

MASTER

Rekenen aan reacties een interventie waarbij diep leren centraal staat

Thijssen, S.M.M.; Vaassen, J.M.J.

Award date:
2017

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

Rekenen aan reacties: een interventie waarbij diep leren centraal staat

Selina Thijssen, s169278,

Scheikunde

Justine Vaassen, s165762,

Scheikunde

Onderzoek van Onderwijs *10 EC* (EME40 + EME41)

Begeleiding: Dr. Lesley de Putter - Smits

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
Inleiding	6
Theoretisch kader.....	7
Onderzoeksvragen.....	9
Methode	10
Stap 1: Analyse	12
Methode	12
Resultaten.....	14
Discussie en conclusie	19
Stap 2: Ontwerp	20
Methode	20
Resultaten.....	21
Discussie en conclusie	23
Stap 3: Ontwikkeling	24
Methode	24
Resultaten.....	25
Discussie en conclusie	31
Stap 4: Testen en evalueren.....	32

Methode	32
Resultaten.....	36
Discussie en conclusie	51
Algemene conclusie en discussie.....	56
Aanbevelingen	57
Literatuur.....	59
Bijlagen.....	62
I. Vragenlijst docenten.....	62
II. Analyse huidige lesmethoden	65
III. Resultaten vragenlijst docenten	66
IV. Contextvragen.....	75
V. Uitwerkingen contextvragen.....	80
VI. Informatieblad contextvragen	82
VII. Strookjes stappenplan	83
VIII. Werkblad	83
IX. Uitwerkingen werkblad.....	85
X. Hard op denken methode	88
XI. Vragenlijst leerlingen	88
XII. Toetsanalyse	90
XIII. Rationale achter puntenverdeling kwantitatieve metingen	93

XIV. Evaluatie interventie door docenten casusklassen	94
XV. Foutenanalyse	98

Samenvatting

Uit onze ervaringen als scheikundedocent en uit verschillende onderzoeken blijkt dat chemisch rekenen en met name rekenen aan reacties vaak door leerlingen als moeilijk wordt beschouwd. Tijdens dit onderzoek is een interventie om rekenen aan reacties te doceren ontwikkeld, waarbij diep leren wordt gestimuleerd. Dit is gedaan door tijdens de ontwikkeling van de interventie te focussen op de vier aspecten die met diep leren worden geassocieerd, namelijk intrinsieke motivatie, interesse in het onderwerp, focus op het begrijpen en verbanden leggen tussen nieuwe stof, voorkennis en alledaagse ervaringen. Om aan deze vier aspecten te voldoen zijn de volgende lesactiviteiten aangeboden in de interventie: leeractiviteiten die hoog in de piramide van Krathwohl staan, later wiskunde introduceren en gepersonaliseerde opgaven. De interventie vond plaats op het Maurickcollege en de Trevianum Scholengroep met twee 4 vwo klassen als casusklassen en twee 4 vwo klassen als referentieklassen. De leerlingen zijn positief over de interventie. De resultaten van de casusklassen leverden vergelijkbare resultaten op met de referentieklassen. Verder kan er geen eenduidig beeld worden verkregen of meer diep leren heeft plaatsgevonden bij de casusklassen.

Trefwoorden: Interventie, diep leren, chemisch rekenen, rekenen aan reacties.

Inleiding

Scheikunde wordt door veel leerlingen wereldwijd beschouwd als een moeilijk vak (Sirhan, 2007). Veel leerlingen in het voortgezet onderwijs in verschillende landen, zoals Schotland, Verenigde Staten en Israël ervaren chemisch rekenen als een moeilijk onderdeel in de scheikunde (Johnstone, 1974) (Dori & Hameiri, 2003). Tijdens onze eerste ervaringen in het voortgezet onderwijs in Nederland hebben we dit ook waargenomen, doordat leerlingen aangaven dat ze moeite hadden met chemisch rekenen en ze veel vragen stelden over het onderwerp. Deze waarnemingen hebben ons doen besluiten om dit verder te verbeteren door middel van dit onderzoek.

Chemisch rekenen is een veelomvattend begrip. In de eindexamen syllabus voor het vwo wordt het begrip chemisch rekenen verder gespecificeerd in de paragraaf ‘chemisch rekenen’ (Bertona, de Kleijn, Hennink, & Apotheker, 2014). Chemisch rekenen komt bij veel verschillende onderwerpen in de scheikunde aan bod. Hierdoor moet er door leerlingen verbanden worden gelegd tussen eerder opgedane chemische rekenvaardigheden en een nieuwe scheikundige toepassing. Om deze verbanden soepel te kunnen leggen is diep leren noodzakelijk. Het verwachte inzicht zal immers niet worden verkregen als chemisch rekenen enkel oppervlakkig wordt aangeleerd. Dit heeft als gevolg dat deze leerlingen de vaardigheden van chemisch rekenen met meer moeite in nieuwe contexten kunnen toepassen.

In dit onderzoek wordt er onderzocht hoe het inzicht in chemisch rekenen bij leerlingen van 4 vwo in het voortgezet onderwijs in Nederland verbeterd kan worden. Hiervoor wordt een interventie ontworpen voor het onderwerp rekenen aan reacties te doceren, waarbij er specifiek gelet wordt op het stimuleren van diep leren van chemische rekenvaardigheden bij leerlingen. Hiermee wordt er gedoeld op het verhogen van het toepassingsvermogen van de wiskundige

vaardigheden binnen de scheikundige vaardigheden en het inzicht in chemisch rekenen bij de leerlingen.

Theoretisch kader

Zoals in de inleiding wordt aangehaald kan de omschrijving van chemisch rekenen in het voortgezet onderwijs gevonden worden in de paragraaf 'chemisch rekenen' van de syllabus voor het vwo, waarin staat aangegeven welke begrippen en vaardigheden de eindexamenkandidaat moet beheersen met betrekking tot chemisch rekenen. De eindexamenkandidaat moet de volgende begrippen kunnen gebruiken in berekeningen: massa, volume, relatieve molecuulmassa, chemische hoeveelheid, molaire massa, molair volume, dichtheid, concentratie, massapercentage, massa-ppm, massa-pbb, volumepercentage en zuurgraad. Verder wordt verwacht van de eindexamenkandidaat dat hij kan rekenen met pH, pOH en concentratie van H^+ en OH^- . Ook kan de eindexamenkandidaat de principes: massaverhouding, volumeverhouding van gassen bij reacties, overmaat, ondermaat, stoichiometrische verhouding, rendement als fractie of percentage van de theoretische opbrengst gebruiken bij berekeningen en beschrijvingen van chemische processen (Bertona et al., 2014). Voor het onderdeel rekenen aan reacties wat in dit onderzoek wordt bestudeerd zijn veel van deze concepten noodzakelijk. Daarbij komend vormt rekenen aan reacties de basis voor veel chemisch rekenopgaven. Vandaar de noodzaak dat leerlingen deze vaardigheid goed beheersen.

Door de vele chemische en wiskundige concepten en vaardigheden die gecombineerd worden bij chemisch rekenen is diep leren noodzakelijk om het onder de knie te krijgen.

Volgens Chin & Brown (2000) wordt diep leren geassocieerd met de volgende aspecten:

1. Intrinsieke motivatie van de leerling;
2. Interesse in het onderwerp;
3. Focus op het begrijpen van de stof (niet alleen het voltooien van de opdracht);
4. Verbanden leggen tussen nieuwe stof, voorkennis en alledaagse ervaringen.

Wanneer diep leren gestimuleerd dient te worden zijn bepaalde leeractiviteiten geschikter dan andere. Krathwohl heeft een taxonomie ontworpen, waarbij verschillende leeractiviteiten zijn geordend op het begrip van lesstof en dus de manier van leren; oppervlakkig of diep. In Figuur 1 is de piramide van Krathwohl weergegeven.



Figuur 1: Piramide van Krathwohl (van der Knaap, 2014)

De leeractiviteiten die onderaan in de piramide staan betreffen enkel oppervlakkig leren. Naarmate de leeractiviteit hoger in de piramide staat, vindt er meer diep leren plaats tijdens de leeractiviteit (Krathwohl, 2002). De aspecten, focus op begrijpen en verbanden leggen tussen nieuwe stof, voorkennis en alledaagse ervaringen, die geassocieerd worden met diep leren

volgens Chin en Brown worden meer toegepast bij de leeractiviteiten; analyseren, evalueren en creëren. De focus ligt op begrijpen doordat bij deze leeractiviteiten niet één juist antwoord is, maar meerdere antwoorden goed kunnen zijn. Bij analyseren, evalueren en creëren is het altijd nodig om verbanden te leggen tussen nieuwe kennis en voorkennis.

Kortom wanneer chemisch rekenen eigen wordt gemaakt is het vereist dat leerlingen diep leren, doordat vele verbanden gemaakt moeten worden tussen voorkennis en nieuwe stof. Het diep leren kan gestimuleerd worden door analyseren, evalueren en creëren.

Onderzoeksvragen

De hoofdvraag in het onderzoek is: Welk effect heeft een interventie voor chemisch rekenen te doceren waarbij diep leren centraal staat op het begrip in chemisch rekenen bij leerlingen van 4 vwo in Nederland?

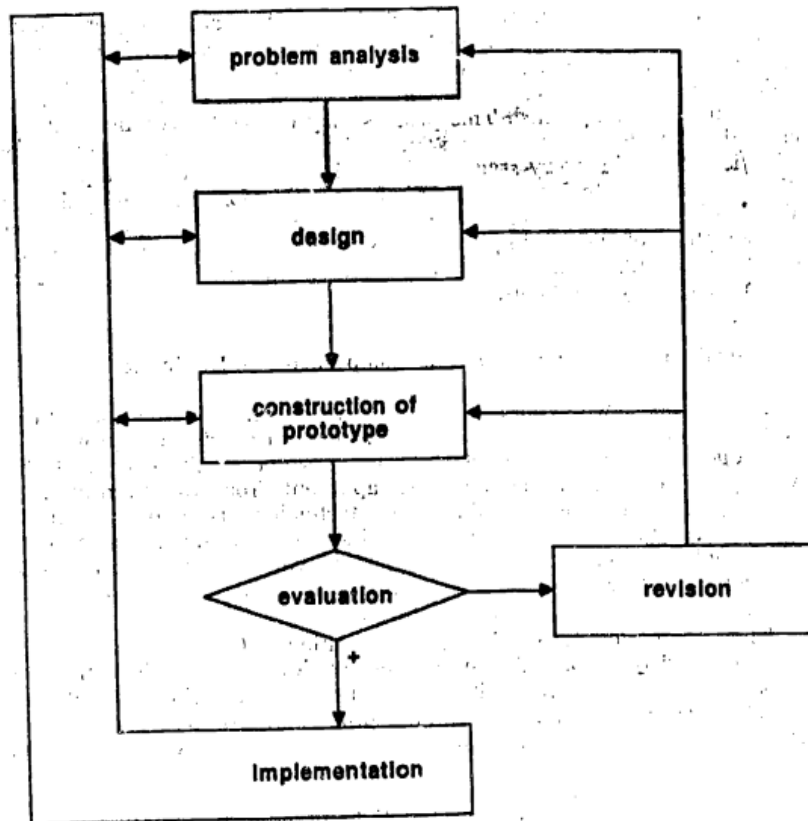
Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn twee deelvragen opgesteld:

1. Wat zijn de kenmerken van een interventie die erop gericht is om diep leren te bevorderen?
2. Wat zijn de effecten van een interventie waarbij diep leren centraal staat op het inzicht in chemisch rekenen bij leerlingen?

Met behulp van de zelfontworpen interventie, waarbij diep leren centraal staat, wordt verwacht dat leerlingen meer diep leren. De verwachting is dat het inzicht omtrent rekenen aan reacties zal verbeteren in vergelijking met de referentie.

Methode

Het onderzoek, waarbij een interventie voor rekenen aan reacties te doceren wordt ontworpen, is opgebouwd met behulp van de ontwerpcyclus van Verhagen en Plomp. De ontwerpcyclus van Verhagen en Plomp is afgebeeld in Figuur 2.



Figuur 2: Ontwerpmodel van Verhagen en Plomp (Verhagen & Plomp, 1982)

Bij het doorlopen van de ontwerpcyclus wordt allereerst een analyse gemaakt van de huidige situatie (stap 1). Dit betekent dat er wordt onderzocht hoe rekenen aan reacties momenteel wordt gedoceerd. Dit gebeurt door middel van de volgende onderzoeksactiviteiten:

- Literatuuronderzoek met betrekking tot de moeilijkheid van rekenen aan reacties in het voortgezet onderwijs;
- Analyse van veelgebruikte lesmethodes in het Nederlands voortgezet onderwijs;

- Inwinnen van praktijkinformatie over het doceren van rekenen aan reacties volgens scheikundedocenten met behulp van een vragenlijst

In stap 2 begint het ontwerpen van de interventie, waarbij criteria worden opgesteld waaraan de interventie dient te voldoen. Deze criteria worden opgesteld aan de hand van de vier aspecten waarmee diep leren wordt geassocieerd volgens Chin en Brown (2000).

Literatuuronderzoek is uitgevoerd om lesactiviteiten te vinden waarmee deze aspecten toegepast worden.

De ontwikkeling van de interventie vindt plaats bij stap 3. Bij deze stap wordt aan de hand van het spinnenweb van den Akker de interventie ontwikkeld (Thijs & van den Akker, 2009). Hierbij wordt voornamelijk gekeken naar hoe in de praktijk de criteria die in de tweede stap zijn opgesteld behaald kunnen worden.

Bij de vierde stap, evaluatie, wordt de interventie die bij stap 3 is ontwikkeld getest en geëvalueerd. Het testen en evalueren zal plaatsvinden bij twee casusklassen en twee referentieklassen op twee middelbare scholen, Maurickcollege en Trevianum Scholengroep. Dit gebeurt door middel van de volgende metingen:

- Vragenlijst bij leerlingen die deelgenomen hebben aan de interventie;
- Kwalitatieve voor- en nameting met behulp van hardop denken methode;
- Kwantitatieve voor- na- en na-nameting door middel van toetsanalyse.

De revisie en implementatie zal niet worden uitgevoerd in dit onderzoek. Er worden wel suggesties gegeven voor verbetering van de interventie en het onderzoek.

De ontwerpcyclus van Verhagen en Plomp zal als rode draad door het onderzoek leiden. Bij iedere stap wordt de methode, resultaten, discussie en conclusie besproken ten aanzien van de analyse.

Stap 1: Analyse

In stap 1 wordt de huidige situatie omtrent het doceren van rekenen aan reacties geanalyseerd. In deze paragraaf worden methode en resultaten aangehaald met betrekking tot deze analyse. Op basis van de gevonden resultaten wordt een discussie en conclusie gemaakt.

Methode

Procedure

De analyse van de huidige situatie wordt gedaan door middel van een aantal methodes. Allereerst wordt een literatuuronderzoek uitgevoerd, waarbij gekeken wordt naar de oorzaken van de moeilijkheid van chemisch rekenen en specifiek rekenen aan reacties. Verder worden ook veelvoorkomende misconcepten bij rekenen aan reacties besproken. Vervolgens wordt van de meest gebruikte lesmethodes in het Nederlands voortgezet onderwijs een analyse gemaakt van de aanpak van rekenen aan reacties. Ten slotte wordt er een vragenlijst naar scheikundedocenten gestuurd om de huidige situatie op de scholen te analyseren en advies in te winnen voor het ontwerp van de interventie.

Instrumenten

Voor de analyse van de huidige situatie was veel praktijkinformatie nodig. Deze informatie is vergaard door middel van een vragenlijst die is afgenomen bij scheikundedocenten werkzaam in het voortgezet onderwijs. De vragenlijst die is gebruikt en de rationale van het opstellen hiervan is terug te vinden in Bijlage I.

Analyse

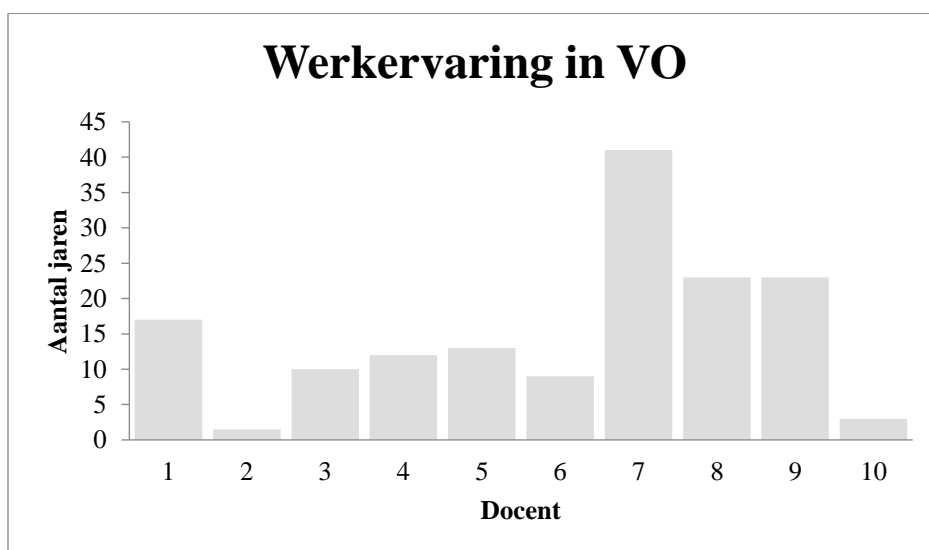
Allereerst wordt met behulp van literatuuronderzoek een beeld geschetst over de moeilijkheid van chemisch rekenen en rekenen aan reacties specifiek, de verschillende redenen die de moeilijkheid veroorzaken en de veelvoorkomende misconcepten.

Ook is er een analyse gemaakt van de paragraaf waarin rekenen aan reacties wordt behandeld van de (meest) gebruikte lesmethodes, namelijk Chemie Overal, Chemie en Nova. Deze analyse wordt onder andere gedaan door te kijken naar de opbouw van de lesstof en het gebruik van logaritmen of heuristieken.

De analyse van de vragenlijst van docenten is uitgevoerd op basis van een bottom-up analyse (Sabatier, 2008). De vragenlijst is niet bedoeld om harde resultaten te genereren, maar eerder om een kwalitatief beeld te krijgen hoe het er in de praktijk aan toe gaat.

Participanten

Tijdens het ontwerpen van de interventie is informatie vergaard door middel van een vragenlijst bij scheikundedocenten op middelbare scholen Maaslandcollege en Trevianum Scholengroep. De vragenlijst is ingevuld door de scheikundevakdidacticus van de TU/e (docent 3) en 9 scheikundedocenten van Trevianum Scholengroep en Maaslandcollege. Er hebben vijf vrouwelijke docenten en vijf mannelijke docenten deelgenomen. Figuur 3 staat weergegeven hoeveel werkervaring de 10 docenten hebben.



Figuur 3: Werkervaring in VO van docenten vragenlijst

Resultaten

Literatuuronderzoek

Uit verschillende onderzoeken komen de twee voornaamste redenen naar voren waarom chemisch rekenen vaak als moeilijk wordt beschouwd. Deze redenen zijn: de vele verbanden die gelegd dienen te worden tussen macro-, microniveau en symbolen en de combinatie van scheikundige en wiskundige vaardigheden. Deze twee redenen worden in de volgende twee alinea besproken.

De eerste reden, veel verbanden leggen tussen macro-, microniveau en symbolen, bleek onder andere uit het onderzoek van Dori & Hameiri, 2003 waarin is onderzocht waarom scheikunde over het algemeen en chemisch rekenen in het bijzonder, als moeilijk wordt ervaren. Het blijkt dat vooral de schakeling tussen microniveau, macroniveau en de symbolische beschrijving heel veel inzicht vereist van leerlingen. Hierdoor worden snel conceptuele fouten gemaakt, deze leiden tot fouten in wiskundige berekeningen. In een onderzoek van Jaber & BouJaoude (Libanon, 2012) wordt aangetoond dat het inzicht van leerlingen verbeterde als er tijdens de les aandacht wordt besteed aan de relatie tussen het macro-, micro- en symbolische niveau van de lesstof en het gebruik van modellen in de chemie.

De tweede reden die de moeilijkheid van chemisch rekenen veroorzaakt is het combineren van wiskundige en scheikundige vaardigheden. Dit is terug te vinden in verschillende onderzoeken (Nyachwaya, Warfa, Roehrig, & Schneider, 2014) waarin naar voren komt dat veel studenten in het hoger onderwijs beschikken over goede rekenkundige vaardigheden. Echter is het inzicht in chemische concepten bij deze studenten vaak laag. Scheikundige rekenopgaven worden vaak opgelost door het toepassen van een uit het hoofd geleerde formule, die dan bij toeval het juiste antwoord oplevert. De studenten hebben geen

befef van de achterliggende chemische concepten. Dit wijst erop dat er al tijdens hun middelbareschooltijd veel aandacht is besteed aan het aanleren van rekenkundige vaardigheden bij het oplossen van chemische rekenopgaven. Maar dat er weinig aandacht wordt besteed aan het conceptueel begrip, waardoor enkel oppervlakkig leren wordt gestimuleerd. Dit wordt eveneens bevestigd in het onderzoek van Beal en Prescott, 1994 waarin docenten aangeven dat leerlingen de nodige vergelijkingen, formules en stappenplannen uit hun hoofd leren en ze daardoor de chemische concepten die gemoeid gaan met de berekeningen niet begrijpen (Beall & Prescott, 1994). Ook Scott, 2012 bevestigd de stimulatie van oppervlakkig leren in zijn onderzoek waarin het begrip van een chemische rekenopgaven ten opzichte van soortgelijke wiskundeopgaven wordt getoetst bij leerlingen in het middelbaar onderwijs (Scott, 2012). Hij concludeerde dat het niet de wiskunde is die de chemische rekenopgaven moeilijk maakt, maar de vertaling van de chemische context waar het in wordt geplaatst naar de uiteindelijke berekening. Deze koppeling tussen wiskundige vaardigheden met chemische vaardigheden kan enkel gemaakt worden indien er diep geleerd wordt.

Chemisch rekenen wordt vaak als moeilijk beschouwd, waardoor veel misconcepten bij leerlingen ontstaan. Uit literatuur blijkt dat het erg moeilijk is om het beeld van een leerling aan te passen, als die leerling een misconception voor waarheid aanziet (Huddle & Pillay, 1996). Vanwege het feit dat het misconception voor de leerling als logisch wordt gezien is er maar één manier om een misconception op te lossen, namelijk het aantonen van een meer aannemelijke en begrijpelijke verklaring voor het fenomeen dan het misconception (Huddle & Pillay, 1996). Daarom is het beter om misconcepten te voorkomen dan te genezen. Om misconcepten te voorkomen is het belangrijk om te weten welke misconcepten er bestaan omtrent rekenen aan reacties. De

bespreking van misconcepten zijn verdeeld op basis van de belangrijke concepten, mol en stoichiometrische verhouding.

De meeste voorkomende misconcepten met betrekking tot de eenheid mol zijn:

- Coëfficiënten worden opgeteld in plaats van dat er wordt gerekend met de coëfficiëntverhouding.
- De molaire massa van een gegeven stof wordt berekend door het optellen van de atoommassa's en vervolgens deze som te vermenigvuldigen of delen door de coëfficiënt van de gegeven stof in de reactievergelijking (Fach, Boer, & Parchmann, 2007).

De meest voorkomende misconcepten omtrent stoichiometrie zijn:

- Gelijke massa's van beginstoffen zullen volledig reageren in een reactievergelijking (Wood & Breyfogle, 2006);
- Beginstoffen reageren volgens massaverhouding in de reactievergelijking (Wood & Breyfogle, 2006);
- Een gelijk aantal mol zal volledig reageren in een chemische reactie (Wood & Breyfogle, 2006);
- Limiterende reagens wordt gezien als de component in de reactievergelijking met de laagste coëfficiënt. Er wordt dus niet uitgerekend in welke hoeveelheden de stoffen aanwezig zijn (Huddle & Pillay, 1996).
- Leerlingen die wel de hoeveelheden van de stoffen uitrekenen, gaan er vanuit dat de limiterende reagens de stof is waarvan het minste 'mol' aanwezig is zonder naar de stoichiometrie te kijken (Huddle & Pillay, 1996).

