol sulfaat ionen per liter - Dus $0,025 \times 0,36 = 0,0090$ mol sulfaat per 25 mL 1p - Er ontstaat dus ook 0,0090 mol loodsulfaat 1p - Dus $0,0090 \times 96,09 = 0,86$ g loodsulfaat 1p	1 t/m 7

12.3 Leerlingen enquête

Enquête les 'mol'

Enquête les 1 'mol'

Je hebt zojuist de les rondom het onderwerp 'de mol' gevolgd. Omdat we graag jullie mening over deze lessen horen, hebben we een enquête gemaakt. Zodoende willen we nagaan of er lessen zijn die eventueel verbeterd kunnen worden en zo ja, waarop ze verbeterd kunnen worden.

De enquête bestaat uit drie onderdelen:

- A. de opzet van de les(senreeks)
- B. de uitvoering van de les(senreeks)
- C. de eindbeoordeling

Per onderdeel (A, B en C) lees je verschillende uitspraken. Het is de bedoeling dat je bij elke uitspraak aangeeft in hoeverre je het er mee eens bent. Zet bij elke uitspraak een kruisje onder één van de volgende beoordelingen:

- helemaal mee oneens
- beetje mee oneens
- beetje mee eens
- helemaal mee eens

Nadat je per onderdeel hebt aangegeven in hoeverre je het ergens mee eens bent, mag je ook nog verbetertips geven. Als je verbetertips hebt, probeer dan zo duidelijk mogelijk te zijn. Dus bijvoorbeeld niet invullen: "meer tijd geven", maar liever: "het leeswerk liep uit omdat er zoveel informatie was, daardoor kwamen we in tijdnood bij het maken van de berekeningen".

Tot slot: de enquête is anoniem, wees dus vrij om eerlijk je mening te geven. Dankjewel!

A. De opzet van de les

	helemaal mee oneens	beetje mee oneens	beetje mee eens	helemaal mee eens
1. In deze les was duidelijk wat ik moest doen.				
2. In deze les was duidelijk hoe ik te werk moest gaan.				
3. De opdrachten van deze les waren duidelijk genoeg om er zelfstandig (alleen of met mijn groepje) mee aan de slag te gaan.				
4. De voorbeelden die gebruikt werden om het begrip 'mol' uit te leggen waren goed.				
5. De voorbeeldopgave waarbij de massa van 1 mol water uitgerekend werd, begreep ik.				

6. Welke eventuele verbetertips heb je om de lessen duidelijker en/of aantrekkelijker te maken?

B. De uitvoering van de les(senreeks)

	helemaal mee oneens	beetje mee oneens	beetje mee eens	helemaal mee eens
7. Er waren te weinig opdrachten om goed te oefenen.				
8. Er was voldoende goede begeleiding van de docent om de lessen goed te kunnen uitvoeren.				
9. Er was tijd genoeg om de opdrachten van deze les goed te kunnen uitvoeren.				

10. Tijdens deze les mochten we veel zelf uitzoeken en zelf ontdekken.				
11. Er waren te veel opdrachten om te oefenen.				

12. Welke eventuele verbetertips heb je voor de uitvoering van de lessen?

C. De eindbeoordeling

	helemaal mee oneens	beetje mee oneens	beetje mee eens	helemaal mee eens
13. Ik vond het erg leuk om aan deze les te werken.				
14. Deze lessen vond ik goed te doen.				
15. Ik heb tijdens deze les echt nieuwe/andere dingen geleerd.				
16. Ik heb tijdens deze les geleerd wat het getal van Avogadro is.				
17. Ik heb tijdens deze les geleerd wat 'de mol' is.				
18. Ik heb tijdens deze les geleerd hoe ik kan rekenen met 'de mol'.				

NB vraag 16 t/m 18: Indien er meerdere kennis-, vaardigheden- en houdingsdoelen zijn aangeleerd, dan is het raadzaam om daar per doel een aparte vraag voor te formuleren. Anders kan de leerling de vraag niet behoorlijk beantwoorden, omdat dan in één vraag naar meerdere doelen wordt gevraagd.

19. Welk eindcijfer geef je deze lessen? (je mag een cijfer geven van 1 - 10):

Heb je verder nog belangrijke opmerkingen die je kwijt wilt? Dan kun je die hieronder nog schrijven.

Dit is het einde. Dank je wel voor het invullen van deze enquête!

[Enquete les 'submicrodiagrammen'](#)

Enquête les 2 'neerslagreacties'

Je hebt zojuist de les rondom het onderwerp 'neerslagreacties' gevolgd. Omdat we graag jullie mening over deze lessen horen, hebben we een enquête gemaakt. Zodoende willen we nagaan of er lessen zijn die eventueel verbeterd kunnen worden en zo ja, waarop ze verbeterd kunnen worden.

De enquête bestaat uit drie onderdelen:

- A. de opzet van de les
- B. de uitvoering van de les
- C. de eindbeoordeling

Per onderdeel (A, B en C) lees je verschillende uitspraken. Het is de bedoeling dat je bij elke uitspraak aangeeft in hoeverre je het er mee eens bent. Zet bij elke uitspraak een kruisje onder één van de volgende beoordelingen:

- helemaal mee oneens
- beetje mee oneens
- beetje mee eens
- helemaal mee eens

Nadat je per onderdeel hebt aangegeven in hoeverre je het ergens mee eens bent, mag je ook nog verbetertips geven. Als je verbetertips hebt, probeer dan zo duidelijk mogelijk te zijn. Dus bijvoorbeeld niet invullen: “meer tijd geven”, maar liever: “het leeswerk liep uit omdat er zoveel informatie was, daardoor kwamen we in tijdnood bij het maken van de berekeningen”.

Tot slot: de enquête is anoniem, wees dus vrij om eerlijk je mening te geven. Dankjewel!

10. Tijdens deze les mochten we veel zelf uitzoeken en zelf ontdekken.				
11. Er waren te veel opdrachten om te oefenen.				

12. Welke eventuele verbetertips heb je voor de uitvoering van de lessen?

C. De eindbeoordeling

	helemaal mee oneens	beetje mee oneens	beetje mee eens	helemaal mee eens
13. Ik vond het erg leuk om aan deze les te werken.				
14. Deze lessen vond ik goed te doen.				
15. Ik heb tijdens deze les echt nieuwe/andere dingen geleerd.				
16. Ik heb tijdens deze les geleerd hoe neerslagreacties op micro niveau eruit zien.				
17. Ik heb tijdens deze les geleerd wat de betekenis is van de coëfficiënten in een reactievergelijking.				
18. Ik heb tijdens deze les geleerd hoe ik macro, micro en symbolische niveau moet voorstellen.				

NB vraag 16 t/m 18: Indien er meerdere kennis-, vaardigheden- en houdingsdoelen zijn aangeleerd, dan is het raadzaam om daar per doel een aparte vraag voor te formuleren. Anders kan de leerling de vraag niet behoorlijk beantwoorden, omdat dan in één vraag naar meerdere doelen wordt gevraagd.

19. Welk eindcijfer geef je deze lessen? (je mag een cijfer geven van 1 - 10):

Heb je verder nog belangrijke opmerkingen die je kwijt wilt? Dan kun je die hieronder nog schrijven.

Dit is het einde. Dank je wel voor het invullen van deze enquête!

12.4 Resultaten havo 5 conceptuele toets

Per misconceptie

Misconcept Leerling	1	2	3	4	5	6	7	8	Extra misconcepten	Aant al
1		x							Reactievergelijking is met tribune ionen	2
2	x	x			x	x	x	x	Reactievergelijking is met tribune ionen	6
3	x	x			x	x		x	Reactievergelijking is met tribune ionen	5
4		x						x	Het niet tekenen van tribue ionen terwijl ze die wel beschrijft in de reactievergelijking.	3
5		x						x	Wanneer iets slecht oplost mengt het niet.	3
6		x						x	Reactievergelijking is met tribune ionen	3
7	x	x						x		3
8	x	x			x	x	x	x		6
9		x								
10	x	x		x			x	x	Reactievergelijking is met tribune ionen	6
11		x						x	Reactievergelijking is met tribune ionen	3
12		x			x			x	Reactievergelijking is met tribune ionen	4
13	x	x				x			Reactievergelijking is met tribune ionen	3
14		x			x	x	x	x	Wanneer iets slecht oplost reageert het niet.	6
15	x	x			x	x		x	Vast zout tekenen met lading.	6
16	x	x			x	x		x	Reactievergelijking is met tribune ionen	6
17	x	x			x	x		x	Reactievergelijking is met tribune ionen	6
18	x	x	x		x			x		5
19		x	x		x			x		4
20	x	x	x	x		x		x		6
21		x						x	Reactievergelijking is met tribune ionen	3
22	x	x			x	x		x	Reactievergelijking is met tribune ionen	5

23	x	x			x	x		x		4
24		x				x			Reactievergelijking is met tribune ionen	3
25		x			x	x		x	Reactievergelijking is met tribune ionen	5
Totaal:	13	25	3	2	13	13	4	21	18	

Per vraag

Vraag 1.

Misconcept	1	2	5	8	
Leerling					
1					
2					
3	x	x		x	Heeft de opdracht niet helemaal goed begrepen schrijft hier namelijk ionen ipv de bolletjes.
4		x			
5		x			
6		x			
7		x			Heeft de opdracht niet helemaal goed begrepen schrijft hier namelijk ionen ipv de bolletjes.
8		x	x		
9		x			
10		x			
11		x		x	Laat nieuwe stoffen ontstaan in haar reactievergelijking.
12		x	x	x	Denkt dat de stof neerslaat.
13		x			
14				x	
15		x		x	Denkt dat de stof neerslaat
16		x	x		

17		x	x	
18	x	x	x	
19		x	x	
20				Tekent de ionen ver uit elkaar.
21				
22		x	x	
23		x	x	
24				
25			x	Denkt dat er een neerslagreactie is.

Vraag 2.

Misconcept 2 6 8
Leerling

1	x		Laat het zout niet neerslaan, lijkt zich hier niet van bewust dat dit gebeurt. (Staat niet in BINAS)
2	x		Laat het zout niet neerslaan, lijkt zich hier niet van bewust dat dit gebeurt. (Staat niet in BINAS)
3			Niet ingevuld.
4			Niet ingevuld.
5		x	Tekent de bolletjes uit elkaar in plaats van een neerslag te laten ontstaan.
6			Tekent de neerslag in één geheel
7	x		Heeft de opdracht niet helemaal goed begrepen schrijft hier namelijk ionen ipv de bolletjes.
8	x		
9			Niet ingevuld.
10	x		Laat zien dat het samengesteld ion in deze opdracht verder dissocieert.

11	x		x	
12	x		x	
13	x			
14	x			Wanneer iets slecht oplost reageert het niet.
15	x		x	
16			x	
17				Niet ingevuld
18	x	x		Heeft het ook over covalentie.
19	x		x	
20				Denkt dat het goed oplost
21				niets ingevuld
22	x	x	x	
23	x			Denkt dat het goed oplost
24	x	x		Verkeerde verhouding
25	x			Denkt dat het goed oplost

Vraag 3.