- Het verwarren van het concept van behoud van atomen met het mogelijk niet behoud van moleculen bij een chemische reactie. Of helemaal geen rekening houden met het behoud van atomen of massa (Fach et al., 2007).

Huidige lesmethodes

Een analyse van lesmethodes is gedaan bij Chemie Overal (Van Rhijn, van Kempen, Rus, Spillane, & Veldema, 2013), Chemie (Buwalda, Scholte, & Thole, 2012) en Nova (Landa, Schouten, de Valk, & Zoon, 2012), omdat dit de drie meest gebruikte lesmethodes in het Nederlands voorgezet onderwijs zijn bij het vak scheikunde. De analyse wordt gedaan op basis van opbouw van de paragraaf, het gebruik van algoritme of heuristieken, etc. De analyse is terug te vinden in Bijlage II. Wanneer een vergelijking gemaakt wordt tussen de lesmethodes is te zien dat Chemie Overal en Chemie een vergelijkbare aanpak hebben om rekenen aan reacties aan te leren, want beide methoden maken gebruik van een algoritme. Door het aanleren van rekenen aan reacties met algoritmes wordt oppervlakkig leren gestimuleerd. Bij Chemie Overal wordt er wel meer uitleg en voorbeeldberekeningen gegeven, waarbij ook rekening wordt gehouden met de chemische concepten achter het rekenwerk. Nova wijkt af van de andere lesmethodes, omdat er geen voorbeeldberekeningen, stappenplannen, etc. worden gegeven. De lesmethode geeft aan dat het mogelijk is om de hoeveelheid van een stof te berekenen met behulp van molverhoudingen. Op welke manier dit gedaan kan worden, wordt niet beschreven. Dit geeft de docent de vrijheid om een zelfontwikkelde methode aan te bieden. Een alternatief is dat de leerlingen zelf gaan uitzoeken hoe rekenen aan reacties in elkaar steekt. Dit bevordert diep leren, want leerlingen zijn bezig met leeractiviteiten die hoog staan in de piramide van Krathwohl.

Vragenlijst docenten

De vragenlijst die is afgenomen bij scheikundedocenten van het voortgezet onderwijs geeft een beeld van de manier waarop rekenen aan reacties wordt gedoceerd in de praktijk. De resultaten van de vragenlijst die afgenomen is bij scheikundedocenten zijn terug te vinden in Bijlage III. Bij het invullen van de vragenlijst geeft 7 van de 10 ondervraagde docenten aan dat ze merken dat leerlingen moeite hebben met rekenen aan reacties. De overige docenten geeft aan dat het wisselt per leerling. Docenten merken dat leerlingen moeite hebben met rekenen aan reacties door uiteenlopende observaties, zoals aangeven dat ze het moeilijk vinden en veel vragen stellen. Scheikundedocenten geven via de vragenlijst aan dat het begrip mol voor de meeste moeilijkheid zorgt bij rekenen aan reacties. Dit komt doordat dit begrip veel abstract denkvermogen vergt. Leerlingen hebben hier veel moeite mee, want ze kunnen dit niet visualiseren. Dit wordt bevestigd door literatuur (Kind, 2004).

6 van de 10 ondervraagde docenten gebruikt Chemie Overal als lesmethode. Geen docent gebruikt de lesmethode Chemie en 1 van de 10 docenten gebruikt Nova als lesmethode. 1 docent gebruikt enkel zelfgemaakt materiaal en 2 van de 10 docenten maken gebruik van zelfgemaakt materiaal en een lesmethode. Na een analyse van dit zelfgemaakt materiaal kan er worden geconcludeerd dat ook hier een algoritme wordt aangeleerd. Hieruit volgt dat 9 van de 10 docenten een algoritme gebruikt om rekenen aan reacties aan te leren. Verder geeft 9 van de 10 docenten aan dat hij afwijkt van de gebruikte lesmethoden. De afwijkingen van 7 van de 9 docenten zijn gefocust op de berekeningen bij rekenen aan reacties en niet op het aanleren van chemische concepten.

8 van de 10 ondervraagde docenten geeft aan dat tijdens de les geen andere hulpmiddelen worden gebruikt. Eén docent geeft aan dat er YouTubefilmpjes worden gebruikt tijdens de les en

een andere docent gebruikt soms legosteentjes om 'rekenen aan reacties' te verduidelijken. Andere hulpmiddelen worden wel aangeraden door 5 van de 10 docenten wanneer leerlingen veel moeite hebben met het onderwerp.

Docenten geven leerlingen die moeite hebben met 'rekenen aan reacties' extra uitleg (met voorbeeldberekeningen en voorbeelden uit de praktijk) en opdrachten, maar deze leerlingen krijgen zeer uiteenlopende tips. Deze tips zijn als volgt:

- Stimuleren om leerlingen te laten formuleren waarom ze vastlopen bij een opgave;
- Werken volgens het gegeven algoritme;
- Stimuleren om eerst de route te bedenken voordat ze beginnen met berekenen en alles overzichtelijk noteren: wat is er gegeven en wat er is gevraagd? (SPA methode);
- Veel aandacht geven aan de eenheden, zoals $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

De meest gegeven tip van de scheikundedocenten om het begrip van rekenen aan reacties te verhogen is door veel te oefenen.

Discussie en conclusie

Uit het literatuuronderzoek kan worden geconcludeerd dat chemisch rekenen en specifiek rekenen aan reacties als moeilijk wordt beschouwd. 7 van de 10 scheikundedocenten bevestigen dit met behulp van de vragenlijst. De overige docenten geven aan dat het wisselt per leerling.

Volgens literatuuronderzoek zijn de voornaamste redenen waarom chemisch rekenen als moeilijk wordt beschouwd dat er veel verbanden gelegd dienen te worden tussen macro-, microniveau van symbolen en het combineren van de wiskundige en scheikundige vaardigheden. Ook blijkt uit literatuuronderzoek en de ingevulde vragenlijsten door docenten dat er veel misconcepten zijn omtrent mol en stoichiometrische verhoudingen, waarmee rekening moet worden gehouden tijdens het doceren van rekenen aan reacties.

Uit de vragenlijst en analyse van de huidige lesmethodes is naar voren gekomen dat docenten het chemisch rekenen bij leerlingen vooral oppervlakkig aanleren, wat tot gevolg kan hebben dat leerlingen weinig begrip hebben van de chemische concepten achter de berekeningen. Dit wordt bevestigd door de literatuur, want uit onderzoek blijkt dat docenten chemische onderwerpen brengen vanuit een wiskundig standpunt, waarbij de benodigde informatie snel uit de chemische context wordt gefilterd en vaak wordt toegepast in een uit het hoofd geleerd stappenplan of formule. Dit doet afbreuk aan het begrijpen van de chemische concepten die achter chemische berekeningen en stappenplannen zitten (Beall & Prescott, 1994).

Docenten gebruiken veelal reguliere lesmethodes of zelfgeschreven modules waarin algoritmes de boventoon voeren. Voordat chemisch rekenen op een diep leren niveau kan worden aangeleerd moet er een goede kennis aanwezig zijn over de begrippen mol en stoichiometrische verhouding bij de leerlingen. Vervolgens geven de scheikundedocenten aan dat er veel geoefend moet worden door leerlingen om rekenen aan reacties onder de knie te krijgen.

Stap 2: Ontwerp

Het ontwikkelen van de interventie gebeurt aan de hand van criteria, die in deze stap worden bepaald en besproken.

Methode

Het opstellen van de criteria voor de interventie gebeurt aan de hand van de aspecten die met diep leren worden geassocieerd volgens Chin en Brown. Bij het opstellen van deze criteria wordt gebruik gemaakt van de analyse van de huidige situatie bij stap 1 en literatuuronderzoek.

Resultaten

Zoals in het theoretisch kader is aangehaald zijn volgens Chin & Brown (2000) vier aspecten die geassocieerd worden met diep leren, namelijk:

1. Intrinsieke motivatie van de leerling;
2. Interesse in het onderwerp;
3. Focus op het begrijpen van de stof (niet alleen het voltooien van de opdracht);
4. Verbanden leggen tussen nieuwe stof, voorkennis en alledaagse ervaringen.

De criteria voor het ontwerp van de interventie worden opgesteld aan de hand van deze aspecten.

De intrinsieke motivatie van leerlingen is weinig te beïnvloeden, omdat dit van binnenuit moet komen (Ryan & Deci, 2000). Het is echter makkelijker om de interesse voor het onderwerp te vergroten, zodat leerlingen makkelijk verbanden kunnen leggen tussen de nieuwe lesstof en hun alledaagse ervaringen. Dit kan worden gedaan door de context van de lesstof of opgaven te personaliseren voor de leerlingen of ze in ieder geval een keuze bieden. Hierdoor heeft de lesstof voor iedere leerling een ander nut.

Volgens Herron, 1997 worden er verschillende fasen doorlopen bij het oplossen van een probleem, zoals ook bij opgaves van rekenen aan reacties. Deze fasen zijn:

1. Probleem begrijpen;
2. Probleem interpreteren;
3. Plan van aanpak uitvoeren;
4. Verificatie (Herron, 1997a).

De tweede fase wordt als belangrijkste beschouwd, want deze komt overeen met focussen op het begrijpen van stof. In stap 1 werd geconcludeerd dat bij het oplossen van chemische

problemen vaak tot altijd de nadruk ligt op het oplossen van een opgave door middel van wiskundige vaardigheden, maar niet op het begrijpen van de opgave door middel van chemische concepten en vaardigheden. Hierdoor wordt gefocust op de foute fase bij het oplossen van een probleem. De focus leggen op het begrijpen/interpreteren van de stof kan op verschillende manieren gedaan worden, namelijk analyse van uitgevoerde procedure, opstellen en herkennen van algoritme en de wiskunde pas later introduceren.

Uit onderzoek blijkt dat opgaven, die betekenis hebben of in het alledaagse leven zijn geplaatst, sneller worden opgelost dan ‘academische’ problemen zonder context. Verdere studies tonen aan dat er meer succes wordt geboekt bij het aanleren van probleem oplossen als nieuwe problemen eerst worden gepresenteerd in context. De procedures die leerlingen hebben toegepast bij een bekende contextopgave kunnen ook worden gebruikt bij contexten die de leerlingen minder aanspreken. Daarom is het van belang dat de leerlingen terugkijken naar de procedures die ze hebben toegepast, zodat die toepast kunnen worden bij een nieuwe situatie (Herron, 1997b).

Zoals uit de analyse van de lesmethodes in de huidige situatie naar voren komt, wordt rekenen aan reacties vaak oppervlakkig aangeleerd met behulp van een algoritme. Hierbij hoeven de leerlingen niet na te denken over de betekenis van de stappen die ze zetten. Door Herron wordt aanbevolen om leerlingen zelf te laten kijken of er een algoritme of richtlijnen zijn voor het oplossen van het probleem (Herron, 1997b). Leerlingen moeten hiervoor een aantal vergelijkbare oefeningen maken, waaruit ze vervolgens een algoritme kunnen achterhalen. Om zo’n algoritme te kunnen maken moeten de achterliggende concepten eerst goed begrepen zijn. Dit algoritme kan vervolgens weer worden gebruikt om te oefenen met vergelijkbare opgaves in

nieuwe situaties. Het vele oefenen wat leidt tot beter begrip wordt bevestigd door scheikundedocenten door middel van de ingevulde vragenlijst, die besproken is bij stap 1.

Zoals uit de analyse van de huidige situatie naar voren kwam leggen leerlingen bij het oplossen van een chemisch rekenopgaven vaak de nadruk op de wiskundige vaardigheden, waardoor ze voorbijgaan aan de chemische concepten. Volgens Kind (2004) kan chemisch rekenen het beste worden aangeleerd door wiskunde pas later te introduceren en eerst de chemische concepten te behandelen. Op deze manier ligt de focus meer op het begrijpen van de stof dan op de wiskundige vaardigheden en het voltooien van een opdracht.

Discussie en conclusie

De twee aspecten, focus op begrijpen en verbanden leggen tussen nieuwe lesstof, voorkennis en alledaagse ervaringen, waarmee diep leren wordt geassocieerd volgens Chin & Brown kan op verschillende manieren gedaan worden, namelijk analyse van uitgevoerde procedure, opstellen en herkennen van algoritme en de wiskunde pas later introduceren. Analyse van uitgevoerde procedure en opstellen en herkennen van een algoritme kunnen gekoppeld worden aan de piramide van Krathwohl. Tijdens het opstellen van een algoritme wordt er geanalyseerd en geëvalueerd, dit zijn leeractiviteiten die hoog in de piramide van Krathwohl staan. Bij het opstellen van een algoritme wordt de leeractiviteit creëren toegepast en bij het herkennen van een algoritme wordt geanalyseerd. Deze leeractiviteiten staan ook hoog in de piramide van Krathwohl. Doordat de leeractiviteiten analyseren, evalueren en creëren worden toegepast, wordt diep leren gestimuleerd.

Aan de hand van de vier aspecten die geassocieerd worden met diep leren volgens Chin & Brown zijn de volgende criteria opgesteld:

1. Interesse door leerlingen wordt gewekt door opgaven in een aansprekende context te plaatsen.
2. Door het opstellen van een algoritme door de leerlingen op basis van een gemaakte opgave, worden leerlingen geactiveerd om te analyseren, evalueren en creëren.
3. Door wiskunde pas later te introduceren wordt de nadruk bij het maken van een chemisch rekenopgave gelegd op het begrijpen van de chemische concepten.
4. Scheikundedocenten en Herron, 1997 raden aan om leerlingen veel te laten oefenen met het algoritme.

Stap 3: Ontwikkeling

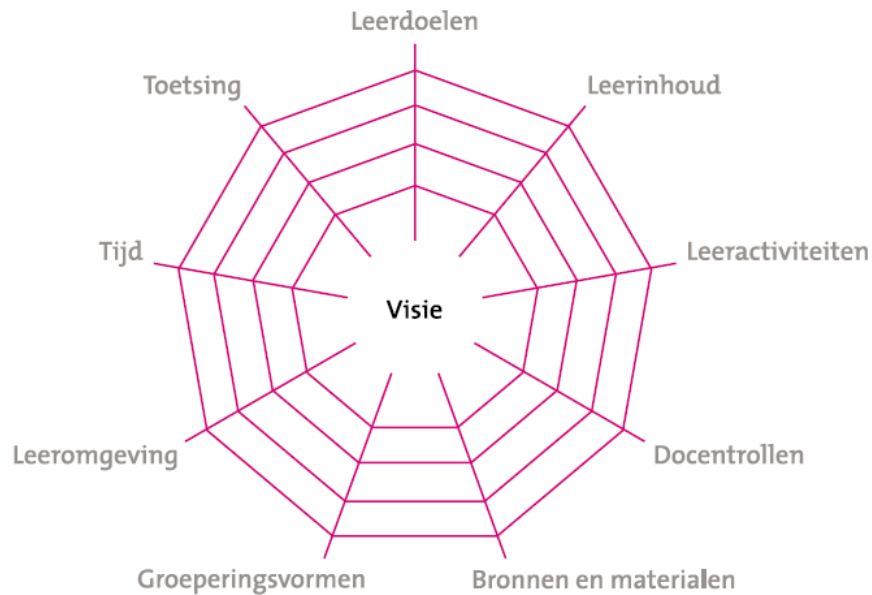
In de stap ontwikkeling wordt de praktische kant van de interventie ontwikkeld op basis van de criteria die zijn opgesteld bij stap 2.

Methode

Procedure

Op basis van de criteria van stap 2 wordt de interventie ontwikkeld. De ontwikkeling wordt uitgevoerd met behulp van de curriculaire spinnenweb van den Akker.

Het spinnenweb van den Akker is weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4: Curriculaire spinnenweb van den Akker (Thijs & van den Akker, 2009)

De kern van een curriculum is de visie en de negen draden zijn verschillende onderdelen waaruit een curriculum is opgebouwd. Een curriculum kan op meerdere niveaus worden uitgevoerd (landelijk niveau, schoolniveau, klassikaal niveau). Het curriculum dat tijdens dit onderzoek wordt ontworpen is op klassikaal niveau.

Resultaten

In dit stuk wordt er per onderdeel van het spinnenweb van den Akker een invulling gegeven die van toepassing is op de interventie (Thijs & van den Akker, 2009).

Visie

Het motief van de interventie is om leerlingen kennis te laten vergaren en vaardigheden te verbeteren omtrent rekenen aan reacties. Rekenen aan reacties is een belangrijk onderwerp

binnen het vak scheikunde, want het wordt veel gebruikt in industriële, technologische en alledaagse toepassingen. Ook is het onderwerp terugkerend binnen het vak scheikunde.

De pedagogische-didactische visie van de interventie is om diep leren te stimuleren. Er wordt rekening gehouden met de voorkennis en belevingswereld van de leerling individueel. Om dit te realiseren wordt er rekening gehouden met de criteria, die besproken zijn in stap 2.

Doelen

Bij rekenen aan reacties is het begrip van enkele concepten vereist, namelijk:

- Reactievergelijkingen opstellen en kloppend maken;
- Beginstoffen;
- Reactieproducten;
- Mol;
- Molaire massa;
- Molair volume;
- Getal van Avogadro;
- Molverhouding;
- Significantie.

Deze concepten dienen gekend en begrepen te zijn na het uitvoeren van de interventie, ook moeten leerlingen chemische rekenvaardigheden kunnen uitvoeren met deze concepten.

Aan het einde van de interventie dienen leerlingen opgaven met betrekking tot rekenen aan reacties met meer inzicht op te kunnen lossen, doordat diep leren is gestimuleerd. Tijdens de interventie worden geen nieuwe concepten geleerd aan leerlingen, want de chemische concepten die nodig zijn bij rekenen aan reacties zijn al behandeld. De lesstof van de interventie is

herhaling, want dit is op beide scholen waar het onderzoek plaatsvindt behandeld in het derde leerjaar.

Inhoud

De voornaamste aspecten die leerlingen leren tijdens deze interventie zijn vaardigheden, namelijk het toepassen van chemische concepten in berekeningen. Hierbij is probleemoplossend denken vereist.

Leeractiviteiten

De interventie bestaat uit twee lessen. Tijdens de eerste les wordt het onderwerp geïntroduceerd met behulp van een contextvraag. In de tweede les worden de vaardigheden verder ingeoeffend.

Tijdens de eerste les gaan leerlingen allereerst zelf groepjes van 3 vormen. Voordat ze beginnen aan een contextvraag, mogen de leerlingen per groepje kiezen over welk onderwerp de contextvraag gaat. De onderwerpen waaruit leerlingen kunnen kiezen zijn:

- Voeding: afbraak van aspartaam door het lichaam;
- Explosie: volumetoename tijdens een explosie van springstof;
- Brandstoffen: CO₂ uitstoot tijdens een formule 1 race;
- Biologie: hoeveelheid CO₂ die nodig is om een blad te synthetiseren;
- Juwelen: hoeveel grondstof nodig is om een zilveren armband te maken;

De onderwerpen zijn alledaags, waardoor leerlingen aansluiting kunnen vinden of geïnteresseerd kunnen zijn. Door leerlingen zelf het onderwerp te laten kiezen, is de kans het grootst dat leerlingen geïnteresseerd zijn in het onderwerp. Hierbij wordt voldaan aan een van de criteria die zijn opgesteld bij stap 2.

Ieder groepje gaat zich samen buigen over een contextvraag. De contextvraag is een opgave, waarbij rekenen aan reacties moet worden toegepast. Echter ontbreken er enkele gegevens om de contextvraag volledig op te lossen. Daarom omvat de contextvraag enkele deelopdrachten, namelijk:

- Stapsgewijs een plan geven hoe je het probleem aanpakt;
- Aangeven welke gegevens er ontbreken om het plan uit te voeren;
- Nadenken over waar de ontbrekende gegevens gevonden zouden kunnen worden, bijv. Binas.

Door het ontbreken van bepaalde gegevens kunnen leerlingen niet zomaar beginnen met rekenen, maar worden ze gedwongen om het probleem te interpreteren door een plan op te stellen. Wanneer leerlingen een goed plan laten zien aan de docent, krijgen ze de benodigde informatie om de contextvraag op te lossen. Hierdoor wordt de wiskunde pas later geïntroduceerd, wat een van de criteria is van stap 2.

Door leerlingen geen uitleg te geven over de lesstof, wordt er gebruik gemaakt van de voorkennis van leerlingen om de contextvraag op te lossen. Er wordt dus geen onnodige informatie gegeven aan leerlingen.

Wanneer leerlingen de contextvraag met succes hebben beantwoord, gaan leerlingen het gegeven antwoord analyseren en evalueren. Er wordt teruggekeken naar de manier van oplossen van het probleem en leerlingen gaan uitzoeken wat nuttig voor hen was door een stappenplan te creëren. Het stappenplan wordt opgesteld door leerlingen door middel van strookjes papier, waarop de verschillende stappen staan die nodig zijn om het probleem op te lossen, in een juiste volgorde te leggen. Door leerlingen zelf een stappenplan te laten opstellen, weten ze wat de achterliggende chemische concepten zijn en zullen ze dit stappenplan ook makkelijker herkennen

en toepassen. Leerlingen krijgen huiswerk voor de volgende les. Dit zijn twee opgaven waarin ze rekenen aan reacties.

De tweede les begint met het bespreken van het huiswerk, indien er vragen zijn kunnen deze gesteld worden. Vervolgens gaan de leerlingen aan de slag met een werkblad. Op het werkblad staan verschillende oefeningen, waarbij rekenen aan reacties moet worden toegepast. De context van de vragen is steeds verschillend. Sommige contexten zullen voor de leerlingen als herkenbaar worden beschouwd, terwijl andere niet herkenbaar zijn. Hierdoor kunnen leerlingen ook de vaardigheden van rekenen aan reacties toepassen bij opdrachten in een nieuwe context. Met deze les wordt aan een van de criteria voldaan die aangeeft dat er veel geoefend dient te worden met het algoritme.

Rol leraar

Om diep leren optimaal te stimuleren is er gekozen voor een begeleidende rol als docent. Want het stimuleren van diep leren gebeurt voor iedere leerling op een andere manier, want er moet rekening worden gehouden met de verschillende niveaus van voorkennis, vaardigheden, achtergrond etc. van leerlingen, maar ook persoonlijke interesses en motivatie. Ook in een onderzoek van Cheung (Hong Kong, 2014) werd aangetoond dat aansturing door de docent tot zelfwerkzaamheid en diep leren strategieën die leerlingen zelf uitvoeren tijdens het studeren een positief effect hadden op de zelfwerkzaamheid en zekerheid waarmee de leerlingen scheikundige opgaven uitvoerden. Dit impliceert dat leerlingen die positief gemotiveerd worden om aan diep leren te doen tijdens hun zelfstudie en tijdens de les, scheikundige opgaven met meer zelfvertrouwen en zelfwerkzaamheid maken.

Materialen

Tijdens de interventie zijn de volgende materialen gebruikt en zijn terug te vinden in de aangegeven bijlage:

- Contextvragen (Bijlage IV);
- Uitwerkingen contextvragen (Bijlage V);
- Informatieblad contextvragen (Bijlage VI);
- Strookjes stappenplan (Bijlage VII);
- Werkblad (Bijlage VIII);
- Uitwerkingen werkblad (Bijlage IX);

Groeperingsvorm

Uit literatuur blijkt dat het vormen van groepjes een positief effect heeft bij problemen oplossen. Problemen worden meer geïnterpreteerd, er worden minder wiskundige fouten gemaakt en leerlingen controleren hun werk beter (Herron, 1997b). Hierdoor ligt de focus meer op begrijpen en wordt hun eigen procedures beter geanalyseerd.

Tijdens de eerste les is ervoor gekozen om groepjes te maken van 3 leerlingen. Leerlingen mogen zelf kiezen bij wie ze in het groepje zitten. Tijdens de tweede les mogen leerlingen zelf kiezen of ze in kleine groepjes werken of individueel aan het werkblad.

Tijd

De interventie omvat twee lessen van 45-50 minuten. Geen aanpassingen zijn vereist aan het reguliere rooster om de interventie uit te voeren.

Locatie

Er zijn geen speciale eisen aan de locatie. Een standaard klaslokaal volstaat om de interventie uit te voeren, indien het mogelijk is om de tafelopstelling zo op te stellen dat er groepjes van 3 leerlingen kunnen worden gevormd.

Toetsing

Indien leerlingen diep leren hebben toegepast dan zouden ze de lesstof makkelijker kunnen toepassen in een nieuwe situatie dan wanneer leerlingen enkel oppervlakkig geleerd hebben (Belland, French, & Ertmer, 2009). Het toetsen van 'rekenen aan reacties' in nieuwe situaties is een goede manier om aan te tonen of diep leren heeft plaatsgevonden. Deze toetsing gebeurt door middel van een formatieve toetsing, namelijk een toetsanalyse. De toetsing vindt plaats op drie momenten namelijk de voormeting, de nameting en de na-nameting.

Discussie en conclusie

Tijdens stap 2 zijn criteria opgesteld waaraan de interventie diende te voldoen om diep leren te stimuleren. Het eerste criteria is de interesse van leerlingen opwekken door opgaven in een aansprekende context te plaatsen. Dit wordt tijdens de interventie gedaan door vragen te maken met verschillende aansprekende contexten. Leerlingen kunnen kiezen welke context hen het meeste aanspreekt. Het tweede criteria was dat leerlingen een algoritme moeten opstellen op basis van een gemaakte opgave. Hierdoor worden leerlingen geactiveerd om te analyseren, evalueren en creëren. Aan dit criteria wordt voldaan tijdens de eerste les nadat leerlingen de contextvraag hebben voltooid, want dan gaan ze hun eigen antwoord analyseren en evalueren. Op basis van dit antwoord wordt een algoritme gecreëerd. Het derde criteria is om de wiskunde pas later te introduceren, aangezien dan de nadruk meer ligt op het begrijpen van de chemische concepten. Om aan dit criteria te voldoen is gevraagd bij de contextvraag om eerst een

stappenplan op te stellen voordat het rekenen begint. Om leerlingen ervan te weerhouden om toch eerst te gaan rekenen zijn enkele essentiële gegevens in de opgave weggelaten. Het laatste criterium is dat er veel wordt geoefend met rekenen aan reacties, zodat er beter wordt herkend wanneer het algoritme toegepast dient te worden. Tijdens de tweede les worden veel oefeningen gemaakt om te voldoen aan dit laatste criterium.

Stap 4: Testen en evalueren

In deze stap worden de lessen van de interventie die ontwikkeld zijn in stap 3 getest en geëvalueerd.

Methode

Procedure

De lessen van de interventie worden getest in twee 4 vwo klassen. De evaluatie van de interventie wordt gedaan door middel van een evaluatie van de lessen door de uitvoerende docent, een vragenlijst bij de leerlingen en kwantitatieve en kwalitatieve metingen. Zowel de kwalitatieve als kwantitatieve metingen worden gedaan voor en na de uitvoering van de interventie. Vervolgens wordt een tijd na het uitvoeren van de interventie nog een kwantitatieve na-nameting uitgevoerd. De voormeting is essentieel, aangezien de lesstof al eerder is behandeld in het vorige schooljaar en er een beeld moet worden gevormd van het kennisniveau van de leerlingen.

Instrumenten

De kwalitatieve metingen zijn uitgevoerd om het denkpatroon van leerlingen te achterhalen door middel van de hardop denken methode (Someren, Barnard, & Sandberg, 1994).

De opgaven die tijdens de kwalitatieve metingen zijn gemaakt zijn vergelijkbaar met de opgaven van de kwantitatieve metingen en zijn te vinden in Bijlage X.

Tijdens de ontwikkeling van de interventie wordt ook gekeken naar de meningen en ervaringen van de leerlingen. Deze meningen en ervaringen worden in kaart gebracht door middel van een vragenlijst nadat de interventie is uitgevoerd. De vragenlijst die de leerlingen hebben ingevuld en de rationale erachter zijn terug te vinden in Bijlage XI.

De kwantitatieve metingen bestaan uit een toetsanalyse, waarbij leerlingen een opgave maken waarbij vaardigheden van rekenen aan reacties zijn vereist. De kwantitatieve voormeting vindt plaats tijdens het maken van het proefwerk vlak voor het starten van de interventie. De nameting is een opgave die ook voor punt is dat meetelt voor het rapportcijfer en deze wordt gemaakt meteen na de uitvoering van de interventie. Vervolgens wordt een maand na het uitvoeren van de interventie nog een meting gedaan, namelijk de na-nameting. De na-nameting is ook een opgave van een proefwerk. De gebruikte opgaven en bijbehorende correctiemodellen zijn terug te vinden in Bijlage XII. De opgaven van de kwantitatieve metingen zijn vergelijkbaar met elkaar, zodat een goede vergelijking kan worden gemaakt.

Analyse

De analyse van de lessen van de interventie is gemaakt op basis van de observaties van de uitvoerende docent en een collega scheikunde docent.

De vragenlijst van de leerlingen is geanalyseerd door de antwoorden in vier groepen in te delen, namelijk helemaal mee oneens, oneens, eens en helemaal mee eens. Vervolgens wordt gekeken hoeveel procent van de leerlingen een bepaald antwoord hebben ingevuld. Op deze manier wordt per stelling gekeken hoe de meningen zijn verdeeld en aan de hand hiervan kunnen conclusies worden getrokken.

De kwalitatieve metingen zijn geanalyseerd met behulp van een bottom-up analyse (Sabatier, 2008). Hierbij is gekeken naar verschillen en overeenkomsten tussen de verschillende (voor- en na-) metingen, ook zijn andere elementen die opvallend zijn genoteerd. Aan de hand van deze bottom-up analyse worden richtlijnen opgesteld om de kwantitatieve metingen te beoordelen.

De kwantitatieve metingen zijn aan de hand van de richtlijnen die tijdens de bottom-up analyse zijn opgesteld beoordeeld. Hierbij is gekeken naar het totaal aantal punten aan de hand van een vergelijkbare puntenverdeling. De puntenverdeling geeft de denkstappen weer die nodig zijn om de opgave op te lossen. Door eenzelfde puntenverdeling aan te houden bij iedere meting ontstaat er een eenduidig beeld van de verandering in prestaties van de leerlingen. De algemene puntenverdeling volgt uit het stappenplan wat de leerlingen hebben samengesteld in de eerste les. De rationale achter de puntenverdeling is terug te vinden in Bijlage XIII.

Bij resultaten van de kwantitatieve metingen is onderzocht of ze normaal verdeeld zijn aan de hand van het gemiddelde en standaarddeviatie. Ook is gekeken naar de soort fouten, aangezien deze een indicatie kunnen geven of diep leren heeft plaatsgevonden. Verder wordt er gekeken naar de gerichtheid waarmee leerlingen een opgave maken aan de hand van de mate van gekrabbel in de uitwerkingen. Met gekrabbel wordt bedoeld dat de leerling een woord of zin heeft doorgestreept en opnieuw is begonnen. De mate van gekrabbel is ook opgedeeld in enkele groepen; geen gekrabbel, enkele woorden gekrabbel, enkele regels gekrabbel en een hele opgave opnieuw begonnen. De resultaten worden weergegeven als percentages. Als laatste wordt ook gekeken of leerlingen de opgave hebben uitgewerkt aan de hand van het stappenplan.

Participanten

De doelgroep van dit onderzoek zijn leerlingen uit 4 vwo in het voorgezet onderwijs die het vak scheikunde volgen. De metingen zijn uitgevoerd in vier 4 vwo klassen op het Maurick College en de Trevianum Scholengroep. In twee klassen is de ontworpen interventie uitgevoerd. De andere twee klassen krijgen les volgens de reguliere manier en fungeren hierdoor als referentie.

Er zijn 53 leerlingen die deelnemen aan de interventie en de daarbij horende kwantitatieve metingen en vragenlijst. De referentieklassen bestaan eveneens uit 53 leerlingen, die enkel aan de kwantitatieve metingen zullen deelnemen. In Tabel 1 staat weergegeven hoe de verdeling van leerlingen over de scholen is en extra informatie over de participanten, zoals geslacht, gemiddelde cijfers voor schei- en wiskunde.

Tabel 1: Deelname leerlingen kwantitatieve metingen

Klas	Deelname aantal leerlingen	Man	Vrouw	Gemiddelde cijfer scheikunde	Gemiddelde cijfer wiskunde
Casusklas Trevianum	30	13	17	6.4	6.4
Referentieklas Trevianum	28	13	15	6.5	6.1
Casusklas Maurick	23	10	13	6.4	6.3
Referentieklas Maurick	25	14	11	5.7	6.0

Er is te zien dat de leerlingen die de interventie volgen iets sterker zijn in de vakken scheikunde en wiskunde. De gemiddelde cijfers van zowel de casus- als de referentieleerlingen zijn normaal verdeeld.

Een overzicht van de leeftijden van de leerlingen die de interventie hebben gevolgd is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Deelname leerlingen kwantitatieve metingen

Leeftijd (jaar)	Aantal leerlingen Casus	Aantal leerlingen Referentie
15	25	31
16	25	19
17	3	3

De kwalitatieve meting is uitgevoerd door in totaal zes leerlingen van het Maurick college (4 leerlingen) en de Trevianum Scholengroep (2 leerlingen). Gegevens over de leerlingen die mee hebben gewerkt staan in Tabel 3 weergegeven.

Tabel 3: Gegevens leerlingen kwalitatieve meting

	School	Leeftijd	Geslacht	Gemiddeld cijfer	
				Scheikunde	Wiskunde
Leerling 1	Maurick	15	vrouw	7,7	6,2
Leerling 2	Maurick	17	vrouw	6,4	6,2
Leerling 3	Maurick	15	vrouw	9,2	8,2
Leerling 4	Maurick	16	vrouw	6,7	7,0
Leerling 5	Trevianum	15	man	5,5	5,5
Leerling 6	Trevianum	16	man	6,6	6,1

Er hebben zes leerlingen meegewerkt aan het kwalitatieve onderzoek. Er was bedoeld om minstens 10 leerlingen voor het onderzoek te gebruiken, echter was de interesse in het meewerken van het onderzoek dermate klein.

Resultaten

Evaluatie interventie door docenten

Beide schrijvers van dit onderzoek hebben lesgegeven aan een casusklas. Selina Thijssen heeft lesgegeven aan de casusklas op het Maurick College en Justine Vaassen heeft lesgegeven aan de casusklas van de Trevianum Scholengroep. In Bijlage XIV worden hun ervaringen en bevindingen van de interventie beschreven. De lessen zijn volgens plan verlopen met uitzondering van de tweede les op het Maurick College. Tijdens deze les is veel tijd besteed aan

voorbeeldberekeningen, waardoor leerlingen weinig tijd hadden om de opgaven van het werkblad te maken.

Vragenlijst leerlingen

De vragenlijst bij leerlingen is uitgevoerd om een beeld te krijgen van de volgende twee aspecten: intrinsieke motivatie en interesse in het onderwerp, aangezien een van de criteria opgesteld in stap 2 was interesse in het onderwerp.

Trevianum

De vragenlijst is ingevuld op hetzelfde moment als de kwantitatieve en kwalitatieve nameting. Op dat moment was 1 leerling ziek en heeft de vragenlijst niet ingevuld. In Tabel 4 staan de resultaten van de vragenlijst bij leerlingen van Trevianum weergegeven.

Tabel 4: Resultaten vragenlijst leerlingen Trevianum

Stelling	Helemaal mee oneens	Oneens	Eens	Helemaal mee eens
	Score (%)			
Ik vind chemisch rekenen moeilijk	7%	48%	38%	7%
Tijdens de casus vond ik het fijn om in groepjes te werken	7%	7%	38%	48%
Door de casus kreeg ik meer motivatie voor dit onderwerp	0%	48%	48%	3%
Door eerst een plan op te stellen begrijp ik waarom ik bepaalde stappen zet	0%	17%	38%	45%
Ik begrijp chemisch rekenen beter door deze casus	0%	28%	59%	14%
Ik vind de casus een meerwaarde	0%	24%	59%	17%

De meningen waren erg verdeeld over de stelling of chemisch rekenen moeilijk is. Verder geeft 86% van de leerlingen aan dat ze het fijn vinden om in een groepje te werken, door het helemaal eens of eens te zijn met de tweede stelling. Ook zijn de meningen zeer verdeeld over de

stelling of er meer motivatie wordt vergaard met behulp van de casus. Een grote meerderheid (83%) van de leerlingen zijn het (helemaal) eens met de stelling dat er meer begrip wordt verkregen waarom bepaalde stappen gezet worden door eerst een plan op te stellen. 72% van de leerlingen geeft aan dat chemisch rekenen beter begrepen wordt door de casus. Als laatste geeft 76% aan dat ze de casus een meerwaarde vonden.

Maurick

Bij de casusklas op het Maurickcollege is ook de vragenlijst afgenomen. Drie leerlingen waren op de tijd van afname ziek, waardoor 20 leerlingen de vragenlijst hebben ingevuld.

Tabel 5: Resultaten vragenlijst leerlingen Maurick

Stelling	Helemaal mee oneens	Oneens	Eens	Helemaal mee eens
	Score (%)			
Ik vind chemisch rekenen moeilijk	25%	40%	30%	5%
Tijdens de casus vond ik het fijn om in groepjes te werken	0%	15%	30%	55%
Door de casus kreeg ik meer motivatie voor dit onderwerp	10%	35%	50%	5%
Door eerst een plan op te stellen begrijp ik waarom ik bepaalde stappen zet	10%	20%	25%	45%
Ik begrijp chemisch rekenen beter door deze casus	10%	10%	60%	20%
Ik vind de casus een meerwaarde	5%	10%	70%	15%

Een grote meerderheid van de leerlingen (65%) geeft aan dat hij/zij chemisch rekenen niet moeilijk vindt. 85% van de leerlingen geeft aan dat het fijn is om in groepjes te werken. De meningen zijn erg verdeeld over de stelling of meer motivatie wordt verkregen van de casus. 7 van de 10 leerlingen geeft aan dat hij beter begrijpt waarom bepaalde stappen gezet worden door

eerst een stappenplan op te stellen. 80% geeft aan dat hij chemisch rekenen beter begrijpt door de casus. Als laatste vindt 85% van de leerlingen de casus een meerwaarde.

Kwalitatieve metingen

Om de denkpatronen van leerlingen te achterhalen zijn met behulp van de hardop denken methode kwalitatieve voor- en nametingen uitgevoerd. De kwalitatieve metingen zijn gebruikt om bottom-up criteria te vinden waaraan de kwantitatieve metingen worden gemeten.

Trevisium

Zoals in de paragraaf ‘participanten’ vermeldt staat hebben drie leerlingen zich vrijwillig aangemeld om deel te nemen aan de kwalitatieve metingen. Echter één leerling was ziek tijdens de nameting, vandaar dat er bij de nameting slechts twee participanten zijn.

Analyse van voormeting

Opvallend is dat een van de drie leerlingen het stappenplan volledig onbewust volgt bij de voormeting. Hij volgt elke stap en komt op deze manier ook uit op het juiste antwoord. Echter de leerling zet wel de juiste stappen, maar weet soms niet waarom hij bepaalde stappen zet. Een voorbeeld hiervan is af te leiden uit de volgende uitspraak:

‘Ik weet dat ik de reactievergelijking nodig heb, maar ik ben eventjes kwijt waarvoor ik hem nodig had.’

De overige twee leerlingen hebben meer tijd nodig om het probleem te begrijpen en interpreteren. Vervolgens stellen ze beiden een plan van aanpak op. Eén van de leerlingen heeft een plan van aanpak opgesteld waarmee hij het juiste antwoord zou kunnen bepalen, maar weet niet hoe hij het moet uitvoeren. De andere leerling begint zijn plan van aanpak uit te voeren, maar stuit steeds op een nieuw probleem. Hierdoor past hij zijn plan van aanpak vaker aan, totdat

hij het opgeeft. Tijdens de uitwerkingen van leerlingen is veel onzekerheid te horen tijdens het verwerken van de opgave. Onzekerheid kan uit de volgende uitspraken worden afgeleid:

‘Het is lastiger dan je denkt.’

‘Ik moet met mol gaan werken, denk ik. Is dat zo?’

‘Umm.. maar ik heb geen idee hoe ik dat moet doen.’

Ook is waargenomen dat twee van de drie leerlingen erg ongericht te werk gaan, wat is af te leiden uit de volgende uitspraken:

‘Op een proefwerk zou ik dit opschrijven. Ik weet dat het niet goed is.’

‘Ik heb geen idee wat ik moet doen.’

‘Ik weet niet wat ik moet doen dat is het probleem. Ik weet het gewoon niet.’

Opvallend wat dat dit ongericht werken te zien was bij de uitwerkingen aan veel gekrabbel.

Analyse van de nameting

Tijdens de nameting heeft iedereen het goede eindantwoord berekend. De twee leerlingen die tijdens de voormeting ongericht te werken gingen deden dit tijdens de nameting helemaal niet. De tijd van het probleem begrijpen en interpreteren was zeer kort doordat ze herkenden dat ze het stappenplan moesten toepassen. Dit is af te leiden uit het feit dat in korte tijd de stappen van het stappenplan worden gevolgd. Aan het einde van de meting gaven leerlingen ook aan dat ze het stappenplan na veel oefenen goed kunnen toepassen. Doordat de leerlingen erg gericht te werk gingen, was er (bijna) geen gekrabbel.

Opmerkelijk is dat tijdens de nameting de leerlingen veel zekerder overkomen. Dit kan worden afgeleid uit de manier hoe zeker leerlingen spraken over hun eindantwoord:

‘En dan heb ik het antwoord.’

‘Dat is het.’

Maurick

Alle participanten waren tijdens beide metingen aanwezig.

Voormeting

Leerlingen gaan bij de voormeting erg ongericht te werk. Veel leerlingen beginnen ongericht en proberen vervolgens toch een plan van aanpak op te stellen en uit te voeren. Echter bij het uitvoeren blijkt dat het toch niet goed is en proberen zichzelf te herstellen door een nieuw plan van aanpak op te stellen. Het ongericht werken is af te leiden uit volgende uitspraak:

‘Ik zit nog steeds helemaal fout, maar ok’

Verder is het ongericht werken terug te vinden in de uitwerkingen waar veel gekrabbel in voorkomt.

Verder zijn de leerlingen tijdens de voormeting erg onzeker over hun uitwerkingen en antwoord. Dit wordt afgeleid uit de volgende uitspraken:

‘Ik denk dat ik het heb maar ik weet het niet zeker.’

‘Ik zit helemaal fout um... Even kijken hoor. Ow wacht ff hoor’

Verder is opvallend dat leerlingen moeite hebben met het berekenen van de molmassa's. Bij de drie leerlingen die molmassa's hebben berekend zijn er fouten gemaakt. Dit is een vaardigheid die leerlingen zouden moeten beheersen.

Nameting

De uitwerkingen van de leerlingen van de nameting zijn identiek. Ze volgen precies het stappenplan en gaan dus zeer gericht te werk. De berekeningen zijn vandaar ook correct. Echter is het wel opvallend dat 2 van de 4 leerlingen de reactievergelijking verkeerd om hebben geschreven. Dit heeft geen gevolgen voor afleiding van de molverhouding en verdere

berekeningen. Echter duidt dit er wel op dat het probleem niet volledig is begrepen en geïnterpreteerd. De leerlingen hebben snel geanalyseerd dat het stappenplan moest worden toegepast en hebben vandaar minder tijd besteedt aan het begrijpen van de opdracht.

Verder zijn deze leerlingen ook veel zekerder over hun antwoorden in vergelijking met de voormeting. Dit is te herleiden aan de zekerheid waarmee ze hun antwoord controleren:

‘17,0 gram HCl klopt dat? Eens kijken mol ja ok’

‘Even kijken of dit klopt, grammen, molaire massa, mol, verhouding, weer molaire massa en weer gram. Dus je hebt 17 gram HCl nodig om 25 gram salmiak te maken.’

Richtlijnen

Tijdens het ontwerpen van de interventie (stap 2) zijn enkele criteria opgesteld waaraan de interventie dient te voldoen. Dit waren de vier aspecten die geassocieerd werden met diep leren. Intrinsieke motivatie en interesse in het onderwerp is in kaart gebracht door middel van de resultaten van de vragenlijst bij de leerlingen over de interventie. De andere criteria waren dat de focus ligt op het begrijpen en het verbanden leggen tussen nieuwe stof, voorkennis en alledaagse ervaringen. Op basis van de bottom-up analyse van de kwalitatieve metingen zijn richtlijnen opgesteld waarmee deze criteria te meten zijn bij de kwantitatieve metingen.

De eerste richtlijn is het analyseren van hoe leerlingen hebben gescoord voor de opgave. Aangezien de focus op het begrijpen dient te liggen wordt er niet enkel gekeken naar totaliteit, maar wordt de uitwerking opgedeeld in stappen. Er wordt stapsgewijs gekeken waar eventuele fouten en misconcepten plaatsvinden. Op deze manier wordt een beeld verkregen of leerlingen de stof begrijpen, indien dit niet is kan er worden gekeken waar en waarom het fout gaat. Aan de fouten die leerlingen maken kan gezien worden of leerlingen de stof goed begrijpen en dus diep leren heeft plaatsgevonden.

De tweede richtlijn is hoe gericht leerlingen werken. Tijdens de kwalitatieve meting is duidelijk geworden dat leerlingen bij de nameting veel gericht te werk gaan, omdat ze na begrijpen en interpretatie van het probleem weten welk algoritme (stappenplan) ze moeten toepassen. Opvallend was dat hoe gericht de leerlingen werkte, hoe minder gekrabbel er tussen de uitwerkingen stond. Vandaar dat een richtlijn gericht werken wordt gemeten wat aan de hand van het gekrabbel bij de uitwerkingen wordt geanalyseerd.

De derde richtlijn is het gebruik maken van het stappenplan. Tijdens de kwalitatieve nameting volgden alle leerlingen onmiddellijk het stappenplan, waardoor leerlingen heel gericht te werk gingen.

Kwantitatieve metingen

Tijdens de verschillende metingen waren niet alle participanten aanwezig. Tabel 6 geeft weer hoeveel participanten aanwezig waren bij elke meting.