Misconcept	2	6	8	
Leerling				
1	x			
2	x			
3	x			Alleen het zilver slaat neer en het sulfiet blijft in oplossing.
4			x	Tekent de bolletjes uit elkaar in plaats van een neerslag te laten ontstaan.
5			x	Tekent de bolletjes uit elkaar in plaats van een neerslag te laten ontstaan.
6			x	

7	x		Heeft de opdracht niet helemaal goed begrepen schrijft hier namelijk ionen ipv de bolletjes.
8	x		
9	x		
10			Tekent de bolletjes uit elkaar in plaats van een neerslag te laten ontstaan.
11		x	
12	x	x	
13	x		
14	x		Lost slecht op dus reageert niet.
15	x	x	
16	x		Lost slecht op en tekent ze uit elkaar.
17	x		Lost slecht op en tekent ze uit elkaar.
18	x	x	x
19	x		x
20	x	x	x
21			Tekent erg raar kristalrooster.
22	x		Slecht oplosbaar binden dus niet.
23	x		Lost niet goed op dus binden niet.
24		x	
25			x

Vraag 4.

Misconcept	1	2	3	4	5	6	7	8	
Leerling									
1		x							Reactievergelijking met tribune ionen.

2	x			x	x	x	Reactievergelijking met tribune ionen.
3	x		x	x			Reactievergelijking met tribune ionen.
4	x						Reactievergelijking met tribune ionen.
5	x						Reactievergelijking met tribune ionen.
6	x						Reactievergelijking met tribune ionen.
7	x					x	Reactievergelijking met tribune ionen.
8	x	x		x	x	x	Reactievergelijking met tribune ionen.
9							Niet ingevuld
10					x	x	Reactievergelijking met tribune ionen.
11	x						Reactievergelijking met tribune ionen.
12	x					x	Reactievergelijking met tribune ionen.
13	x			x			
14			x		x		
15	x	x	x				Reactievergelijking met tribune ionen
16	x	x	x	x		x	
17	x	x	x	x		x	Reactievergelijking met tribune ionen

18	x	x	x					x	Tekent het vaste zout nog als ionenen.
19									Niets ingevuld
20	x	x	x						
21		x						x	Reactievergelijking met tribunie ionen
22	x	x			x			x	
23									Totaal verkeerde stof
24		x					x		Reactievergelijking met tribunie ionen
25		x			x	x		x	Reactievergelijking met tribunie ionen

Vraag 5.

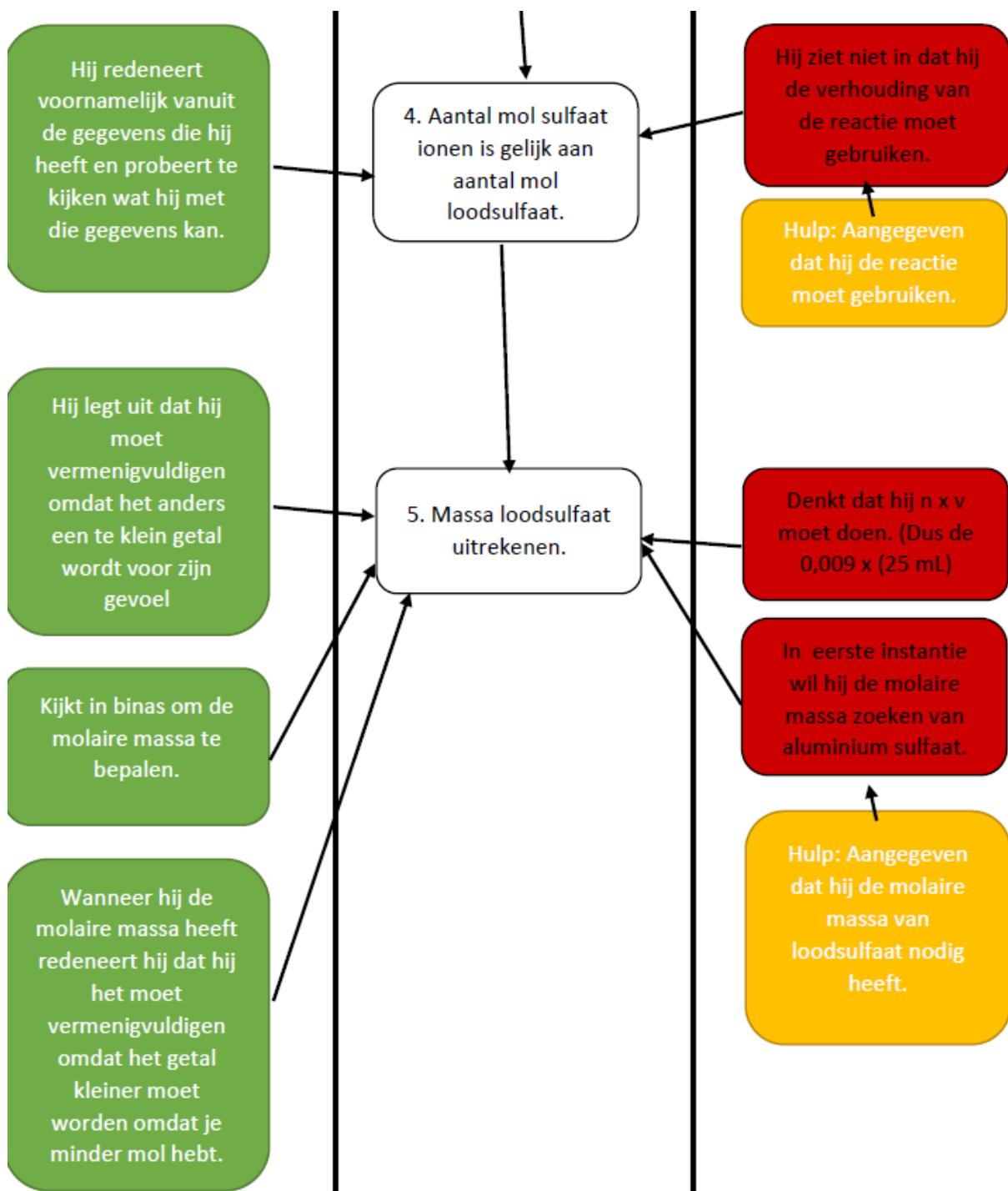
Misconcept	1	2	3	4	5	6	7	8	
Leerling									
1		x							Reactievergelijking met tribune ionen.
2		x				x		x	Reactievergelijking met tribune ionen.
3		x			x	x			Reactievergelijking met tribune ionen.
4		x							Reactievergelijking met tribune ionen.
5		x							Reactievergelijking met tribune ionen.
6		x							Reactievergelijking met tribune ionen.
7	x							x	Reactievergelijking met tribune ionen.
8	x	x				x	x	x	Reactievergelijking met tribune ionen.
9									Niet ingevuld
10				x			x	x	

11		x					Reactievergelijking met tribune ionen.
12		x				x	Reactievergelijking met tribune ionen.
13	x				x		
14				x	x	x	
15	x	x		x	x		Reactievergelijking met tribune ionen.
16				x			Laat de neerslag niet zien heeft het laatste vakje niet getekend.
17	x	x		x	x	x	Reactievergelijking met tribune ionen
18	x	x					
19							Niets ingevuld
20	x	x	x				
21		x				x	Reactievergelijking met tribune ionen
22	x	x		x		x	
23							Mist tribune ionen en schrijft reactievergelijking verkeerd.
24		x			x		Reactievergelijking met tribune ionen
25		x		x	x	x	Reactievergelijking met tribune ionen