Tabel 6: Aanwezigheid participanten tijdens kwantitatieve metingen

	Aantal leerlingen		
	Voormeting	Nameting	Na-nameting
Casus Trevianum	30	29	30
Referentie Trevianum	30	26	27
Casus Maurick	23	20	22
Referentie Maurick	24	22	23

Trevianum

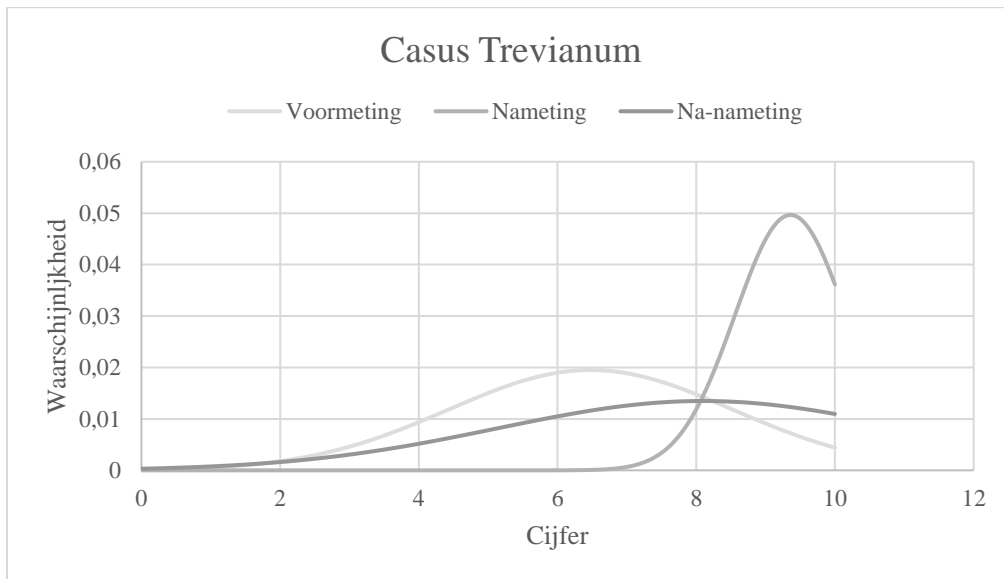
Het gemiddelde cijfer van de opgave die voor de kwantitatieve meting is gemaakt en de standaarddeviaties van de metingen die hebben plaatsgevonden op Trevianum staan weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Gemiddelden en standaarddeviaties kwantitatieve metingen Trevianum

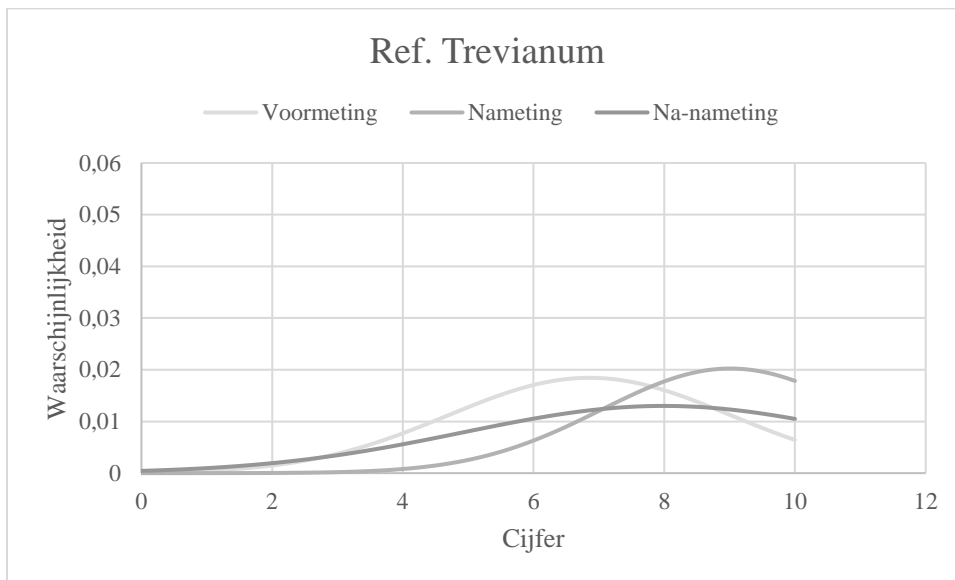
Trevianum		Gemiddelde	Standaarddeviatie
Casus	Voormeting	6,5	2,0
	Nameting	9,4	0,8
	Na-nameting	8,1	3,0
Referentie	Voormeting	6,9	2,2
	Nameting	9,0	2,0
	Na-nameting	8,0	3,1

Opvallend aan de resultaten zijn de gelijkenissen van de resultaten tussen de casusklas en referentieklass met uitzondering van de nameting. Verder is er duidelijk eenzelfde trend te zien bij de casusklas en de referentieklass. De trend die te zien is dat het cijfer flink is toegenomen tussen de voor- en nameting en dat de spreiding flink verminderd bij de casusklas ten opzichte van de referentieklass. Dit wil zeggen dat de niveauverschillen in de klassen is afgenomen. Verder is te zien dat bij de na-nameting de leerlingen slechter scoorden ten opzichte van de nameting, maar beter dan bij de voormeting en dat de spreiding is toegenomen. De leerlingen van de casus- en referentieklass scoren vergelijkbaar bij de na-nameting met ongeveer dezelfde spreiding.

Om een beter beeld te krijgen van de trend van de resultaten zijn de verdeling van de resultaten weergegeven in onderstaande grafieken.



Figuur 5: Normalverdeling Casus Trevianum



Figuur 6: Normalverdeling Referentie Trevianum

Er is te zien dat geen van de curves normaal verdeeld zijn, omdat het rechterdeel van de normaalcurve niet kan worden uitgezet vanwege de limitatie van de schaal. Het cijfer kan

maximaal 10 zijn. Verder bevestigen de verdelingen de eerdere bevinden over een waargenomen trend en de gelijkenissen tussen de twee klassen.

Aan de hand van een analyse van de fouten kan een beeld verkregen worden waar de fouten gemaakt zijn en eventueel welke misconcepten hier gepaard mee gaan, maar ook of diep leren heeft plaatsgevonden. De foutenanalyse is terug te vinden in Bijlage XV. Deze foutenanalyse geeft een beeld van de gemaakte fouten, maar geen duidelijke verschillen tussen de casusklas en referentieklass die zouden kunnen wijzen op diep leren.

Tijdens dit onderzoek is niet enkel gekeken naar hoe leerlingen hebben gescoord, maar ook hoe gericht leerlingen te werk gingen. Dit is aan de hand van een analyse van het gekrabbeld bij de uitwerkingen vastgesteld. In Tabel 8 is een overzicht te zien van het gekrabbeld en dus de gerichtheid van leerlingen tijdens het maken van een opgave.

Tabel 8: Mate van gekrabbeld Trevianum

Soort meting		Geen gekrabbeld	Enkele woorden of getallen gekrabbeld	Enkele regels gekrabbeld	Opnieuw begonnen
Casus	Voormeting	37%	17%	30%	16%
	Nameting	55%	31%	7%	7%
	Na-nameting	47%	23%	23%	7%
Referentie	Voormeting	33%	30%	27%	10%
	Nameting	65%	15%	15%	4%
	Na-nameting	52%	30%	19%	0%

Wanneer er wordt gekeken naar het gekrabbeld is te zien dat de casusklas meer krabbeld en dus minder gericht werkt dan de referentieklass tijdens alle metingen. Er is wel een vergelijkbare trend te zien. Tijdens de voormeting wordt het meeste gekrabbeld, wat betekent dat er het minst gericht gewerkt wordt. Tijdens de nameting wordt het minste gekrabbeld en gaan leerlingen dus het meest gericht te werk.

Het stappenplan is een belangrijk onderdeel van de ontworpen interventie. Vandaar dat er is onderzocht aan de hand van de uitwerkingen in welke mate de leerlingen het stappenplan toepassen. De resultaten omtrent het gebruik van het stappenplan zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Gebruik van stappenplan Trevianum

Soort meting		Gebruik stappenplan
Casus	Voormeting	47%
	Nameting	100%
	Na-nameting	83%
Referentie	Voormeting	43%
	Nameting	100%
	Na-nameting	63%

Bij het gebruik van het stappenplan is eenzelfde trend waar te nemen, namelijk het gebruik van het stappenplan neemt toe tussen de voor- en nameting. Maar tijdens de na-nameting wordt het stappenplan minder toegepast dan bij de nameting. Wel is opvallend dat in de casusklas het stappenplan meer wordt toegepast dan bij de referentieklas.

Maurick

In Tabel 10 zijn de resultaten van de metingen van de casus- en referentieklass van het Maurickcollege weergegeven.

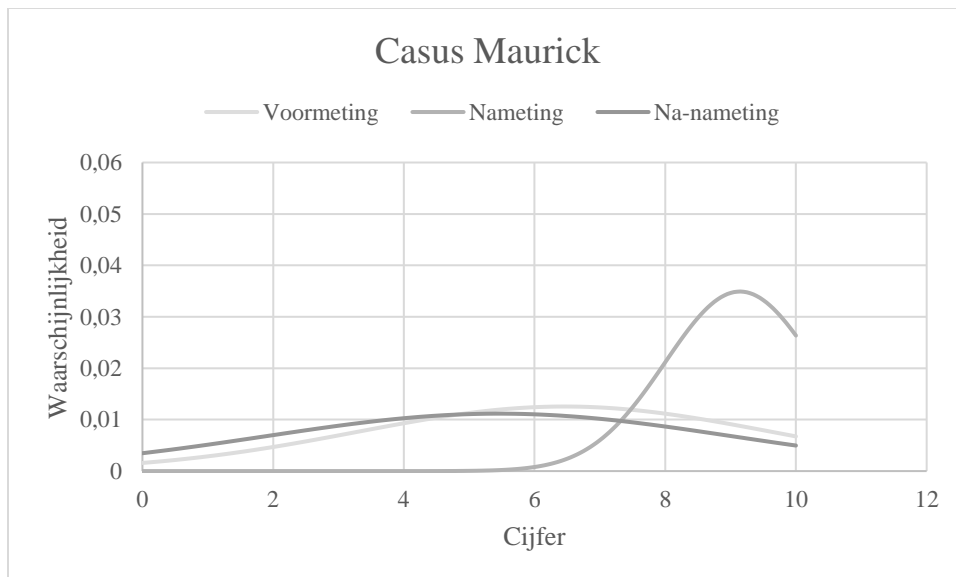
Tabel 10: Gemiddelden en standaarddeviaties kwantitatieve metingen Maurick

Maurick		Gemiddelde	Standaarddeviatie
Casus	Voormeting	6,5	3,2
	Nameting	9,1	1,1
	Na-nameting	5,5	3,6
Referentie	Voormeting	3,7	3,5
	Nameting	9,0	2,2
	Na-nameting	5,9	3,5

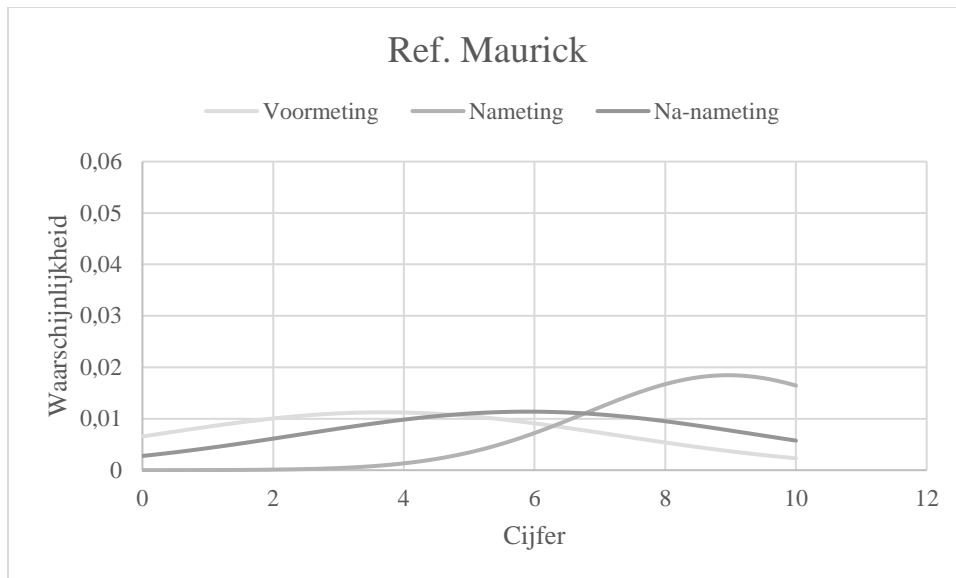
Opvallend aan de resultaten zijn de gelijkenissen bij de na- en na-nameting. Beide klassen hebben ongeveer een gelijk gemiddelde en vergelijkbare standaarddeviatie. De

standaarddeviatie bij de nameting is wel kleiner dan bij de na-nameting, wat aangeeft dat de spreiding van de cijfers veel kleiner is. De voormeting is wel verschillend waarbij de referentieklas een veel lager gemiddelde heeft. Opvallend is dat de gemiddelde score van de casusklas bij de na-nameting lager is dan die bij de voormeting. De referentieklas is wel verbeterd, maar die had dan ook een lage score bij de voormeting. Echter bij de nameting is te zien dat de casusklas een kleinere standaarddeviatie heeft ten opzichte van de referentieklas. De standaarddeviatie bij de na-nameting neemt toe en is vergelijkbaar met de standaarddeviatie van de voormeting.

Om een beter beeld te geven van de resultaten is de verdeling hiervan in onderstaande grafieken weergegeven.



Figuur 7: Normaalverdeling Casus Maurick



Figuur 8: Normaalverdeling Referentie Maurick

Er is te zien dat geen van de curves normaal verdeeld is. Het verschil in gemiddeldes bij de voormeting is hier wel weer duidelijk te zien.

Aan de hand van een analyse van de fouten kan een beeld verkregen worden waar de fouten gemaakt zijn en eventueel welke misconcepten hier gepaard mee gaan, maar ook of diep leren heeft plaatsgevonden. De foutenanalyse is terug te vinden in Bijlage XVI. Deze foutenanalyse geeft een beeld van de gemaakte fouten, maar geen duidelijk verschillen tussen de casusklas en referentieklass die zouden kunnen wijzen op diep leren.

Net zoals bij Trevianum is ook gekeken hoe gericht leerlingen te werk gingen. Dit is aan de hand van een analyse van het gekrabbel bij de uitwerkingen vastgesteld. In Tabel 12 is een overzicht te zien van het gekrabbel en dus de gerichtheid van leerlingen tijdens het maken van een opgave.

Tabel 11: Mate van gekrabbel Maurick

		Geen gekrabbel	Enkele woorden of getallen gekrabbeld	Enkele regels gekrabbeld	Opnieuw begonnen
Casus	Voormeting	39%	4%	43%	14%
	Nameting	35%	45%	15%	5%
	Na-nameting	27%	45%	23%	5%
Referentie	Voormeting	42%	25%	13%	20%
	Nameting	41%	23%	32%	5%
	Na-nameting	26%	52%	9%	13%

Opvallend is dat in beide klassen bij de voor- en nameting een vergelijkbaar aantal leerlingen niet krabbelt en dat dit aantal bij de na-nameting is afgenomen, waarbij er dus meer leerlingen zijn gaan krabbelen. Echter is bij de casusklas wel duidelijke een afname van de hoeveelheid gekrabbel te zien. Voor de referentieklass geldt dat er bij de na-nameting vaker maar enkele woorden zijn gekrabbeld, waarbij bij de voor- en nameting meer regels zijn doorgestreept.

Het gebruik van het stappenplan geeft ook een indicatie dat leerlingen weten waar ze mee bezig zijn en dus meer gericht te werk gaan. In Tabel 13 is het gebruik van het stappenplan per meting weergegeven.

Tabel 12: Gebruik van stappenplan Maurick

	Casus (%)	Referentie (%)
Voormeting	57%	17%
Nameting	100%	95%
Na-nameting	65%	70%

Opvallend is dat bij de nameting bijna alle leerlingen het stappenplan gebruiken. Bij de voormeting volgt in de casusklas al meer dan de helft van de leerlingen het stappenplan en bij de na-nameting is dit lichtelijk toegenomen. Bij de referentieklass gebruikte bij de voormeting nog maar weinig leerlingen het stappenplan en bij de na-nameting is dit percentage flink toegenomen.

Discussie en conclusie

De eerste twee aspecten waarmee diep leren wordt geassocieerd volgens Chin & Brown zijn intrinsieke motivatie en interesse in het onderwerp. Deze aspecten worden gestimuleerd doordat leerlingen zelf tijdens de eerste les van de interventie een keuze mochten maken welke casus ze gingen behandelen op basis van interesse in het onderwerp. Doordat leerlingen zelf konden kiezen werd verondersteld dat het de motivatie verhoogde, aangezien leerlingen bezig waren met een onderwerp wat hen interesseerde. Echter uit de vragenlijst bij de leerlingen bleek dat de meningen zeer verdeeld waren of de casus voor meer motivatie zorgde. Hier kunnen ook andere factoren meespelen, zoals de aanpak van de casus en de instelling van leerlingen ten opzichte van scheikunde.

Het derde en vierde aspect die geassocieerd zijn met diep leren volgens Chin & Brown zijn focus op het begrijpen en verbanden leggen tussen nieuwe stof, voorkennis en alledaagse ervaringen. Om deze twee aspecten te meten is een bottom-up analyse uitgevoerd bij kwalitatieve metingen. De kwalitatieve metingen omvatte het maken van een rekenen aan reactie opgave met de hardop denken methode. Bij deze bottom-up analyse is onderzocht welke elementen die terug te vinden zijn in de uitwerkingen van de metingen de genoemde diep leren aspecten suggereren. De volgende richtlijnen zijn hieruit opgesteld:

1. Aantal behaalde punten over de gehele opgave;
2. Soort fouten;
3. Gerichtheid te meten aan de hand van de mate van gekrabbel;
4. Gebruik van stappenplan.

Met behulp van een toetsanalyse voor, na en een maand na de uitvoering van de interventie is een beeld gekregen over het niveau van leerlingen aan de hand van een aantal

behaalde punten. Een samenvattende tabel met gemiddelden van de gemaakte opgaven en standaarddeviaties van deze metingen en de gemiddelden voor scheikunde en wiskunde per klas is weergegeven in Tabel 13.

Trevianum		Gemiddelde	Standaarddeviatie
Trevianum Casus	Voormeting	6,5	2,0
	Nameting	9,4	0,8
	Na-nameting	8,1	3,0
Trevianum Referentie	Voormeting	6,9	2,2
	Nameting	9,0	2,0
	Na-nameting	8,0	3,1
Maurick Casus	Voormeting	6,5	3,2
	Nameting	9,1	1,1
	Na-nameting	5,5	3,6
Maurick Referentie	Voormeting	3,7	3,5
	Nameting	9,0	2,2
	Na-nameting	5,9	3,5

Opvallend is dat de resultaten tussen de twee casusklassen en referentieklassen van verschillende scholen van elkaar verschillen ondanks het feit dat ze een vergelijkbare interventie hebben gevolgd. Oorzaken hiervan kunnen zijn:

- Verschillende docenten;
- Verschillende opgaven bij voor- en na-nameting;
- Verschillende leerlingen met verschillende motivaties en kwaliteiten;
- Gedurende de periode tussen de nametingen en na-nameting is bij het Maurickcollege nieuwe stof behandeld, maar bij het Trevianum niet;

Vanwege het feit dat enkele resultaten tussen de twee scholen flink van elkaar afwijken zijn de resultaten per klas bekeken. Enkel de voormeting van de casusklas van Trevianum is normaal verdeeld. De andere voor- na- en na-nametingen zijn niet normaal verdeeld. De verdeling van de resultaten duidt erop dat de toets te makkelijk was of dat de beoordeling van de

resultaten strenger moest zijn. Echter er kan eenzelfde trend worden waargenomen tussen de verschillende scholen, namelijk de leerlingen uit zowel de casusklassen als de referentieklassen hebben veel vooruitgang geboekt tussen de voor- en nameting. Opvallend is dat de standaarddeviatie bij beide casusklassen in vergelijking met de referentieklassen een stuk kleiner is bij de nameting in vergelijking met de voormeting. Dit duidt tijdens de nameting op minder niveauverschillen binnen de casusklassen. Deze afname in niveauverschillen kan te wijten zijn aan het groepswork tijdens het maken van de casus. Groepswork resulteert niet alleen in minder niveauverschillen tussen de leerlingen, maar 85% van de leerlingen geeft aan dat hij/zij werken in een groepje als fijn ervaart. Echter de niveauverschillen zijn weer even groot bij beide casusklassen in vergelijking met de referentieklassen op het moment dat de na-nameting is uitgevoerd. Tussen de scholen zijn de resultaten van de na-nameting zeer verschillend. Dit verschil kan te wijten zijn aan het feit dat bij het Maurickcollege nieuwe lesstof is behandeld tussen de na- en na-nameting, terwijl dit niet het geval is bij Trevianum. Hierdoor zullen de resultaten van de na-nameting van het Maurickcollege een beter beeld geven of diep leren heeft plaatsgevonden, aangezien de stof langer wordt onthouden als diep leren heeft plaatsgevonden. Bij de na-nameting van Maurick is te zien dat de referentieklas iets beter scoort in vergelijking met de casusklas. Dit zou erop duiden dat er minder diep leren heeft plaatsgevonden bij de casusklas als bij de referentieklas. Verder is bij het Maurick College opvallend dat de casusklas 1 punt lager heeft gescoord bij de na-nameting dan bij de voormeting. Mogelijke oorzaak hiervan is het extra vereiste inzicht dat nodig was bij deze opgave, omdat de reactievergelijking niet duidelijk naar voren kwam uit de opgave. Deze resultaten wijzen er niet op dat diep leren heeft plaats gevonden. Als laatste dient men op te merken dat bijna alle klassen naar verwachting hebben gepresteerd bij de voormeting op basis van de gemiddelde schei- en wiskundecijfers.

Enkel de referentiekلاس van Maurick heeft slecht gescoord (3,7 bij de voormeting) in vergelijking met de gemiddelde scheikunde cijfer (5,8) en wiskundecijfer (5,9).

Verdere informatie over het begrip van de lesstof is verkregen door de vragenlijst die is ingevuld door leerlingen. Een grote meerderheid van de leerlingen (83% Trevianum en 70% Maurick) geven aan door eerst het stappenplan op te stellen bij de casus dat er meer begrip is gekregen waarom bepaalde stappen gezet dienen te worden. Leerlingen geven dus aan dat er meer begrip is over de stof omdat er gefocust is op het begrijpen, doordat de wiskunde later is geïntroduceerd. Een dikke driekwart van de leerlingen geeft aan dat ze meer begrijpen van chemisch rekenen door de casus, daarom ziet 76% Trevianumleerlingen en 85% Maurickleerlingen de casus als een meerwaarde. Uit de meningen van de leerlingen kan worden afgeleid dat de casus zeer positief is ontvangen.

De foutenanalyse heeft geen significante verschillen tussen de casusklassen en referentieklassen kunnen aanwijzen. Hieruit valt niet op te maken of de interventie tot diep leren heeft aangestuurd. De meest gemaakte fouten bij alle klassen kunnen worden onderverdeeld in inzichtfouten, zoals het gebruiken van een verkeerde stof of molverhouding, en slordigheidsfouten, zoals rekenfouten. De inzichtfouten zijn in sommige gevallen te koppelen aan misconcepten die in Stap 1 zijn besproken. Opvallend was dat bij de nameting de minste fouten zijn gemaakt en de fouten die zijn gemaakt waren vooral slordigheidsfouten. Dit is waarschijnlijk te danken aan het vele oefenen met het stappenplan dat de leerlingen hebben gedaan voorafgaand aan deze nameting. Bij de na-nameting zijn vergelijkbare fouten gemaakt als in de voormeting, dit waren zowel inzicht- als slordigheidsfouten. Dit geldt voor zowel de casusklassen als de referentieklassen en zou er dus op kunnen wijzen dat er in geen enkele klas sprake is geweest van diep leren. Meer details over de foutenanalyse staan in Bijlage XV.

De gerichtheid waarmee de opgave wordt gemaakt geeft een indicatie over het begrip van de stof, maar voornamelijk inzicht of leerlingen het stappenplan (algoritme) herkend hebben. Op beide scholen is een vergelijkbare trend waargenomen met betrekking tot het gekrabbel. Het meeste gekrabbel is waargenomen bij de voormeting en het minste gekrabbel is bij de nameting. Deze trend is hetzelfde tussen de verschillende scholen, maar de leerlingen van Trevianum hebben ongeveer een vijfde bij elke meting meer gekrabbeld in vergelijking met Maurick college. Hieruit kan geconcludeerd worden dat leerlingen van Trevianum minder gericht werken.

Het stappenplan staat centraal tijdens de interventie en geeft een indicatie of leerlingen de stof hebben begrepen. Immers als de stof en het stappenplan zijn begrepen zal er sneller worden opgemerkt of het stappenplan toegepast moet worden. Wederom is eenzelfde trend tussen de scholen waar te nemen, namelijk bij de voormetingen wordt er het minste gebruik gemaakt van het stappenplan en bij de nameting het meeste. Opvallend is dat bij het Trevianum de leerlingen uit de casusklas 20% meer het stappenplan hebben gebruikt in vergelijking met de referentieklass. Dit kan te wijten zijn aan dat leerlingen in de casusklas zelf het stappenplan hebben opgesteld en hierdoor de chemische contexten achter het stappenplan beter begrijpen.