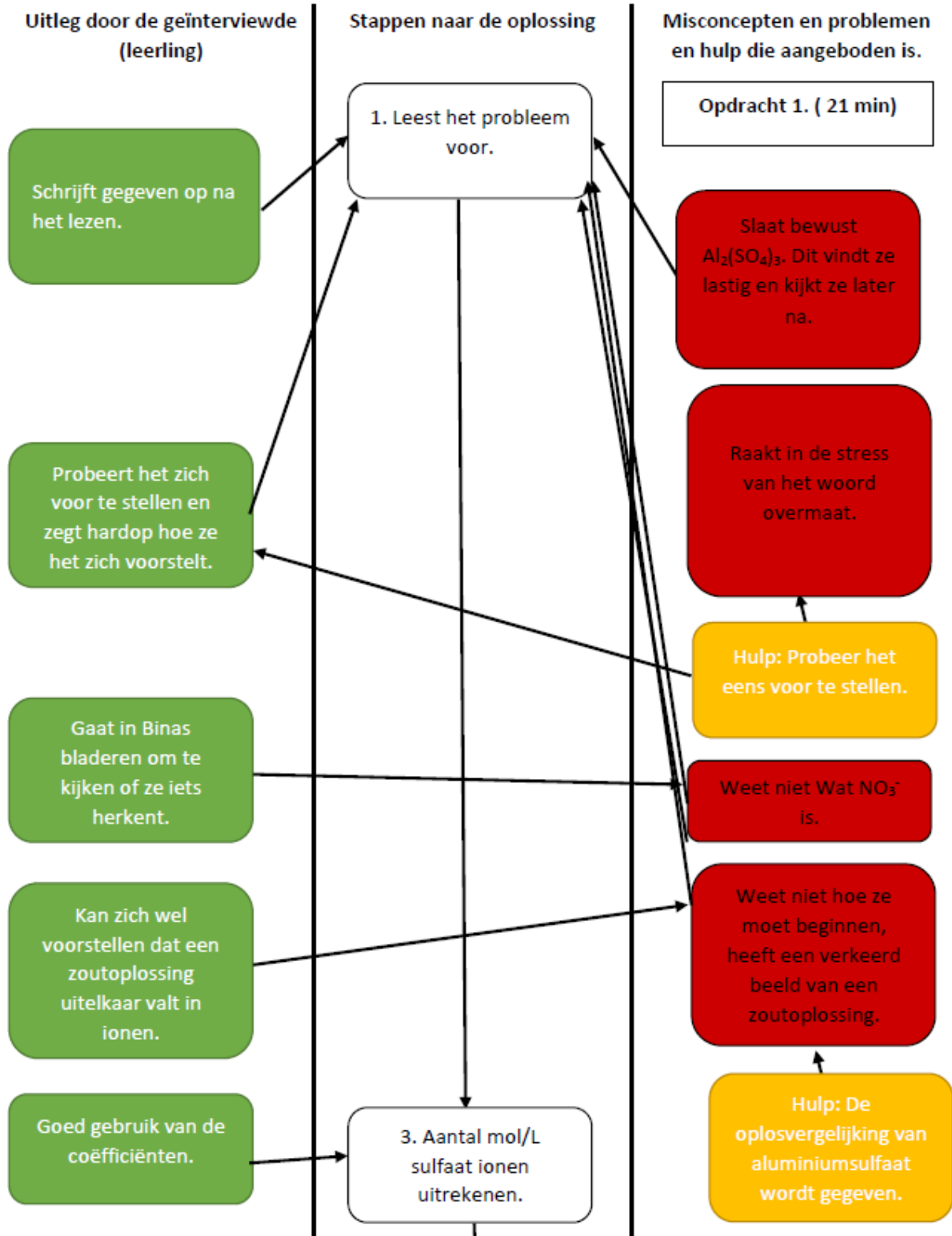
12.5 Probleem gericht interview havo 5

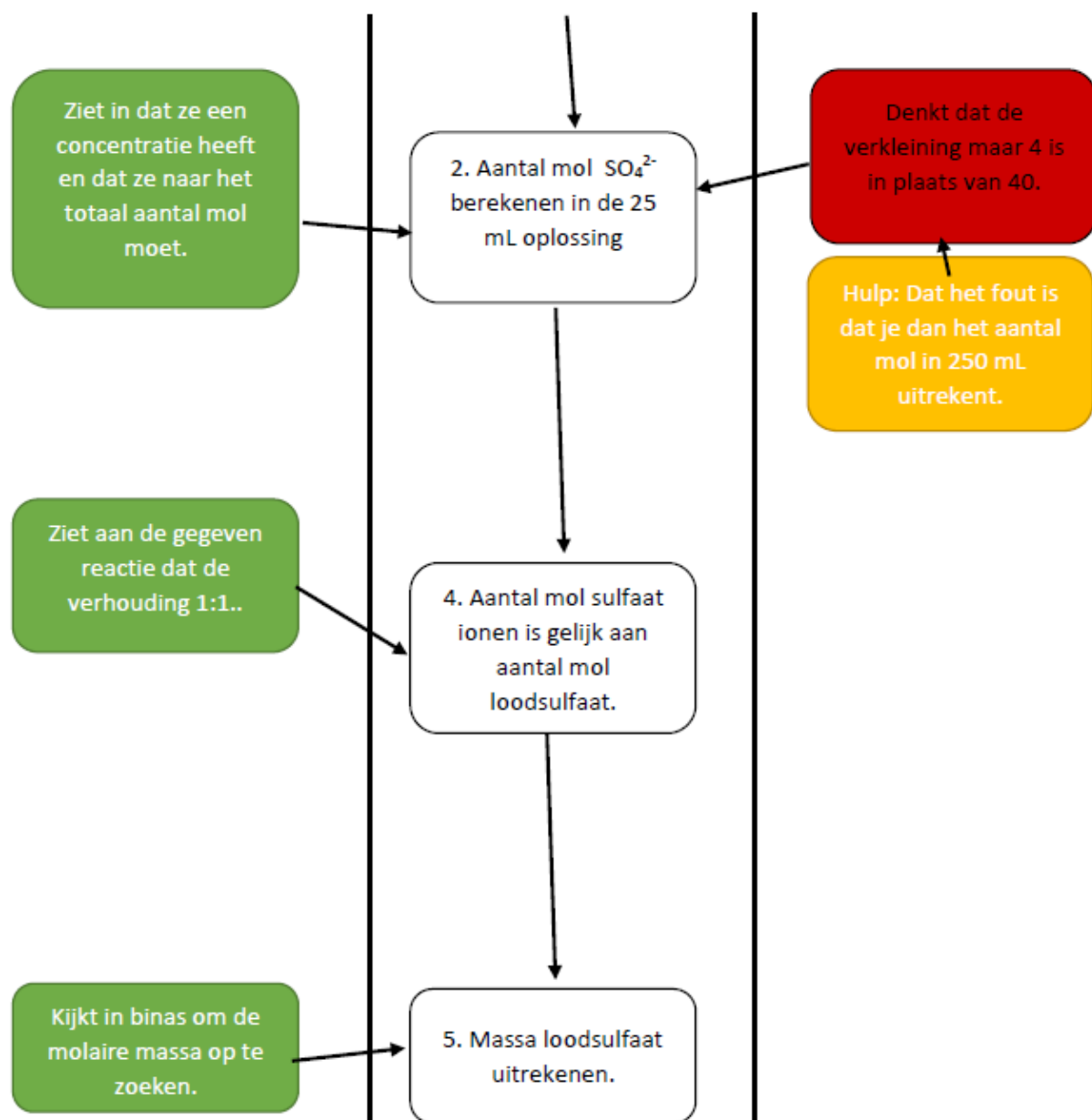
Leerling 1. Laag scorende



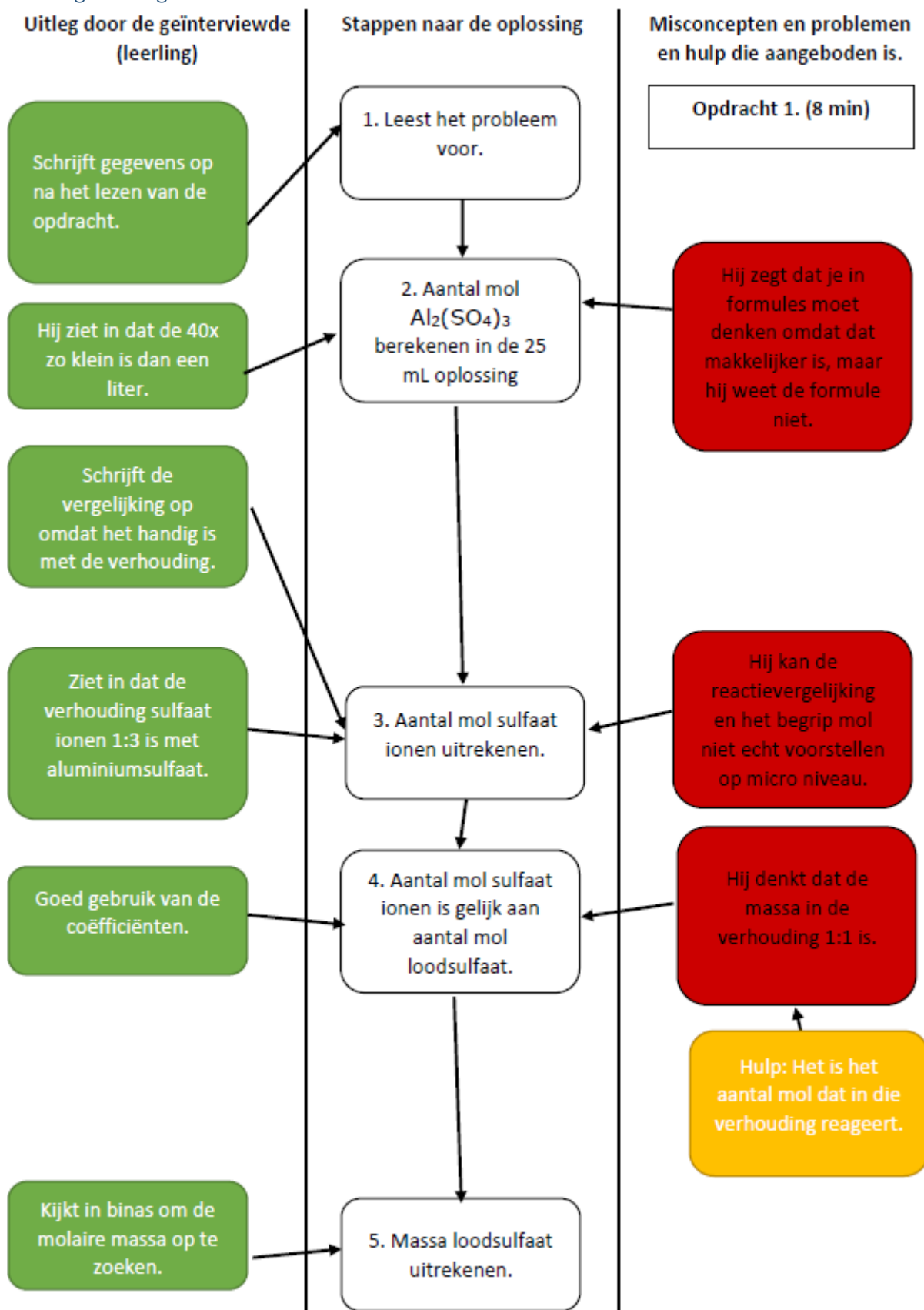


Leerling 2. Middelmatig scorende leerling





Leerling 3. Hoog scorende



12.6 Lesvoorbereidingsformulieren ontwikkelde lessen



Lesvoorbereidingsformulier

Student:	Joost van Vijfeijken	School:	MCE	Uitvoeringsdatum:	19-02-2018
Inschrijfnummer:	2124534	Groep + aantal:	20	Lokaal:	
Collegejaar:	2017-2018	Werplekbegeleider:	-		
		Schoolopleider:	-		
		Instituutsopleider:	-		

Lesonderwerp: 'De mol'

Lesdoelstellingen:

- De leerling kan vanuit een gegeven massa het aantal mol uitrekenen.
- De leerling kan vanuit het aantal mol de massa uitrekenen.
- De leerling kan de definitie van het concept mol omschrijven
- De leerling kan uitleggen wat het verband is tussen het getal van Avogadro en de eenheid 'mol'.

Kernbegrippen/ vaktaalwoorden:

- Chemische hoeveelheid
- 'mol'
- Getal van Avogadro
- Massa

Verwachte of aangenomen beginsituatie:

Leerlingen kunnen massa's omrekenen en formules omzetten.

Leerlingen weten hoe ze moeten vermenigvuldigen en delen.

Ze kunnen in machten rekenen en gebruiken.

Fase	Tijd	Inhouden / leerstof (leerdoel)	Activiteit leraar (werkvormen)	Activiteit leerlingen	Hulpmiddelen	Controle Is het leerdoel bereikt? (per fase toetsen)
Inleiding	15 min.	- Grote van getallen duidelijk maken aan de hand van analogie om het getal van Avogadro inzichtelijk te maken.	Onderwijsleergesprek	Reageren op vragen van docent.	Presentatie	Antwoorden op vragen.
Kern	10 min.	- Toepassing van het getal van Avogadro.	Opdracht uitdelen en waar nodig leerlingen helpen.	Opdracht maken.	Opdracht	Antwoorden op opdracht

	10 min.	- Chemische hoeveelheid met de eenheid mol duidelijk maken met een analogie (eierdoos en kratjes)	Onderwijsleergesprek	Reageren op vragen van docent	Presentatie	Antwoorden op vragen.
	40 min.	- Toepassing van de eenheid mol.	Opdrachten uitdelen en waar nodig leerlingen helpen	Opdrachten maken.	Opdracht	Antwoorden op opdrachten.
Afsluiting	15 min.	Enquête invullen	Enquête uitdelen	Enquête invullen	Enquête	-

Student:	Joost van Vijfeijken	School:	MCE	Uitvoeringsdatum:	19-02-2018
Inschrijfnummer:	2124534	Groep + aantal:	20	Lokaal:	
Collegejaar:	2017-2018	Werplekbegeleider:	-		
		Schoolopleider:	-		
		Instituutopleider:	-		

Lesonderwerp: 'De mol'

Lesdoelstellingen:

- De leerling kan conceptueel begrijpen hoe een neerslagreactie verloopt op macro, micro en sybmolisch niveau.
- De leerling kan rekenen aan concentraties in mol/L.
- De leerling kan rekenen aan neerslagreacties met de eenheid mol.