Over het algemeen kan er worden geconcludeerd dat leerlingen die de interventie hebben gehad vergelijkbaar presteren met leerlingen die dat niet hebben gehad. Er kan geen duidelijk beeld worden gekregen van de resultaten of méér diep leren heeft plaatsgevonden bij de casusklassen, aangezien dit gegeven moeilijk te meten is. Echter de resultaten duiden erop dat leerlingen niet méér diep geleerd hebben. Wel is op te merken dat leerlingen over het algemeen zeer positief staan ten opzichte van de interventie, wat waarschijnlijk te wijten is aan het werken in groepjes en de verandering van werkvorm ten opzichte van normale lessen. Op basis van de

vergelijkbare resultaten en de positieve geluiden van de leerlingen is deze interventie een aanrader voor in de toekomstige lespraktijk.

Algemene conclusie en discussie

Uit verschillende onderzoeken, besproken bij theoretische kader en analyse van de huidige situatie (stap 1) en het onderzoek met behulp van de vragenlijsten bij scheikundedocenten, blijkt dat chemisch rekenen en voornamelijk rekenen met stoichiometrische verhoudingen als moeilijk wordt ervaren door veel leerlingen. Echter een meerderheid van de leerlingen uit de casusklassen geven aan dat ze chemisch rekenen niet moeilijk vinden (55% voor Trevinaum en 65% bij Maurick). Dit gegeven kan erop duiden dat leerlingen zichzelf overschatten of de stof onderschatten.

Doordat uit de praktijk en literatuur blijkt dat leerlingen chemisch rekenen lastig vinden hebben we onderzocht of diep leren bijdraagt aan het aanleren van deze vaardigheid. De interventie is ontworpen aan de hand van criteria die gebaseerd zijn op de vier aspecten die volgens Chin & Brown (2000) met diep leren worden geassocieerd (stap 2). In stap 3 is aan de hand van de opgestelde criteria de interventie ontwikkeld met behulp van het spinnenweb van den Akker.

Bij stap 4 is de interventie getest en geëvalueerd. Uit de resultaten van verschillende metingen bij casus- en referentieklassen op het Maurick college en de Trevianum Scholengroep kan niet direct worden geconcludeerd of meer diep leren heeft plaatsgevonden. De resultaten van de casus- en referentieklassen van beide scholen kunnen als vergelijkbaar worden beschouwd rekening houdend met de vele factoren die invloed hebben op de metingen. Wel is waargenomen dat de casusklassen minder spreiding vertonen bij de nameting, wat duidt op minder

niveaoverschillen in de klas. De mening van de leerlingen is positief ten opzichte van deze interventie.

Aanbevelingen

Er zijn een aantal verbeterpunten waardoor het onderzoek wellicht betrouwbaardere resultaten zou kunnen opleveren.

Aangezien de gebruikte na-nameting deel uitmaakte van een proefwerk waarvoor de leerlingen de lesstof nog een keer herhaald hebben en wellicht extra geoefend hebben, zou een extra meting een betrouwbaarder resultaat kunnen opleveren. Deze meting zou onafhankelijk van een cijfer en onverwacht moeten worden afgenomen, waardoor de leerlingen alleen op basis van hun diep geleerde inzicht de opdracht kunnen maken. Ook is er een wezenlijk niveaoverschil tussen de verschillende metingen, waardoor de verschillen in resultaten niet alleen wijzen op verschil in inzicht. Om betere conclusies over niveaoverschillen van leerlingen te kunnen trekken zouden alle leerlingen precies dezelfde opgave moeten hebben gekregen, ook voor de voormeting en na-nameting. Helaas was dit door verschil in planning tussen de scholen niet mogelijk gedurende dit onderzoek.

Een andere manier om dit onderzoek te verbeteren zou een langer lopend traject zijn, waarbij de leerlingen vanaf het begin dat ze in aanraking komen met de mol en molverhoudingen volgens deze methode onderwijs krijgen (dus vanaf de 3^{de} klas). Hierdoor baseren leerlingen hun aanpak niet op eerder opgedane kennis zoals nu het geval was, maar is de aanpak voor een groter deel beïnvloed door de interventie. Er kan dan systematisch gemeten worden om de vooruitgang van leerlingen die de interventie ontvangen te vergelijken met leerlingen die dat niet hebben gedaan. Dan nog zijn er echter invloeden die de uitkomst van de studie zodanig veranderen dat het lastig blijft om diep leren te constateren.

Aanbevelingen om de lessen van de interventie te verbeteren zijn:

- Aanpassingen doen aan de contextvragen aspartaam en fotosynthese, zodat leerlingen niet onnodig tegen problemen stuiten die losstaan van rekenen aan reacties;
- Meer differentiatie toepassen in les 1 door snelle leerlingen eerder het stappenplan te laten opstellen en extra opgaven aan te bieden. Hierdoor wordt de tijd dat leerlingen moeten wachten tot hun vraag beantwoord beperkt;
- Meer differentiatie toepassen in les 2 door in verschillende mate voorbeeldberekeningen te behandelen;
- Meer feedback voor leerlingen door de docent, zodat ze een goed beeld krijgen waar ze staan in hun leerproces.

Als laatste kan een reflectie van het ontwerp-/onderzoeksproces gevonden worden in Bijlage XVI geschreven door de schrijvers.

Literatuur

- Beall, H., & Prescott, S. (1994). Concepts and calculations in chemistry teaching and learning - Beall and Prescot.pdf. *Journal of Chemical Education*, 71(2), 111–112.
- Belland, B. R., French, B. F., & Ertmer, P. A. (2009). Validity and problem-based learning research: A review of instruments used to assess intended learning outcomes. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 59–89.
<http://doi.org/10.7771/1541-5015.1059>
- Bertona, C., de Kleijn, E., Hennink, D., & Apotheker, J. (2014). *Syllabus centraal examen 2016 VWO Scheikunde* (Vol. 2016). Utrecht.
- Buwalda, R., Scholte, H., & Thole, E. (2012). *Chemie 4 vwo zesde editie*.
- Cheung, D. (2014). The Combined Effects of Classroom Teaching and Learning Strategy Use on Students' Chemistry Self-Efficacy. *Research in Science Education*, 101–116.
<http://doi.org/10.1007/s11165-014-9415-0>
- Chin, C., & Brown, D. E. (2000). Learning in Science: a comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 109–138.
- Dori, Y. J., & Hameiri, M. (2003). Multidimensional analysis system for quantitative chemistry problems: Symbol, macro, micro, and process aspects. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 278–302. <http://doi.org/10.1002/tea.10077>
- Fach, M., Boer, T. De, & Parchmann, I. (2007). Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems. *The Royal Society of Chemistry*, 8(1), 13–31.
- Herron, J. D. (1997a). Problem solving. In *The chemistry classroom formulas for succesful teaching* (pp. 63–82).

- Herron, J. D. (1997b). Teaching Problem Solving. In *The chemistry classroom formulas for succesful teaching* (pp. 83–104).
- Huddle, P. A., & Pillay, A. E. (1996). An In-Depth Study of Misconceptions in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 65–77.
- Jaber, L. L. Z., & BouJaoude, S. (2012). A Macro–Micro–Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. *International Journal of Science Education*, 34(January 2015), 973–998. <http://doi.org/10.1080/09500693.2011.569959>
- Johnstone, A. H. (1974). Evaluation of Chemistry Syllabuses in Scotland Evaluation of Chemistry Syllabuses in Scotland. *Studies in Science Education*, 1, 21–49. <http://doi.org/10.1080/03057267408559806>
- Kind, V. (2004). *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*.
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy : An Overview. *Theory into Practice*, 41(4), 212–218.
- Landa, I., Schouten, J., de Valk, T., & Zoon, B. (2012). *NOVA Scheikunde 4 vwo tweede editie*.
- Nyachwaya, J. M., Warfa, A.-R. M., Roehrig, G. H., & Schneider, J. L. (2014). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chem. Educ. Res. Pract. Chem. Educ. Res. Pract*, 15(15), 81–93. <http://doi.org/10.1039/c3rp00114h>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being, 55(1), 68–78.
- Sabatier, P. A. (2008). Top-down and Bottom-up approaches to implementation research: a critical analysis and suggested synthesis. *Journal of Public Policy*, 6(1), 21–48.
- Scott, F. J. (2012). Is mathematics to blame? An investigation into high school students'

- difficulty in performing calculations in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 330–336. <http://doi.org/10.1039/c2rp00001f>
- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, 4(2), 2–20.
- Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. C. (1994). *THE THINK ALOUD METHOD A practical guide to modelling cognitive processes*.
- Thijs, A., & van den Akker, J. (2009). *Leerplan in ontwikkeling*.
- van der Knaap, A. (2014). Historforum. Retrieved from <http://histoforum.net/2014/bloom.html>
- Van Rhijn, J., van Kempen, P., Rus, G., Spillane, B., & Veldema, Y. (2013). *Chemie Overal 4 vwo vierde editie*.
- Verhagen, P. W., & Plomp, T. (1982). Educational Technology and the new technologies, *XXI*, 227–238.
- Wood, C., & Breyfogle, B. (2006). Interactive Demonstrations for Mole Ratios and Limiting Reagents. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 741–748.

Bijlagen

I. Vragenlijst docenten

In deze bijlage is de vragenlijst die gestuurd is naar alle scheikunde docenten van Maaslandcollege en Trevianum Scholengroep en scheikundevakdidacticus.

Inleiding

Allereerst bedankt dat u de tijd neemt om deze vragenlijst in te vullen. U doet ons hiermee een groot plezier. De antwoorden worden gebruikt voor de ontwikkeling van een lesmethode voor 'rekenen aan reacties' met als doelgroep 4 VWO. Tijdens dit onderdeel wordt het rekenen met stoichiometrische verhouding bij een reactie uitgelegd. Onderstaande vragen hebben dus enkel betrekking tot dit onderdeel.

Bedankt,

Selina Thijssen en Justine Vaassen

Vragen

1. Hoelang bent u al werkzaam in het voortgezet onderwijs? Geeft/Gaf u les aan 4 VWO?

2. Welke lesmethode(n) (boek) gebruikt u om chemisch rekenen uit te leggen aan leerlingen?

3. Volgt u de didactiek van de methode letterlijk of wijkt u af bij 'rekenen aan reacties'? Indien u afwijkt, kunt u aangeven hoe u rekenen aan reacties uitlegt /waarin u afwijkt?

4. Gebruikt u ook andere hulpmiddelen bij het uitleggen of werken aan rekenen aan reacties, zoals Youtube filmpjes of ondersteunende websites, apps? Zo ja welke?

5. Merkt u tijdens het lesgeven dat leerlingen 'rekenen aan reacties' als moeilijk ervaren?

Ja/nee

Indien ja:

- a) Waaraan merkt u dat?
- b) Wat denkt u dat hier de reden van is? Denk hierbij bijvoorbeeld aan veel voorkomende fouten en misconcepten.

6. Welke ondersteuning, tips biedt u de leerlingen wanneer ze moeite hebben met (specifiek) rekenen aan reacties?

7. De lesmethode die we willen ontwikkelen is gericht om diep leren te stimuleren. (Diep leren gaat over het leggen van verbanden, het doorgronden en echt willen begrijpen van lesstof en kritisch nadenken over de lesstof en het leerproces door leerlingen zelf.) Welke (docent en leerling) activiteiten zouden naar uw mening diep leren kunnen bevorderen?

Het doel van deze vragenlijst is om een zo compleet mogelijk beeld te krijgen van hoe ‘rekenen aan reacties’ door docenten wordt gedoceerd, de ervaringen van het lesgeven en het verkrijgen van tips.

De eerste vraag van de vragenlijst is hoelang de docent al werkzaam is in het voortgezet onderwijs. Met deze vraag wordt inzicht verkregen over de praktijkervaring die de betreffende docent heeft over het doceren van ‘rekenen aan reacties’. Wanneer een docent langer lesgeeft, zal hij/zij over meer praktijkinformatie beschikken.

Welke lesmethode wordt gebruikt door de docent heeft veel invloed op hoe de lesstof wordt gedoceerd. Vandaar dat er wordt gevraagd welke lesmethode wordt gebruikt door de docent. De lesmethode is niet allesbepalend, vandaar dat bij de volgende vraag wordt gevraagd naar de eventuele afwijkingen van de lesmethode die docenten maken. Verder wordt er ook gevraagd naar het gebruik van hulpmiddelen, zoals Youtube-filmpjes, ondersteunende websites en apps. Door deze drie vragen achtereenvolgens te stellen wordt een goed beeld verkregen hoe docenten gebruik maken van de lesmethode bij het doceren van ‘rekenen aan reacties’.

Uit literatuur besproken in Theoretisch kader blijkt dat chemisch rekenen als moeilijk wordt ervaren. Met behulp van deze vragenlijst wordt dit gegeven ook gepolst bij de docenten. Verder wordt ook gevraagd als docenten aangeven dat het vaak als moeilijk wordt beschouwd op welke manier ze dit merken en wat de reden voor deze moeilijkheid is. Door middel van deze vragen wordt praktische informatie ingewonnen over de moeilijkheid van het onderwerp.

Indien docenten aangeven dat leerlingen moeite hebben met ‘rekenen aan reacties’ is het van belang om deze leerlingen een goede ondersteuning te bieden, maar hoe? Met behulp van de zesde vraag waarin wordt gevraagd welke ondersteuning en tips de betreffende docent biedt aan de leerlingen die moeite hebben met het onderwerp. Op deze manier wordt een volledig beeld gekregen van niet enkel de manier hoe het in de les wordt behandeld, maar ook tijdens de extra begeleiding.

Aangezien het stimuleren van diep leren tijdens de lesmethode centraal staat zijn extra tips hoe dit te bereiken altijd welkom. Vandaar de vraag aan de docenten hoe zij erover denken hoe diep leren kan worden gestimuleerd.

II. Analyse huidige lesmethoden

In deze bijlage is een analyse van de paragraaf ‘rekenen aan reacties’ weergegeven van de lesmethoden Chemie Overal, Chemie en Nova.

Chemie Overal

De paragraaf van ‘Rekenen aan reacties’ bij Chemie Overal heeft een duidelijke opbouw. De interesse van leerlingen wordt geprobeerd aan te wakkeren door enkele vragen te stellen die met behulp van rekenen aan reacties kunnen worden opgelost. Daarna wordt de voorkennis geactiveerd door de begrippen, mol en stoichiometrische verhouding, aan te halen en te herhalen. Stoichiometrische verhouding hebben ze al behandeld bij berekeningen met molariteit en oplosvergelijkingen. Met behulp van een experiment wordt ‘stoichiometrische verhoudingen’ en

overmaat herhaald. Vervolgens wordt er een voorbeeldberekening met betrekking op het experiment uitgevoerd met behulp van een 5-stappenplan en verhoudingstabellen. Hierna is er nog een voorbeeldberekening uitgewerkt. Er wordt wel gewezen dat de verhoudingstabellen kunnen worden vervangen door gebruik te maken van het ‘omrekschema’, dat al eerder is behandeld. Als laatste wordt vermeld dat deze rekenmethode ook geldt voor neerslagreacties wat vervolgens wordt uitgewerkt met een voorbeeldberekening.

Chemie

Bij deze lesmethode wordt ook geprobeerd om de interesse bij leerlingen aan te wakkeren door vragen in context te stellen. Daarna wordt uitleg gegeven over coëfficiënten en stoichiometrische verhoudingen. Dit wordt gedaan door met eenheden te goochelen bij een voorbeeldreactie. Vervolgens wordt een 7-stappenplan gegeven met ernaast een voorbeeldberekening gebruikmakende van het 7-stappenplan. Als laatste geven ze aan dat het stappenplan ook schematisch kan worden toegepast. Dit wordt toegelicht door het toe te passen in een voorbeeldberekening.

Nova

Deze lesmethode begint met een kleine introductie over wat er tijdens de paragraaf wordt besproken. In de paragraaf ‘Rekenen aan reacties’ wordt allereerst de begrippe getal van Avogadro, mol, chemische hoeveelheid en molmassa besproken. Deze begrippen worden vervolgens verder verduidelijkt door ze te gebruiken in twee voorbeeldberekeningen. Hierna komt het onderdeel ‘Rekenen aan reacties’. De lesmethode geeft een zeer korte omschrijving van het begrip molverhouding en geeft aan dat als de hoeveelheid van een stof is gegeven dat de hoeveelheid van een andere stof berekend kan worden met behulp van molverhoudingen.

III. Resultaten vragenlijst docenten

In bijlage III zijn de antwoorden van de scheikundedocenten en vakdidacticus (docent 3) terug te vinden.

Vraag	C. Schouten
1a	18 jaar
1b	17 jaar
2	Een zelfgemaakte module op 3 vwo.
3	Letterlijk. Het is per slot van rekening een module die we als sectie zelf geschreven hebben

4	Voor vwo 4 leerlingen die het nog moeilijk vinden heb ik zelf wat materiaal gemaakt waarin nog een keer uitleg en oefening staat. Ook heb ik extra oefenopgaven.
5	ja
5a	Omdat leerlingen het lastig vinden de vragen te beantwoorden. Ze stellen dan veel vragen in de les.
5b	Rekenen met de mol vraagt nogal wat van het abstract denkvermogen van leerlingen. De hoeveelheid waar een mol voor staat is niet iets wat ze zich voor kunnen stellen. Verder halen ze mol/molaire massa/molecuulmassa makkelijk door elkaar.
6	Klassikale en persoonlijke uitleg bij moeilijke opgaven. Verder stimuleer ik ze duidelijk te formuleren waar en waarom ze vast lopen bij een opgave.
7	In het geval van chemisch rekenen: heel veel oefenen met allerlei verschillende sommetjes. Opgaven opnemen waarin ze moeten uitleggen. Laat ze bijvoorbeeld een formule eens uit leggen of uit leggen wat een mol nou eigenlijk is.

Vraag	D. de Jong
1a	Anderhalf jaar
1b	Ja
2	Chemie Overal
3	De basis van de methode is prima, maar ik leg het graag anders uit. a deeltjes A reageren met b deeltjes B tot c deeltjes C en d deeltjes D. Hetzelfde geldt voor een dozijn deeltjes A, B, C en D. Dus ook voor één mol deeltjes. Je kijkt naar de coëfficiënten van de reactievergelijking. In die verhouding reageren de deeltjes, dus ook in die molverhouding.
4	nee
5	ja
5a	Leerlingen vinden het lastig om de verschillende stappen te onthouden. Eerst naar mol rekenen, vinden ze maar lastig.
5b	Ze vinden het lastig om in te zien dat er uit 2 deeltjes een nieuw deeltje kan ontstaan en dat je voor en na de pijl dus een andere hoeveelheid deeltjes hebt. Hier hebben ze tekeningen van de situatie voor nodig om in te zien wat er precies gebeurt.

6	Werk volgens een stappenplan. 1. Schrijf de gegevens netjes op, 2. Schrijf de reactievergelijking op en maak deze kloppend, 3. Schrijf de formules op en vul ze in, 4. Los op
7	In groepen samen een concept map laten maken. Welke nieuwe concepten hangen samen met de concepten die in de vorige hoofdstukken zijn behandeld?

Vraag	W. Sanders
1a	10 Jaar
1b	Ja
2	Nova
3	Ik wijk af, maar als ik hier moet uitleggen hoe dan kom ik plaats en tijd tekort. Ik wil dit graag aan jullie laten zien, maar dan moeten gewoon even langskomen ;)
4	Filmpjes van YouTube en website met extra oefenopgaven via deze applet
5	Ja, maar vooral nadat de mol is geïntroduceerd.
5a	Leerlingen zeggen dat ze het moeilijk vinden. Tegen de tijd dat de toets eraan komt vragen ze om extra oefenopgaven of nog een keer extra uitleg buiten de les om.
5b	Leerlingen ervaren de mol als zeer lastig. Ze leren in de 3 ^e klas eerst rekenen in massaverhoudingen en vinden het lastig om te schakelen
6	Ik geef ze extra bijles en laat ze werken met een (visueel) rekenschema.
7	Ik denk dat activiteiten gericht op het beter begrijpen van hoeveelheid stof (mol, volume, massa) zouden kunnen bijdragen. Bijvoorbeeld door het meer in context te plaatsen zoals bijvoorbeeld in de e-klas van de UvA . Of door het doen van experimenten bijvoorbeeld deze:

Vraag	C. van Dinteren
1a	12 jaar
1b	Ja
2	Ik heb op meerdere scholen gewerkt en verschillende methoden gebruikt. In jullie onderzoek richten jullie op de 4 ^e klas, in de meeste methoden wordt in de 3 ^e al

	begonnen met rekenen aan reacties. Op mijn vorige school gebruikten we daar chemie overal mee en de werkten met massaverhoudingen. Op deze school hebben we onze eigen methode voor de 3 ^e klas en beginnen we direct met molverhoudingen.
3	In de vierde klas volgen we de methode maar wijken wat af mbt gebruik van verhoudingstabellen. Maar leren de leerlingen wel via een stappenplan te werken en zelf te laten beslissen op welke manier ze de gegevens willen omrekenen of een verhoudingstabel of via dimensieanalyse.
4	Scheikundelessen.nl om het nog eens uitgelegd te krijgen, verwijzen naar extra opgaven. Ook kan het liggen aan de leesvaardigheid als het meer om redactieopgaven gaat. Dan dat soort opgaven extra oefenen.
5	Ja
5a	Aan alles, tijdens de uitleg, tijdens het maken van opdrachten en tijdens het nakijken van de proefwerken.
5b	Voor veel leerlingen lijkt het duidelijk als de docent het met ze doorneemt, dan snappen ze het wel, maar oefenen dan zelf te weinig en denken dat ze het snappen, maar hebben de vaardigheden niet onder de knie.
6	Verwijzen naar scheikundelessen.nl voor diegene die het maar niet willen begrijpen. Verder is het is een kwestie van meters maken en veel oefenen, extra opgaven geven, werken met extra werkkbladen etc. Verder werkbladen waarbij ze eerst de hele route van berekenen moeten bedenken, goed te analyseren wat er gegeven en gevraagd wordt en als ze alles begrijpen dan pas te gaan rekenen. (SPA methode)
7	Allereerst moet de leerling gemotiveerd zijn om het te willen begrijpen, vaak wordt er te snel het bijltje erbij neergegoid. Evaluatiebladen (D-toets) met opgaven met opbouwende moeilijkheidsgraad kan helpen om te kijken waar ze zitten in hun leerproces. We geven nu al wel de RTTI niveau's aan bij opgaven en chemie overal doet dat ook met heun A, B en C opgaven. Als ze weten waar ze zijn in hun leerproces, weten ze misschien beter waar ze aan kunnen werken en welke activiteiten daarbij horen. Zo komen ze steeds een stapje verder. Als ze op een proefwerk dan ook zien dat het loon naar werken is en succes ervaringen krijgen met een voor hun moeilijk onderwerp zou dat het vaker diep leren stimuleren. Bij dit onderwerp kan de docent nog zo zijn best doen maar het moet echt vanuit de motivatie van de leerling zelf komen om het ook echt te doen.

Vraag	F. Cox
1a	13 jaar
1b	ik geef vanaf het begin les aan vwo 4

2	Chemie Overal
3	Ik volg de methode niet letterlijk maar doe het op mijn eigen manier. Dit volgt meer de methode van het derdeklas boekje
4	Meestal gebruik ik hiervoor geen apps
5	Ja
5a	Het duurt lang voordat het blijft hangen. Veel lln zien niet in dat je met verhoudingen moet rekenen maar willen bijvoorbeeld coëfficiënten bij elkaar optellen.
5b	Er is geen duidelijke reden. Het vermogen tot denken in verhoudingen is nog niet geheel ontwikkeld bij deze leeftijdscategorie. Daarnaast is het lastig deeltjes te visualiseren en te zien dat de coëfficiëntverhouding de verhouding waarin deeltjes reageren weergeven.
6	Voorbeelden, extra uitleg
7	Dat is lastig te beantwoorden. Bedoel je nu alles m.b.t. het rekenen aan reacties of scheikunde in zijn algemeenheid. Ik denk bij dat laatste dat het leren in gedachten reacties te visualiseren en duidelijk nadruk leggen op micro-macro denken de leerlingen meer begrip bijbrengt. Ook is het zeer belangrijk te blijven benadrukken welke soort deeltjes je hebt (ionen, moleculen etc) en de eigenschappen te blijven benadrukken

Vraag	E. Bilkerdijk
1a	9 jaar
1b	Ja
2	Chemie Overal
3	Ik wijk af, in die zin dat het boek telkens werkt met verhoudingstabellen en dat ik leerlingen meerdere manieren laat zien om het op te lossen. Immers, de ene leerling werkt liever met een verhoudingstabel, de andere schrijft het liever uit (bijvoorbeeld 2 mol water : 1 mol zuurstof, dus 2,5 mol water : 1,25 mol zuurstof). Wat betreft rekenen met de molmassa of dichtheid: ze kunnen ook naar de eenheden kijken (dimensie-analyse) of LEREN wat ze moeten doen (bijvoorbeeld aantal gram : molmassa = aantal mol).
4	Nee: leerlingen moeten opgaven oefenen om het te leren.

5	Soms, de ene leerling pikt het sneller op dan de andere. Meestal gaat dit wel goed, omdat dit ook al aan bod komt in 3 vwo.
5a	Sommige leerlingen die het lastig vinden vragen om extra oefenmateriaal of stellen vragen. Helaas zijn er ook leerlingen die afhaken en denken dat dit niet zo belangrijk is bij scheikunde ofzo... Helaas, het blijft terugkomen.
5b	Sommige leerlingen zijn niet handig met een verhoudingstabel: te weinig oefening. Velen gebruiken geen eenheden, maar noteren meteen getallen zonder eenheden te vermelden of aan te geven over welke stof het gaat. Dit maakt het natuurlijk onoverzichtelijk. Ten slotte: een aantal leerlingen weet niet wat ze doen of begrijpen de eenheden niet (molmassa, dichtheid, molair volume): ze doen maar wat en hopen toch nog een puntje te scoren. Wat betreft 'stoichiometrische verhouding bij een reactie': een misconception is bijvoorbeeld dat leerlingen denken dat de coëfficiënten de werkelijke hoeveelheden mol zijn (en hier ook mee doorrekenen, terwijl in een opgave staat '50 gram water reageert').
6	Extra oefenopdrachten: oefenen, oefenen, oefenen. En daarbij: schrijf alles uit! Wat is de vraag? Wat zijn de gegevens? Maak een stappenplan: wat heb je nodig om van gegevens naar het antwoord te komen? Noteer alles overzichtelijk.
7	De docent zal naar mijn mening het probleem van een opgave meer bij de leerling moeten leggen ipv een opgave presenteren en het voordoen. Leerlingen zijn wat mij betreft te afwachtend en zouden meer uitgedaagd moeten worden om zelf te denken en tot een oplossing te komen, ook als ze de stof nog niet hebben gehad. Dit zou kunnen door begeleidende vragen, waardoor ze inzicht krijgen in de eenheden en waardoor ze zelf bedenken wat ze zouden moeten doen. Helaas denk ik ook dat je dit niet zomaar kan invoeren: leerlingen moeten dan namelijk ook wel echt WILLEN leren en begrijpen op een dieper niveau. Dan zouden leerlingen dus vanaf de brugklas al gestimuleerd moeten worden bij ALLE VAKKEN om meer zelf te denken, en de docent zou een meer begeleidende rol moeten aannemen. Een grote verandering en schoolbreed lastig te realiseren.

Vraag	H. Fincken
1a	41 jaar
1b	Ja
2	Stencil (eigen ma) en boek (chemie overal)
3	Ongeveer. Met eigen voorbeelden.
4	Nee

5	Ja
5a	Gesteun en gezug. Slechtere cijfers voor PW
5b	Minder goede vooropleiding in rekenen. En gebruik van rekenapp. Ze kunnen bv niks van hoofdrekenen en hebben geen "gevoel" bij grote of kleine getallen.
6	Voorbeelden uit de praktijk.
7	Meer oefenen.

Vraag	S. Theelen
1a	23 jaar
1b	Ja
2	In de 3 ^e klas zelf geschreven materiaal; verder voorlopig Chemie Overal.
3	Ik laat meestal 2-3 manieren zien, niet persé bij hernieuwde kennismaking met de 'theorie' in 4 vwo, maar wel bij het bespreken van oefenmateriaal: rekenen met verhoudingstabel met daarin de molverhouding methode: (gegeven aantal mol : coëfficiënt gegeven deeltje)* coëfficiënt gevraagd deeltje met woorden (vooral bij verhoudingen 1: x of y : 1)
4	Soms legosteentjes <input type="checkbox"/>
5	Ja/nee; in de 3 ^e klas wel. In de 4 ^e niet als het alleen om rekenen met ene stoechiometrische verhouding gaat, maar wel zodra het gecombineerd met andere rekenstappen wordt gevraagd, bijv. gecombineerd met massa-%, molariteit, volume, dichtheid etc.
5a	Leerlingen proberen niet meer, maar wachten af
5b	Leerlingen verwachten van zichzelf dat ze direct de oplossing moeten 'zien', nu moeten ze de stap maken naar zelf een plan bedenken, al gaandeweg.
6	veel aandacht voor noteren gegevens en wat die betekenen. gecombineerde eenheden in wetenschappelijke notatie omschrijven zodat het eerder betekenisvol wordt: bijv mol.L ⁻¹ naar mol/L. laten zien wat zo een gecombineerde eenheid eigenlijk betekent: mol/L is het aantal mol per ÉÉN liter. Dit ook in een verhoudingstabel zetten. leerlingen vragen om de opgave te maken met zeer eenvoudige getallen als 2,3,6 en 10. d.m.v. vragen

	leerlingen aan te moedigen wat ze kunnen bereken met de gegevens en vandaaruit wat er dan weer berekend kan worden.
7	1: Punten geven op PW voor een systematische aanpak. (à la SPA) Nadeel is dat je dan leerlingen die het zo ook al prima kunnen erg in de weg zit. Wellicht op toetsen leerlingen laten kiezen uit 2 parallele opgaven. Eén met score punten voor SPA en daarna uitwerking, één zonder specifieke aanpak-eisen. 2: Expert methode: leerlingen als 'expert' aan ander laten uitleggen in kleine groepjes. Leerlingen moeten dan eerst (bijv via SPA) 'expert' worden in een uitdagende opgave.

Vraag	E. van Ballegoij
1a	23 jaar
1b	Ja
2	Chemie Overal in de 4 ^e klas en de module 'Chemisch rekenen' in de derde klas
3	Ik volg in principe het stappenplan, maar ik draai stap 1 en 2 om. Bij mij: Stap 1: bereken het aantal mol van de gegeven stof. Stap 2: geef de vergelijking van de optredende reactie. Stap 3: geef de molverhouding tussen de gegeven en de gevraagde stof, etc.
4	tijdens uitleg geen filmpjes, maar wel bij erdieping zie dropbox.
5	Ja/nee wisselend. Er zijn lln die het meteen doorhebben, maar enkele lln blijven moeite houden
5a	Open laten van vragen van het huiswerk. Elke keer opnieuw om uitleg vragen. Bij toetsen molverhouding als massaverhouding blijven zien, en dus gegeven massa in de molverhouding blijven invullen en dan via de molverhouding de gevraagde massa uit te rekenen.
5b	Voor een deel: het stappenplan niet volgen. Als ze niet zien hoe ze bij het antwoord moeten komen, dan denken ze er niet aan om het stappenplan te volgen. Voor een ander deel ervan uitgaan dat molverhouding = massaverhouding. Maar voor het belangrijkste deel: geen idee hebben wat het begrip 'mol' voorstelt. Voor veel leerlingen is het een te abstract begrip.
6	Ik geef leerlingen regelmatig in tussenuren of na schooltijd bijles, of bij langdurige problemen verwijs ik ze naar hogere jaars leerlingen voor bijles. Ik verwijs ze naar oefenprogramma's op internet of bij de methode. En ik hamer er elke keer weer op om het stappenplan erbij te pakken als ze moeten rekenen aan reacties.

7	<p>Leerlingen moeten inzien dat ‘mol’ net zoals massa en volume een grootheid is om te meten hoeveel je van een stof hebt. Ik zou graag weten hoe ik dat bij de leerlingen erin krijg. Probleem is dat veel leerlingen niet zo goed abstract kunnen denken, en het begrip ‘mol’ veel te abstract vinden. Verder zouden leerlingen moeten begrijpen waarom we de stappen zetten zoals we die zetten. Dat dit in feite de stappen zijn die ervaren chemici onderbewust zetten, maar nu voor de leerlingen zichtbaar worden gemaakt, om zelf te kunnen gebruiken bij rekenen. Ze moeten inzien dat dit de logische stappen zijn. Dan begrijpen ze ook echt waar ze mee bezig zijn, i.p.v. een receptje uit het boek te volgen. Als ik had geweten welke activiteiten het diep denken echt zouden bevorderen, had ik ze allang toegepast.</p>
---	---

Vraag	R. Gubbels
1a	3 jaar,
1b	geen 4VWO, wel 4HAVO
2	Een eigen module, geschreven door collega's, alsmede een hoofdstuk uit Chemie Overal (H4)
3	Ik volg het niet letterlijk. In 4H maakt men in het boek gebruik van kruistabellen. Wij kiezen op school om met een stappenplan te werken en de formule $n=m/M$
4	Ik geef als verdieping de opdracht om Youtube filmpjes te gebruiken en eventueel Khan Academy. (hoewel het Engels soms voor verwarring zorgt)
5	Ja
5a	Vraagstukken tijdens de les, feedbackmomentjes en antwoorden in de toetsing.
5b	Er is een groep leerlingen die de connectie tussen reactie, hoeveelheid en werken op zowel makro als microniveau erg lastig vindt. De bedoeling achter de ‘mol’ en waarom het stappenplan tot een oplossing kan leiden lijken ze niet te vatten.
6	Extra oefenwerk.
7	Procesreflectie van de leerling; waarom doe je de stappen die je doet. Stap voor stap kijken naar wat het nut en de effecten zijn van elke stap. Contextuele opdrachten; Kijk hoe het in het groot werkt, voordat je leert hoe het in het klein werkt. Model: praktijk vergelijking met koken; de juiste verhouding ingrediënten, de juiste voorwaarden voor een reactie etc.

IV. Contextvragen

In bijlage IV zijn de contextvragen waaruit de leerlingen konden kiezen tijdens de eerste les weergegeven.

Aspartaam



Aspartaam is een kunstmatige zoetstof. Het wordt in veel light producten gebruikt. Aspartaam heeft een zeer omstreden imago. Als gevolg van dit imago heeft Pepsi 2 jaar geleden aspartaam uit Pepsi Light gehaald (in VS). Aspartaam is een van de meest onderzochte voedingsadditieven, want er is niet veel waar deze stof niet beschuldigd van is geweest. Voorbeelden van beschuldigingen zijn veroorzaken van kanker, toevallen, neurotoxiciteit en nog veel andere bijwerkingen. Waar komen al deze beschuldigingen vandaan?

Het antwoord ligt in de afbraak van aspartaam in ons lichaam. Bij deze afbraak (hydrolyse) ontstaan asparaginezuur, fenylalanine en methanol. Methanol is een giftige stof voor ons lichaam. Wanneer we gaan kijken naar de afbraak van aspartaam zien we dat maar 10% van de aspartaam wordt afgebroken tot methanol.

Methanol krijgen we niet alleen binnen via aspartaam, maar ook via veel andere voedingsmiddelen zoals alcoholische dranken en vruchtensappen. (1 liter wijn bevat 99-217 mg methanol. En 1 liter tomatensap bevat 180-218 mg methanol.) Bij alcoholische dranken en vruchtensappen zijn geen discussies rondom methanol vergiftiging.

1. Geef stapsgewijs een plan hoe je kunt vergelijken door welke drank (cola, wijn of tomatensap) (1L) je het meeste methanol in je lichaam krijgt.
2. Welke gegevens heb je nodig om je plan uit te voeren?
3. Waar kun je de gegevens vandaan halen?

Springstof



In de mijnbouw en wegebouw wordt gebruikgemaakt van springstoffen. Deze stoffen worden ingezet om explosies te veroorzaken. Een explosie is een chemische reactie die aan drie voorwaarden voldoet: .

- de reactie verloopt snel;
- er wordt (veel) gas geproduceerd;
- de reactie is exotherm.

Een voorbeeld van zo'n springstof is ammoniumnitraat (NH_4NO_3). De explosie van ammoniumnitraat is een reactie waarbij de gassen stikstof, water en zuurstof ontstaan.

Het gezamenlijke volume van de gassen die zijn ontstaan bij de explosie is veel groter dan het volume van de vaste stof die aanwezig was voor de explosie. Dit is de belangrijkste verklaring voor de drukgolf die ontstaat.

Het gezamenlijke volume van de gassen die zijn ontstaan bij de explosie kan worden berekend. Neem aan dat onder de gegeven omstandigheden voor elk soort gas geldt dat het volume van een mol gas $62,5 \text{ dm}^3$ bedraagt.

1. Geef stapsgewijs een plan waarmee je kunt berekenen wat het gezamenlijke volume in dm^3 van de gassen is die ontstaan tijdens de explosie van een bepaalde massa ammoniumnitraat.
2. Welke gegevens mis je om je plan uit te voeren?
3. Waar zou je de gegevens vandaan kunnen halen?

Formule 1

Max Verstappen won op 15 mei 2016 de race op het circuit van Barcelona in 1 uur, 41 min en 40,017 seconden. Hij ging hiermee de geschiedenis in als jongste winnaar op een formule 1 circuit ooit. Het circuit van Barcelona is 4,655 km lang en een Formule 1 race op dit circuit duurt 66 rondes.

De brandstof die formule 1 auto's gebruiken is vergelijkbaar met normale benzine. In de Formule 1 wordt veel benzine gebruikt om de motoren van de Formule 1 auto's te laten draaien. Gemiddeld verbruikt een Formule 1 auto 75 L benzine per 100 km.

Waar veel Formule 1 fans niet aan denken is dat er bij de verbranding van diesel veel schadelijke stoffen vrijkomen waaronder CO_2 .

1. Geef een stapsgewijs plan om uit te rekenen hoeveel kg CO_2 er wordt uitgestoten tijdens een Formule 1 race op het circuit van Barcelona. Ga ervan uit dat alle 24 auto's de race uitrijden. (Al was dat natuurlijk niet het geval toen Max Verstappen op 15 mei 2016 won in Barcelona.)
2. Welke gegevens mis je om je plan uit te voeren?
3. Waar kun je deze gegevens vandaan halen?

Fotosynthese



Het hout, de takken en de bladeren van een boom bestaan voor een groot deel uit cellulose en lignine. De cellulose zorgt voor de stevigheid van de boom. De lignine werkt als een soort lijm die de cellulosemoleculen bij elkaar houdt. Een blad van een boom bevat gemiddeld $3,3 \cdot 10^{18}$ cellulosemoleculen.

Cellulose is een groot molecuul, ook wel polymeer genoemd, dat opgebouwd is uit heel veel glucosemoleculen, die aan elkaar verbonden zijn tot 1 cellulosemolecuul. De algemene molecuulformule voor cellulose is $(C_6H_{10}O_5)_n$, waarbij n = aantal glucosemoleculen. De waarde van n kan variëren van enkele honderden tot vele duizenden glucosemoleculen.

De glucose die nodig is voor cellulose wordt geproduceerd door middel van fotosynthese. Hierbij wordt water en koolstofdioxide onder invloed van zonlicht omgezet in glucose en zuurstof.

1. Geef een stapsgewijs plan om uit te rekenen hoeveel g CO_2 -gas er nodig is om alle cellulose voor 1 blad te produceren.
2. Welke gegevens mis je om je plan uit te voeren?
3. Waar kun je deze gegevens vandaan halen?

Zilveren sieraden



Zilver wordt al sinds 4000 jaar v. Chr. gebruikt als betaalmiddel en in sieraden. Als je tegenwoordig zilveren sieraden van goede kwaliteit wil dan is het aangeraden om Sterling zilver te nemen. Dit is een legering van zilver en oa koper, die voor 92,5 massa-% uit puur zilver bestaat.

Zilver wordt tegenwoordig vaak gerecycled maar er bestaan ook nog steeds zilvermijnen waar zilvererts wordt gedolven. Dit zilvererts bestaat uit vormen van zilversulfide en zijn zwart van kleur.

Om het zilversulfide om te zetten tot puur zilver, wordt het verwarmd tot 500-600°C en gereageerd met zuurstof. Bij deze reactie ontstaat er puur zilver en zwaveldioxide-gas. Dit zilver kan vervolgens verder worden verwerkt tot sieraden of betaalmiddelen.

1. Geef een stapsgewijs plan om te bepalen hoeveel gram ruwe zilversulfide er nodig is om een armband van Sterling zilver te maken.
2. Welke gegevens mis je om je plan uit te voeren?
3. Waar kun je deze gegevens vandaan halen?

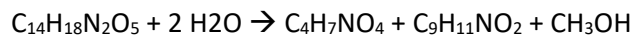
V. Uitwerkingen contextvragen

In Bijlage V zijn de uitwerkingen van de contextvragen weergegeven die leerlingen tijdens de eerste les hebben gemaakt.

Casus 1: Aspartaam

In 1 L cola zit 600 mg aspartaam, maar 60 mg (10%) aspartaam wordt omgezet naar methanol.

Aspartaam + water → asparaginezuur + fenylalanine + methanol



Molmassa aspartaam = 294,3 g/mol

Molmassa methanol = 32,04 g/mol

$$\text{aantal mol aspartaam} = \frac{60 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{294,3 \text{ g/mol}} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Molverhouding aspartaam: methanol = 1:1

Dus aantal mol methanol = $2,04 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

$$\text{Massa methanol} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \times 32,04 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 6,53 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

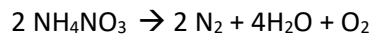
Dus als 1 liter cola wordt gedronken wordt er 6,53 mg methanol gevormd. Dit is een stuk later dan als men 1 liter tomatensap of wijn drinkt.

Casus 2: Springstof

Massa NH_4NO_3 = 100 g

Molmassa NH_4NO_3 = 80,043 g/mol

$$\text{Aantal mol } NH_4NO_3 = \frac{100 \text{ g}}{80,043 \text{ g/mol}} = 1,25 \text{ mol}$$



Molverhouding NH_4NO_3 : (N_2 + H_2O + O_2) = 2:7

Aantal mol gasen = $(1,25 \text{ mol}/2) \times 7 = 4,38 \text{ mol}$

Volume aantal gasen = $4,38 \text{ mol} \times 62,5 \text{ dm}^3/\text{mol} = 273 \text{ dm}^3$

Casus 3: Formula 1

Molecuulformule Benzine: C_8H_{18}

Aantal km per auto = $4,655 \text{ km} \times 66 = 307 \text{ km}$

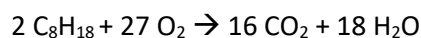
Aantal km totaal = $307 \text{ km} \times 24 = 7368 \text{ km}$

$$\text{Volume Benzine} = \frac{7368 \text{ km}}{100 \text{ km}} \times 7,5 \text{ L} = 552,60 \text{ L} = 552,60 \text{ dm}^3$$

$$\text{massa Benzine} = \rho \times V = 0,72 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 552,60 \text{ dm}^3 = 397,87 \text{ kg} = 3,98 \cdot 10^5 \text{ g}$$

$$\text{Molmassa Benzine} = 114,22 \text{ g/mol}$$

$$\text{Aantal mol Benzine} = \frac{3,98 \cdot 10^5 \text{ g}}{114,22 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3483,38 \text{ mol}$$



$$\text{Molverhouding C}_8\text{H}_{18} : \text{CO}_2 = 2 : 16 = 1 : 8$$

$$\text{Aantal mol CO}_2 = 3483,38 \text{ mol} \times 8 = 27867 \text{ mol}$$

$$\text{Molmassa CO}_2 = 44,01 \text{ g/mol}$$

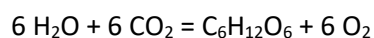
$$\text{Massa CO}_2 = 27867 \text{ mol} \times 44,01 \text{ g/mol} = 1226428 \text{ g} = 1,23 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Casus 4: Fotosynthese

Cellulose = 5000 glucose moleculen

$$3,3 \cdot 10^{18} \text{ cellulosemoleculen} \rightarrow 1,65 \cdot 10^{22} \text{ glucose moleculen}$$

$$\text{Aantal mol glucose} = 1,65 \cdot 10^{22} / 6,022 \cdot 10^{23} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol glucose}$$



$$\text{Molverhouding CO}_2 : \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 6:1$$

$$\text{Aantal mol CO}_2 = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 6 = 1,6 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$$

$$\text{Molmassa CO}_2 = 44,01 \text{ g/mol}$$

$$\text{Massa CO}_2 = 1,6 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \times 44,01 \text{ g/mol} = 7,2 \text{ gram CO}_2$$

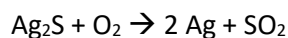
Casus 5: Zilveren sieraden

Armband weegt 12,0 g.

$$\text{Massa zilver} = 12,0 \text{ g} (92,5/100) = 11,1 \text{ g}$$

$$\text{Molmassa zilver} = 107,9 \text{ g/mol}$$

$$\text{Aantal mol zilver} = 11,1 \text{ g} / 107,9 \text{ g/mol} = 0,103 \text{ mol}$$



$$\text{Molverhouding Ag}_2\text{S} : \text{Ag} = 1 : 2$$

$$\text{Aantal mol Ag}_2\text{S} = 0,103 \text{ mol} / 2 = 5,15 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{Molmassa Ag}_2\text{S} = 247,80 \text{ g/mol}$$

$$\text{Massa Ag}_2\text{S} = 5,15 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 247,80 \text{ g/mol} = 12,8 \text{ g}$$

VI. Informatieblad contextvragen

In Bijlage VI is het informatieblad weergegeven, waar de gegevens opstaan die ontbreken bij de contextvragen.

Extra info

Contextvraag 1: Aspartaam

1 liter cola bevat 600 mg aspartaam.

Molecuulformule aspartaam is $C_{14}H_{18}N_2O_5$.

Molecuulformule asparaginezuur is $C_4H_7NO_4$.

Molecuulformule fenylalanine is $C_9H_{11}NO_2$.

Molecuulformule methanol is CH_3OH .

Contextvraag 2: Springstof

Massa ammoniumnitraat is 100 g.

Contextvraag 3: Formula 1

Molecuulformule Benzine is C_8H_{18}

Contextvraag 4: Fotosynthese

Cellulose bestaat uit 5000 glucose-eenheden.

Contextvraag 5: Zilveren sieraden

Een armband weegt 12,0 g.

VII. Strookjes stappenplan

In bijlage VII zijn de strookjes weergegeven die de leerlingen gebruiken om het stappenplan op te stellen.

A. Afleiding molverhouding
B. Aantal mol gevraagde stof omrekenen naar gevraagde eenheid
C. Berekening aantal mol gevraagde stof
D. Stel reactievergelijking op
E. Berekening aantal mol gegeven stof

VIII. Werkblad

In Bijlage VIII is het werkblad weergegeven waarmee leerlingen aan de slag gaan tijdens de tweede les.

Oefenopgaven Rekenen aan reacties 4 VWO**Opgave 1:**

In een hoogoven wordt ijzer gemaakt door cokes (C) te verhitten met ijzererts. Stel dat ijzererts voor 85 massa-% bestaat uit ijzer(III)oxide en dat alle cokes omgezet worden in koolstofdioxide. Hoeveel kg coke is dan nodig voor de omzetting van 2000 kg ijzererts?