Kernbegrippen/ vaktaalwoorden:

- Chemische hoeveelheid
- 'mol'
- Neerslagreactie
- Coëfficiënten
- Indexen
- Massa

Verwachte of aangenomen beginsituatie:

Leerlingen weten wat een neerslagreactie is.

Leerlingen kunnen reactievergelijkingen kloppend maken.

Leerlingen bezitten rekenvaardigheden als vermenigvuldigen en delen en weten om te gaan met machten.

Leerlingen weten wat de chemische hoeveelheid is met de eenheid mol. (Zie vorig lesvoorbereidingsformulier)

Fase	Tijd	Inhouden / leerstof (leerdoel)	Activiteit leraar (werkvormen)	Activiteit leerlingen	Hulpmiddelen	Controle Is het leerdoel bereikt? (per fase toetsen)
Inleiding	5 min.	Uitleg van de lesdoelen en hoe de opdrachten gemaakt dienen te worden.	Doceren	Luisteren	Bord	Is terug te zien in de gegeven opdrachten
Kern	15 min.	NEERSLAGREACTIE 1 Een gegeven neerslagreactie op macro niveau vertalen naar micro en symbolisch niveau.	Opdracht uitdelen en de verschillende stappen aangeven in het oplossen en uiteindelijk klassikaal bespreken.	- Leerlingen maken opdracht eerst individueel. - Vervolgens bespreken de leerlingen de antwoorden van elkaar. - Uiteindelijk klassikaal antwoorden bespreken en misconcepten benoemen.	Opdrachten + bord	Antwoorden op opdrachten
	10 min.	Geconstateerde misconcepten zichtbaar maken.	De antwoorden van de leerlingen bespreken en daaruit de misconcepten extraheren, mochten niet alle 8 misconcepten besproken worden dan vult docent deze aan.	Antwoorden geven en zeggen welke misconcepten er zijn.	Bord	Kijken welke misconcepten er geconstateerd worden.

	15 min.	NEERSLAGREACTIE 2 Een gegeven neerslagreactie op macro niveau vertalen naar micro en symbolisch niveau.	Opdracht uitdelen en de verschillende stappen aangeven in het oplossen en uiteindelijk klassikaal bespreken.	- Leerlingen maken opdracht eerst individueel. - Vervolgens bespreken de leerlingen de antwoorden van elkaar. - Uiteindelijk klassikaal antwoorden bespreken en misconcepten benoemen.	Opdrachten + bord	Antwoorden op opdrachten
	10 min.	Herhaling les mol en uitleg casusopdrachten 1 en 2.	Doceren	Luisteren	Bord	- Antwoorden bij opdrachten.
/	15 min.	CASUSOPDRACHT 1 Rekenen aan een gegeven neerslagreactie waarbij massa's of concentraties zijn gegeven.	Opdracht uitdelen en de verschillende stappen aangeven in het oplossen en uiteindelijk klassikaal bespreken.	- Leerlingen maken opdracht eerst individueel. - Vervolgens bespreken de leerlingen de antwoorden van elkaar. - Uiteindelijk klassikaal antwoorden bespreken en misconcepten benoemen.	Opdrachten + bord	Antwoorden op opdrachten

	10 min.	Geconstateerde misconcepten zichtbaar maken.	De antwoorden van de leerlingen bespreken en daaruit de misconcepten extraheren, mochten niet alle 8 misconcepten besproken worden dan vult docent deze aan.	Antwoorden geven en zeggen welke misconcepten er zijn.	Bord	Kijken welke misconcepten er geconstateerd worden.
	15 min.	CASUSOPDRACHT 1 Rekenen aan een gegeven neerslagreactie waarbij massas of concentraties zijn gegeven.	Opdracht uitdelen en de verschillende stappen aangeven in het oplossen en uiteindelijk klassikaal bespreken.	- Leerlingen maken opdracht eerst individueel. - Vervolgens bespreken de leerlingen de antwoorden van elkaar. - Uiteindelijk klassikaal antwoorden bespreken en misconcepten benoemen.	Opdrachten + bord	Antwoorden op opdrachten
	10 min.	Geconstateerde misconcepten zichtbaar maken.	De antwoorden van de leerlingen bespreken en daaruit de misconcepten extraheren, mochten niet alle 8 misconcepten besproken worden dan vult docent deze aan.	Antwoorden geven en zeggen welke misconcepten er zijn.	Bord	Kijken welke misconcepten er geconstateerd worden.
Afsluiting	10 min	Enquête invullen	Enquête uitdelen	Enquête invullen	Enquête	-

12.7 presentatie les 'mol'

HOOFDSTUK 5

CHEMISCH REKENEN

LESDOELEN 5.1

- Herhaling:
 - Wet van behoud van massa
 - Molecuulmassa
- Je weet wat de 'chemische hoeveelheid' is met de eenheid 'mol'.
- Je kunt rekenen met de 'mol'.
- Je weet wat het getal van Avogadro is.

WET VAN LAVOISIER

De totaalmassa van de beginstoffen is gelijk aan de totaalmassa van de reactieproducten.

Wanneer je van één stof teveel hebt toegevoegd dan zal deze na de reactie blijven liggen. Deze stof, in ons geval ammoniak is dan in overmaat.



GROTE GETALLEN

- Hoeveel auto's zijn er op de wereld?



GROTE GETALLEN

- Hoeveel auto's zijn er op de wereld?

1.000.000.000 (ca. 1 miljard)

GROTE GETALLEN

- Hoeveel mensen zijn er op de wereld?



GROTE GETALLEN

- Hoeveel mensen zijn er op de wereld?

7.442.000.000 (7 miljard 442 miljoen)

GROTE GETALLEN

- Hoeveel zandkorrels liggen er op het strand van Texel?



GROTE GETALLEN

- Hoeveel zandkorrels liggen er op het strand van Texel?

$1.000.000.000.000.000.000.000 = 1 \text{ triljard} = 1,00 \cdot 10^{21}$

ZANDKORRELS TELLEN

- "Wat als elke persoon tachtig jaar zou worden en op aarde heel de dag zandkorrels begint te tellen en dit doet met een snelheid van 1 korrel per seconde, hoeveel zandkorrels zouden er geteld worden?"



ZANDKORRELS TELLEN

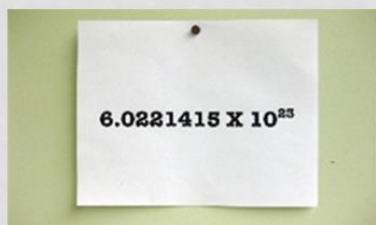
- "Wat als elke persoon tachtig jaar zou worden en op aarde heel de dag zandkorrels begint te tellen en dit doet met een snelheid van 1 korrel per seconde, hoeveel zandkorrels zouden er geteld worden?"

$18.600.000.000.000.000.000 = 1,86 \cdot 10^{19}$

HOEVEEL MOLECULEN ZITTEN ER IN EEN GLAS WATER

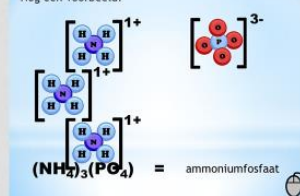


HOEVEEL MOLECULEN ZITTEN ER IN EEN GLAS WATER



AMMONIUMFOSFAAT

Nog een voorbeeld:



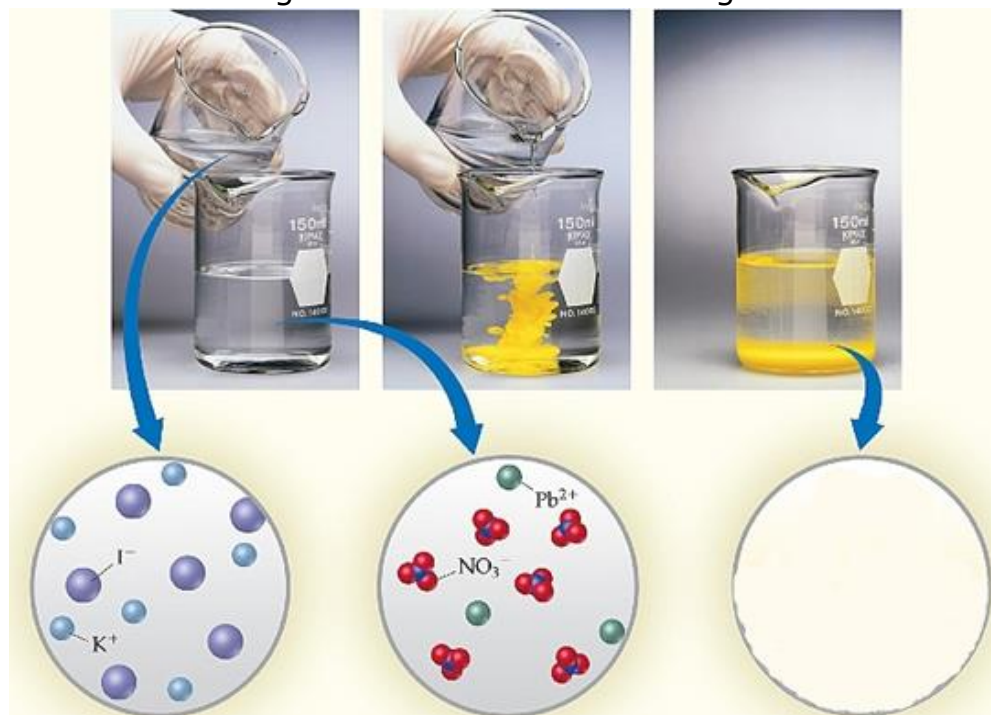
12.8 stencil oefenopdrachten mol

1. Bereken het aantal mol in 1,0 gram H_2CO_3 .
2. Bereken de massa van 3,94 mol $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.
3. Bereken het aantal mol in 1,00 gram $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.
4. Bereken de molaire massa van $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$.
5. Bereken de molaire massa van $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$.
6. Bereken het aantal mol in 1,00 gram H_2O_2 .
7. Bereken de massa van 2,90 mol NaCl .
8. Een hoeveelheid van de verbinding $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ bevat 30,0 g koolstof. Hoeveel mol van deze verbinding is aanwezig?
9. Een hoeveelheid van de verbinding $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ heeft een massa van 20,0 g. Hoeveel mol waterstof bevat de verbinding?
10. Bereken de massa in gram van 2,20 mol Ag_2O .

Conceptueel aanleren van (zout) oplossingen

Casus I

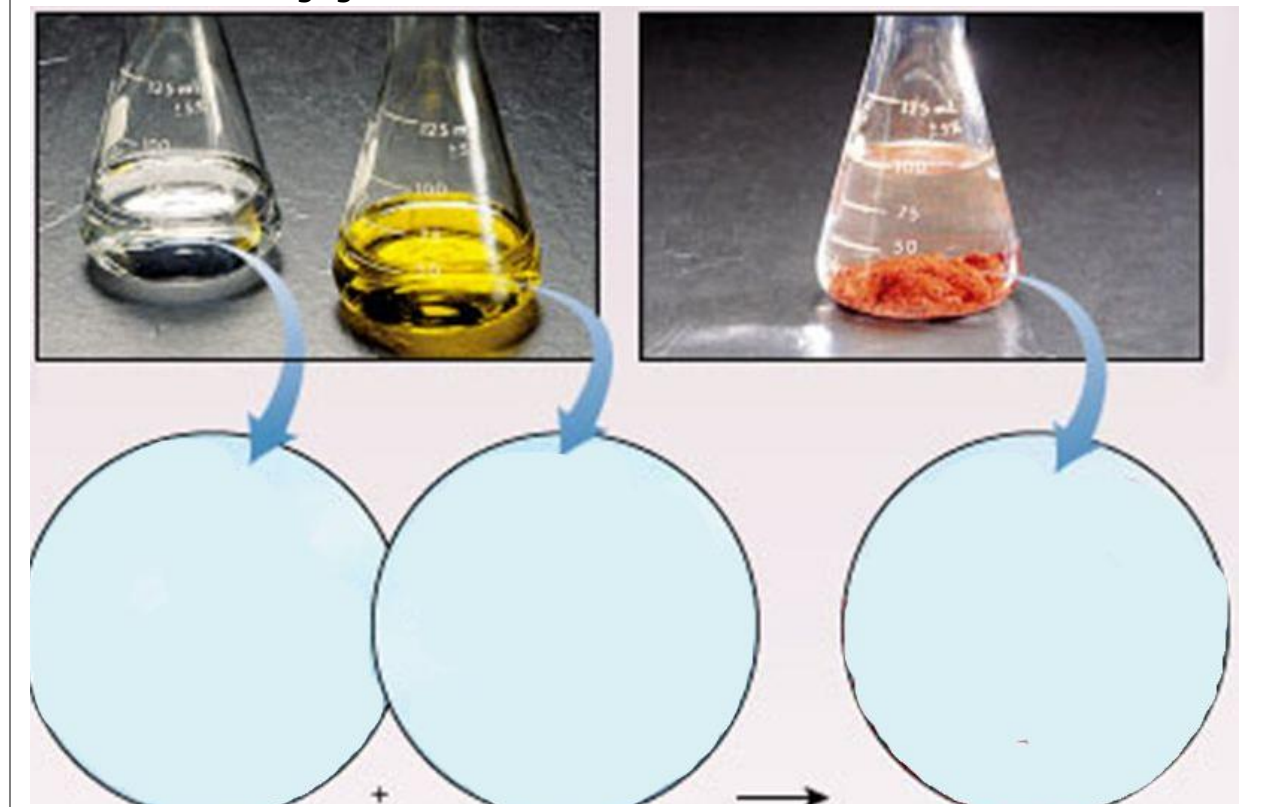
Wanneer een kaliumjodide oplossing samen wordt gevoegd met een loodnitraat oplossing dan treed er een neerslagreactie op. Deze is in onderstaande afbeeldingen weergegeven. Van de oplossingen die bij elkaar gedaan worden is ook de voorstelling op micro niveau afgebeeld, waarbij voor de duidelijkheid de watermoleculen zijn weggelaten. Alleen bij de laatste afbeelding is het microniveau niet afgebeeld.



- p 1 Teken op het antwoordblad hoe de situatie op micro niveau er in het bekerglas van de meest rechtse afbeelding uitziет. Houd hierbij ook rekening met het, aantal getekende deeltjes in de andere tekeningen op micro niveau.
- p 2 Wat is de neerslagvergelijking tussen een kaliumjodide oplossing en een loodnitraat oplossing. Schrijf hierbij ook de juiste toestandsaanduiding

Casus II

Wanneer een zilvernitraat oplossing samen wordt gevoegd met een natriumchromaat oplossing dan treed er een neerslagreactie op. Deze is in onderstaande afbeeldingen weergegeven. Dit keer is nergens het micro niveau van weergegeven.



- p 3 Teken op het antwoordblad hoe de situatie op micro niveau er in ieder bekerglas uit ziet.
- p 4 Noteer de neerslagvergelijking tussen een zilvernitraat oplossing en een natriumchromaat oplossing. Schrijf hierbij ook de juiste toestandsaanduiding.

Casus III

Natriumnitraat is verontreinigd met natriumchloride. Men wil het massapercentage natriumchloride in dit verontreinigde natriumnitraat bepalen. Hiertoe lost men 12,0 gram van het mengsel op in water. Vervolgens voegt men een overmaat zilvernitraatoplossing toe. Hierbij ontstaat een neerslag.

- p **5** Teken de reactie van de neerslagvorming op micro niveau.
- p **6** Noteer de reactievergelijking van deze neerslagvorming.

Er blijkt 0,672 gram neerslag gevormd te zijn.

- p **7** Bereken hoeveel mol chloride-ionen waren aanwezig in 12,0 gram van het mengsel?
- p **8** Bereken hoeveel gram natriumchloride bevatte de verontreinigde natriumnitraat?

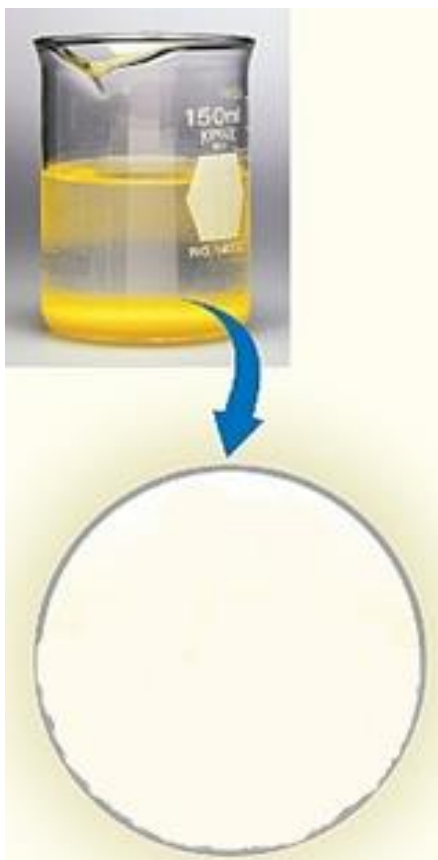
Casus IV

Pim lost 13 gram kaliumjodide op. Vervolgens lost hij 35 gram lood(II)nitraat op. Beide oplossingen voegt hij bij elkaar, er ontstaat een neerslag van lood(II)jodide.

- p **9** Teken de reactie van de neerslagvorming op micro niveau.
- p **10** Noteer de reactievergelijking van deze neerslagvorming.
- p **11** Bereken hoeveel mol lood(II)jodide ontstaat?
- p **12** Bereken hoeveel gram lood(II)jodide ontstaat er?
- p **13** Welke stof is in overmaat en hoeveel gram?

Neerslagreactie I

- p **1** Maak de tekening op micro niveau in onderstaand afbeelding.

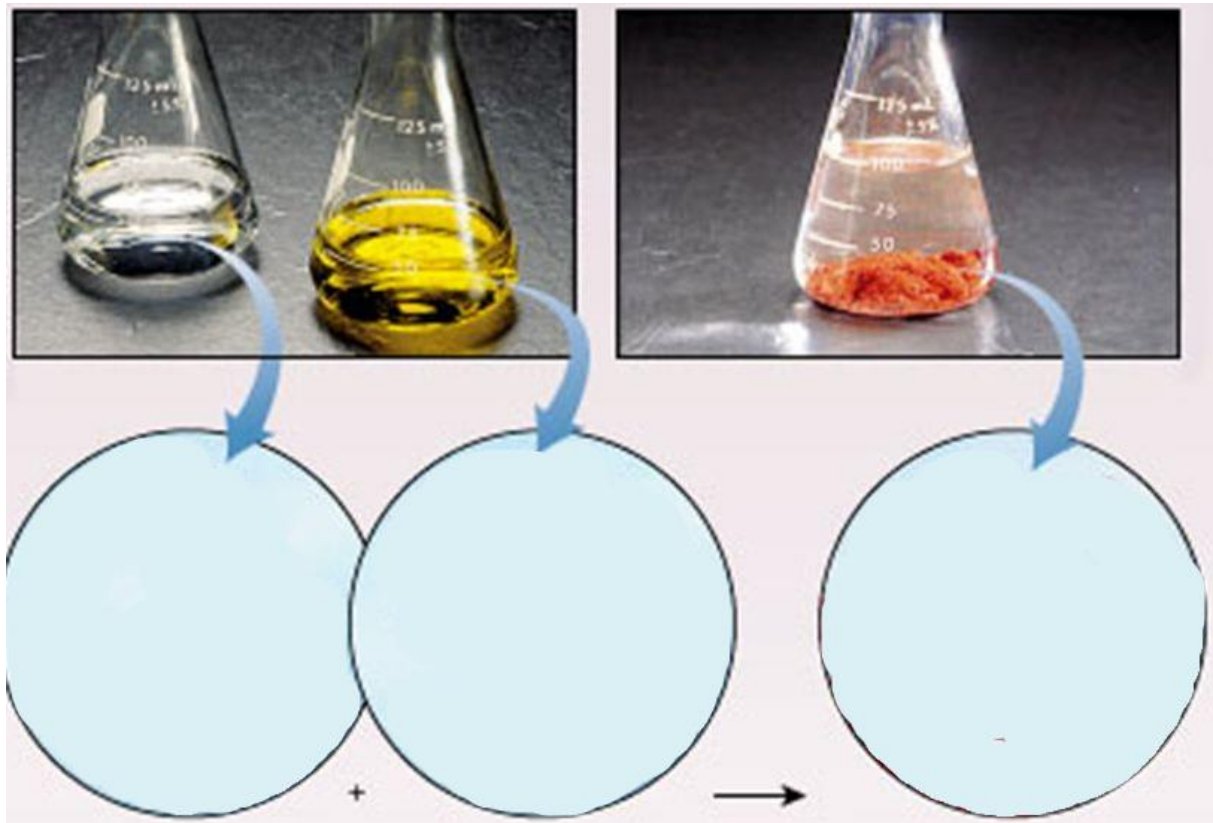


- p **2** De neerslagvergelijking tussen kaliumjodide en loodnitraat is:

.....
.....
.....

Neerslagreactie II

p 3 Maak de tekening op micro niveau in onderstaand afbeelding.