Opgave 2:

Een lengte van 10,0 cm magnesiumlint heeft een massa van 0,1078 g. Een stuk lint van 6,0 cm wordt verbrand. Er ontstaat magnesiumoxide, MgO. Bereken hoeveel g magnesiumoxide bij deze verbranding ontstaat.

Opgave 3:

Vloeibaar azijnzuur, CH_3COOH , kan op verschillende manieren gemaakt worden. In een modern proces reageren methanol, CH_3OH (l) en koolstofmono-oxide bij 180°C en 30 bar. Bereken hoeveel kilogram azijnzuur gemaakt kan worden met 50,0 kg methanol en voldoende koolstofmono-oxide.

Opgave 4: (bron Chemie)

In de steenkool die wordt gebruikt om elektriciteitscentrales te stoken, zit meestal zwavel. Men wil zoveel mogelijk voorkomen dat er zwaveldioxide uit de schoorsteen komt, omdat zwaveldioxide slecht is voor het milieu. De centrales willen daarom kolen met zo weinig mogelijk zwavel gebruiken. Om te bepalen hoeveel zwavel een bepaalde soort steenkool bevat, voert men de volgende proef uit. Een klein beetje steenkool wordt verbrand. Al het zwavel in de steenkool reageert tot zwaveldioxide. Dit zwaveldioxide laat men reageren met zuurstof en vast natriumcarbonaat. Bij deze reactie ontstaan koolstofdioxide en vast natriumsulfaat. Bij het uitvoeren van de proef met 250 gram steenkool blijkt 24,3 gram natriumsulfaat te ontstaan.

Bereken hoeveel gram zwavel de onderzochte steenkool per kg bevat.

Opgave 5: (bron Chemie)

Gebrande kalk, ook wel calciumoxide, wordt al eeuwenlang gebruikt als grondstof voor het bouwen van huizen. Schelpen zijn de grondstof. In een hoge kalkoven worden de schelpen verhit tot ongeveer 900°C . Hierdoor wordt het calciumcarbonaat uit de schelpen ontleed tot gebrande kalk en koolstofdioxide. Schelpen bevatten gemiddeld 93,6 massa-% calciumcarbonaat.

A Bereken hoeveel kg schelpen nodig is om 150 kg gebrande kalk te maken.

B Bereken hoeveel dm^3 koolstofdioxide gas daarbij vrijkomt. ($T = 298\text{ K}$ en $p = p_0$)

Opgave 6: (bron nieuwe Nova)

Voor het maken van aspirine reageren de stoffen 2-hydroxybenzeencarbonzuur ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$) en azijnzuuranhydride ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$) met elkaar. Hierbij ontstaat naast aspirine $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$, ook ethaanzuur $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$. Bij een controle-experiment wordt 150 mg $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ toegevoegd aan 0,5 g $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$. Bij het maken van aspirine wordt meestal gewerkt met een overmaat azijnzuuranhydride. Bereken hoeveel gram azijnzuuranhydride de overmaat is.

Opgave 7: (bron nieuwe Nova)

Een tank van een waterstofauto bevat 5,6 kg waterstof. Hiermee kan ongeveer 600 km worden gereden. Deze waterstof wordt gemaakt met behulp van de elektrolyse van water. De dichtheid van water is $0,998\text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

- Bereken hoeveel kubieke decimeter water moet worden ontleed voor de vorming van 5,6 kg waterstof.
- De dichtheid van waterstof is $0,090\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
Bereken het volume (in kubieke meter) van de tank die nodig voor de opslag van 5,6 kg waterstof als gas.

Je kunt ook opslaan door gebruik te maken van metaalhydriden. Dit zijn verbindingen waarin waterstof aan een metaal is gebonden. Een voorbeeld is lithiumhydride, LiH. Deze stof kan met behulp van een reactie met water worden omgezet tot lithiumhydroxide, LiOH en waterstof. De dichtheid van LiH is $0,76 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

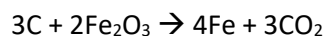
- C. Bereken hoeveel kilogram LiH nodig is voor de vorming van 5,6 kg waterstof.
- D. Bereken hoeveel kubieke decimeter LiH nodig is voor de opslag van 5,6 kg waterstof.

IX. Uitwerkingen werkblad

In bijlage IX zijn de uitwerkingen van het werkblad te vinden die leerlingen maken tijdens de tweede les.

Oefenopgaven Rekenen aan reacties 4 VWO

Opgave 1:



$$2000 \text{ kg} \cdot (85/100) = 1700 \text{ kg ijzeroxide}$$

$$M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 159,69 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1700 \text{ kg} = 1,7 \cdot 10^5 \text{ g}$$

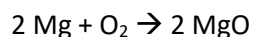
$$n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,7 \cdot 10^5 \text{ g} / 159,69 \text{ g/mol} = 1,06 \cdot 10^4 \text{ mol ijzeroxide}$$

$$\text{molverhouding: cokes : ijzeroxide} = 3 : 2$$

$$n_{\text{C}} = 1,06 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot 3/2 = 1,60 \cdot 10^4 \text{ mol C}$$

$$m_{\text{C}} = 1,60 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol} = 1,92 \cdot 10^5 \text{ g} = 1,9 \cdot 10^2 \text{ kg coke}$$

Opgave 2



10,0 cm	6,0 cm
0,1078 g	X g

$$X = 0,1078 \text{ g} \cdot (6,0 \text{ cm} / 10,0 \text{ cm}) = 0,06468 \text{ g Mg}$$

$$M_{\text{Mg}} = 24,31 \text{ g/mol}$$

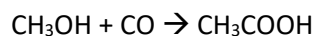
$$n_{\text{Mg}} = 0,06468 \text{ g} / 24,31 \text{ g/mol} = 2,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol Mg}$$

$$\text{molverhouding Mg : MgO} = 1:1$$

$$n_{\text{MgO}} = 2,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol MgO}$$

$$M_{\text{MgO}} = 40,305 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{MgO}} = 2,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 40,305 \text{ g/mol} = 0,11 \text{ gram MgO}$$

Opgave 3:

$$M_{\text{CH}_3\text{OH}} : 12,01 + 4 \cdot 1,008 + 16 = 32,042 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{CH}_3\text{OH}} : 50,0 \text{ kg} = 5,00 \cdot 10^4 \text{ g}$$

$$n_{\text{CH}_3\text{OH}} : 5,00 \cdot 10^4 \text{ g} / 32,042 \text{ g/mol} = 1,56 \cdot 10^3 \text{ mol}$$

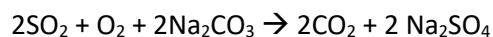
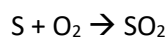
$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} : 1,56 \cdot 10^3 \text{ mol}$$

$$M_{\text{CH}_3\text{COOH}} : 2 \cdot 12,01 + 4 \cdot 1,008 + 2 \cdot 16 = 60,052 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{CH}_3\text{COOH}} : 1,56 \cdot 10^3 \text{ mol} \cdot 60,052 \text{ g/mol} = 93,7 \cdot 10^3 \text{ g} = 93,7 \text{ kg}$$

Opgave 4:

2 reactie vergelijkingen:



Gevraagd: gram S in 1 kg steenkool

Gegeven: 24,3 gram Na_2SO_4 uit 250 g steenkool

$$M_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 22,99 \cdot 2 + 32,06 + 4 \cdot 16 = 142,04 \text{ gram/mol}$$

$$n_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 24,3 \text{ gram} / 142,04 \text{ gram/mol} = 0,171 \text{ mol}$$

$$\text{Molverhouding S} : \text{SO}_2 : \text{Na}_2\text{SO}_4 = 1:1:1$$

$$\text{Dus } n_{\text{S}} = 0,171 \text{ mol}$$

$$M_{\text{S}} = 32,06 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{S}} = 0,171 \text{ mol} \cdot 32,06 \text{ g/mol} = 5,48 \text{ gram zwavel in 250 gram steenkool (0,250 kg)}$$

$$5,48 \text{ gram} / 0,250 \text{ kg} = 21,9 \text{ gram zwavel per kg steenkool}$$

Opgave 5:

$$M_{\text{CaO}} = 56,077 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{CaO}} : 1,5 \cdot 10^5 \text{ g}$$

$$n_{\text{CaO}} : 1,5 \cdot 10^5 \text{ g} / 56,077 \text{ g/mol} = 2,67 \cdot 10^3 \text{ mol CaO}$$

$$1:1 \rightarrow 2,67 \cdot 10^3 \text{ mol CaCO}_3$$

$$M_{\text{CaCO}_3} = 100,09 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{CaCO}_3} : 2,67 \cdot 10^3 \text{ mol} * 100,09 \text{ g/mol} = 2,677 \cdot 10^5 \text{ g} = 267,7 \text{ kg CaCO}_3$$

267,7 kg CaCO₃ is 93,6% van massa schelpen

$$m_{\text{schelp}} : 267,7 \text{ kg CaCO}_3 / 93,6 * 100 = 286 \text{ kg schelpen}$$

Uitwerking opgave 5B

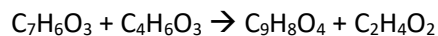
Molverhouding CaO : CO₂ = 1:1

$$n_{\text{CO}_2} = 2,67 \cdot 10^3 \text{ mol CO}_2$$

$$V_M = 2,45 * 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$V = 2,67 \cdot 10^3 \text{ mol} * 2,45 * 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol} = 65,4 \text{ m}^3 = 6,54 \cdot 10^4 \text{ dm}^3$$

Opgave 6:



$$n_{\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3} : 1,50 \cdot 10^{-5} \text{ g} / (7*12,01 + 6*1,008 + 3*16,00) \text{ g/mol} = 1,50 \cdot 10^{-5} \text{ g} / 138,118 \text{ g/mol} = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

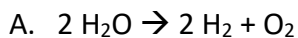
$$n_{\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3} : 0,5 \text{ g} / (4*12,01 + 6*1,008 + 3*16,00) \text{ g/mol} = 0,5 \text{ g} / 102,088 \text{ g/mol} = 4,90 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Molverhouding is 1:1, dus max 1,09 · 10⁻³ mol C₇H₆O₃ kan reageren met max 1,09 · 10⁻³ mol C₄H₆O₃

Dus azijnzuuranhydride, C₄H₆O₃ is inderdaad in overmaat en die overmaat is 4,90 · 10⁻³ - 1,09 · 10⁻³ mol = 3,81 · 10⁻³ mol C₄H₆O₃

$$m_{\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3} = 3,81 \cdot 10^{-3} \text{ mol} * 102,088 \text{ g/mol} = 0,4 \text{ g azijnzuuranhydride is de overmaat}$$

Opgave 7:



$$m_{\text{H}_2} : 5,6 \text{ kg} = 5600 \text{ g}$$

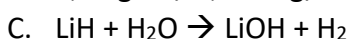
$$n_{\text{H}_2} : 5600 \text{ g} / (2*1,008) \text{ g/mol} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ mol}$$

Molverhouding is 2:2, dus 2,8 · 10³ mol water moet worden ontleed

$$m_{\text{H}_2\text{O}} : 2,8 \cdot 10^3 \text{ mol} * (2*1,008 + 16,00) \text{ g/mol} = 50 \cdot 10^3 \text{ g} = 50 \text{ kg water}$$

$$50 \text{ kg} / 0,998 \text{ kg/dm}^3 = 50 \text{ dm}^3$$

B. $5,6 \text{ kg H}_2 / 0,090 \text{ kg/m}^3 = 62 \text{ m}^3$



$$n_{\text{H}_2} : 5600 \text{ g} / (2 \cdot 1,008) \text{ g/mol} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ mol}$$

Molverhouding is 1:1, dus $2,8 \cdot 10^3 \text{ mol LiH}$ is nodig

$$M_{\text{LiH}} = 6,941 + 1,008 = 7,949 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{LiH}} : 2,8 \cdot 10^3 \text{ mol} \cdot 7,949 \text{ g/mol} = 2,23 \cdot 10^4 \text{ g} = 22 \text{ kg}$$

D. $2,23 \cdot 10^4 \text{ g} / 0,76 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} = 29285,8 \text{ cm}^3 = 29 \text{ dm}^3 \text{ LiH}$

X. Hard op denken methode

In Bijlage X zijn de opgaven die gebruikt zijn bij de kwalitatieve metingen (hard op denken methode) weergegeven.

Voormeting

In de ruimtevaart wordt gebruikgemaakt van brandstofcellen als energiebron. Waterstof reageert met zuurstof. Het reactieproduct is water, dat als drinkwater gebruikt kan worden. De brandstofcel verbruikt 90,9 kg waterstof per seconde.

Bereken hoeveel kilogram water er is geproduceerd tijdens een dag.

Nameting

De typische smaak van salmiakdrop komt door de stof salmiak. Salmiak, $\text{NH}_4\text{Cl(s)}$, kan gemaakt worden door waterstofchloride, HCl(g) , te laten reageren met ammoniak, $\text{NH}_3\text{(g)}$.

Je bent van plan om je eigen salmiakdrop te maken. Je wilt hiervoor 25,0 gram salmiak maken.

Bereken hoeveel gram HCl je nodig hebt om 25,0 gram salmiak te maken.

XI. Vragenlijst leerlingen

In Bijlage XI is de vragenlijst weergegeven die leerlingen hebben ingevuld na het volgen van de interventie.

Vragenlijst – Rekenen aan reacties

Omcirkel wat voor jou van toepassing is

4 = helemaal mee eens, 1 = helemaal mee oneens

Ik vind chemisch rekenen moeilijk	4	3	2	1
Tijdens de casus vond ik het fijn om in groepjes te werken	4	3	2	1
Door de casus kreeg ik meer motivatie voor dit onderwerp	4	3	2	1
Door eerst een plan op te stellen begrijp ik beter waarom ik bepaalde stappen zet	4	3	2	1
Ik begrijp chemisch rekenen beter door deze casus	4	3	2	1
Ik vind de casus een meerwaarde.	4	3	2	1

De vragenlijst is opgesteld aan de hand van een aantal stellingen. Leerlingen geven aan of ze het helemaal mee oneens, oneens, eens of helemaal mee eens zijn met de betreffende stelling.

De eerste stelling is 'ik vind chemisch rekenen moeilijk'. Aangezien uit de resultaten van de vragenlijst bij docenten en literatuur bleek dat leerlingen vaak (aangeven dat ze) moeite hebben met chemisch rekenen, is het van belang om te zien hoe de participanten van de casus hier tegenop kijken. Het geeft een goed beeld van de leerlingen naast het scheikunde- en wiskundecijfers of ze chemisch rekenen snel onder de knie hebben, maar ook over hun eigen inschattingsvermogen.

Er is gekozen om in groepjes te werken, aangezien literatuur (zie paragraaf Stap 3: Ontwikkeling) aangeeft dat dit een positief effect heeft op het begrip van de lesstof. Echter tijdens het ontwikkelen van deze interventie wordt er niet enkel gekeken naar de resultaten, maar ook naar de tevredenheid van leerlingen. Vandaar de volgende stelling: 'Tijdens de casus vond ik het fijn om in groepjes te werken'.

Intrinsieke motivatie en interesse in het onderwerp zijn aspecten die geassocieerd worden met diep leren. Het doel van de casus, waarvan het onderwerp zelf gekozen kon worden, was het verhogen van de motivatie en interesse in 'rekenen aan reacties'. Vandaar de volgende stelling: 'Door de casus kreeg ik meer motivatie voor dit onderwerp'.

Uit literatuur bleek dat de focus te weinig lag op het begrijpen van de chemische concepten achter de berekeningen. Vandaar dat Kind (zie paragraaf Stap 2: Ontwerp) als suggestie gaf om de wiskunde pas later te introduceren. Met behulp van de stelling 'Door eerst een plan op te stellen begrijp ik waarom ik bepaalde stappen zet' wordt achterhaald of het later introduceren van wiskunde een positief effect had op het begrip van de chemische concepten achter de berekeningen.

Het doel van de aanpak van de casus was bedoeld om aandacht te besteden aan de aspecten ‘focus op het begrijpen van de stof’ en ‘verbanden leggen tussen nieuwe stof, voorkennis en alledaagse ervaringen’ die geassocieerd worden met diep leren. Kortweg kan de vraag worden gesteld: ‘Heeft de leerling meer begrip gekregen van chemisch rekenen met behulp van deze casus?’ Vandaar ook de volgende stelling ‘Ik begrijp chemisch rekenen beter door deze casus’.

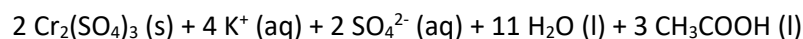
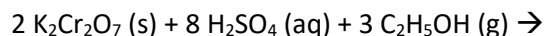
De casus is gebruikt als (her)introduktie van ‘rekenen aan reacties’. Leerlingen dienden zelf de opgave op te lossen en het stappenplan op te stellen. De vraag is of deze andere manier van aanpak als meerwaarde wordt gevonden door leerlingen. Vandaar de laatste stelling, namelijk: ‘Ik vind de casus een meerwaarde’.

XII. Toetsanalyse

In Bijlage XII zijn de opgave met uitwerkingen weergegeven die zijn gebruikt tijdens de kwantitatieve metingen (toetsanalyse).

Voormeting

Maurick college



Bereken, met behulp van de reactievergelijking, hoeveel gram kaliumdichromaat verkleurt als in 0,25 L adem de maximaal toegestane hoeveelheid alcohol in de adem aanwezig is.

- 0,25 L bevat $0,25 \times 220 \cdot 10^{-6} \text{ g} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ g}$ alcohol.	1p
Molmassa: 46,069 g/mol	1p
Dit komt overeen met $\frac{5,5 \cdot 10^{-5} \text{ g}}{46,069 \text{ g mol}^{-1}} = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$ alcohol.	
Molverhouding 2:3	1p
- Dit reageert met $\frac{2}{3} \times 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ mol} = 7,96 \cdot 10^{-7} \text{ mol}$ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.	1p

- De molaire massa $K_2Cr_2O_7 = 294,18 \text{ g mol}^{-1}$. Er verkleurt	1p
$7,96 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \times 294,18 \text{ g mol}^{-1} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ g } K_2Cr_2O_7$.	1p
Significantie: 2	1p

Trevianum Scholengroep

Bereken hoeveel gram koper(II)nitraat moet worden opgelost om 600 mL oplossing te maken met een $[NO_3^-(aq)] = 0,90 \text{ mol/L}$

Reactievergelijking kloppend: $Cu(NO_3)_2 (s) \rightarrow Cu^{2+} (aq) + 2 (NO_3)^-$ (beginstoffen: 1p, producten: 1p, kloppend: 1p)	3
$V_{oplossing} = 600 \text{ ml} = 0,6 \text{ L}$	1
$N_{NO_3^-} = 0,6 \text{ L} \cdot 0,90 \text{ mol/L} = 0,54 \text{ mol}$	1
Molverhouding $Cu(NO_3)_2 : NO_3^- \rightarrow 1 : 2$	1
$N_{O_2} = 0,54 \text{ mol} / 2 = 0,27 \text{ mol}$	1
$M_{Cu(NO_3)_2} = 187,56 \text{ g/mol}$	1
$m_{O_2} = 0,27 \text{ mol} \cdot 187,56 \text{ g/mol} = 51 \text{ gram}$	1
Juiste significantie	1

Nameting

Een bepaald ademhalingsapparaat gebruikt kaliumsuperoxide, KO_2 , om het koolstofdioxide en water in uitgeademde lucht om te zetten in zuurstof en kaliumwaterstofcarbonaat ($KHCO_3$).

Gemiddeld ademt men per ademhaling 0,0468 gram koolstofdioxide uit.

Bereken hoeveel gram zuurstof er ontstaat per ademhaling.

Reactievergelijking kloppend: $2 KO_2 + 2 CO_2 + H_2O \rightarrow 3 O_2 + 2 KHCO_3$ (beginstoffen: 1p, producten: 1p, kloppend: 1p)	3
$M_{CO_2} = 44,01 \text{ g/mol}$	1
$N_{CO_2} = 0,0468 \text{ gram} / 44,01 \text{ g/mol} = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ mol } CO_2$	1
Molverhouding $CO_2 : O_2 = 2 : 3$	1

$n_{O_2} = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \frac{3}{2} = 1,60 \cdot 10^{-3} \text{ mol } O_2$	1
$M_{O_2} = 32,00 \text{ g/mol}$	1
$m_{O_2} = 1,60 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 32,00 \text{ g/mol} = 5,10 \cdot 10^{-2} \text{ gram } O_2$	1
Juiste significantie	1

Na-nameting***Maurick***

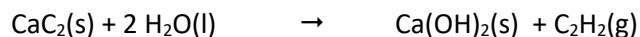
In een zak bananenschuimpjes zit 200 gram. Bananenschuimpjes bestaan voor 0,3 massa-procent uit isoamylacetaat. Bereken hoeveel gram 3-methylbut-1-een er nodig is om de hoeveelheid isoamylacetaat te maken voor 1 zak bananenschuimpjes.

De molaire massa van 3-methylbut-1-een is 70,13 g/mol.

$200 \cdot \frac{0,3}{100} = 0,6 \text{ gram isoamylacetaat}$ $M = 130,182$	1p
$0,6 / M = 0,0046 \text{ mol isoamylacetaat}$	1p
Molverhouding 1:1	1p
0,0046 mol 3-methylbut-1-een	1p
$M = 70,13 \text{ g/mol}$	1p
$0,0046 \text{ mol} \cdot 70,13 \text{ g/mol} = 0,32 \text{ gram}$	1p
Significantie 1	1p

Trevianum

Bij de CCM wordt een afgewogen hoeveelheid vloermateriaal gemengd met een overmaat calciumcarbide. Calciumcarbide reageert met water uit het vloermateriaal. Bij deze reactie ontstaan de vaste stof calciumhydroxide en het gas acetyleen, C_2H_2 :



Als 100 gram vloermateriaal 2,00 gram water bevat is te voorspellen hoeveel mL acetyleengas bij de bepaling ontstaat met behulp van een berekening.

Geef deze berekening. Ga ervan uit dat de bepaling wordt uitgevoerd bij 298K en $p = p_0$

Molmassa water = 18,015 g/mol	1
$2,00 \text{ g } H_2O \cong 2,00 : 18,015 \text{ g/mol} = 1,11 \cdot 10^{-1} \text{ mol } H_2O$	1
Molverhouding: 2:1	1
dit reageert tot $1,11 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \div 2 = 5,56 \cdot 10^{-2} \text{ mol } C_2H_2$	1
Molair volume $2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$	1
dit heeft een volume van $5,56 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	1
Significantie (2-4 cijfers)	1
$1,36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,36 \cdot 10^3 \text{ mL}$	0

XIII. Rationale achter puntenverdeling kwantitatieve metingen

In Bijlage XIII worden de rationale achter puntenverdeling besproken.

De rationale achter deze puntenverdeling is als volgt. De eerste stap van het stappenplan is het opstellen van de reactievergelijking. Deze stap wordt niet meegenomen in de puntenverdeling, vanwege het feit dat dit niet de vaardigheden zijn waar de interventie op bedoeld is. Verder wordt de reactievergelijking vaak gegeven in opgaven, zodat nakijken eenvoudiger verloopt.

De tweede stap is het berekenen van het aantal mol van de gegeven stof en levert 2 punten op. Leerlingen krijgen 1 punt als ze de voorbereiding voor de berekening van het aantal mol van de gegeven stof juist hebben gedaan. Meestal omvat deze voorbereiding het berekenen of bepalen van de molmassa. Met dit punt wordt er getoetst of de leerling in de gaten heeft welke stof de gegeven stof is en of de leerling weet hoe de molaire massa van die stof of molair volume bepaald dient te worden. Het tweede punt wordt toegekend als de leerling op een correcte manier

het aantal mol van de gegeven stof heeft berekend. Een leerling kan op twee manieren tot de berekening komen, namelijk door naar de eenheden te kijken of doordat de leerling uit zijn hoofd heeft geleerd hoe de berekening moet (keer of delen door). De eerste manier getuigt van meer inzicht in de stof, maar het is niet mogelijk om het verschil te onderscheiden op basis van de geschreven opgave.