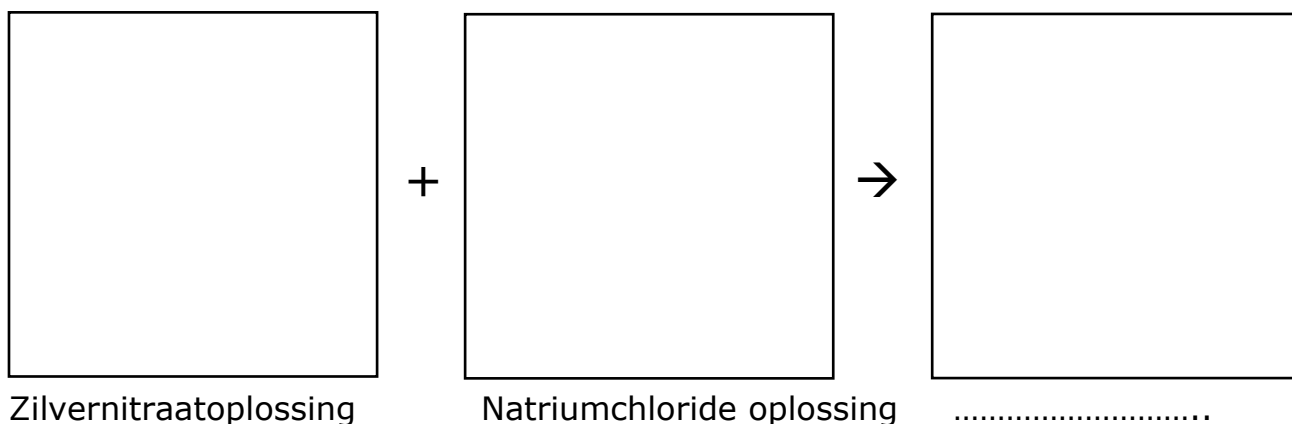


p 4 De neerslagvergelijking tussen zilvernitraat en natriumchromaat is:

.....
.....
.....

Casus I

- p **5** Maak de tekening op micro niveau in onderstaand hokken.



- p **6** De reactievergelijking tussen zilvernitraat en natriumchloride is:

.....

.....

.....

- p **7** De berekening van het aantal mol chloride ionen is:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- p **8** De berekening van het aantal gram natriumchloride ionen is:

.....

.....

.....

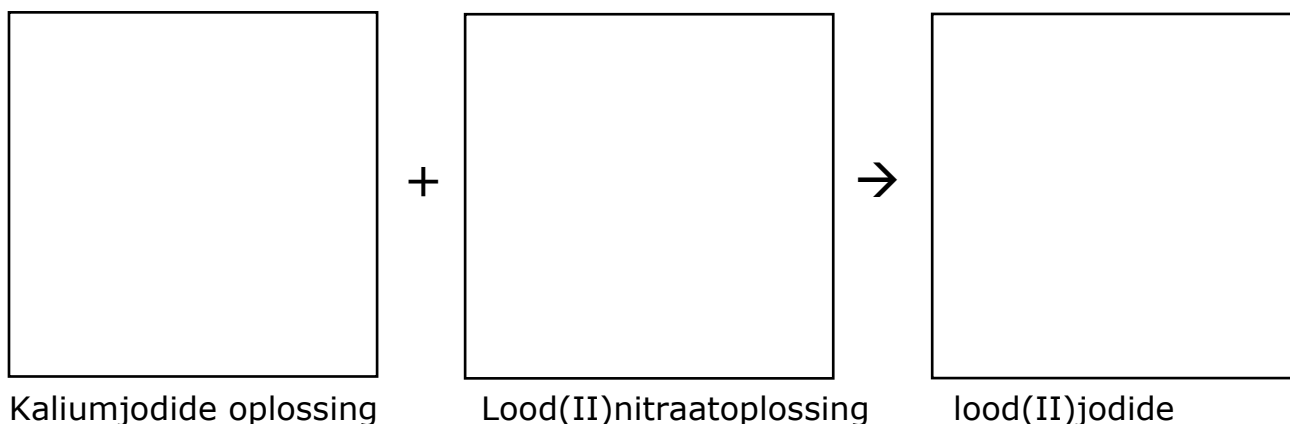
.....

.....

.....

Casus II

p **9** Maak de tekening op micro niveau in onderstaand hokken.



p **10** De reactievergelijking tussen kaliumjodide en lood(II)nitraat is:

.....

.....

.....

p **11** De berekening van het aantal mol lood(II)jodide is:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

p **12** De berekening van het aantal gram lood(II)jodide ionen is:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

p **13** De berekening van het aantal gram overmaat is:

.....

.....

.....

12.10 Resultaten conceptuele toets havo 4

Misconcept Leerling	1	2	3	4	5	6	7	8	Extra misconcepten	Aantal
1		x				x		x	Reactievergelijking is niet kloppend	4
2		x			x			x	Reactievergelijking is niet kloppend	4
3	x	x			x			x		4
4		x			x			x		3
5									Vergeten tribune-ionen te tekenen in het vakje van de neerslagreactie.	2
6		x								1
7									Reactievergelijking is fout, daar worden gehele zouten opgeschreven ipv de reagerende ionen van een zoutoplossing.	2
8	x	x								1
9		x								1
10		x								1
11		x				x			Reactievergelijking vergeten	3
12		x								1
13										
14		x								1
15		x								1
16									Reactievergelijking is fout, daar worden gehele zouten opgeschreven ipv de reagerende ionen van een zoutoplossing.	3
17	x	x								1
18		x								1

19						Reactievergelijking is fout, daar worden gehele zouten opgeschreven ipv de reagerende ionen van een zoutoplossing.	
	x				x		3
20							0
21		x	x		x	Verkeerde reactievergelijking	4
22	x	x					2

Per vraag

Vraag 1.

	Misconcept	1	2	5	8
Leerling					
1					
2				x	x
3				x	x
4				x	x
5		x			
6					
7					
8		x			
9					
10					
11					
12					
13					
14		x			
15		x			
16		x			

17	x
18	
19	
20	
21	x
22	

Vraag 2.

Misconcept 2 6 8
Leerling

1	x		x
2			Tekent het neergeslagen zout wel ver uit elkaar op de bodem.
3			
4	x		
5	x		
6	x		
7			
8	x		
9	x		
10	x		
11			
12	x		
13			
14	x		
15	x		
16	x		
17	x		

18	
19	
20	
21	Heeft het over tribune ionen die nog in oplossing blijven, geeft hierbij niet aan om welke ionen het gaat.
22	x

Vraag 3.

Misconcept 2 6 8
 Leerling

1	x
2	x
3	
4	x
5	x
6	x
7	
8	x
9	
10	x
11	
12	x
13	
14	x
15	x
16	x
17	x

18	
19	
20	
21	x
22	

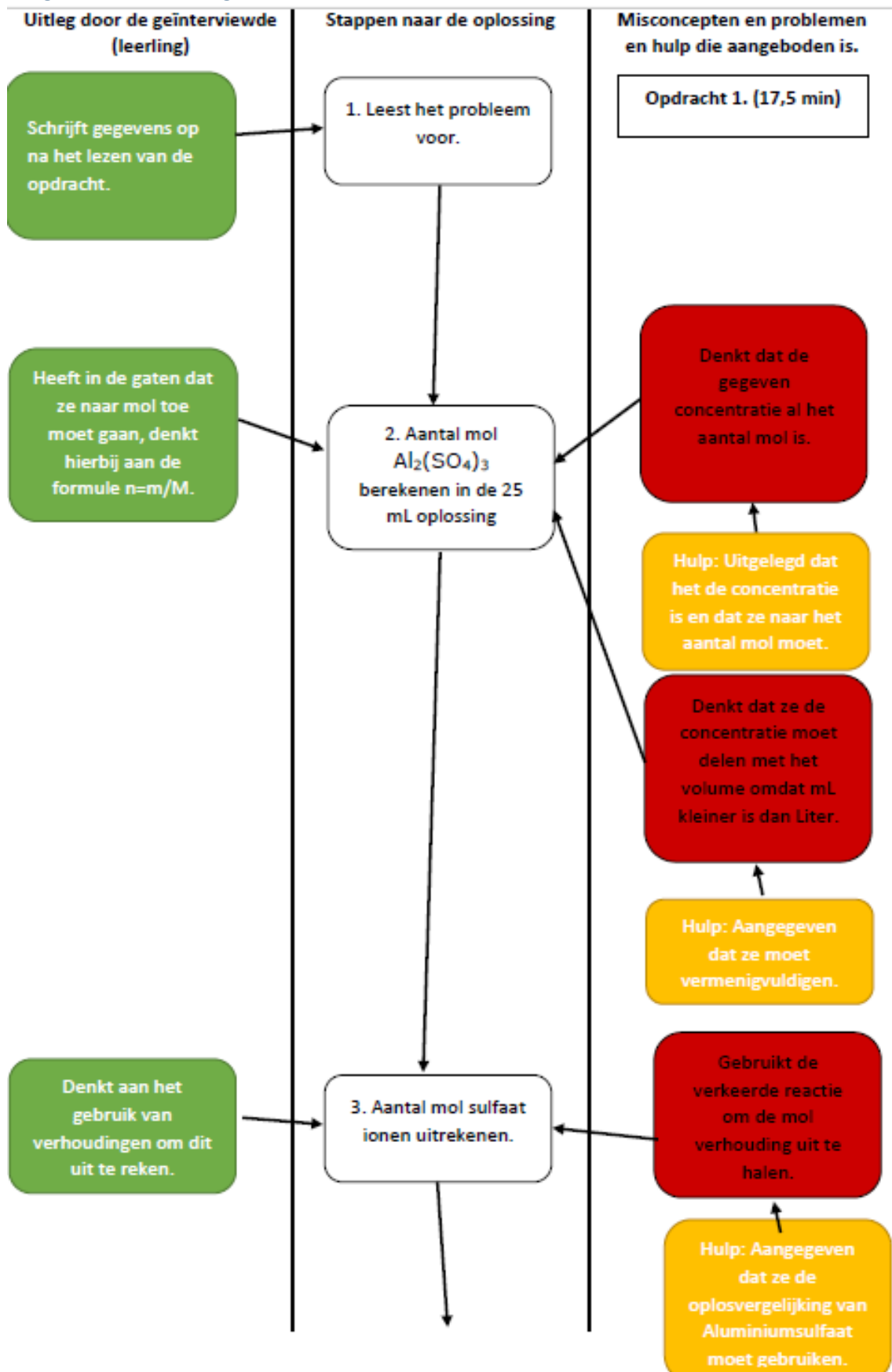
Vraag 4.