De derde stap is het bepalen van de molverhouding en hiermee kan 1 punt worden verdiend. De leerling krijgt een punt als de juiste molverhouding uit de reactievergelijking beredeneerd is. Op deze manier wordt het inzicht in de wet van massabehoud van de leerling getoetst.

De vierde stap omvat het berekenen van het aantal mol van de gevraagde stof. Hiermee kan 1 punt worden verdiend. Het punt krijgt de leerling als de molverhouding op de juiste manier gebruikt wordt om het aantal mol van de gevraagde stof te berekenen.

De vijfde stap is het berekenen van de gevraagde stof in de gevraagde eenheid en er kunnen 2 punten worden verdiend met deze stap.

De leerling krijgt een punt als de molmassa van de gevraagde stof of molair volume op de juiste manier bepaald is. De toekenning van dit punt getuigt ervan dat de leerling goed in de gaten heeft waar de opgave over gaat. Het volgende punt wordt toegekend als de leerling de molmassa of molair volume op de juiste manier gebruikt om de massa of het volume van de gevraagde stof te berekenen. Als de leerling een afwijkend antwoord heeft doordat ze tussendoor heeft afgerond, dan wordt dit punt ook niet toegekend.

De zesde en laatste stap is de controlestap. Hiermee kan 1 punt worden verdiend. Het laatste punt wordt toegekend als de leerling het antwoord in het juiste aantal significante cijfers heeft gegeven. Dit punt geeft weer hoe secuur de leerling is in de berekening.

Het cijfer wordt berekend als volgt:

$$\text{Cijfer} = (\text{aantal punten} / 7) \cdot 10$$

Bij de toekenning van de punten wordt er ook gelet op de soort fout die er wordt gemaakt. Fouten zullen in bepaalde categorieën worden ingedeeld.

XIV. Evaluatie interventie door docenten casusklassen

In Bijlage XIV is een evaluatie weergegeven op basis van de observaties van de docenten die de interventie hebben uitgevoerd.

Trevianum (uitgevoerd door Justine Vaassen)

De les begon door mede te delen dat de boeken in de tas konden blijven. Vervolgens werd uitgelegd dat ze een opdracht gingen maken, maar dat ze het onderwerp zelf mochten kiezen. Maar eerst moesten ze groepjes maken van drie personen. De verschillende onderwerpen stonden op het bord. Ze moesten per groepje kort besluiten welk onderwerp dat ze wilden. Vervolgens noemde ik elk onderwerp op en leerlingen konden aangeven of ze deze casus wilde doen door hun vinger op te steken. De verdeling van de casussen was als volgt:

Casus	Aantal groepjes
Springstof	4
Fotosynthese	1
Formule 1	1
Aspartaam	2
Zilveren armband	2

Leerlingen kregen eerst de opdracht om een stappenplan op te stellen. Er werd medegedeeld dat als ze een juist stappenplan op papier hadden staan dat ze dan de nodige informatie kregen die nodig was om de vraag op te lossen. Leerlingen gingen vol enthousiasme aan de slag en stelden vragen indien ze iets wilden weten of probeerden op deze manier nog wat extra informatie los te peuteren. Leerlingen hadden vaak niet het hele stappenplan op papier staan, maar vertelden wel aan ons hoe ze het wilde aanpakken. Ook dit werd goed gevonden en dan kregen ze de extra informatie om de vraag op te lossen. De laatste minuten waren de meeste leerlingen klaar met het stappenplan en de berekeningen. Toen heb ik de leerlingen strookjes gegeven met verschillende stappen. Als de contextvraag correct hebben uitgevoerd, hebben ze alle stappen doorlopen om tot het antwoord te komen. De vraag was welke volgorde ze hadden gebruikt om tot het antwoord te komen. Leerlingen konden hun volgorde op het bord komen schrijven. Leerlingen vonden het leuk om hun ideeën op het bord te schrijven. De stappenplannen kwamen overeen, enkel de tweede en derde stap was soms omgewisseld. Als laatste heb ik aangegeven dat ze hun schrift moesten pakken en heb ik het stappenplan volledig uitgeschreven en leerlingen de opdracht gegeven om dit over te nemen. Ook heb ik huiswerk opgegeven.

Bespreking per casus

1. Springstof

Leerlingen hadden weinig problemen met deze casus.

2. Fotosynthese

Doordat deze casus begint vanuit het beginpunt aantal deeltjes en niet massa of volume had deze groep de neiging om met aantal deeltjes te blijven rekenen en dus niet het aantal deeltjes om te rekenen naar mol. Zij zagen dus niet de meerwaarde om met mol te rekenen, waardoor het langer duurde voor deze groep om deze casus op te lossen.

3. Formule 1

Deze groep heeft goed gewerkt en stelden over het algemeen ook snel het stappenplan op. Ze hadden enkel moeite om de dichtheid van benzine op te zoeken in de Binas.

4. Aspartaam

Deze casus had enkele valkuilen doordat leerlingen niet wisten wat een hydrolyse was, hierdoor wisten ze niet dat water ook een beginstof was. Hierdoor verloren ze dus veel tijd aan de reactievergelijking. Ook lazen ze de zin over 10% van het aspartaam wordt afgebroken fout. Hierdoor dachten ze dat de massa methanol gelijk was aan 10% van de massa van aspartaam. Maar hierdoor kregen leerlingen wel goed inzicht in rekenen aan reacties doordat ze deze denkstappen moesten zetten dat er geen massaverhouding bekend is.

5. Zilveren armband

Een van de twee groepjes had geen zin om de casus te maken, want het was toch ‘te’ moeilijk. Hierdoor hebben ze een stappenplan opgesteld met hulp. Vervolgens zijn ze gaan rekenen. De andere groep heeft zelfstandig kunnen oplossen zonder vragen te stellen.

Les 2

De les is begonnen door aan te halen wat er tijdens de vorige les is behandeld, namelijk het stappenplan voor rekenen aan reacties. Vervolgens is er gevraagd aan de klas of er vragen waren over het huiswerk. Bij een opgave kregen enkele leerlingen niet het juiste antwoord en deze is daarom ook (kort) behandeld. Vervolgens in het werkblad uitgedeeld en zijn de leerlingen gemotiveerd aan de slag te gaan (dit werd geobserveerd door Justine). Ze hebben veel vragen gesteld. Aan het einde van de les zijn de uitwerkingen van het werkblad uitgedeeld met de boodschap dat ze hier verder mee moesten oefenen.

Maurick (uitgevoerd door Selina Thijssen)

Les 1

Aan het begin van de les moesten de leerlingen hun boeken in de tas laten, maar wel een schrift en Binas erbij pakken. Ik legde kort uit wat ze die les gingen doen en noemde de onderwerpen van de verschillende casussen op. Iedere leerling moest voor zichzelf bedenken welk onderwerp hen aansprak en vervolgens twee andere leerlingen zoeken die hetzelfde onderwerp interessant vonden. Er zijn in totaal 8 groepjes gevormd van 2 of 3 leerlingen.

Casus	Aantal groepjes
Springstof	3
Fotosynthese	2
Formule 1	1
Aspartaam	0
Zilveren armband	2

Vervolgens werden de casussen uitgedeeld. De leerlingen moeten een plan opstellen en hun ideeën op papier zetten. 3 van de 8 groepjes begonnen gelijk met overleggen en 5 van de 8 groepjes begonnen met eerst zelf te lezen. De docent loopt rond en zorgt ervoor dat alle leerlingen actief meedoen met het oplossen van de opgave. Vervolgens kregen de leerlingen de

informatie die ze nog miste om de opgave op te lossen. Tussen het eerste groepje en het laatste groepje dat de informatie kreeg zat ongeveer 20 minuten. De leerlingen kregen alleen de informatie als ze een duidelijk plan aan mij konden laten zien. In verband met de tijd heeft het laatste groepje wat tips gehad van mij. Doordat leerlingen op een verschillend tempo werkten, er maar één opdracht was per groepje en er maar één docent was om de leerlingen informatie te geven, ontstonden er een veel momenten tijdens de les dat leerlingen niks aan het doen waren. Toen alle groepjes klaar waren met de opgaven, moesten de leerlingen eerst zelf een stappenplan opstellen. Vervolgens werden de strookjes voor het stappenplan uitgedeeld en moesten de leerlingen hun volgorde van het stappenplan op het bord zetten. Over het algemeen heeft iedereen dezelfde volgorde bedacht, alleen zijn stap 2 en 3 weleens omgedraaid, maar dat heeft geen nadelig effect op de uitwerking. Vervolgens is er huiswerk opgegeven voor de volgende les, maar aangezien dit ingaat tegen de visie van de school was dit niet verplicht.

Bespreking per casus

1. Springstof

Leerlingen hadden weinig problemen met deze casus. Alle groepjes met deze casus waren vaak snel klaar.

2. Fotosynthese

De leerlingen hadden vaak veel moeite met deze casus doordat er gerekend moest worden met deeltjes. Het rekenen met aantal deeltjes is niet veel geoefend van te voren. Ik heb een aantal tips gegeven zodat ze deze casus makkelijker op konden lossen. Het kan ook meespelen dat deze casus vooral door de zwakkere leerlingen uit de klas is gekozen.

3. Formule 1

Deze groep was al snel toe aan de extra informatie om de opgave uit te rekenen. Echter klopten hun plan van aanpak niet meteen waardoor ze toch later klaar waren.

4. Aspartaam

Deze casus is niet gekozen in deze klas.

5. Zilveren armband

De leerlingen die deze casus hadden leken minder gemotiveerd (geobserveerd door mij) om de opgave op te lossen. Een van de groepjes kwam er niet uit, waardoor ze heel erg lang over de opdracht hebben gedaan. Vervolgens is de docent te hulp geschoten zodat de leerlingen het inzicht kregen wat de bedoeling was.

Les 2

Aan het begin van de tweede les is het stappenplan wat de klas heeft gemaakt op het bord gezet en moesten de leerlingen dit overnemen. Er zijn tijdens deze les twee voorbeeld opgaven besproken: één met en één zonder overmaat. Ik merkte dat de leerlingen vooral de eerste voorbeeld opgave heel fijn vonden, maar het duurde allemaal een beetje lang. Helaas was er

daarna geen tijd meer om aan de oefenopgaven te werken. De oefenopgaven zijn aan de leerlingen mee naar huis gegeven zodat ze er mee konden oefenen. Helaas is er niet meer gecontroleerd of de leerlingen alle opgaven ook hebben gemaakt.

XV. Foutenanalyse

In Bijlage XV is de foutenanalyse weergegeven van de kwantitatieve metingen.

Trevianum

Om een beter beeld te krijgen waar leerlingen moeite mee hebben tijdens de berekenen aan 'rekenen aan reacties' zijn de verwerkingen per stap bekeken. In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de percentage fouten en percentages waarin de fouten zijn gemaakt.

Er wordt niet alleen gekeken naar het totaal plaatje, maar ook wordt gekeken per stap waar eventueel fouten zijn gemaakt en waarom.

De foutenanalyse van de casusklas en referentieklas van Trevianum staat weergegeven in volgende tabel.

Stap	Meting	% fout	waarvan		
Berekenen aantal mol gegevenstof	Vorbereidingsstap				
			Verkeerd e stof	Rekenf out	Niks ingev uld
	Voormeti ng	0 %			
	Nameting	3 3% %			
	Na- nameting	1 10% 7 %	7%		
	aantal mol		Rekenfout	Niks ingevuld	
	Voormeting Nameting	3 3% 3 %	3%	3%	
Na- nameting	1 13% 3 %				
Molverhouding	molverhou ding		Geen reactie gebruikt	Verkeerde afleiding	Niks ingev uld 17%
	Voormetin g	6 43% 0 %			
	Nameting	3%			3%
	Na- nameting	1 7 %	3%	3%	13%

Stap	Meting	% fout	waarvan				
Aantal mol gevraagde stof	aantal mol		molverhouding = massaverhouding	Foutief gebruik molverhouding	Rekenfout	Niks ingevuld	
	Voormeting	70%				63%	
	Nameting	100%		10%			
gevraagde stof in gevraagde eenheid	Na-nameting molmassa /molair volume	27%	Rekenfout	Verkeerde stof	Niks ingevuld	3%	6% 17%
	Voormeting	57%	10%	23%	23%		
	Nameting	70%	7%				
	Na-nameting	100%			13%		
	berekening juiste eenheid			Verkeerde eenheid	Rekenfout	Niks ingevuld	
	Voormeting	100%	3%		10%		
	Nameting	70%		7%			

Stap	Meting	% fout	waarvan	
Controle	Na-nameting	2 3 %	3%	20%
	Significante	Afronding	Foutief overgenomen	Niks ingevuld
	Voormeting	43%	33%	10%
	Nameting	1 0 %	7%	3%
	Na-nameting	2 3 %	7%	17%

Over het algemeen kan worden geconstateerd dat er tijdens de nameting in beide klassen de minste fouten zijn gemaakt. Het aantal fouten bij de voormeting en de na-nameting is voor beide klassen vergelijkbaar.

Bij de voorbereidingsstap is te zien dat de zowel de casusklas als de referentiekلاس bij de na-nameting de meeste fouten maakt. De veelvoorkomende fout is het gebruik van de verkeerde stof. Bij het berekenen van het aantal mol is er ook een toename te zien in aantal fouten, wat vooral te wijten is aan rekenfouten. Bij het bepalen van de molverhouding gaan bij de voormeting veel leerlingen de mist in doordat ze geen reactievergelijking hebben gebruikt, hierdoor kunnen ze ook in de volgende stap vaak niet het aantal mol van de gevraagde stof berekenen. Bij de na en na-nameting is dit geen probleem meer. Wat ook opvallend is, is dat er een aantal leerlingen zijn die de molverhouding als massaverhouding zien en dus helemaal niet met mol rekenen, dit gebeurt enkel bij de voor en na-nameting. Bij het gebruik van de molmassa van de gevraagde stof gaat het bij de voormeting het vaakste fout doordat er met de verkeerde stof wordt gewerkt. Bij het rekenen naar de gewenste eenheid worden er vooral rekenfouten gemaakt. Bij de controlestap zijn er veel leerlingen die een fout maken met de afronding. Opvallend is dat bij de voormeting van de casusklas relatief veel leerlingen hierin een fout maken.

Maurick

Om een beter beeld te krijgen waar leerlingen moeite mee hebben tijdens de berekenen aan ‘rekenen aan reacties’ zijn de verwerkingen per stap bekeken. In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de percentage fouten en percentages waarin de fouten zijn gemaakt. De fouten analyse van de casusklas en de referentieklass van het Maurick staat weergegeven in de volgende tabel.

Maurick	Meting	% fout		waarvan							
Berekenen aantal mol gegevenstof	Vorbereidingsstap			Verkeerde stof		Rekenfout		Niks ingevuld			
		Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref		
	Voormeting	61%	71%	22%	13%	9%		30%	58%		
	Nameting	0%	14%				9%		5%		
	Na-nameting	77%	61%	14%	17%	41%	13%	23%	30%		
	Aantal mol			Rekenfout		Niks ingevuld					
		Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref				
	Voormeting	43%	58%	9%	4%	35%	54%				
	Nameting	5%	18%	5%	14%		5%				
	Na-nameting	36%	30%	14%		23%	30%				
Molverhouding	Molverhouding			Geen reactie gebruikt		Verkeerde afleiding		Niks ingevuld			
		Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref		
	Voormeting	39%	38%	9%	13%	9%		22%	25%		
	Nameting	0%	0%				26%		17%		
	Na-nameting	45%	48%			18%		27%			
Aantal mol gevraagde stof	Aantal mol			molverhouding = massaverhouding		Foutief gebruik molverhouding		Rekenfout		Niks ingevuld	
		Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref
	Voormeting	30%	67%		13%		4%	9%	8%	22%	42%
	Nameting	10%	5%			5%		5%			5%

Maurick	Meting	% fout		waarvan					
	Na-nameting	32%	30%	5%	4%			27%	26%
Gevraagde stof in gevraagde eenheid	Molmassa / molair volume			Rekenfout		Verkeerde stof		Niks ingevuld	
		Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref
	Voormeting	30%	71%	13%	4%	9%	8%	17%	58%
	Nameting	15%	9%		5%	15%			5%
	Na-nameting	27%	26%	9%				18%	26%
	Berekening juiste eenheid			Verkeerde eenheid		Rekenfout		Niks ingevuld	
		Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref
	Voormeting	17%	63%				4%	17%	58%
	Nameting	25%	18%			25%	14%		5%
	Na-nameting	50%	30%			18%		32%	30%
Controle	Significantie			Afronding		Foutief overgenomen		Niks ingevuld	
		Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref	Casus	Ref
	Voormeting	26%	75%	9%	17%			17%	58%
	Nameting	5%	9%	5%	5%				5%
	Na-nameting	50%	61%	18%	35%			32%	26%

Voor beide klassen geldt dat er tijdens de nameting de minste fouten worden gemaakt. Het aantal fouten bij de voormeting en de na-nameting is voor de casusklas vergelijkbaar. Bij de referentieklass werden er bij de voormeting wel meer fouten gemaakt dan bij de na-nameting. Hieronder staat een specificatie van deze fouten per stap.

Bij de voorbereidende stap, waarin de leerlingen de molmassa moesten bepalen, zijn bij de voor en na-nameting veel fouten gemaakt, door het gebruik van de verkeerde stof, rekenfouten of door helemaal geen molmassa te gebruiken. De berekening van het aantal mol kon hierdoor door veel leerlingen tijdens de voor en na-metingen ook niet worden gedaan. Bij de bepaling van de molverhouding was bij beide klassen een aantal leerlingen die deze verkeerd afleidde uit de reactievergelijking of die geen reactievergelijking gebruikte. Opvallend was weer dat een aantal leerlingen in de referentieklass de molverhouding als massaverhouding gebruikte, waardoor ze niet met mol hebben gewerkt. Bij de bepaling van de molmassa van de gevraagde stof was er een aantal leerlingen die een verkeerde stof hebben genomen of die een rekenfout hebben gemaakt. Bij de berekening van de hoeveelheid van de gevraagde stof in de juiste eenheid zijn er in beide klassen en in alle metingen vooral rekenfouten gemaakt. De significantie fouten waren in alle metingen aanwezig, maar bij de na-nameting het meeste.

Discussie en conclusie

Bij deze analyse zijn verschillende type fouten te constateren: fouten die een gebrek aan inzicht in een bepaald concept weergeven en slordigheidsfouten. Inzichtfouten worden vaak veroorzaakt door oppervlakkig leren, doordat de leerling alleen maar een vaag beeld heeft van het concept en hierdoor dit concept dus ook niet op de juiste manier kan toepassen in een nieuwe situatie. Deze inzichtfouten wijzen er dus op dat er geen diep leren heeft plaatsgevonden.

De volgende inzichtfouten worden in de metingen geconstateerd:

- De leerling gebruikt een verkeerde stof, waardoor molmassa's of molverhoudingen verkeerd worden bepaald. Deze fout wijst erop dat de leerling geen goed inzicht heeft in de reactie die plaatsvindt of dat de leerling niet in de gaten heeft wat er wordt gegeven en/of wat er wordt gevraagd in de opgave.
- De leerling gebruikt geen reactievergelijking en/of molverhouding in de berekening. Deze fout wijst erop dat de leerling niet inziet dat er een reactievergelijking moet worden opgesteld of een molverhouding moet worden gebruikt. Vaak leidt dit er ook toe dat de leerling helemaal geen mol gebruikt of het aantal mol van de gevraagde stof gelijkstelt aan het aantal mol van de gegeven stof.
- De leerling gebruikt de molverhouding als massaverhouding. Dit is een klassiek misconception, waarbij de betekenis van de mol en molverhouding niet goed begrepen worden (Wood & Breyfogle, 2006). De leerlingen gebruiken vaak ook geen mol in hun berekening.
- De meeste fouten in de foutenanalyse zijn veroorzaakt doordat de leerling een stap heeft overgeslagen of de opgave niet heeft (af)gemaakt. Dit wijst ook op een gebrek aan inzicht of de leerling snapt het concept wel maar weet niet hoe ze het moet toepassen, zoals in de kwalitatieve voormeting ook het geval was bij een leerling van het Trevianum. Helaas is de absolute oorzaak niet te achterhalen bij de handgeschreven uitwerkingen.

De volgende slordigheidsfouten worden in de metingen geconstateerd:

- De leerling heeft een fout gemaakt in de berekening door delen en vermenigvuldigen te verwisselen, door een getal verkeerd over te schrijven of

door verkeerd gebruik te maken van eenheden. Dit komt vaak voor bij het uitrekenen van molmassa, mol of massa. Hierbij wordt bij een aantal leerlingen wel een misconcept geconstateerd waarbij ze de molmassa vermenigvuldigen met de coëfficiënt van de gegeven stof in de reactievergelijking (Fach et al., 2007). Als de leerling de rekenfout had kunnen voorkomen door goed naar de eenheden te kijken, dan zou dit ook nog als een inzichtfout kunnen worden aangerekend, maar helaas is dit vaak niet af te leiden uit de handgeschreven uitwerkingen.

- De leerling heeft een fout gemaakt met de afronding. Vaak gebeurt dit aan het eind van de berekening, doordat een leerling niet goed let op het aantal significante cijfers. Soms gebeurt dit halverwege een berekening waardoor het eindantwoord kan afwijken. Als de leerling echter de significantieregels verkeerd toepast, dan kan dit ook als een inzichtfout worden gezien.

Over het algemeen kan er tussen de casusklassen en de referentieklassen geen significant verschil kan worden geconstateerd in de soort fouten die wordt gemaakt. Er kan wel een duidelijk verschil worden geconstateerd bij de voor-, na- en na-nametingen.

Bij de nameting worden de minste fouten gemaakt en de fouten die worden gemaakt zijn over het algemeen afrondingsfouten (gemiddeld 10%) en rekenfouten. Er worden dus maar weinig inzichtfouten gemaakt, wat erop wijst dat de leerlingen de stof goed beheersen. Dit zou kunnen wijzen op diep leren, echter hebben de leerlingen bij deze meting de lesstof net behandeld gehad, dus dit kan ook nog oppervlakkig leren zijn, vooral omdat in zowel de referentieklassen als de casusklassen soortgelijke resultaten te zien zijn.

Om te kunnen concluderen of diep leren heeft plaats gevonden zou moeten worden gekeken naar de fouten die bij de voormeting en na-nameting zijn gemaakt. De enige soort fout die alleen bij de voormeting wordt gemaakt is de fout waarbij leerlingen geen gebruik maken van de molverhouding doordat ze geen reactievergelijking hebben gebruikt. Bij de na-nameting wordt deze fout niet meer gemaakt, dus leerlingen hebben al in de gaten dat ze een reactievergelijking moeten gebruiken en de molverhouding moeten bepalen. Er blijven bij de na-nameting nog wel leerlingen die de molverhouding helemaal niet hebben gebruikt doordat ze bijvoorbeeld de opgave niet hebben gemaakt, maar dat is vaak al veel minder dan bij de voormeting (gemiddeld aantal leerlingen dat de molverhouding niet heeft gebruikt bij de na-nameting: 18% versus de voormeting: 46%). Deze verbetering is waarschijnlijk te wijten aan het vele oefenen met 'rekenen aan reactie' opgaven. Hieruit kan dus worden geconcludeerd dat er in alle klassen een verbetering is in het herkennen van opdrachten waarin een molverhouding moet worden toegepast, wat kan wijzen op diep leren. Voor de fouten door een verkeerde stof (gemiddeld 14% versus 19%), afrondingsfouten (gemiddeld 16% versus 19%) en het gebruiken van de molverhouding als massaverhouding (gemiddeld 5% versus 7%) is er geen significant verschil tussen de na-nameting en voormeting te constateren. Hieruit kan dus niet worden afgeleid of diep leren heeft plaats gevonden en is ook geen significant verschil te zien tussen de casusklassen en referentieklassen.