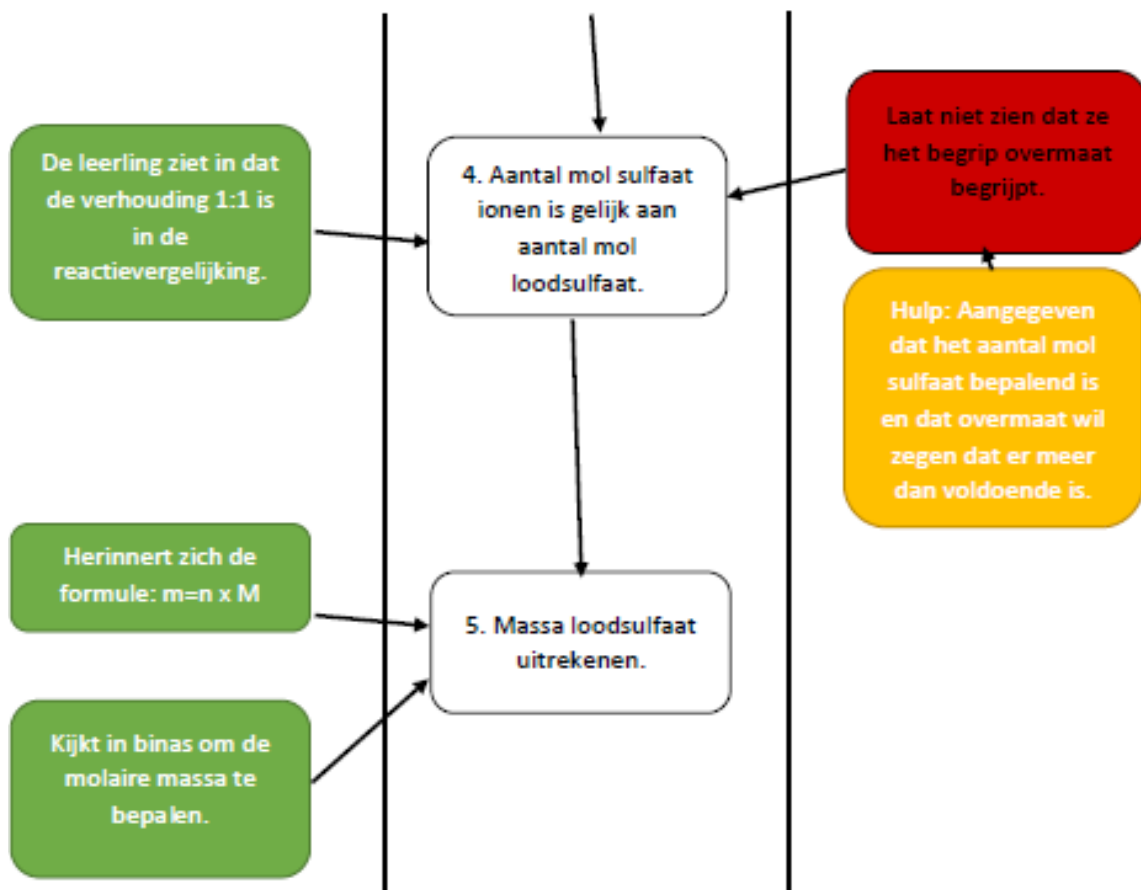
Misconcept Leerling	1	2	3	4	5	6	7	8	
1		x				x			
2		x							Niet getekend
3									Tekent te weinig natrium- en hydroxide ionen.
4	x	x							
5									Vergeten tribune-ionen te tekenen in het vakje van de neerslagreactie.
6		x							
7									Reactievergelijking is fout, daar worden gehele zouten opgeschreven ipv de reagerende ionen van een zoutoplossing.
8	x	x							
9		x							
10									
11		x				x			Reactievergelijking vergeten.

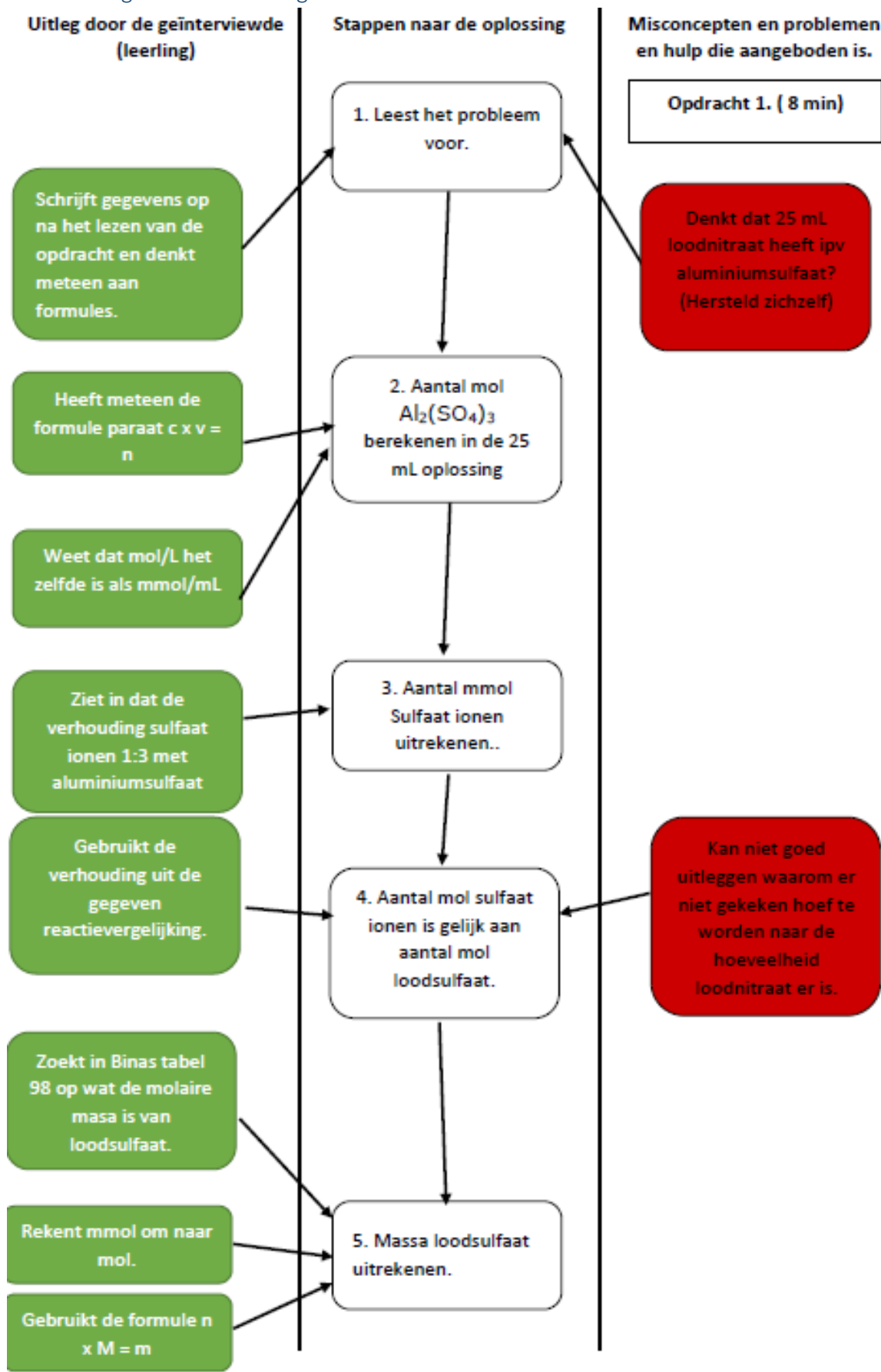
4	x	x	
5			
6			Vergeten tribune-ionen te tekenen in het vakje van de neerslagreactie.
		x	
7		x	
8			Reactievergelijking is fout, daar worden gehele zouten opgeschreven ipv de reagerende ionen van een zoutoplossing.
	x		
9		x	
10			
11			
12		x	Laatste tekening niet getekend.
13			
14			
15			
16			
17			Reactievergelijking is fout, daar worden gehele zouten opgeschreven ipv de reagerende ionen van een zoutoplossing.
	x	x	
18		x	
19		x	
20			Reactievergelijking is fout, daar worden gehele zouten opgeschreven ipv de reagerende ionen van een zoutoplossing.
	x		x
21			
22		x	x
			Reactievergelijking is niet kloppend

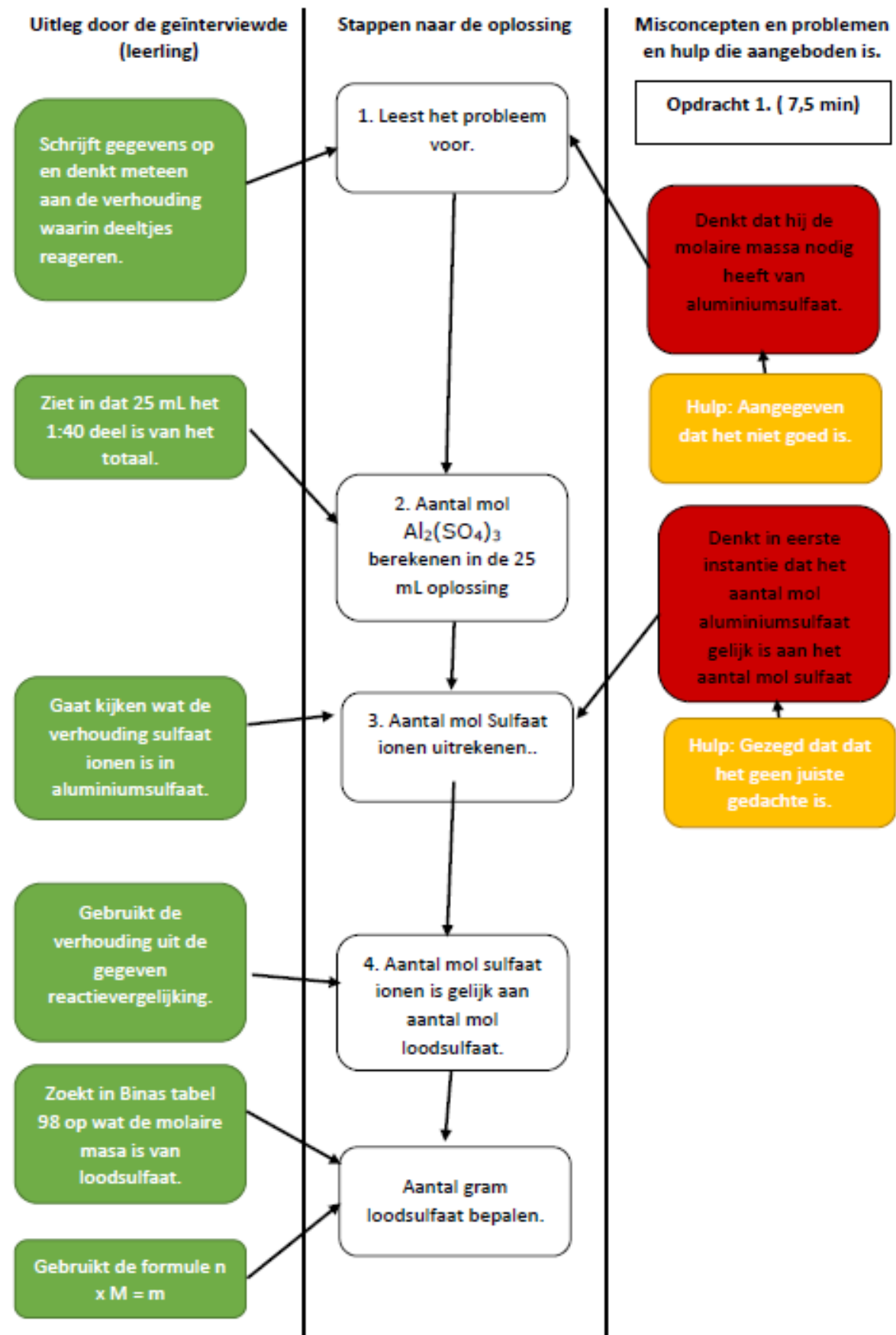
12.11 Resultaten probleemgericht interview havo 4

Laag scorende leerling









12.12 Resultaten leerlinge enquête les 'mol'

De opzet van de les.

Score op vraag ----- Leerling	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5	Opmerkingen
Leerling 1	4	4	3	4	3	
Leerling 2	4	3	3	4	4	
Leerling 3	4	4	4	4	2,5	Geen, ik moet alleen voor me zelf nog goed door oefenen.
Leerling 4	4	3	3	4	4	
Leerling 5	4	4	3	4	4	
Leerling 6	3	3	4	4	3	lets rustiger praten.
Leerling 7	4	4	4	4	4	
Leerling 8	4	4	4	4	4	
Leerling 9	4	3	4	4	3	Wat goed wat was het voorbeeld van de kratten en dozijnen
Leerling 10	4	3	4	4	3	Misschien meerdere klassen opgaves samen maken.
Leerling 11	4	4	4	4	4	
Leerling 12	4	3	4	4	4	Hoe we de mol moesten gebruiken tijdens de opdrachten was mij nog niet helemaal duidelijk.

Leerling 13	4	4	4	4	4	Dingen zoals zand zijn niet echt interessant. Jongeren zijn geïnteresseerd in eten dus als voorbeeld zou je iets kunnen gebruiken als burgers.
Leerling 14	4	3	3	4	3	
Leerling 15	4	4	3	4	4	
Leerling 16	4	4	4	4	3	
Leerling 17	4	3	3	4	4	
Leerling 18	4	3	4	3	3	
Leerling 19	4	4	4	4	4	
Leerling 20	4	3	3	4	4	
Gem.	4,0	3,5	3,6	4,0	3,6	

De uitvoering van de les

Score op vraag ----- ---	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5	Opmerkingen
Leerling						
Leerling 1	1	4	3	3	2	
Leerling 2	1	4	4	4	1	
Leerling 3	1	4	2	2	1	
Leerling 4	1	4	4	3	2	
Leerling 5	1	4	3	2,5	1	
Leerling 6	1	4	4	4	1	
Leerling 7	1	4	4	3	1	
Leerling 8	1	4	3	3	2	

Leerling 9	1	3	3	3	2	Je geeft goed les Joost Bij 9. Het lukte niet op binnen de tijd alle opgaves te maken maar ik snap het alsnog.
Leerling 10	1	4	3	2,5	1	
Leerling 11	1	4	3	4	1	
Leerling 12	1	4	2	3	1	
Leerling 13	2	3	4	2	3	
Leerling 14	1	4	4	2	3	
Leerling 15	1	3	4	2	3	
Leerling 16	2	4	4	3	2	
Leerling 17	1	4	4	4	2	
Leerling 18	1	4	1	4	1	
Leerling 19	2	4	4	3	2	
Leerling 20	1	4	4	4	1	
Gemiddelde	1,2	3,9	3,4	3,1	1,7	

De inhoud van de les

Score op vraag -----	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5	Vraag 6
Leerling						
Leerling 1		3	3	4	4	4
Leerling 2		3	4	4	3	3,5
Leerling 3		3	3	4	3	4
Leerling 4		3	4	4	4	4
Leerling 5	x		3	4	4	3
Leerling 6		3	3	4	4	4
Leerling 7		4	4	4	4	4
Leerling 8		4	4	4	4	4
Leerling 9		3	4	4	3	4
Leerling 10		4	3	3	4	4

Leerling 11	3	4	4	4	4	4
Leerling 12	3	4	4	3	4	3
Leerling 13	3	4	4	4	4	4
Leerling 14	2	4	4	4	3	4
Leerling 15	3	4	2	4	3	4
Leerling 16	3	4	4	3	4	4
Leerling 17	3	4	3	4	4	4
Leerling 18	2	3	4	3	3	3
Leerling 19	3	3	4	4	4	3
Leerling 20	3	4	4	4	4	4
Gemiddelde	3,1	3,7	3,8	3,7	3,8	3,6

Eindcijfer + opmerking

Leerling	Cijfer	Opmerking
Leerling 1	9	niets
Leerling 2	8,5	Ik vond de uitleg met voorbeelden heel goed. Misschien is een stappenplan hoe je met moel moet rekenen handig of een duidelijk overzicht met als je dit moet bereken dan doe je dat.
Leerling 3	8	niets
Leerling 4	8	Goede uitleg, genoeg hulp. Met kratten denken is echt een fijn hulpmiddel.
Leerling 5	8,8	niets
Leerling 6	8	niets
Leerling 7	10	niets
Leerling 8	10	niets
Leerling 9	9	niets
Leerling 10	8,9	niets
Leerling 11	8,8	Het was bijna allemaal wel duidelijk vandaar de 8,8

Leerling 12	9	Het toepassen van 'mol' kan misschien nog iets meer duidelijker behandeld worden.
Leerling 13	8,5	Ik begrijp wat ik moet uitrekenen
Leerling 14	8	niets
Leerling 15	8	Nu snap ik het
Leerling 16	7,5	niets
Leerling 17	7,8	Het was eerst een beetje vaag, maar door de opdrachten werd het duidelijker
Leerling 18	9	niets
Leerling 19	8,8	
Leerling 20	8	Ik vond bij het begin de opdrachten moeilijk maar na 1 opdracht met uitleg snapte ik ook makkelijk wat ik bij de andere opdrachten moest doen.
gem	8,58	

12.13 Resultaten leerlinge enquête les 'submicrodiagrammen'

De opzet van de les

Score op vraag ----- Leerling	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5	Opmerkingen
Leerling 1	4	3	4	4	3	geen, Je kan alleen en samenwerken en joost greep optijd in als het (bij de klas) niet lukte, of iets fout ging. Geen idee het is vooral dat ik moest inkomen van het molrekenen etc. Opdrachten die klassikaal gaan iets rustiger bespreken, iets meer tijd om zelf opdrachten te maken en ondertussen vragen aan jou te stellen. Meer klassikaal opgaves maken
Leerling 2	4	2	3	4	3	
Leerling 3	4	3	3	2	3	
Leerling 4	3	3	2	4	2	
Leerling 5	3	3	2	3	2	
Leerling 6	4	3	4	4	3	
Leerling 7	4	3	2	4	3	
Leerling 8	3	4	3	4	3	
Leerling 9	3	3	4	4	3	
Leerling 10	4	3	3	4	3	
Leerling 11	3	3	2,5	3,5	4	
Leerling 12	3	3	2,5	3,5	4	

Leerling 13	4	3	3	4	3	Zoals aangegeven KWT voor individuele uitleg
Leerling 14	4	3	3	4	4	
Leerling 15	2	2	1	3	3	
Leerling 16	3	3	3	4	3	
Leerling 17	4	4	3	3	4	
Leerling 18	3	2	2	3	3	
Leerling 19	4	3	3	4	3	
Leerling 20	4	3	3	2	4	
Gem.	3,5	3,0	2,8	3,6	3,2	

De uitvoering van de les

Score op vraag ----- ---	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5	Opmerkingen
Leerling						
Leerling 1	1	4	3	3	1	Wat duidelijke voorbeeldvragen om te laten zien hoe je het moet aanpakken.
Leerling 2	1	4	4	3	1	
Leerling 3	1	4	3	3	1	
Leerling 4	1	4	4	4	1	
Leerling 5	2	3	3	3	2	
Leerling 6	1	4	3	3	1	
Leerling 7	1	4	4	4	1	
Leerling 8	2	3	2	3	4	

Leerling 9	1	4	4	4	2	Ik had elke keer een klein beetje tijdsnood iets sneller klassikaal gaan als mensen dezelfde vraag hebben
Leerling 10	1	4	3	4	1	
Leerling 11	1	4	3	3	2	
Leerling 12	1	4	3,5	3	1	
Leerling 13	1,5	4	4	3	2	
Leerling 14	1	4	4	3	1	
Leerling 15	1	3	4	4	1	
Leerling 16	2	4	4	4	2	
Leerling 17	1	2	2	3	4	
Leerling 18	1	3	2	2	3	
Leerling 19	2	3,5	4	3	2	
Leerling 20	1	4	2	4	1	
Gemiddelde	1,2	3,7	3,3	3,3	1,7	

De inhoud van de les

Score op vraag -----	Vraag 1	Vraag 2	Vraag 3	Vraag 4	Vraag 5	Vraag 6
Leerling						
Leerling 1		3	4	4	4	3
Leerling 2		3	4	4	4	4
Leerling 3		3	2	4	4	2
Leerling 4		3	3	4	4	3
Leerling 5	4		4	3	3	3
Leerling 6		3	3	4	3	4
Leerling 7		3	4	4	3	2

Leerling 8	3	3	4	4	3	3
Leerling 9	4	4	4	4	3	4
Leerling 10	3	4	4	4	3	4
Leerling 11	3	3,5	3	4	4	3,5
Leerling 12	3	3,5	3,5	3,5	2,5	3
Leerling 13	4	3	3	4	4	4
Leerling 14	3	4	4	3	3	4
Leerling 15	2	2	4	3	3	3
Leerling 16	3	3	4	4	3	4
Leerling 17	2	3	4	4	4	4
Leerling 18	2	2	3	3	2	3
Leerling 19	3	3	4	4	3	4
Leerling 20	3	4	4	4	3	4
Gemiddelde	3,0	3,3	3,8	3,7	3,1	3,5

Eindcijfer + opmerking

Leerling	Cijfer	Opmerking
Leerling 1	8,5	niets
Leerling 2	9	niets
Leerling 3	8,5	niets
Leerling 4	8,5	De uitleg was goed maar ik begreep het langzaam. Misschien iets langzamer uitleggen.
Leerling 5	7,5	Duidelijke uitleg alleen zou ik graag meer samen met de klas willen maken klassikaal dus.
Leerling 6	10	niets
Leerling 7	9	niets
Leerling 8	8	niets

Leerling 9	9	niets
Leerling 10	9	niets
Leerling 11	7	niets
Leerling 12	7	niets
Leerling 13	9	niets
Leerling 14	7,5	niets
Leerling 15	7	niets
Leerling 16	7	niets
Leerling 17	7,5	niets
Leerling 18	7	niets
Leerling 19	8	niets
Leerling 20	8,5	niets
gem	8,13	